

Epistemologia

Ministério da Educação – MEC
Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES
Diretoria de Educação a Distância – DED
Universidade Aberta do Brasil – UAB

Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS

Reitor Carlos Alexandre Netto
Vice-Reitor Rui Vicente Oppermann
Pró-Reitor de Pós-Graduação Aldo Bolten Lucion
Secretário de Educação a Distância Sérgio Roberto Kieling Franco
Coordenador da UAB/UFRGS Luis Alberto Segovia Gonzalez

Especialização em Física para Educação

Diretora do Instituto de Física Marcia C. Barbosa
Coordenação do Curso Silvio Luiz Souza Cunha
Equipe de Apoio Marcos Pradella
Carolina Zeferido Pires
Magnos André Hammes
Raquel Waechter

Elaboração do Conteúdo

Coordenador Editorial Silvio Luiz Souza Cunha
Elaboração e Revisão de Conteúdo Fernanda Ostermann
Cláudio José de Holanda Cavalcanti

Revisão Textual

Revisor de Língua Portuguesa Zuleica Oprach de Souza (Evangraf)

Projeto Gráfico

Projeto Gráfico e Diagramação Rafael Marczal de Lima (Evangraf)
Capa Bibiana Carapeços de Lima

Apoio Operacional

Deise Mazzarella Goulart
Laura Wunsch

Epistemologia

Fernanda Ostermann
Cláudio José de Holanda Cavalcanti

© dos autores

1ª edição

Direitos reservados desta edição:

Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Fernanda Ostermann:

É Licenciada em Física pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul e tem Mestrado e Doutorado na área de ensino de Física, ambos também pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Por concurso público, ingressou como professora, em 1994, no Departamento de Física dessa universidade e, atualmente, ocupa o cargo de Professora Associado II.

Foi coordenadora do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física. É líder de grupo de pesquisa, atuando principalmente nos seguintes temas: formação de professores, Física Moderna e Contemporânea, abordagem sociocultural no ensino de Física.

Cláudio José de Holanda Cavalcanti:

Possui graduação em Bacharelado Em Física pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (1989), mestrado em Física pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (1993) e doutorado em Física pela mesma universidade (2001). Por aprovação em concurso público, desde junho de 2006 é professor adjunto da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, em regime de dedicação exclusiva. Tem experiência na área de Física e Ensino de Física com ênfase em Modernização Curricular, atuando principalmente nos seguintes temas: inserção de tópicos de Física Moderna e Contemporânea no ensino médio e outros temas relevantes em Ensino de Física.

DADOS INTERNACIONAIS DE CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO (CIP)

O85e Ostermann, Fernanda
Epistemologia: implicações para o ensino de ciências / Fernanda Ostermann e Cláudio José de Holanda Cavalcanti. - Porto Alegre: Evangraf; UFRGS, 2011.

108 p. : il.

ISBN: 978-85-7727-323-2

1. Epistemologia. 2. Filosofia da ciência. 3. História da ciência. I. Cavalcanti, Cláudio José de Holanda. II. Título.

CDU – 165

Elaborada pela Biblioteca Central da
Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	9
------------------	---

CAPÍTULO 1

A IMPORTÂNCIA DA FILOSOFIA PARA A CIÊNCIA	13
1.1 Uma breve discussão sobre a postura de dois cientistas famosos	13
1.2 O que a Filosofia poderia dizer a respeito disso?	15
1.3 Um exemplo de como a filosofia é propulsora da ciência: os incomensuráveis da Matemática dos pitagóricos	21

CAPÍTULO 2

A ATIVIDADE CIENTÍFICA	29
2.1 A ciência possui um método de investigação único?	29
2.2 Sobre Francis Bacon	29
2.3 Argumentando contra “o método”	41
2.3.1 Relatividade Restrita e Relatividade Geral: um contraexemplo	43
2.3.2 Teoria das Supercordas, Teoria M e Cosmologia de Branas: um contraexemplo atual	45

CAPÍTULO 3

O QUE PODE SUBSTITUIR O MÉTODO CIENTÍFICO BACONIANO?	55
--	----

CAPÍTULO 4

IMPLICAÇÕES PARA O ENSINO	65
4.1 Alguns resultados de pesquisa	65
4.2 Ciência e pseudociência	70
4.2.1 Algumas considerações iniciais	70
4.2.2 O que esperar da comunidade científica, da escola e dos meios de informação a respeito disso?	72
4.2.3 Há um critério para separar claramente a ciência da pseudociência? ..	75

CAPÍTULO 5

COMENTÁRIOS FINAIS	83
--------------------------	----

CAPÍTULO 6

APÊNDICE 1: UMA ABORDAGEM MAIS DETALHADA SOBRE OS NÚMEROS

RACIONAIS E IRRACIONAIS	85
6.1 Somatórios	85
6.2 O número finito ou infinito de casas decimais	87
6.3 A irracionalidade de $\sqrt{2}$:	91

CAPÍTULO 7

APÊNDICE 2: A ALEGORIA DA CAVERNA DE PLATÃO	93
---	----

REFERÊNCIAS	99
-------------------	----

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Padrões de medida. Se o comprimento do segmento de reta for tomado como padrão de medida de comprimento, o comprimento do segmento será dado em termos desse padrão, como veremos a seguir	24
Figura 2: O triângulo retângulo com catetos de igual comprimento.	26
Figura 3: Francis Bacon (1561 – 1626). Bacon era advogado, político, ensaísta, e é considerado como o inventor do método científico.	31
Figura 4: Texto extraído do prefácio do <i>Novum Organum</i> (edição de 1779). Por questões de clareza, foi feito um trabalho artístico no original para que o texto coubesse em uma página. Aqui, algumas das ideias essenciais de Bacon são explicitadas. A tradução encontra-se na citação anterior.	31
Figura 5: Capa de uma edição de 1779 do livro <i>Novum Organum</i> . Graças a essa obra, Bacon é tido como o pai da ciência moderna.	32
Figura 6: Norwood Russell Hanson.	41
Figura 7: Os quadrados A e B não parecem ter o mesmo tom de cinza (o quadrado B parece ser mais claro). No entanto, ambos possuem exatamente o mesmo tom. O sistema visual humano é bastante complexo e realiza algumas armadilhas para perceber detalhes em regiões sombreadas. Essa figura foi feita baseada em dois trabalhos de Edward H. Adelson (1993; 2000).	42
Figura 8: Thomas Kuhn (1922-1996).	56
Figura 9: Karl Popper (1902-1994).	58
Figura 10: Imre Lakatos (1922-1974).	59
Figura 11: Paul Feyerabend (1924-1994).	60
Figura 12: Gaston Bachelard (1884-1962).	61
Figura 13: Larry Laudan (1941-).	63
Figura 14: A alegoria da caverna de Platão, representada em gravura por Jan Saenredam (artista holandês, que viveu entre 1565 e 1607).	93

INTRODUÇÃO

A História e a Filosofia da Ciência representam um importante aspecto – mas não o único – a ser considerado quando pensamos em um bom ensino de Ciências. Mas de que trata a Filosofia da Ciência ou Epistemologia? Segundo Losee (2001), os próprios filósofos praticantes da ciência frequentemente discordam sobre seu objeto de estudo. Losee adota a posição que distingue *fazer ciência* de *pensar sobre como se faz ciência*. A epistemologia, então, seria, na sua concepção, uma disciplina de segunda ordem, que se debruça sobre o *pensar sobre como se faz ciência (a realidade ou a natureza estaria no plano zero e a Física, como ciência, seria o plano 1 – uma descrição da realidade)*. Nessa posição, a epistemologia procura respostas a questões do tipo:

- Como é obtido e validado o conhecimento científico?
- Existe um método da Ciência? Se afirmativo, qual é esse método?
- Em que circunstâncias se dá o abandono de uma teoria e a sua substituição por outra?
- Qual é o estado cognitivo das leis e princípios científicos?
- É possível se estabelecer um critério de demarcação¹?

E a História da Ciência, o que aborda? Com a fundamentação dada pela Filosofia da Ciência, podemos ler os fatos, as descobertas, os desenvolvimentos da Ciência. Não é possível separar história da ciência de filosofia da ciência, pois, segundo Lakatos (parafrazeando Kant): “A história da ciência sem filosofia da ciência é cega; a filosofia da ciência sem história

¹ Esse conceito foi cunhado por Popper. Seria um critério que decidiria quais campos de conhecimento podem ou não ser considerados como científicos. Isso será discutido na seção 5.2.3.

da ciência é vazia” (SILVEIRA, 1996). Portanto, sempre há uma concepção epistemológica subjacente a qualquer leitura que façamos da História das Ciências. Por outro lado, todos os filósofos da ciência buscam, na História da Ciência, exemplos que possam sustentar suas posturas. Ou seja, a Filosofia e a História da Ciência estão indissolivelmente ligadas.

As críticas às posições da epistemologia empirista-indutivista² podem ser consideradas como o consenso que existe entre os filósofos da ciência contemporâneos. Segundo Popper (1996), Kuhn (1997), Lakatos (1979), Feyerabend (2007), Bachelard (1984) e Laudan (1986) – para citar alguns importantes filósofos de ciência – essa epistemologia é ultrapassada, superada, falsa. Em resumo, suas críticas são as que vamos expor a seguir e que serão melhor detalhadas ao longo do texto.

Como será discutido, a observação não pode ser o ponto de partida do novo conhecimento, pois observar implica dirigir a atenção a alguns aspectos da realidade. Dessa maneira, a observação pressupõe um sistema de expectativas, algo teórico que se antecipa e decide, *a priori*, em que aspectos da realidade focar a atenção. O percebido não depende somente da realidade externa, mas também de nossas teorias, conhecimentos prévios. Portanto, a observação neutra, sem teoria, não existe. Essa visão de que o conhecimento deriva da experiência – o empirismo – está superada na epistemologia contemporânea, que reconhece o caráter construtivo, inventivo do conhecimento.

Quanto ao chamado *método indutivo*, Popper, por exemplo, acumulou argumentos lógicos, psicológicos e históricos para criticá-lo. Segundo a concepção indutivista, é possível obter leis e teorias científicas a partir de fatos. Dado um conjunto de fatos, poderíamos chegar às leis universais, às teorias, usando a lógica indutiva. Mas, de um ponto de vista lógico, não é óbvio que haja justificativa para inferir enunciados universais de enunciados particulares, independentemente do número destes. Por exemplo, independente de quantos cisnes brancos podemos observar, isso não justifica a conclusão de que todos os cisnes são brancos. Outra razão contra a existência de uma lógica indutiva é a de que um dado conjunto de fatos sempre é compatível com mais de uma lei (SILVEIRA, 1989; SILVEIRA e OSTERMANN, 2002).

² O chamado *método científico*, que será abordado no capítulo 3. O inglês Francis Bacon é tido como o seu criador.

Esse texto tem como objetivo, além de problematizar a visão empirista-indutivista³, mostrar um panorama sobre as visões mais modernas sobre o desenvolvimento da ciência. Embora ainda não haja um consenso sobre como se desenvolve a atividade científica (e talvez nunca haja), é importante que se conheça as vertentes mais modernas e suas consequências para o ensino de Ciências. Mesmo sem esse consenso, as alternativas apontadas por cada epistemólogo são mais consistentes do que a visão empirista-indutivista, o que tem implicações relevantes na pesquisa em ensino de Ciências.

³ Quase que hegemônica entre os cientistas e entre boa parte dos professores que trabalham na área de Ciências da Natureza.

Capítulo I

A IMPORTÂNCIA DA FILOSOFIA PARA A CIÊNCIA

I.1 Uma breve discussão sobre a postura de dois cientistas famosos

Parece que há uma parte significativa dos cientistas que considera a Filosofia como algo que não desempenha qualquer papel importante na construção do conhecimento científico. Tomando como exemplo dois físicos famosos, comecemos por Richard Feynman (1918 – 1988), que demonstra, ao menos indiretamente, ter sido adepto dessa visão:

Nós não podemos definir nada precisamente! Se tentarmos, caímos naquela paralisia de pensamento que acomete filósofos, que sentam um em frente ao outro, dizendo, “Você não sabe do que está falando!” O segundo diz, “O que você quer dizer com “sabe”? O que você quer dizer com “falando”? O que você quer dizer com “você”? E assim por diante. (FEYNMAN, LEIGHTON e SANDS, 1963a, p. 8-2)

Como se trata de uma obra bastante difundida entre estudantes de Física no mundo inteiro, essa visão distorcida sobre a Filosofia deve, provavelmente, ter influenciado inúmeros estudantes desde a década de 60 (quando a obra de Feynman foi publicada). Embora não seja confirmada a autoria, é atribuída também a Feynman a frase “a Filosofia da Ciência é tão útil para os cientistas quanto a ornitologia o é para os pássaros” (MURCHO, 2006, p. 50). Como cita Rocha (1991):

O panorama do começo dos anos 60 parece desanimador. A física se torna para os filósofos cada vez mais abstrusa. Os físicos, ressalvadas raras exceções, ignorantes de filosofia e – o que é pior! - orgulhando-se disso. A Filosofia e a Física teriam ainda como se reconciliar? Os anos subsequentes parecem indicar que sim. (ROCHA, 1991, p. 65)

A despeito de Feynman ter incontestável importância para a construção da Física, em especial para a Física Quântica⁴, tal afirmação demonstra certo preconceito e desconhecimento em relação à Filosofia (ao menos na época em que foi escrita a obra citada). Nos anos subsequentes, como cita Rocha, parece ter ressurgido a esperança de que se consolide uma aproximação entre físicos e filósofos. Outro físico famoso, Albert Einstein (1879–1955), tinha ideia contrária a Feynman acerca da Filosofia. Em 1944, Einstein respondeu uma carta de R. Thornton (1898–1982), que pediu a ele que o ajudasse a convencer seus colegas a inserir tópicos de História e Filosofia da Ciência em cursos introdutórios de Física. Nessa resposta, Einstein se expressou favoravelmente à ideia:

Eu concordo plenamente com você a respeito da importância e do valor educacional da metodologia bem como da História e Filosofia da Ciência. Muitas pessoas hoje – mesmo cientistas profissionais – me parecem como alguém que já viu milhares de árvores, mas nunca viu uma floresta. O conhecimento do cenário histórico e filosófico dá aquele tipo de independência de preconceitos que a maioria dos cientistas de sua geração vêm sofrendo. Essa independência criada por inspiração filosófica é – em minha opinião – a marca que diferencia um mero artesão ou um especialista de alguém que realmente busca a verdade. (HOWARD, 2005, p. 34)

É interessante a visão externada na expressão “ver milhares de árvores, mas nunca ter visto uma floresta”. Uma crítica ainda válida atualmente à comunidade científica, na qual grande parte dos cientistas trabalha em nichos restritos de conhecimento e poucos sequer buscam tomar conhecimento do histórico, filosófico e cultural da Ciência. Einstein pode ser considerado como

⁴ Richard Feynman foi premiado com o Nobel, em 1965, pela sua contribuição na criação da Eletrodinâmica Quântica.

uma das honrosas exceções entre os cientistas: sabia que “cultivar o hábito da filosofia fazia dele um físico melhor” (HOWARD, 2005, p. 34).

1.2 O que a Filosofia poderia dizer a respeito disso?

A pergunta sobre a utilidade ou não da Filosofia é antiga, tanto no âmbito escolar como no científico. Seria um tanto utópico desejar viver em uma sociedade que não sentisse a necessidade de fazer essa pergunta, pois ela carrega uma noção demasiadamente utilitarista sobre o conhecimento. A Filosofia fundamenta concepções de vida, convicções políticas, consciência crítica, ética, estética e muitas outras coisas, além de ser inerente à natureza humana. Mesmo quem pensa não filosofar, ainda assim o faz. Enfim, para a vida em geral ela é imprescindível. Na proposta curricular de Filosofia para o Ensino Médio, do Estado de Minas Gerais, os autores fazem uma reflexão interessante e convincente sobre a utilidade da Filosofia:

Não devemos e nem precisamos contrapor filosofia e vida prática interessada. Na verdade, os antigos gregos nos ensinaram que a racionalidade é simultaneamente prática e teórica; e se a prática racional é o domínio dos fins, da busca e realização dos valores, não faz sentido idealizarmos de maneira abstrata e irrealista uma atividade tão decisivamente humana, como se ela fosse supérflua e inútil, ou seja, como se ela não tivesse consequências para a vida. Para decidirmos da suposta inutilidade da filosofia é preciso que se estabeleça o que entendemos por “útil”. Se pensarmos num plano bastante elementar, do instrumento mecânico, que é útil exclusivamente pelo resultado imediato que proporciona (como usar um martelo para pregar um prego, por exemplo), podemos e devemos, com certeza, reconhecer a inutilidade da filosofia. Ela certamente não é um instrumento neutro, sem nenhum sentido ou interesse nele mesmo. Mas se elaborarmos um pouco mais e pensarmos numa perspectiva axiológica, de reflexão sobre os valores (éticos, estéticos, culturais, entre outros), devemos reconhecer a profunda utilidade da filosofia. Nessa perspectiva, a utilidade se transforma em relevância cultural, papel pedagógico, formação humanística, fator determinante na instauração de valores

culturais, elemento construtor da cidadania etc. O pensar filosófico é uma modalidade do desejo (que os gregos chamavam de Éros) e, enquanto tal, pode e deve ser a expressão de aspirações humanas legítimas, marcadas por interesses variados, em diversos níveis. Na perspectiva contemporânea, não podemos mais simplesmente opor afetividade e pensamento reflexivo, emoção e inteligência; sabemos que o trabalho do pensamento filosófico se enraíza nas estruturas da afetividade humana e se desenvolve junto com elas. Nessa medida, exercer o pensamento filosófico de maneira viva e autêntica é da maior utilidade para os seres humanos. A Filosofia pode propiciar crescimento pessoal e psíquico, em termos de uma maior capacidade de autocompreensão e expressão e, ainda, levar ao desenvolvimento de uma consciência crítica e autônoma. Enquanto debate racional, ela certamente proporciona crescimento cívico, respeito pelo outro e pela diferença que representa. (MARQUES, KAUARK e BIRCHAL, 2007, p. 8-9)

Na ciência, ao menos grosseiramente, se pode dizer que a Filosofia é a sua precursora e propulsora. Mas é muito mais do que isso: como os autores colocaram na citação acima, a Filosofia está inseparavelmente conectada à vida e é parte inerente da condição humana. Na obra *Protreptikos Filosofias* (Προτρεπτικός Φιλοσοφίας – *Convite à Filosofia*), escrita por Aristóteles (384-322 a. C.) e dirigida não aos seus pares filósofos, mas aos gregos comuns, Aristóteles faz de fato um convite à Filosofia. Uma passagem bastante interessante diz:

Se você deve filosofar, então você deve filosofar; se você não deve filosofar, então você deve filosofar; portanto, de qualquer forma, você deve filosofar. (HUTCHINSON e JOHNSON, 2002, p. 93)

Até onde se sabe, não se tem acesso aos originais dessa obra de Aristóteles, mas sim a citações do texto original escritas por outros antigos autores que possuíam acesso a essa obra. Segundo Murcho (2006), a interpretação dessa passagem, consenso entre esses vários autores, é que Aristóteles enfatiza a necessidade de filosofar, mesmo quando se quer defender uma postura que seja contrária à Filosofia. Não há, portanto, como “tecer um bom argumento biológico, físico, matemático ou histórico contra

a filosofia” (MURCHO, 2006, p. 52). É parte inerente de qualquer movimento intelectual humano, independente do que se sinta em relação a ela. É, portanto, também inerente à atividade científica.

Sem dúvida, quando um cientista trabalha na fronteira do conhecimento, caso em que as teorias e métodos tradicionais não funcionam e estão em crise, é a capacidade de formular perguntas consistentes e profundas que trará diferencial a esse cientista. O próprio Einstein é um exemplo disso com os seus *Gedankenexperiment* (experimentos mentais), cruciais na criação da Relatividade Restrita e Geral. É a partir das perguntas e questões levantadas que se constituem os novos métodos e as novas teorias. Murcho (2006) sintetiza isso com muita clareza:

O obscurantismo abraça a ideia de que, a menos que os resultados sejam fáceis e os métodos infalíveis, devemos parar com qualquer investigação racional – e talvez aceitar autoridade religiosa e a tradição em seu lugar. Este tipo de visão é uma profecia que se autorrealiza. Se pararmos de tentar buscar a verdade sobre algo, porque os resultados não são fáceis e os métodos são desconhecidos, nunca iremos criar métodos capazes de produzir resultados. Cientistas foram vítimas deste tipo de atitude no século XVII, quando poucas pessoas acreditavam que medição cuidadosa, experimentação e modelação matemática poderiam acarretar resultados sólidos sobre a realidade. Se tivessem parado ali, não teríamos a ciência moderna em lugar algum. Se os Filósofos tivessem interrompido as discussões entre si sobre a natureza dos átomos, ou se realmente são átomos (no século V a. C.), provavelmente nunca desenvolveriam métodos adequados para evidenciar se existem os átomos. É equivocado afirmar que devemos propor métodos confiáveis de investigação antes que possamos formular questões relevantes. Perguntas difíceis e enigmáticas são as que conduzem à criação de novos métodos de investigação. Interrompa a formulação de tais questões e você interrompe a criação desses métodos de pesquisa. (MURCHO, 2006, p. 53-54)

De fato, além de a ciência brotar dessa índole humana em buscar aprender filosofando, temos outro fator bastante importante: um ser pensante é um ser crítico. Filosofar pode ser também uma forma de libertação. Como

um exemplo de tradição (como cita Murcho) no ensino, pode-se citar o ensino do Design Inteligente⁵ nas aulas de Ciências, adotado nas escolas Adventistas, Batistas e outras. Embora o ensino de concepções criacionistas para a origem dos seres vivos, Terra e Universo seja muito bem-vindo em disciplinas como a Filosofia ou Educação Religiosa, pois causa controvérsia e confronto diferentes crenças filosóficas e visões de mundo, soa bastante contestável a ideia de trazer o Design Inteligente para as aulas de Ciências da Natureza. Nos Estados Unidos há uma luta que vem sendo travada há muitos anos entre aqueles que defendem o ensino de teorias criacionistas em paralelo com as teorias evolucionistas e os que defendem o ensino apenas de teorias evolucionistas. Não serão expostos aqui todos os motivos alegados pelos criacionistas nesse intento, mas um deles chama atenção: alegam com razão que, de acordo com pesquisas, a maioria dos norte-americanos acredita no criacionismo. No entanto, nem a ciência nem as aulas de Ciências da Natureza são um fórum público, e não devem ser guiadas por uma simples regra de maioria, como bem argumenta Plutynski (2008).

Embora seja muito complicado (talvez impossível) definir um critério objetivo de demarcação entre ciência e pseudociência, não é por votação popular que se decide se uma teoria deve ser considerada como consensualmente aceita pelos cientistas nem mesmo como teoria alternativa. Também não é por votação popular que se decide o que ensinar nas escolas. Não há como sustentar uma postura educacional como essa em uma época na qual a Teoria da Evolução vem acumulando sucessos, já que há muitas evidências obtidas na especiação, macroevolução e microevolução (essa última forma de evolução é mais aceita pelos defensores do Design Inteligente). Embora o papel da Seleção Natural nesses processos ainda seja tema de discussão, a Teoria da Evolução incontestavelmente vem acumulando vitórias⁶ e o Design Inteligente não é aceito consensualmente pela

⁵ Forma moderna de criacionismo, que afirma que as características da natureza e sua dinâmica são atribuídas a uma *causa inteligente*. Por exemplo, a evolução das espécies é consequência, segundo seus defensores, não da seleção natural, mas sim dessa causa inteligente.

⁶ Ver, por exemplo, os trabalhos de Rice e Hostert (1993), Mayr (2002, p. 13-42), Coyne e Orr (2004) e Orr (2009). Para se ter um panorama de alguns resultados contemporâneos que evidenciam o quanto a Teoria da Evolução é bem-sucedida, veja os trabalhos de Kay e Schemske (2008), Mullen e Hoekstra (2008) e Schluter (2009).

comunidade científica⁷ sequer como merecedora de investigação. Além disso, a resposta “Deus criou isso ou aquilo” é uma resposta para qualquer pergunta, ou seja, caímos no regime teológico e acrítico: como bem coloca Koperski (2008), se há um criador para tudo, por que investir tanto tempo e dinheiro em pesquisas sobre origem da vida ou do universo?

Murcho (2006) segue dizendo:

Os cientistas têm, às vezes, que conceber métodos novos de investigação porque enfrentam problemas que os fazem repensar os fundamentos da teoria. Uma familiaridade apropriada com a Filosofia pode lhes conceder uma certa vantagem porque este é precisamente o que nós fazemos na filosofia: insistimos em pensar racionalmente mesmo quando não há nenhum método conhecido à disposição para pensar racionalmente sobre um dado problema particular. Ao agirmos assim, nós inspiramos cientistas a pensar de forma original e criativa e criar novos métodos racionais de investigação. Nós mapeamos o território possível, por assim dizer, antes que qualquer um possa realmente vir a ele e verificar. Muitos dos resultados científicos atuais eram enigmas filosóficos séculos atrás e é difícil crer que toda a ciência realmente inovadora possa ser feita se nos recusarmos a encarar os enigmas filosóficos baseando-nos no fato de que esses enigmas não são científicos, que não são problemas bem-comportados. (MURCHO, 2006, p. 54)

Em um rápido olhar histórico, parece que a Filosofia desempenha realmente uma função importante em épocas de crise com fundamentos de teorias aparentemente sólidas. Um exemplo disso ocorreu no advento da Física Quântica, no início do século XX. Sem dúvida, tal teoria é uma das mais bem-sucedidas de todos os tempos e é consensualmente muito bem aceita. Um dos seus aspectos fundamentais, a *Dualidade Onda-Partícula*, foi qualificado por Richard Feynman, quando aborda o fenômeno da interferência quântica no *Lectures on Physics*, como “o único mistério” da Física Quântica. Segundo Feynman (1963b):

⁷ É aceito apenas pelos cientistas criacionistas, obviamente.

[...] um fenômeno que é impossível, absolutamente impossível, de se explicar por qualquer maneira clássica, e que tem em si o coração da mecânica quântica. Na realidade, ele contém o único mistério. (FEYNMAN, LEIGHTON e SANDS, 1963b, p. 1-1)

A Dualidade Onda-Partícula foi considerada, durante um bom tempo, o aspecto fundamental da Física Quântica, que levantou problemas conceituais e filosóficos bastante desafiadores (ASPECT, 2006). A formulação probabilística da Física Quântica (que foi finalizada em 1927) descreve matematicamente o fenômeno da interferência quântica, mas a ontologia do objeto quântico⁸ é assunto de discussão. Embora a Física Quântica seja bastante preditiva, pois tem sucesso em prever diversos resultados obtidos experimentalmente (inclusive a interferência quântica), ela é bastante enigmática. As interpretações filosóficas, subjacentes à teoria, têm então um papel importante no sentido de melhor compreender a natureza do mundo microscópico. Segundo Pessoa Jr. (1997; 2002; 2003; 2006) tais interpretações possuem basicamente o caráter ontológico (natureza ondulatória ou corpuscular do objeto quântico) e epistemológico (basicamente positivista ou realista⁹).

Com relação à ontologia, uma interpretação pode conceber um objeto quântico de maneira corpuscular, ondulatória ou dualista. Quanto às atitudes epistemológicas, as duas básicas são realismo e positivismo. Com estas categorias, encontramos quatro grandes grupos interpretativos. (PESSOA JR., 2002, p. 108)

Ainda segundo Pessoa Jr. (2006, p. 2), existem pelo menos quinze interpretações diferentes propostas da Física Quântica. Isso mostra a Filosofia adjacente a uma teoria científica muito bem-sucedida, no sentido de interpretar a natureza dos sistemas quânticos. É uma forma de “pensar racionalmente mesmo quando não há nenhum método conhecido à

⁸ Elétrons, fótons, qualquer partícula, pode ser chamado de objeto quântico. São objetos que não obedecem a teorias deterministas da Física Clássica.

⁹ A corrente do positivismo que inspira a Escola de Copenhague é chamada *positivismo lógico*. O texto de Silveira (1990) trata esse assunto em detalhe.

disposição para pensar racionalmente sobre um dado problema particular”, como afirma Murcho (2006, p. 54).

Com a percepção, em 1935, de que o formalismo da Física Quântica permitia o estranho efeito do *emaranhamento*, novamente a teoria mostrava seu caráter enigmático e completamente não intuitivo. Esse é o famoso paradoxo *EPR*, formulado por Einstein e seus colaboradores Boris Podolsky e Nathan Rosen. Essa estranha correlação que existe entre partículas separadas parecia realmente indicar que a teoria estava incompleta. Anos se passaram e John Bell, em 1964, publicou um artigo reavaliando o paradoxo *EPR*. A partir desse ponto, viu-se que o emaranhamento não poder ser reduzido a Dualidade Onda-Partícula é, de fato, um novo *mistério* e é tido hoje como o segundo aspecto fundamental da Física Quântica e foi o que deflagrou a chamada *segunda revolução quântica* (ASPECT, 2006, p. xii). É interessante notar que o emaranhamento e os problemas conceituais (como o paradoxo *EPR*) levantados fizeram com que se desenvolvessem métodos de observação dos objetos quânticos que esclareceram muito a respeito do seu comportamento. Nesse sentido, a Epistemologia teve um papel bastante significativo. Einstein sabidamente não concordava com a Física Quântica, por questões fundamentalmente filosóficas. Segundo Auletta (2001), “o objetivo do artigo sobre o *EPR* seria mostrar, por meio de um experimento mental (*Gedankenexperiment*), que a Mecânica Quântica não é uma teoria física completa” (AULETTA, 2001, p. 531). Ou seja, por meio de um experimento mental, os autores contestaram as bases da Física Quântica. Na década de 80 não só se mostrou que o *EPR* não era um paradoxo da Física Quântica: era uma previsão.

Enigmas filosóficos que impulsionaram a ciência podem ser encontrados ao longo da História. Um exemplo será visto a seguir.

1.3 Um exemplo de como a filosofia é propulsora da ciência: os incomensuráveis da Matemática dos pitagóricos

É sabido que os antigos gregos, principalmente a partir do século VI a. C., começaram a estabelecer as bases do que hoje se chama de *Ciência Moderna*. Os Gregos eram impelidos por uma curiosidade imensa a respeito da natureza,

investigando desde a estrutura microscópica da matéria até a estrutura do cosmos. Sua apreciação pela complexidade, beleza e, em muitos casos, a regularidade dos processos naturais os levou a um patamar bastante elevado em relação a outras civilizações. Além disso, não se ocupavam em estudar a natureza apenas: a Filosofia pura era um núcleo muito forte entre os antigos intelectuais gregos. Sabe-se que a Matemática teve suas raízes nela. A Matemática grega antiga, em toda a sua estrutura, era bastante diferente, por exemplo, da Matemática desenvolvida pelos Egípcios ou Babilônios¹⁰, que era fracamente estruturada e praticamente toda voltada para a resolução de problemas práticos. Essa parte da ciência grega antiga, talvez a mais conhecida, teve seu apogeu no período Helenístico (aproximadamente entre 323 a. C. e 146 a. C.).

Estima-se que por volta de 582 a. C., portanto no período clássico, nascia em Samos, Pitágoras. Samos era tida como uma potência comercial e científica no mundo antigo (CHASSOT, 2000). Pitágoras era tido como um místico e um profeta, tendo feito viagens ao Egito, Babilônia e Índia, absorvendo não apenas conhecimento em Astronomia e Matemática, mas também em Religião e Filosofia. De volta à Grécia, diz-se que ele estabeleceu uma sociedade secreta em Crotona (que hoje está na Itália). As contribuições de Pitágoras e de seus discípulos (chamados *Pitagóricos*) na geometria e na aritmética ainda hoje são utilizadas e ao seu grupo é atribuído o mérito de ter dado o início à Matemática como uma ciência racional (CARRUCCIO, 2006). Muito do que se sabe sobre Pitágoras (ou sobre os Pitagóricos) se deve a Aristóteles e Platão (428/427 a. C. – 348/347 a. C.). Aristóteles se refere várias vezes aos Pitagóricos e seu trabalho em textos que hoje estão disponíveis. Em um deles, ele diz:

¹⁰ Embora a Matemática desenvolvida pelos Babilônios também tenha caráter bastante prático, ao menos aparentemente, há autores que a consideram melhor desenvolvida do que a egípcia, uma vez que o seu sistema de numeração (sexagesimal) era bastante mais sofisticado, bem como os problemas propostos. Há diversos registros dos antigos escribas babilônios de problemas complexos, propostos sem nenhuma aplicação prática em vista. O objetivo parecia ser apenas de aperfeiçoamento. Para uma discussão detalhada, ver Hodgkin (2004, p. 14 a 32). Quanto aos egípcios, quando algumas poucas considerações teóricas apareciam nos famosos papiros de Rhind, Ahmes, Kahun e outros, estavam ali mais para facilitar as técnicas de resolução de problemas de origem prática do que para, de fato, compreender as questões ali tratadas (BOYER e MERZBACH, 1991).

Os famosos Pitagóricos, tendo iniciado a realizar pesquisas matemáticas e tendo grande progresso nela, foram levados pelos seus estudos a assumir que os princípios usados na Matemática se aplicam a todas as coisas que existem. Os primeiros que foram trazidos a esse patamar foram, por sua natureza, os números, nos quais eles encontraram muito mais analogias com tudo o que existe e acontece no mundo do que o que pode ser encontrado no fogo, terra e água. Tendo eles percebido que as propriedades e as relações da harmonia musical correspondem a relações numéricas e que em outros fenômenos naturais são encontradas analogias correspondentes a números, eles estavam mais dispostos do que nunca a dizer que os elementos de todas as coisas existentes eram encontrados nos números e que todo o céu era proporção e harmonia. (CARRUCCIO, 2006, p. 24)

Claro que o conceito de números para os Pitagóricos não era exatamente o conceito moderno e, de fato, o grupo de Pitágoras nutria uma verdadeira adoração por esses “números”.

Os números, para os Pitagóricos, estavam fortemente vinculados ao conceito de *mônada* ($\mu\omicron\nu\acute{\alpha}\delta\alpha$ – unidade em grego). Essa seria a menor unidade de grandeza possível no universo, o princípio de tudo: dela vêm os pontos, depois as linhas, as figuras planas; as sólidas e desses últimos os corpos que observamos na natureza (CARRUCCIO, 2006, p. 25). A mônada é indivisível e possui dimensão muito pequena, mas não nula, e nada podia ser menor do que ela. Portanto, qualquer medida no mundo deveria ser no mínimo de uma mônada. Tanto as medidas de espaço (por exemplo, o comprimento) quanto as medidas de tempo, segundo eles, apresentavam essa estrutura descontínua.

Parecia tudo bastante coerente para os Pitagóricos. Restringiremos-nos aqui às medidas de espaço, seguindo seu raciocínio, por exemplo, na teoria da medida. O problema da medida e a escolha de padrões ou unidades de medida já eram conhecidos na Antiguidade, como mostrado na figura a seguir.

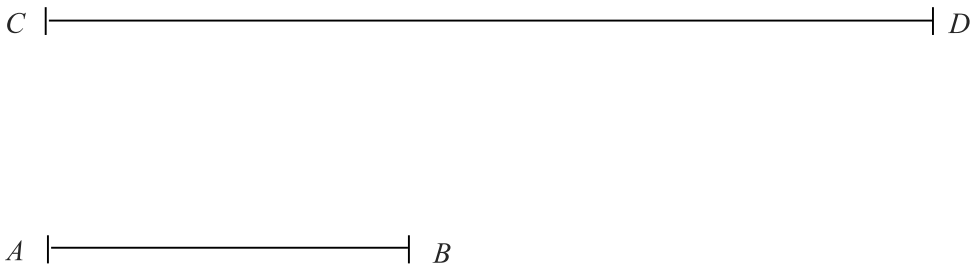


Figura 1: Padrões de medida. Se o comprimento do segmento de reta for tomado como padrão de medida de comprimento, o comprimento do segmento será dado em termos desse padrão, como veremos a seguir.

De acordo com os Pitagóricos, qualquer reta era uma simples justaposição de diversas mônadas e seu comprimento seria a soma dos comprimentos de cada mônada. Entre uma mônada e sua adjacente, não existia nada além de um espaço vazio, um intervalo. Não poderíamos ver esse espaço vazio, pois as mônadas são muito pequenas para os olhos enxergarem e, portanto, de acordo com os Pitagóricos, a reta nos parece contínua. Na figura 1 estão desenhados dois segmentos de reta. O segmento \overline{CD} tem um comprimento maior do que o segmento \overline{AB} e, portanto, se este segmento possui m mônadas e o segmento \overline{AB} possui n mônadas, deveremos ter que $m > n$. Não é conveniente tomar as mônadas como padrão ou unidade de medida de comprimento, pois elas são muitíssimo pequenas. Ao invés disso, escolhe-se uma unidade mensurável como, por exemplo, o segmento \overline{AB} . Então, se o comprimento de uma mônada é ℓ_m , podemos dizer que a medida do comprimento de \overline{CD} , tomando como unidade de medida o comprimento do segmento \overline{AB} , é:

$$\frac{\overline{CD}}{\overline{AB}} = \frac{m \times \ell_m}{n \times \ell_m} = \frac{m}{n} \quad (1)$$

Logo, a medida do segmento \overline{CD} tomando como unidade o segmento \overline{AB} será expressa sempre por um número fracionário m/n , segundo a teoria Pitagórica das mônadas. Um número que pode ser expresso pela razão de dois números inteiros é modernamente denominado *número racional*. Então, segundo essa teoria, qualquer comprimento ou quantidade medida seria expresso na forma m/n , ou seja, seria um número racional.

Foi Zenão (490 a. C. – 430 a. C.), outro grego ilustre, quem contestou de forma contundente a teoria das mônadas. Seu argumento era simples:

Como querem que a reta seja formada por corpúsculos justapostos? Com efeito, entre dois corpúsculos deve haver um espaço. Se assim não fosse, como distinguiríamos um do outro? Este espaço deve ser maior do que as dimensões dos corpúsculos, pois eles são as menores coisas que existem. Então, entre duas mônadas (A e B , por exemplo) posso intercalar uma terceira. Seja C essa mônada. Entre C e B deve haver ainda um espaço maior do que uma mônada; então posso intercalar outra mônada nesse espaço. Posso repetir este raciocínio indefinidamente de modo que sempre poderei colocar uma mônada entre outras duas. Então, pergunto a vocês pitagóricos, que número (quantas mônadas) corresponde o segmento \overline{AB} ? (OLIVEIRA e SILVA, 1968, p. 135)

Zenão pertencia aos Eleáticos, um movimento filosófico rival dos Pitagóricos (BOYER e MERZBACH, 1991). Esse grupo estava sediado em Eléa, uma colônia grega ao sul da Itália. Foi ele um dos primeiros a pensar no *infinito*, uma abstração que derrubou a teoria das mônadas, ou seja, toda a crença em espaço e tempo com estrutura descontínua pregada pelos Pitagóricos. Com isso, Zenão estava indiretamente propondo uma nova classe de números, que só pode existir admitindo-se a existência de uma estrutura contínua. Hoje, quando falamos que entre um número e outro podemos colocar infinitos números, basicamente estamos admitindo o *contínuo*, e mais, dizendo que a mônada tem dimensão nula. Embora a crença de um mundo com estrutura contínua tenha levado a alguns paradoxos, principalmente no que se refere à noção de movimento, ela foi aceita. Um dos paradoxos famosos, proposto por Zenão é o seguinte:

Um objeto se move de um ponto a outro no espaço. Antes dele se mover em uma dada distância, ele deve percorrer a primeira metade dessa distância. Porém, para percorrer a metade dessa distância, ele deve percorrer antes o primeiro quarto dessa distância. Indo além, para percorrer o primeiro quarto, ele deve antes percorrer o primeiro oitavo dessa distância. Ou seja, ele deve percorrer um número infinito de subdivisões, nunca chegando ao seu destino. (BOYER e MERZBACH, 1991, p. 75, tradução nossa)

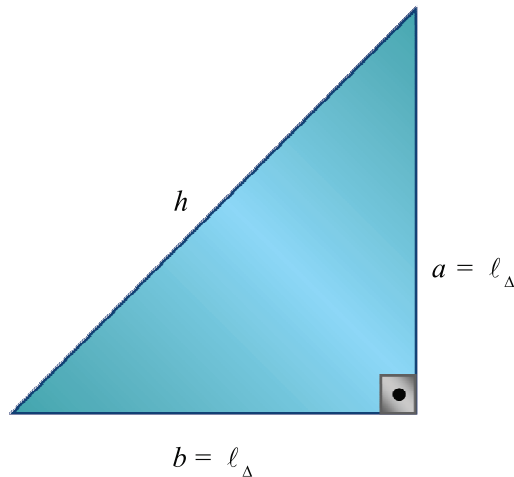


Figura 2: O triângulo retângulo com catetos de igual comprimento.

Esse aparente paradoxo pode ser solucionado com a teoria de séries, desenvolvida muito posteriormente. Mostra-se com ela, que embora o número de subdivisões entre dois pontos seja infinito, a soma de todos os comprimentos de todas essas subdivisões é finita (o que é óbvio) e, portanto, a soma dos tempos que o objeto leva para percorrer cada subdivisão também é. Logo, não há incompatibilidade entre a ideia de um espaço contínuo e o movimento.

Ironicamente foram os próprios Pitagóricos que acabaram dando um duro golpe na sua própria teoria (OLIVEIRA e SILVA, 1968). Com o seu famoso Teorema de Pitágoras, que diz que em um triângulo retângulo teremos o quadrado da hipotenusa igual à soma dos quadrados dos catetos, calcularam a hipotenusa de um triângulo retângulo cujos catetos tinham o mesmo comprimento.

Nesse caso, quanto vale o quociente entre a medida da hipotenusa e a medida dos catetos desse triângulo retângulo? Na figura 2 está desenhado o triângulo em questão: Nesse triângulo retângulo, podemos aplicar o Teorema de Pitágoras, escrevendo:

$$h^2 = a^2 + b^2 = \ell_{\Delta}^2 + \ell_{\Delta}^2 = 2\ell_{\Delta}^2 \quad (2)$$

A equação pode ser reescrita como a equação , se tomarmos como unidade de medida o comprimento dos catetos ℓ_{Δ} . Teremos então que:

$$\frac{h^2}{\ell_{\Delta}^2} = 2$$

De acordo com (1) , sendo $\overline{CD} \equiv h$ e $\overline{AB} \equiv \ell_{\Delta}$, teremos que:

$$\frac{h^2}{\ell_{\Delta}^2} = \frac{m^2}{n^2} = 2 \quad (3)$$

Ou seja, estamos supondo que no comprimento h tem m mônadas e no comprimento ℓ_{Δ} temos n mônadas, exatamente como no caso dos segmentos de reta \overline{AB} e \overline{CD} . Os Pitagóricos tentaram em vão obter dois números inteiros cuja razão entre seus quadrados fosse igual a dois. Não existem dois números inteiros m e n cujo quociente m^2/n^2 resulte em 2. Sabe-se que, se for possível, isso leva a uma contradição em relação à paridade de m e n ¹¹. Foi assim que os Pitagóricos perceberam o problema desse tipo de número, o qual denominaram *incomensurável*. Mas por que alguns números podem ser expressos como uma razão de dois números inteiros e outros não? Em resumo, a parte fracionária de um número racional ou tem um número finito de algarismos ou, se tem infinitos algarismos, eles se repetem (díxima periódica). Os números irracionais apresentam infinitos algarismos na sua parte fracionária que não apresentam nenhuma periodicidade. Se o leitor desejar aprofundar o assunto, ele está desenvolvido no apêndice 1 (seção 7.1). Note que o conceito de mônada era importante em toda a Filosofia dos Pitagóricos. Igualmente, o conceito de *infinito* era presente na Filosofia dos Eleáticos. Todos esses conceitos são criações humanas não decorrentes de qualquer experiência sensível e, até hoje, estão presentes na Matemática. A Matemática e a Filosofia são indissociáveis, o mesmo ocorrendo com as outras ciências.

¹¹ Ver, por exemplo, as obras de Burton (1985, p. 111-112) ou Carruccio (2006, p. 27). Essa demonstração está reproduzida no apêndice 1 (seção 7.3).

Capítulo 2

A ATIVIDADE CIENTÍFICA

2.1 A ciência possui um método de investigação único?

Costuma-se dizer que a ciência tem um método para estudar os fenômenos naturais e este método recebe o nome de *método científico*. Ele começa invariavelmente na *observação isenta* dos fenômenos. Primeiramente, discutir sobre um pretensão método geral para a ciência passa por discutir o que é ciência. Essa discussão seria extremamente complexa e, ao menos até hoje, não há uma única definição para o que vem a ser ciência. Mas esse método tem raízes históricas que remontam ao século XVII. Atribui-se ao inglês Francis Bacon (1561-1626) o estabelecimento de um método para a ciência. Desde o século XX esse método vem sendo duramente criticado, suas variações decorrentes ainda se fazem presentes em boa parte dos livros didáticos de Ciências (MOREIRA e OSTERMANN, 1993). Nesse capítulo será abordado em detalhe o método proposto por Bacon, bem como as críticas que são feitas a ele.

2.2 Sobre Francis Bacon

O inglês Francis Bacon era advogado, político, ensaísta¹², e é considerado por muitos como o inventor do método científico. Bacon era um crítico da

¹² Ele era considerado um grande escritor. Tão reconhecido era que se especula que ele (em conjunto com alguns outros contemporâneos) tenham sido os verdadeiros autores de muitas das obras de William Shakespeare (HOPE e HOLSTON, 2009). Embora tenha fundamento, essa tese é rejeitada pela maioria dos especialistas em Shakespeare.

ciência e da filosofia de sua época, as quais considerava inócuas. Para ele, o debate científico estava impregnado de concepções teológicas e infestado de senso comum, crendices e pressupostos metafísicos que não levavam a lugar algum. Enquanto isso, as chamadas artes mecânicas, odiadas pelos teóricos intelectuais da época, tinham feito grandes avanços. A imprensa de Gutenberg, a pólvora e a bússola são exemplos desse sucesso das artes mecânicas, que não foram superadas ou igualadas por nenhum avanço significativo na ciência teórica ou na filosofia da época. Os maiores filósofos gregos, segundo criticava Bacon, dedicaram excessivo tempo à teoria e muito pouco tempo à observação. No prefácio do *Novum Organum*, publicado originalmente em 1620, Bacon argumenta (tradução da página mostrada na figura 5):



Figura 3: Francis Bacon (1561 – 1626). Bacon era advogado, político, ensaísta, e é considerado como o inventor do método científico.

Que haja (pois talvez seja propício para ambas as partes) duas fontes de geração e de propagação de doutrinas. Que haja igualmente duas famílias de cultores da reflexão e da filosofia, com laços de parentesco entre si, mas de modo algum inimigas ou alheia uma da outra, antes pelo contrário coligadas. Que haja, finalmente, dois métodos, um destinado ao cultivo das ciências e outro destinado à descoberta científica. Aos que preferem o primeiro caminho, seja por impaciência, por injunções da vida civil, seja pela insegurança de suas mentes em compreender e abarcar a outra via (este é, de longe, o caso da maior parte dos homens), a eles desejamos que sejam bem sucedidos no que escolheram e que consigam alcançar aquilo que

buscam. Mas aqueles dentre os mortais, mais animados e interessados, não no uso presente das descobertas já feitas, mas em ir mais além; que estejam preocupados, não com a vitória sobre os adversários por meio de argumentos capciosos, mas na vitória sobre a natureza, pela ação; não em emitir opiniões elegantes e prováveis, mas em conhecer a verdade de forma clara e manifesta; esses, como verdadeiros filhos da ciência, que se juntem a nós, para, deixando para trás os vestibulos das ciências, por tantos palmilhados sem resultado, penetrarmos em seus recônditos domínios. E, para sermos melhor atendidos e para maior familiaridade, queremos adiantar o sentido dos termos empregados. Chamaremos ao primeiro método ou caminho de

Antecipação da Mente e ao segundo de *Interpretação da Natureza*. (BACON, 1779, p. A4-A5)

Sin itaque (quod felix faustumque sit utrique parti) duæ doctrinarum emanationes, ac duæ dispensationes, duæ similiter contemplantium sive philosophantium tribus, ac velut cognationes, atque illæ neutiquam inter se inimicæ, aut alienæ, sed fœderatæ, & mutuis auxiliis devinctæ: sit denique alia scientiæ colendi, alia inveniendi ratio. Atque quibus prima potior & acceptior est, ob festinationem, vel vitæ civilis rationes, vel quod illam alteram ob mentis infirmitatem capere & complecti non possint; (id quod longe plurimis accidere necesse est) optamus, ut iis feliciter & ex voto succedat quod agunt; atque ut quod sequuntur, teneant. Quod si cui mortalium cordi & curæ sit, non tantum inventis hæerere, atque iis uti, sed ad ulteriora penetrare; atque non disputando adversarium, sed opere naturam vincere; denique, non belle & probabiliter opinari, sed certo & ostensive scire; tales, tanquam veri scientiarum filii, nobis (si videbitur) se adjungant; ut omiſſis naturæ atriis, quæ infiniti contriverunt, aditus aliquando ad interiora pateſcat. Atque ut melius intelligamur, utque illud ipsum quod volumus, ex nominibus impositis magis familiariter occurrat; altera ratio, sive via, *anticipatio mentis*; altera *interpretatio naturæ*, a nobis appellari consuevit.

Figura 4: Texto extraído do prefácio do *Novum Organum* (edição de 1779). Por questões de clareza, foi feito um trabalho artístico no original para que o texto coubesse em uma página. Aqui, algumas das ideias essenciais de Bacon são explicitadas. A tradução encontra-se na citação anterior.

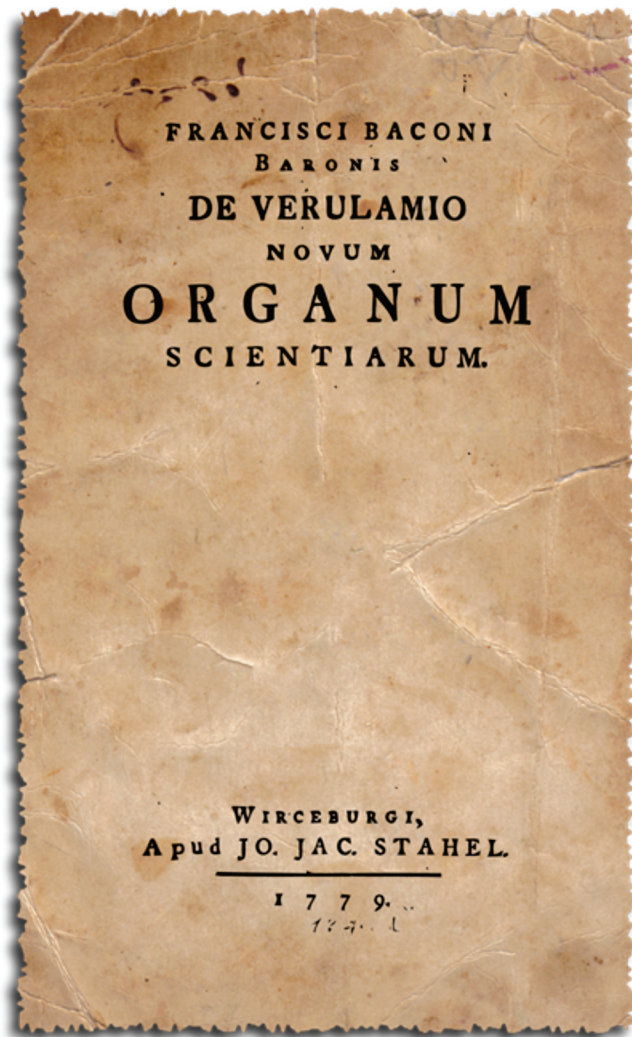


Figura 5: Capa de uma edição de 1779 do livro *Novum Organum*. Graças a essa obra, Bacon é tido como o pai da ciência moderna.

Nas palavras de Bacon, vê-se sua forte propensão a considerar a existência de provas ou certezas da veracidade de argumentos pela conquista da natureza por experimentos, em detrimento da argumentação metafísica (*capciosa* como ele mesmo diz). Nesse contexto, Bacon conclui que o conhecimento só será realmente produtivo se a filosofia e a tecnologia andarem juntas. Ao invés de concentrar esforços em debates teóricos e na pseudociência, os cientistas deveriam observar a natureza e, a partir disso, esboçar conclusões contundentes, criando ferramentas concretas para testá-las.

Bacon pensa, então, que a ciência deve se basear não em meras especulações teóricas, em metafísica ou mesmo na criatividade. Deve sim, se basear na experimentação e na indução (partindo-se dos fatos concretos e particulares, como aparecem na experiência, elevamo-nos até as formas gerais, que constituem as leis) e apenas daí pode brotar o verdadeiro conhecimento.

A filosofia de Bacon obviamente considera que especulação, criatividade, pré-concepções do investigador e outros, não devem ter papel importante na atividade científica, pois podem contaminar o intelecto. Se todo conhecimento verdadeiro deriva de fato da observação e do experimento, como ele acreditava, qualquer tipo de suposição prévia só iria, provavelmente, distorcer a percepção e a interpretação do mundo. Imediatamente após o prefácio do *Novum Organum*, Bacon enumera uma série de proposições, chamadas de aforismos. Para se ter um bom panorama do pensamento baconiano, é interessante citar explicitamente alguns desses aforismos. Por exemplo, no aforismo 36, Bacon argumenta:

Resta-nos um único e simples método, para alcançar os nossos intentos: levar os homens aos próprios fatos particulares e às suas séries e ordens, a fim de que eles, por si mesmos, se sintam obrigados a renunciar temporariamente às suas noções e comecem a habituar-se ao trato direto dos fatos. (BACON, 1779, p. 6)

Quando Bacon diz que é possível e necessário ao ser humano “renunciar temporariamente às suas noções”, ele diz que o homem deve se despir das suas concepções prévias a respeito dos fatos. Ele crê, como já dito, que essas concepções “contaminam” a mente e distorcem a percepção da realidade. No aforismo 37, Bacon se coloca contra a postura filosófica dos cientistas da sua época, que assumem uma impossibilidade de conhecer os fatos tais como são (que ele chama de acatalepsia). Além disso, afirma serem os argumentos falaciosos, produto da mente contaminada, a causa dessa acatalepsia:

Coincidem, até certo ponto, em seu início, o nosso método e o método daqueles que usam da acatalepsia¹³. Mas ao final, imensa distância nos separa e nos opõe daqueles que, com efeito, afirmam cabalmente que nada pode ser conhecido. De nossa parte, dizemos que não se pode conhecer acerca da natureza, com auxílio dos procedimentos

¹³ Aqui entendida como a impossibilidade de compreender os fatos.

que ora estão em uso. E, indo mais longe, esses procedimentos destroem a autoridade dos sentidos e do intelecto, enquanto que nós, ao contrário, os ajudamos e lhes subministramos auxílios. (BACON, 1779, p. 20, grifo nosso)

Note que Bacon atribui grande importância aos *sentidos*. Em grego moderno, a palavra *empeiría* (εμπειρία) pode ser traduzida como *experiência* (no caso, experiência dos sentidos). Bacon é certamente um empirista¹⁴. No prefácio, Bacon destaca essa importância, bem como o cuidado que se deve ter com o trabalho mental. Mesmo reconhecendo o alcance limitado dos sentidos, ele o considera mais importante do que o trabalho mental, quando o homem se engaja na compreensão da natureza:

Nosso método, contudo, é tão fácil de ser apresentado quanto difícil de se aplicar. Consiste no estabelecer os graus de certeza, determinar o alcance exato dos sentidos e rejeitar, na maior parte dos casos, o labor da mente, calcado muito de perto sobre aqueles, abrindo e promovendo, assim, a nova e certa via da mente, que, de resto, provém das próprias percepções sensíveis. (BACON, 1779, p. A2, grifo nosso)

Ao confiar aos sentidos o poder da observação, mesmo reconhecendo esses sentidos como limitados, Bacon ensaia a proposição de um método. Em conjunto com os sentidos, esse método deveria levar o homem ao conhecimento sobre a natureza. No aforismo 19, Bacon afirma:

Só há e só pode haver duas vias para a investigação e para a descoberta da verdade. Uma, que consiste no saltar-se das sensações e das coisas particulares aos axiomas mais gerais e, a seguir, descobrirem-se os

¹⁴ Como outros exemplos de empiristas, podemos citar Aristóteles (384 a. C. – 322 a. C.), Thomas Hobbes (1588 – 1679), John Locke (1632 – 1704), George Berkeley (1685 – 1753) e David Hume (1711 – 1776). Aristóteles foi quem pronunciou a célebre frase “não há nada no intelecto que não tenha estado antes nos órgãos dos sentidos” (LOSEE, 2001, p. 93). David Hume pronunciou uma frase parecida: “todas as nossas ideias não passam de cópias das nossas impressões, ou, em outras palavras, é impossível para nós pensar em qualquer coisa que não tenhamos anteriormente sentido, quer pelos nossos sentidos externos ou internos” (LOSEE, 2001, p. 93).

axiomas intermediários a partir desses princípios e de sua imóvel verdade. Esta é a que ora se segue. A outra, que recolhe os axiomas dos dados dos sentidos e particulares, ascendendo contínua e gradualmente até alcançar, em último lugar, os princípios de máxima generalidade. Este é o verdadeiro caminho, porém ainda não instaurado. (BACON, 1779, p. 15, grifos nossos)

Bacon ressalta a elaboração de axiomas a partir dos dados, sentidos e de eventos particulares, que conduziriam o homem em direção à elaboração de leis gerais. Esse processo é conhecido como indução e, por isso, sua linha de pensamento é dita *empirista-indutivista*. É no aforismo 50 que Bacon justifica com ênfase a necessidade da experiência que, em conjunto com os sentidos, pode constituir o método que ele defende. Nesse aforismo, Bacon afirma:

Mas os maiores embaraços e extravagâncias do intelecto provêm da obtusidade, da incompetência e das falácias dos sentidos. E isso ocorre de tal forma que as coisas que afetam os sentidos preponderam sobre as que, mesmo não o afetando de imediato, são mais importantes. Por isso, a observação não ultrapassa os aspectos visíveis das coisas, sendo exígua ou nula a observação das invisíveis. Também escapam aos homens todas as operações dos espíritos latentes nos corpos sensíveis. Permanecem igualmente desconhecidas as mudanças mais sutis de forma das partes das coisas mais grossas (costuma-se chamar a isso de alteração, quando na verdade se trata de translação) em espaços mínimos. Até que fatos, como os dois que indicamos, não sejam investigados e esclarecidos, nenhuma grande obra poderá ser empreendida na natureza. E ainda a própria natureza do ar comum, bem como de todos os corpos de menor densidade (que são muitos), é quase por completo desconhecida. Na verdade, os sentidos, por si mesmos, são algo débil e enganador, nem mesmo os instrumentos destinados a ampliá-los e aguçá-los são de grande valia. E toda verdadeira interpretação da natureza se cumpre com instâncias e experimentos oportunos e adequados, onde os sentidos julgam somente o experimento e o experimento julga a natureza e a própria coisa. (BACON, 1779, p. 27-28)

Para que seja possível atingir um estado de neutralidade na investigação, Bacon ressalta a importância do homem se libertar de crenças, pré-concepções e qualquer coisa que possa influir negativamente no seu poder de julgamento. Pouco após o aforismo 37, encontram-se alguns aforismos onde ele simbolizava as pré-concepções pelo que ele chamava de *ídolos* (BACON, 1779), sendo ao todo quatro. Esses seriam os grandes obstáculos da busca do conhecimento científico e são coisas das quais o cientista deveria se libertar. No aforismo de número 40, Bacon introduz o conceito de *ídolo* da seguinte forma:

A formação de ideias e axiomas pela verdadeira indução é, sem dúvida, o remédio apropriado para afastar e repelir os ídolos. Será, contudo, de grande utilidade indicar no que esses ídolos consistem, já que a doutrina dos ídolos tem relação com a interpretação da natureza na mesma medida que os argumentos falaciosos se relacionam com a lógica vulgar. (BACON, 1779, p. 20-21)

É interessante a relação que ele aponta: argumentos teológicos, metafísicos e, portanto, falaciosos, contaminam a lógica, assim como os ídolos contaminam os sentidos e, portanto, distorcem a interpretação da natureza. Segundo ele, os ídolos são quatro. São eles:

- **Os ídolos da tribo:**

Os ídolos da tribo estão fundamentados na própria natureza humana, na própria tribo¹⁵ ou espécie humana. É falsa a asserção de que os sentidos do homem são a medida das coisas. Muito ao contrário, todas as percepções, tanto dos sentidos como da mente, guardam analogia com a natureza humana e não com o universo. O intelecto humano é semelhante a um espelho que reflete desigualmente os raios das coisas e, dessa forma, as distorce e corrompe (BACON, 1779, p. 21).

¹⁵ Bacon empregou a palavra *tribo* para designar a espécie humana.

- **Os ídolos da caverna:**

Os ídolos da caverna¹⁶ são os dos homens como indivíduos. Pois, cada um — além das aberrações próprias da natureza humana em geral — tem em si uma caverna ou uma cova que intercepta e corrompe a luz da natureza, seja devido à natureza própria e singular de cada um; seja devido à educação ou conversação com os outros; seja pela leitura de livros ou pela autoridade daqueles que são respeitados e admirados; seja pelas diferenças em como o ambiente afeta a pessoa, se está ocupada pensando em algo e se torna preconceituosa contra a internalização de um conhecimento específico ou se está calma e com a mente aberta em relação a esse mesmo conhecimento; de tal forma que o espírito humano — tal como se acha disposto em cada um — é algo aleatório, sujeito a múltiplas perturbações e, até certo ponto, sujeito ao acaso. Por isso, bem proclamou Heráclito¹⁷ que os homens fazem buscas em seus pequenos mundos e não no grande ou universal (BACON, 1779, p. 22).

- **Os ídolos do foro:**

Há também os ídolos provenientes, de certa forma, da interação e da associação recíproca dos humanos entre si, a que chamamos de ídolos do foro¹⁸ devido ao comércio e negócios entre os homens. Com efeito, os homens se associam graças ao diálogo e as palavras refletem formas comuns de pensar. E essas palavras, impostas de maneira imprópria e inepta, bloqueiam espantosamente o intelecto. Nem as definições, nem as explicações com as quais os homens estudados se munem e se

¹⁶ Há, nesse nome, uma correlação com a *Alegoria da Caverna* de Platão (ver o Apêndice 2, na página 93).

¹⁷ A citação de Heráclito à qual Bacon se refere aqui é a seguinte: “[...] convém que se siga a razão universal, quer dizer a razão comum, uma vez que o universal é o comum. Mas, embora essa razão seja universal, a maioria das pessoas vive como se tivesse uma inteligência absolutamente pessoal”.

¹⁸ Foro era um tipo de praça pública na Roma antiga. Era nesse sentido que Bacon empregava essa palavra.

defendem, em certos domínios, restituem as coisas ao seu lugar. Ao contrário, as palavras forçam o intelecto e o perturbam por completo. E os homens são, assim, arrastados a inúmeras e inúteis controvérsias e fantasias (BACON, 1779, p. 22).

- **Os ídolos do teatro:**

Há, por fim, ídolos que imigraram para o espírito dos homens por meio das diversas doutrinas filosóficas e também pelas regras viciosas da demonstração. São os ídolos do teatro: por parecer que as filosofias adotadas ou inventadas são outras tantas fábulas, produzidas e representadas, que figuram mundos fictícios e teatrais. Não nos referimos apenas às que ora existem ou às filosofias e seitas dos antigos. Inúmeras fábulas do mesmo teor se podem reunir e compor, porque as causas dos erros mais diversos são quase sempre as mesmas. Ademais, não pensamos apenas nos sistemas filosóficos, na universalidade, mas também nos numerosos princípios e axiomas das ciências que entraram em vigor, mercê da tradição, da credulidade e da negligência. Contudo, falaremos de forma mais ampla e precisa de cada gênero de ídolo, para que o intelecto humano esteja acautelado. (BACON, 1779, p. 23).

Os ídolos podem ser interpretados como crenças populares, superstições e até dogmas religiosos. Na época de Bacon, essas crenças, superstições ou dogmas religiosos eram comumente usados como argumentos válidos no debate científico. Assim, a teoria de Bacon pode realmente ser considerada um avanço para a época e o contexto na qual ela floresceu. No entanto, atualmente, a pesquisa em Ensino de Ciências mostra que é impossível (e até indesejável) que um ser humano se liberte completamente desses ídolos. Mesmo os cientistas experientes possuem expectativas, desejos, podem ser adeptos de uma religião e até mesmo ter superstições. Mesmo que não tragam explicitamente suas crenças para o debate científico e não façam uso de argumentos teológicos como faziam os teóricos da época de Bacon, eles não são observadores neutros da natureza, não sendo livres, portanto, de pré-concepções e teorias. Bacon pregava justamente essa neutralidade na observação. Por que seria indesejável que o ser humano se visse livre de seus

ídolos, caso isso fosse possível? Talvez graças a esses ídolos exista essa imensa diversidade de culturas, ideias e, conseqüentemente, opiniões entre os seres humanos. Tais diferenças já originaram conflitos bastante violentos ao longo da nossa história, mas em inúmeras vezes proporcionaram debates que ofereceram um grande aprendizado, principalmente aos cientistas. Pesquisas atuais mostram que o contexto sociocultural não apenas tem grande influência no desenvolvimento da ciência, mas também em como se aprende ciências nas escolas. Assim, estudos que levam em conta os aspectos socioculturais e trabalham adequadamente com as diferentes visões de mundo e com as interações discursivas entre os estudantes em sala de aula¹⁹ podem, com certeza, ajudar a melhorar muito o ensino de Física e de outras ciências (PEREIRA, OSTERMANN e CAVALCANTI, 2008; DO CARMO, NUNES-NETO e EL-HANI, 2009; TAVARES, JIMÉNEZ-ALEIXANDRE e MORTIMER, 2009).

Mesmo hoje sendo contestado, Bacon teve grandes méritos ao propor seu método científico, pois se opôs fortemente ao debate científico excessivamente relativista, em que qualquer argumento habilmente constituído teria lugar no debate científico. Muitos cientistas ainda fazem alusão ao seu trabalho e acreditam piamente nas bases filosóficas que ele estabeleceu para a ciência. Mesmo Bacon tendo sido pioneiro na filosofia científica e mesmo que esse trabalho tenha sido importante e benéfico para a ciência na época, hoje é considerado como uma visão ultrapassada e ingênua do desenvolvimento do conhecimento científico.

É importante ressaltar que, na maioria das escolas e em grande parte dos livros de Ciências, o método científico baconiano²⁰ ainda é privilegiado. Podemos sintetizar, por simplicidade, as principais características dessa epistemologia (SILVEIRA, 1992; MOREIRA e OSTERMANN, 1993):

- A observação é a fonte do conhecimento. O conhecimento sempre deriva direta ou indiretamente da experiência sensível (sensações e percepções);

¹⁹ Por exemplo, os vícios de linguagem são, em grande parte, oriundos do contexto em que as pessoas estão inseridas. Eles podem se constituir em um obstáculo, segundo Bacon, para a clareza do intelecto (ídolos do foro). Entretanto, essa rica diversidade de linguagem pode evidenciar a aprendizagem de conceitos científicos por parte dos alunos e ajudar a alavancá-la.

²⁰ Daqui para frente nos referiremos a ele apenas como *método científico*.

- A busca pelo conhecimento é um procedimento lógico, algorítmico e rígido; seguindo-se rigorosamente as etapas do método científico chega-se, necessariamente, ao conhecimento científico;
- O conhecimento científico é obtido por indução;
- A evolução do conhecimento científico é cumulativa e linear;
- O conhecimento científico é definitivo;
- A especulação, a imaginação, a intuição, aspectos metafísicos ou a criatividade não devem desempenhar qualquer papel na construção do conhecimento científico;
- As teorias científicas não são criadas, inventadas ou construídas, mas descobertas através de um conjunto de dados empíricos;
- A ciência e a atividade observacional devem ser neutras, livres de pressupostos e preconceitos.

Parece que todo cientista sonha com essa receita: um algoritmo mágico que guia a busca do conhecimento e, inevitavelmente, leva o cientista a ele. Ao mesmo tempo, isso poderia, segundo essa visão ingênua, servir para demarcar claramente a ciência da pseudociência: a segunda não obedece às etapas impostas pelo método científico baconiano. Isso tudo é tão ingênuo quanto acreditar que há uma receita, um algoritmo que leve qualquer aluno a aprender determinado conteúdo. Sintetizando ainda mais, o conhecimento científico só seria validado quando são realizadas as seguintes etapas:

- Observação (cuidadosa, repetida, crítica);
- Formulação de hipóteses (a serem testadas);
- Experimentação (para testar hipóteses);
- Medição (coleta de dados);
- Estabelecimento de relações (tabelas, gráficos);
- Conclusões (resultados científicos);
- Estabelecimento de leis e teorias científicas (enunciados universais para explicar os fenômenos).

A seguir, será problematizada essa visão da ciência. Além disso, será discutido um panorama sobre a visão de ciência de alguns epistemólogos contemporâneos e como eles combatem a epistemologia de Francis Bacon.

2.3 Argumentando contra “o método”

Se as ideias de Bacon são criticadas pelos epistemólogos contemporâneos, isso quer dizer que a ciência não possui métodos? Ou que qualquer argumento, inclusive teológico, pode ser usado para se defender uma teoria? Certamente não é isso. Os epistemólogos contemporâneos mais proeminentes não adotam essa postura. Mas criticam fortemente o empirismo-indutivismo de Francis Bacon e outros, acusando-o de ingênuo. A ciência não faz uso de um único método universal e, na busca pelo conhecimento, o

cientista percorre um caminho muito mais tortuoso e não algorítmico do que a simplória sequência de passos acima exposta. Fazer boa ciência não é nada algorítmico e o cientista não tem a possibilidade de ser neutro. É impregnado de concepções e expectativas, que podem ou não serem confrontadas e modificadas ao longo desse caminho. Nem sempre é necessário ter respaldo experimental para que se faça boa ciência. Além disso, é possível contestar cada um dos itens da página 40. Por exemplo, a observação do fenômeno já requer algo interno, uma escolha. Se, dentre toda uma série de fenômenos possíveis, um foi escolhido, isso é pressupor que há uma antecipação teórica de onde se escolheu focalizar a atenção. O mesmo acontece na coleta de dados, que envolve certamente um princípio de seleção, ou seja, escolha entre resultados conflitantes ou mesmo sobre qual é mais relevante. Assim, a neutralidade do cientista é uma idealização, uma fantasia.

Além disso, no empirismo de Bacon, a observação cuidadosa e crítica é o ponto de partida. Como sustentar tal coisa para entidades não observáveis? Um exemplo seria o átomo, que existe fundamentalmente como um modelo teórico, com diversas características e propriedades que hoje podem ser

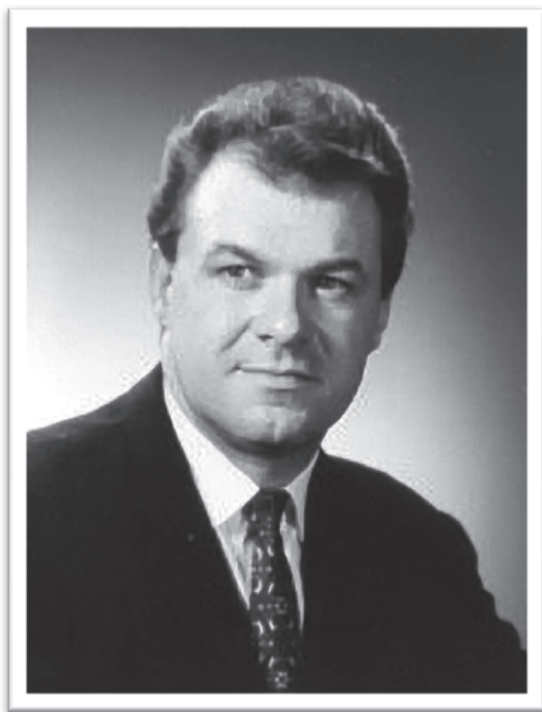


Figura 6: Norwood Russell Hanson.

mensuráveis e ajudam a refinar esse modelo. Não é à toa que o atomismo foi, durante muito tempo, considerado pseudociência. Uma imensa parte da pesquisa na Física atual está concentrada em entidades não observáveis e modelos fundamentalmente teóricos que, de forma alguma, podem ser considerados pseudociência.

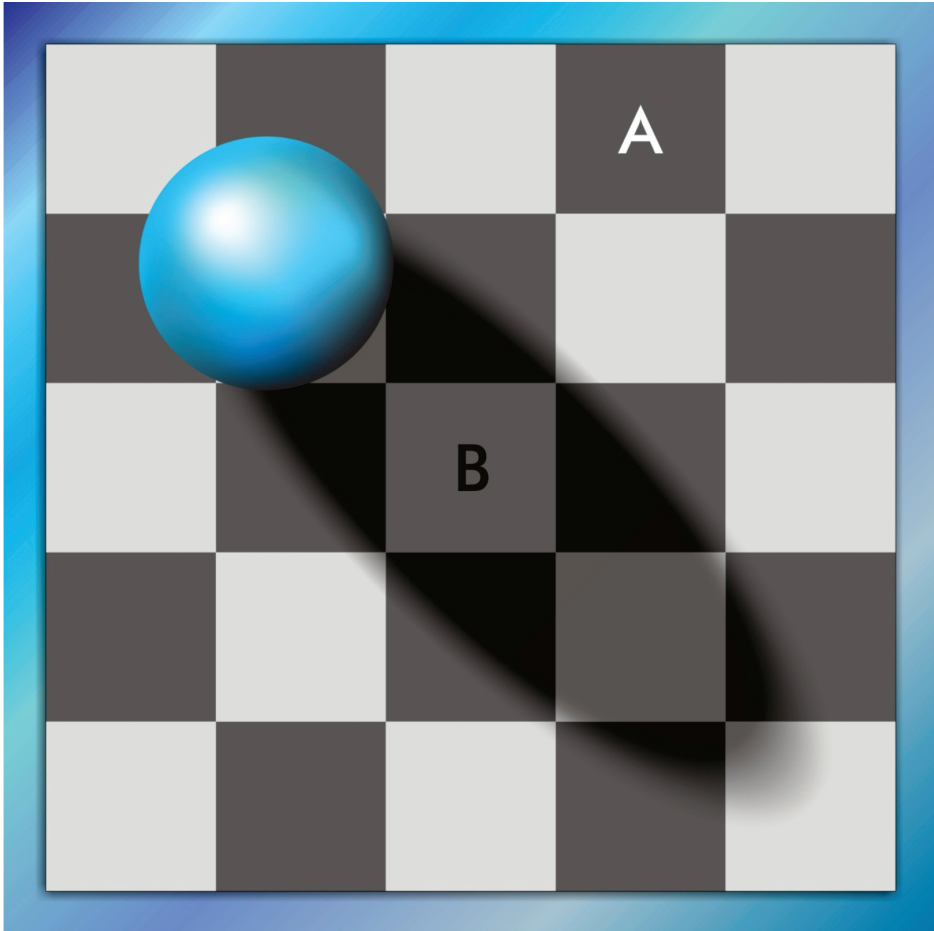


Figura 7: Os quadrados A e B não parecem ter o mesmo tom de cinza (o quadrado B parece ser mais claro). No entanto, ambos possuem exatamente o mesmo tom. O sistema visual humano é bastante complexo e realiza algumas armadilhas para perceber detalhes em regiões sombreadas. Essa figura foi feita baseada em dois trabalhos de Edward H. Adelson (1993; 2000).

Outro ponto é que não existe observação neutra: a observação está necessariamente associada à interpretação. A relação observação- interpretação foi ponto de debate na Epistemologia. O físico e filósofo Norwood Russel Hanson (1924-1967) foi um dos epistemólogos que argumentava que observação e interpretação são indissociáveis (HANSON, 1961; 1970; HANSON e TOULMIN, 1971). Isso se constitui em uma forte crítica ao empirismo baconiano, o qual afirmava ser a observação neutra a gênese das teorias.

A percepção visual humana é um campo extensivamente estudado pela neurociência e outras ciências e tem se revelado bem mais complexa do que se pensava ser na época de Hanson. Na figura 7, por exemplo, os quadrados A e B não parecem ter o mesmo tom de cinza (o quadrado B parece ser mais claro). No entanto, ambos possuem *exatamente* o mesmo tom.

Nas duas subseções seguintes, serão discutidos dois exemplos claros de modelos puramente teóricos para descrever a natureza.

2.3.1 Relatividade Restrita e Relatividade Geral: um contraexemplo

A ideia ingênua de que o método científico pode decidir o que é científico e o que não é, adotada por muitos cientistas, pode levar a interessantes contradições. Admitamos que uma teoria deva passar obrigatoriamente pelo crivo desse método, segundo as etapas ordenadas na página anterior. Imaginemos agora um exemplo, dentro da própria Física: a teoria da Relatividade Restrita. Einstein deixa bem claro, no seu desenvolvimento, que pensa a ciência como uma construção humana e que as bases axiomáticas da Física não podem ser obtidas da experiência (PEDUZZI, 2008, p. 150). Erroneamente, alguns acreditam que a Relatividade Restrita se constituiu em uma resposta teórica à famosa experiência de Michelson-Morley (1887). É um erro histórico afirmar tal coisa (SILVEIRA e PEDUZZI, 2006), pois Einstein não a mencionou em nenhum momento como uma base para seus postulados (como não mencionou nenhuma experiência sequer). Embora a Relatividade Restrita já desfrutasse de alguma base experimental na época de sua formulação, e Einstein provavelmente soubesse disso, não é sustentável que ele tenha deduzido sua teoria a partir de qualquer experimento. A Relatividade Restrita veio resolver um problema teórico profundo e importante na Física do final do século XIX: a não invariância das equações

de Maxwell frente às transformações de Galileu (SILVEIRA e PEDUZZI, 2006). As equações de Maxwell são as equações fundamentais da teoria eletromagnética e desfrutavam grande sucesso preditivo²¹. A não invariância dessas equações em sistemas inerciais leva a uma assimetria: o eletromagnetismo seria diferente em diferentes sistemas inerciais que se movem um em relação ao outro. Esse problema foi resolvido, mas percebeu-se que a noção de espaço e tempo absolutos deveria mudar: em regimes de velocidades comparáveis à velocidade da luz, as transformações de Galileu não são válidas e sim as transformações de Lorentz é que precisam ser adotadas. Einstein desenvolveu essa teoria partindo apenas de dois postulados²².

Como já foi dito anteriormente, quando um cientista trabalha na fronteira do conhecimento, é a capacidade de formular perguntas consistentes e profundas que trará diferencial a esse cientista. Esse foi o caso de Einstein quando desenvolveu a Relatividade Restrita (e também a Geral) com os seus famosos *experimentos mentais* (*Gedankenexperiment*). O próprio Einstein afirma:

[...] o teórico não tem absolutamente necessidade dos fatos individuais da experiência. Nem mesmo pode empreender qualquer coisa com as leis mais gerais, descobertas empiricamente. Deve antes confessar seu estado de impotência diante dos resultados elementares da pesquisa empírica até que se lhe manifestem princípios, utilizáveis como base de dedução lógica (EINSTEIN, 1981, p. 61).

A Relatividade Restrita (bem como a Geral) sempre esteve longe de seguir passos mostrados na página 40. No entanto, ganhou status de teoria científica pela importância do problema que ela resolveu. Obviamente, não está aqui sendo descartada a importância da experimentação na ciência,

²¹ Com elas, Maxwell pôde prever a existência das ondas eletromagnéticas, bem como explicitar a natureza das mesmas. Além disso, calculou, sem realizar um único experimento, a velocidade da luz no vácuo. Indo mais longe, as equações de Maxwell contêm todos os fenômenos eletromagnéticos.

²² Dois textos bastante detalhados que abordam os aspectos epistemológicos da criação da Teoria da Relatividade Restrita e Geral são os textos de Peduzzi (2008, cap. 6) e Silveira e Peduzzi (2006).

mas colocando-a em um patamar diferente daquele defendido pelos empiristas-indutivistas. A experiência pode invalidar uma teoria, ou corroborar e refiná-la, mas pensar que experiências são a gênese das teorias soa ingênuo e simplista.

Se a Relatividade Restrita desfrutava de alguma base experimental na época de sua formulação, a Relatividade Geral não. Na formulação da Relatividade Geral, em 1915, Einstein teve a intenção de unir a gravitação à Relatividade Restrita, mostrando que o campo gravitacional é uma deformação do espaço-tempo provocada pela presença de corpos massivos (como o Sol, a Terra ou outros). Nenhum resultado experimental o inspirou e não foram observações que o levaram a formulá-la. Novamente ele fez uso de experimentos mentais. Uma corroboração importante para essa teoria foi conquistada quando ela resolveu um problema sério da mecânica newtoniana: o periélio anômalo de Mercúrio²³. Novamente deve ser ressaltado que de forma alguma se deve pensar que foi essa anomalia que inspirou Einstein a criar a Relatividade Geral (PEDUZZI, 2008).

Em 1919, a partir de observações simultâneas na cidade de Sobral (Ceará) e na ilha do Príncipe (no golfo da Guiné, a 192 km da costa africana), foi constatado que a luz de uma estrela observada perto da borda do disco solar era defletida em um ângulo muito próximo ao previsto pela teoria de Einstein. A deflexão da luz pelo campo gravitacional era algo totalmente novo para a Física da época e esse é um dos aspectos mais impressionantes da Relatividade Geral. A partir daí, quatro anos depois de sua formulação, pôde-se dizer que a Relatividade Geral teve respaldo experimental.

2.3.2 Teoria das Supercordas, Teoria M e Cosmologia de Branas: um contraexemplo atual

Outro exemplo que vai contra os caminhos ditados pelo método científico, bastante famoso na Física, é a Teoria das Cordas (*String Theory*), conhecida também como Teoria das Supercordas (*Superstring Theory*). Em que contexto essa teoria se transforma em um campo de pesquisa atraente

²³ O ponto de maior aproximação ao Sol de Mercúrio não é o mesmo após uma volta completa. Isso não pode ser explicado pela gravitação newtoniana. Esse fenômeno ocorre não apenas com Mercúrio, mas com todos os planetas.

para os físicos? Na Cosmologia, entre outros. Depois da teoria da Relatividade Geral ter sido consolidada, nada mais natural do que aplicá-la ao estudo da origem e evolução do universo. De fato, ela alavancou em muito o entendimento da estrutura do universo, sua dinâmica e sua evolução. A origem do universo é hoje explicada pela teoria do *big-bang* (essa é a teoria mais popular, de consenso, conhecida em português como a grande explosão²⁴) na qual, no instante inicial, o universo era uma singularidade²⁵ no espaço-tempo²⁶. Segundo três físicos britânicos, Stefen Hawking, Roger Penrose e George Ellis (HAWKING e ELLIS, 1968; HAWKING e PENROSE, 1970), o espaço-tempo surgiu provavelmente junto com a matéria e a energia. Assim, essa singularidade não estava contida em um espaço-tempo, já presente, ao contrário, o espaço-tempo surgiu com a singularidade.

Alan Guth, em 1981, propôs a ideia de que o universo acelerou seu ritmo de expansão abruptamente pouquíssimo tempo depois do seu surgimento²⁷

²⁴ O próprio nome dessa teoria leva as pessoas a uma concepção errônea. Não houve uma explosão, mas sim, uma expansão súbita. Além disso, essa expansão não se inicia em um centro como se costuma pensar em uma explosão cotidiana. A expansão não tem um centro e ocorre em todos os pontos do espaço, como hoje. Pode-se pensar em uma analogia: se o universo fosse uma esfera, todos os objetos (planetas, estrelas, galáxias, etc.) estariam em sua superfície. A região interna da esfera não é parte do universo nessa analogia. Enquanto a esfera infla, todos os objetos da superfície se afastam uns dos outros, ou seja, a expansão ocorre em todos os pontos da superfície esférica. A superfície esférica pode ser pensada como ilimitada em duas dimensões espaciais, pois podemos percorrer essa superfície indefinidamente sem encontrar bordas, mas limitada pela curvatura na direção perpendicular à sua superfície.

²⁵ Entende-se como singularidade um ponto no espaço-tempo. Obviamente o volume (4-dimensional) é nulo, mas há nele uma imensa massa. Além disso, na singularidade a curvatura do espaço-tempo seria infinita. Acredita-se que os núcleos dos buracos negros também contenham singularidades espaço-temporais, diferentes da singularidade que deu origem ao universo (singularidade primordial) no sentido de que nelas não há tanta massa acumulada quanto a que havia na primordial.

²⁶ Este é um espaço de quatro dimensões (três dimensões espaciais e uma temporal), também chamado de espaço 4-dimensional.

²⁷ Se estima que o período inflacionário ocorreu no intervalo entre de 10^{-35} segundos e 10^{-33} segundos depois do big-bang. A Relatividade Geral não se aplica para tempos menores do que o *tempo de Planck* (10^{-43} s).

(GUTH, 1981). Embora essa teoria inicialmente contivesse falhas, estas logo foram resolvidas pelos físicos Andrei Linde (LINDE, 1982), na ex-União Soviética e, independentemente, por Andreas Albrecht e Paul Steinhardt (ALBRECHT e STEINHARDT, 1982), nos Estados Unidos. Desde então, a teoria inflacionária do universo é uma das mais bem-sucedidas da Física e, por enquanto, ainda parece ser o paradigma dominante na Cosmologia.

Uma das consequências mais importantes da teoria inflacionária são as variações pequenas na intensidade da radiação cósmica de fundo²⁸, muito tênues e difíceis de detectar na superfície da Terra. O satélite COBE, em 1992, detectou com clareza essas variações e as mesmas só podem ter uma explicação: houve de fato o período inflacionário. Além disso, a teoria proposta sobre o mecanismo que gerou a inflação ganhou um suporte experimental muito consistente.

Uma das características interessantes dessa teoria é que ela é altamente preditiva, além de poder fornecer informações valiosas sobre os momentos iniciais da evolução do universo. No entanto, embora seja possível saber como o universo era segundos após o instante inicial, há um problema sério: ela não permite que se saiba nada sobre o universo no instante $t = 0$ s. É justamente aí que reside a grande pergunta da Cosmologia moderna. A teoria do big-bang não diz por que houve ou o que originou a “explosão” inicial. Isso não é surpreendente, pois na singularidade, quando o universo era um ponto, não é de se esperar que a Relatividade Geral descreva esse sistema, pois ela é uma teoria eminentemente clássica²⁹.

São duas as teorias mais fundamentais da Física atualmente: a Relatividade Geral e a Física Quântica. Em sistemas onde as escalas de comprimentos típicas são várias ordens de grandeza menores do que um núcleo atômico, faz-se necessária uma descrição quântica. No entanto, como nos instantes iniciais do big-bang a massa estava concentrada em um sistema desse tipo, a interação gravitacional passa a ter muita importância. Como a Relatividade Geral é a teoria mais fundamental da gravitação, deve-se tentar

²⁸ Que se originou quando os átomos capturaram os elétrons, antes livres, para formar átomos neutros. Essa fase é chamada de *desacoplamento matéria-radiação* e ocorreu aproximadamente quando o universo tinha 380.000 anos de idade.

²⁹ De fato, as equações de campo da Relatividade Geral se comportam muito mal em singularidades (divergem).

unir as duas: Relatividade Geral e Física Quântica. Como são teorias muito distintas isso não é uma tarefa nada simples. Segundo Abdalla (2005):

[...] a explosão inicial não pode ser compreendida apenas através da gravitação de Einstein, já que neste caso não haveria como se dar uma causa àquela explosão inicial. Juntamente com esta questão, no caso de se descrever o comportamento posterior do universo, em seus primeiros instantes, que são de fundamental importância para a evolução posterior, é necessário que se tenha uma teoria unificada de todas as interações, e, portanto, sendo as outras interações obrigatoriamente quantizadas, não há como se ter uma gravitação simplesmente clássica! (ABDALLA, 2005, p. 149)

A Teoria Quântica de Campos foi um feliz casamento entre a Relatividade Restrita e a Física Quântica. Mas, quando se deseja incluir a interação gravitacional nessa teoria, ela traz problemas insolúveis. É nesse contexto que entra a Teoria das Supercordas: é a teoria que mais preenche os requisitos para se tornar uma teoria unificadora na Física e é ela que vem sendo estudada para unificar a Física Quântica com a Relatividade Geral. Espera-se que ela lance luz sobre o entendimento do universo nos instantes muito iniciais de sua formação³⁰, onde a Física atual não se aplica: é necessária uma teoria unificada, a gravitação quântica, para entender o que houve nesses instantes iniciais.

O interessante da Teoria das Supercordas é que ela não foi concebida inicialmente para isso: ela foi pensada como um modelo teórico para a interação forte. Nessa perspectiva, as partículas que constituem a matéria e as interações são pensadas como constituintes de cordas que vibram no espaço-tempo. As partículas seriam *modos de vibração* dessas cordas (como as notas musicais de uma corda clássica). Existem previsões impressionantes dessa teoria e, também, consequências estranhas: para que ela funcione é necessário admitir a existência de mais dimensões no universo do que aquelas que estamos acostumados (três dimensões espaciais e uma temporal – quatro ao todo). Na Teoria das Supercordas precisamos de 10 dimensões no espaço-tempo (nove espaciais e uma temporal). Abdalla (2005) coloca essa questão de forma muito interessante:

³⁰ Instantes de tempo abaixo do chamado tempo de Planck (10^{-43} segundos).

Mas o que significaria um mundo com dimensões extras? Seria, na verdade, mais uma lição de humildade para a ciência: o universo não só é infinitamente rico nas três dimensões espaciais que observamos como também é dotado de outras dimensões das quais nem tomamos conhecimento. Somos como carrapatos do universo, vivemos restritos a uma superfície que está imersa em um mundo com mais dimensões. Como seria a ciência de carrapatos? Provavelmente os carrapatos-cientistas teriam que apelar para efeitos fantásticos para explicar a chuva: erupções de fluidos viscosos que surgem do nada sobre a superfície em que vivem. Mas seres que ocupam a terceira dimensão, como nós, sabemos porque os carrapatos parecem tão confusos. O mesmo ocorre para as leis físicas em um universo multidimensional. Nossa visão restrita a quatro dimensões espaço-temporais torna confusos e desunidos os fenômenos que provavelmente seriam descritos de forma simples e única se pudéssemos vislumbrá-los de fora, das dimensões em que eles de fato vivem. É claro que, de alguma forma, a existência dessas dimensões poderia ser percebida. Em particular, para a teoria de cordas, a gravidade seria obtida pela troca de cordas fechadas que moram nas dez dimensões. Se a gravidade pode, portanto, se propagar nessas dimensões extras, a lei de Newton deveria ser alterada e não observaríamos uma força gravitacional inversamente proporcional ao quadrado da distância. Como esse efeito não é observado, essas dimensões, se de fato existem, devem ser muito pequenas, tão pequenas que, efetivamente, nosso universo parece quadridimensional. Dizemos que as dimensões extras estão compactificadas. (ABDALLA, 2005, p. 151)

A Teoria das Supercordas não é uma teoria única (como gostariam os físicos). Existem cinco tipos de Teorias das Supercordas, que os físicos achavam que fossem distintas. No entanto, eles perceberam que existem vínculos entre os cinco tipos de teorias (as chamadas dualidades), o que fez com que percebessem que poderiam unificar essas teorias em uma única, com onze dimensões espaço-temporais (dez espaciais e uma temporal) ao invés de dez e recebeu o nome de *Teoria M*. Embora essa seja uma teoria embrionária, ela fornece explicações muito interessantes sobre fenômenos que desafiam os físicos. Por exemplo, o motivo da interação gravitacional ser a mais fraca de todas pode estar relacionado com a décima primeira

dimensão, como proposto pelos físicos Lisa Randall e Raman Sundrum (RANDALL e SUNDRUM, 1999).

Além dessa importante possível contribuição da teoria, há ainda uma mais impressionante, formulada pelos físicos Justin Khoury e Paul J. Steinhardt (ambos da Universidade de Princeton), Burt A. Ovrut (Universidade da Pensilvânia) e Neil Turok (Universidade de Cambridge), que é séria candidata a explicar o próprio big-bang, fornecendo, enfim, uma causa para ele (lembre-se que a Cosmologia padrão não apresenta causa alguma para o big-bang). Esse importante grupo de físicos são expoentes na Cosmologia moderna e na Teoria M e propuseram uma nova teoria de evolução do universo chamada de *universo cíclico*. Pode-se chamá-la também de *cosmologia de branas* e surge da Teoria M. Entende-se brana como uma fatia no espaço-tempo, mas com dimensões extras (analogia com membrana).

A teoria do universo cíclico prediz coisas muito interessantes: podem existir vários big-bangs, originados muito possivelmente pela colisão de branas (KHOURY, OVRUT, STEINHARDT *et al.*, 2001; STEINHARDT e TUROK, 2002a; 2002b; 2005), de onde pode se originar inclusive matéria. O interessante é que, nesse contexto, existiriam infinitos universos, ou seja, diferentes universos com diferentes leis naturais. Essa previsão é estonteante e completamente não intuitiva e fascinante. As hipóteses básicas dessa teoria são:

- O big-bang não é a origem do tempo, mas uma transição a uma fase anterior da evolução;
- A evolução do universo é cíclica;
- Os eventos-chave que modelaram a estrutura de larga escala do universo ocorreram durante uma fase de contração lenta antes do big-bang, ao invés de ocorrerem durante uma fase de expansão rápida (inflação) depois do big-bang.

Diferentemente de outros modelos de universos cíclicos, essa teoria diz que os eventos que modelaram nosso universo no ciclo anterior ajudam a modelá-lo no presente ciclo e, também, que os eventos que o modelaram neste ciclo ajudarão a modelá-lo nos próximos ciclos³¹. É uma teoria

³¹ Existe um excelente documentário científico sobre esse tema, produzido pela BBC, em que todos esses físicos e mais alguns outros famosos, como Alan Guth, explicam esse assunto (CLARK, 2002a; 2002b; 2002c; 2002d; 2002e).

incrivelmente bela e propõe boa perspectiva de solução a alguns problemas difíceis ainda remanescentes na teoria inflacionária (STEINHARDT e TUROK, 2002a). Em outras palavras, ela parece resolver anomalias de uma teoria anterior, tendo características de progresso.

A exposição de todas essas belas constatações da Teoria M permite levantar uma questão importante: onde fica o suporte experimental dessa teoria? A resposta é que ainda não há, pois não dispomos de condições tecnológicas para tal e, ainda pior, talvez nunca se possa testá-la totalmente. Pode-se testá-la, talvez, observando eventos que envolvem energias altíssimas, talvez várias ordens de grandeza superiores ao que se espera produzir no *Large Hadron Collider* – LHC (CERN, 2009)³² e que, portanto, não podem ocorrer em laboratórios. Mesmo assim, a Teoria M, bem como a Teoria das Supercordas, vem atraindo um número imenso de pesquisadores que buscam, através dela e de suas complexidades teóricas, entender sobre a estrutura básica da matéria e as origens do universo.

Se for levado à risca o que prega o método baconiano, certamente essa teoria seria descartada. Ao contrário, ganha cada vez mais adeptos. Boa parte dos físicos escolhe teorias pela elegância, beleza, ou seja, critérios metafísicos. Isso não quer dizer de forma alguma que se deixe de buscar respaldo experimental para as teorias nas quais se acredita, por elas serem bonitas, sintéticas e aparentemente confiáveis. Muito pelo contrário, grandes investimentos são feitos nesse sentido. O que fica claro é que a comunidade científica, em consenso entre a maioria de seus integrantes, pode decidir por levar adiante uma teoria sem suporte experimental, ou seja, a visão empirista-indutivista da ciência é de fato ingênua e primária. Não é um simples pretensão método científico que descarta ou não uma teoria. A adoção ou não de uma teoria, como já foi dito, é feita por uma comunidade e é um processo complexo.

Dois dos autores da teoria do universo cíclico publicaram um manifesto (STEINHARDT e TUROK, 2005) muito interessante, defendendo sua revolucionária teoria:

Alguém poderia perguntar por que deveríamos considerar uma teoria alternativa quando a inflação já alcançou tantos sucessos em explicar

³² Esse é o maior acelerador de partículas já construído. Com ele, pretende-se elucidar alguns dos mistérios sobre a estrutura da matéria e sobre o nosso universo.

uma riqueza de novos dados altamente precisos. Há várias razões. Em primeiro lugar, ao se buscar uma teoria alternativa se está simplesmente fazendo boa ciência. A ciência progride mais rapidamente quando há duas ou mais ideias concorrentes. A ideia focaliza sua atenção em quais aspectos não resolvidos os teóricos devem abordar e em quais são as medições importantes que os experimentais devem realizar. A inflação não teve concorrência séria por vários anos, e o resultado foi que as suas falhas foram ignoradas. Muitos cosmólogos estão dispostos a declarar a inflação como estabelecida, embora ainda testes experimentais cruciais permaneçam por serem realizados. A concorrência estimula o pensamento crítico e elimina a complacência. (STEINHARDT e TUROK, 2005, p. 43-44, tradução nossa)

É interessante a frase sobre as *ideias concorrentes*. Isso concorda com o que afirmamos na página 39, a respeito das diferenças culturais, diferenças de ideias e visões de mundo contribuir para o desenvolvimento da ciência. Em contrapartida, o físico Philip W. Anderson³³ afirmou o seguinte sobre a Teoria das Supercordas:

A Teoria das Cordas é um exercício fútil como física, como eu acredito que ela seja? É uma especialidade matemática interessante e já produziu e irá produzir matemática útil em outros contextos, mas parece que não mais vitais como matemática do que outras áreas com matemática muito abstrata ou especializada produzem e, nesses termos, não se justifica a incrível quantidade de esforço gasto nela. Minha crença é baseada no fato de que a teoria de cordas é a primeira ciência em centenas de anos a ser seguida em uma perspectiva pré-baconiana, sem adequada orientação experimental. Ela propõe que a Natureza se comporta da maneira que nós gostaríamos que ela se comportasse ao invés de se comportar da maneira que nós vemos ela se comportar e é improvável que a Natureza pense da mesma forma que nós. O triste é que, como muitos jovens aspirantes a teóricos têm explicado a mim, essa teoria é tão altamente complexa que exige um

³³ Foi um dos ganhadores do Prêmio Nobel em 1977, pelas suas contribuições à teoria do estado sólido.

trabalho em tempo integral apenas para que eles possam acompanhá-la. Isso significa que outros caminhos não estão sendo explorados por jovens brilhantes e imaginativos, e que carreiras com trajetórias alternativas estão sendo bloqueadas. (ANDERSON, 2005, grifos e tradução nossos)

É um ponto de vista claramente empirista-indutivista e, apesar de vindo de um físico de porte, traz consigo uma visão filosófica muito ingênua. Note que ele chega a admitir que o ser humano tenha condições de “ver como a natureza se comporta”. Grandes físicos, às vezes, apresentam essa visão da ciência e, erroneamente, pensam a Física como ciência eminentemente experimental e a natureza como diretamente palpável pelos sentidos. Além disso, a Teoria das Supercordas, Teoria M ou o modelo cíclico do universo não foram as primeiras teorias em centenas de anos a se desenvolverem em um caminho pré-baconiano (vide o atomismo, no final do século XIX – era considerado pseudociência). Não é por desobedecer às condições impostas pelo método científico que uma teoria deve ser descartada.

Nesse capítulo optou-se por citar exemplos de teorias formuladas no século XX e, no caso da Teoria M, sua formulação vem da década de 80. Mas esses não são os únicos contraexemplos: histórias caricaturadas na forma empirista e a crítica a essas histórias podem ser encontradas no excelente trabalho de Silveira e Peduzzi (2006).

Capítulo 3

O QUE PODE SUBSTITUIR O MÉTODO CIENTÍFICO BACONIANO?

Se o método científico é ultrapassado, existe um método mais atual? Não. A ciência não se desenvolve com um método rígido e restritivo, como vimos nos exemplos do capítulo anterior. A atividade científica autêntica é bem mais complexa. Como bem coloca Windschitl (2004):

O Método Científico (realizar observações, formular perguntas, a construção de hipóteses, experimentação, análise de dados, obtenção de conclusões) é frequentemente retratada em livros didáticos como um processo linear; no entanto, essa caracterização e até mesmo o rótulo em si são representações equivocadas. O teste de hipóteses na ciência não é um processo linear no qual cada passo é um evento discreto, cujos parâmetros são considerados apenas após a etapa anterior ser concluída. Na prática científica autêntica, várias etapas ou fases são muitas vezes consideradas uma em relação à outra no início da investigação. Os elementos de geração de hipóteses, o design da investigação, a coleta de dados, a análise e as considerações são mutuamente interdependentes. A simplicidade do método científico obscurece as complexas estratégias metodológicas (por exemplo, o desenvolvimento de situações de laboratório análogas às condições do mundo real), e a lógica subjacente (por exemplo, articular os modelos teóricos com vários conjuntos de dados multifacetados e parcialmente conflitantes) da ciência autêntica. Além disso, análises de práticas de comunidades científicas têm demonstrado que não

existe um método universal e que a investigação científica pode ter uma variedade de formas. (WINDSCHITL, 2004, tradução nossa)

Em relação à produção do conhecimento científico, os filósofos da ciência contemporâneos, em geral, rejeitam a perspectiva de progresso científico do tipo *desenvolvimento-por-acumulação* e assumem a ciência como construção humana. Nessa construção, ocorrem crises, rupturas, profundas reformulações.

Kuhn (1997), por exemplo, delinea a evolução da ciência como uma sequência de períodos de *ciência normal*, interrompidos por *revoluções científicas*. Nos períodos de ciência normal, a comunidade científica adere a um *paradigma*. As revoluções científicas caracterizam-se pela ruptura com o paradigma dominante. Durante esse período de transição, o antigo e o novo paradigma competem pela preferência dos membros da comunidade científica e, segundo Kuhn, são incomensuráveis (apresentam diferentes concepções de mundo). Portanto, a visão do progresso científico como linear e contínuo está superada pela filosofia da ciência contemporânea, que, ao contrário, enfatiza o processo revolucionário no qual uma teoria mais antiga é rejeitada e substituída por uma nova teoria, que explica certos fenômenos que a antiga não explicava.

Outra importante característica do conhecimento científico, compartilhada pelos filósofos contemporâneos da ciência é a sua *provisoriedade*, ao contrário da concepção empirista-indutivista, que o vê como definitivo. As revoluções que ocorrem na Física no início do século XX (Teoria da Relatividade Restrita de Einstein) ou, anteriormente, com Copérnico (revolução copernicana), Kepler, Galileu, Newton e outros exemplificam o caráter provisório do conhecimento. Seria, por-



Figura 8: Thomas Kuhn (1922-1996).

tanto, um erro ensinar Ciências como se seus produtos fossem indubitavelmente verdadeiros e consequentemente definitivos.

Na construção de novos conhecimentos, participam a imaginação, a intuição, a criação e a razão. A inspiração para produzir um novo conhecimento pode vir inclusive da metafísica. Assim, na concepção atual de epistemologia, as teorias científicas são criadas, inventadas ou construídas. A observação e a experimentação por si só não produzem conhecimento. A ciência não é descoberta, mas sim construída.

Kuhn (1997), por exemplo, propõe o seguinte modelo para o desenvolvimento científico: uma sequência de períodos de ciência normal, interrompidos por revoluções científicas. Durante o período da ciência normal, os pesquisadores aderem a todo um conjunto de compromissos de pesquisa, o qual Kuhn chama de paradigma. Essa adesão estrita e acrítica a um paradigma é vista por ele como condição necessária para o progresso científico. Somente quando os cientistas estão livres da tarefa de analisar criticamente os fundamentos das teorias e dos métodos que utilizam, é que podem concentrar seus esforços nos problemas mais estranhos enfrentados pelo campo no qual trabalham (KUHN, 1997). Há períodos nos quais a ciência normal fracassa em produzir os resultados esperados, gerando um estado de crise na área de pesquisa. O paradigma dominante começa a ser questionado, mas somente será rejeitado se existir uma alternativa disponível para substituí-lo. A transição de um paradigma em crise para um novo (revolução científica), na qual pode surgir uma nova tradição de ciência normal, está longe de ser um processo cumulativo obtido através de uma articulação do velho paradigma.

Para Kuhn, é antes uma reconstrução da área de estudos a partir de novos princípios, reconstrução que altera algumas das generalizações teóricas mais elementares do paradigma, bem como muitos de seus métodos e aplicação. É nesse sentido que Kuhn usa a expressão *incomensurabilidade de paradigmas*, cujo aspecto fundamental é que os proponentes dos paradigmas competidores praticam seus ofícios em mundos diferentes. Por tratar-se de uma transição entre incomensuráveis, a transição entre paradigmas não pode ser feita passo a passo por imposição da lógica e de experiências neutras. Assim, para Kuhn, existe certo grau de arbitrariedade nos debates científicos, pois estes envolvem julgamentos de valor.

Popper (1996), por sua vez, considera como tarefa da epistemologia discutir como as teorias científicas são testadas. O método da ciência, para ele, se caracteriza pela crítica das teorias e pode ser denominado método hipotético-dedutivo. De acordo com esse método, as teorias científicas são sempre conjecturas que poderão ser refutadas. Para Popper, não há forma de se provar a verdade de uma teoria científica, mas, às vezes, é possível descobrir se é falsa (SILVEIRA, 1989).

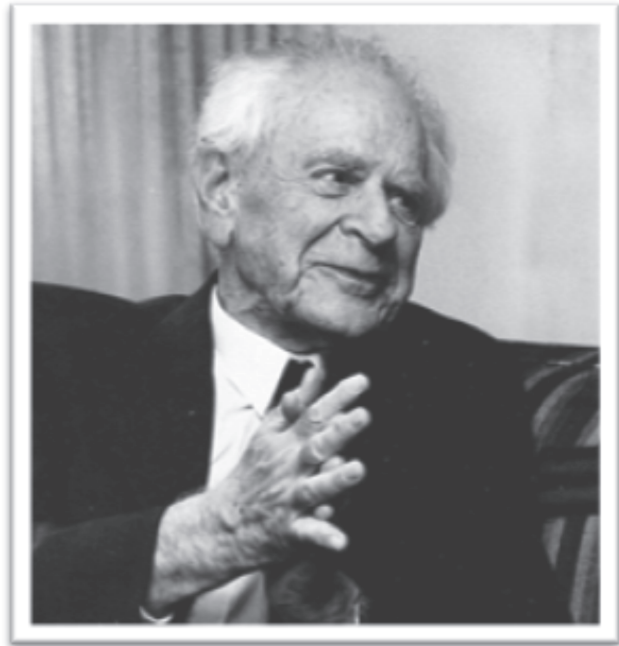


Figura 9: Karl Popper (1902-1994).

Os indutivistas sempre enfatizaram a necessidade de verificar se uma teoria é verdadeira. Ao contrário, Popper considera que as verificações são relevantes na medida em que elas constituem os resultados de tentativas de refutação das teorias. Quando uma teoria é refutada, a nova teoria deverá ser capaz de explicar todos aqueles fatos corroboradores da teoria superada e os novos fatos que a refutaram. A antiga teoria pode, então, sobreviver como um caso limite da nova teoria. Historicamente, é o que aconteceu com as teorias de Galileu e Kepler que ficaram como casos limites da mecânica newtoniana; esta última, por sua vez, é um caso limite da teoria de Einstein da Relatividade.

Outro problema da filosofia da ciência, que foi uma preocupação de Popper, é o chamado *problema da demarcação* que se refere à distinção entre teorias científicas das teorias pseudocientíficas, não científicas ou metafísicas. Para ele, o critério da demarcação é dado pela refutabilidade ou testabilidade. As teorias científicas podem, em princípio, ser refutadas pelos fatos. As teorias pseudocientíficas, não científicas ou metafísicas, não são testáveis, ou seja, não há fatos que possam refutá-las. Isso será discutido mais detalhadamente na seção 5.2.3.

A teoria do conhecimento de Popper é evolucionária. O conhecimento evolui por processo de tentativa e eliminação do erro. A sua concepção é uma extensão do darwinismo ao problema do conhecimento. As teorias mais aptas à *sobrevivência* passam pelo crivo da crítica racional e empírica. Mas, a sobrevivência passada não garante a sobrevivência no futuro (SILVEIRA, 1989).

Vê-se que, numa superficial comparação entre Kuhn e Popper, há importantes divergências entre eles. Popper caracteriza a atividade científica (a testabilidade) em termos que só se aplicam às partes revolucionárias ocasionais de Kuhn (LAKATOS, 1979). Além disso, Popper considera como perigoso o caráter dogmático da ciência normal de Kuhn e rejeita também a tese da incomensurabilidade por crer que existem critérios racionais de escolha de teorias.

Por outro lado, há filósofos que encaram essas críticas como tentativas normativas de encaixar a ciência mais de acordo com seu ponto de vista filosófico do que com as evidências históricas.

Lakatos (1979), por outro lado, ao estender as ideias de Popper, propõe que a refutação ou falsificação deve ser aplicada não a uma teoria isolada, mas a um programa de investigação, que consiste de uma série de teorias que se desenvolvem e que possuem uma estrutura comum, seguindo determinadas regras metodológicas.

Um programa de investigação é constituído de um núcleo firme, que é uma teoria de conjunções, e por um cinturão protetor, que é constituído por hipóteses, teorias auxiliares e pelos métodos observacionais. Todos os programas possuem uma heurística negativa, a qual impede que uma anomalia incompatível com o programa se dirija ao seu núcleo firme, e uma heurística positiva, que indica como modificar o cinturão protetor para que a anomalia seja digerida. Portanto, é sempre possível modificar o cinturão protetor de um programa para que ele não seja refutado.



Figura 10: Imre Lakatos (1922-1974).

No entanto, há programas progressivos e regressivos. O programa progressivo tem seu crescimento teórico adiantado em relação ao seu crescimento empírico (se a cada nova mudança no cinturão protetor ocorrem novas e não pretendidas predições e se algumas destas predições são corroboradas). O programa regressivo, ao contrário, tem seu crescimento teórico atrasado em relação ao empírico (somente oferece explicação *post-hoc*, as teorias são fabricadas apenas para explicar os fatos já conhecidos). A explicação de Lakatos para as revoluções científicas é de que se existirem dois programas de investigação rivais e um deles progride, enquanto o outro degenera, os cientistas tendem a aderir ao progressivo (LAKATOS, 1979).

A história da ciência é a história dos programas de investigação e, segundo Lakatos, está povoada de programas em competição. Ele aponta que o pluralismo é melhor que o monismo teórico de Kuhn (a ciência normal, onde há domínio de um único paradigma) e que quanto antes a competição se iniciar tanto melhor para o progresso científico. Além disso, Lakatos critica Kuhn por defender a tese de incomensurabilidade e o acusa de irracionalista.

Assim como Popper, Lakatos acredita que as teorias científicas perseguem a verdade objetiva (realismo epistemológico), ao contrário de Kuhn, que vê esse objeto pré-estabelecido desnecessário, pois, para ele, explicamos tanto a existência da ciência como seu sucesso a partir da evolução do estado de conhecimentos de uma comunidade em um dado momento, sem a necessidade de haver uma verdade científica permanente fixada (KUHN, 1997).

Feyerabend (2007), discípulo de Popper, rebela-se e adota uma posição anarquista em relação à filosofia da ciência. Segundo ele, a ciência é um empreendimento essencialmente anárquico: o anarquismo teórico é mais humanitário e mais suscetível de estimular o progresso do que suas alternativas representadas por ordem e lei (FEYERABEND, 2007).

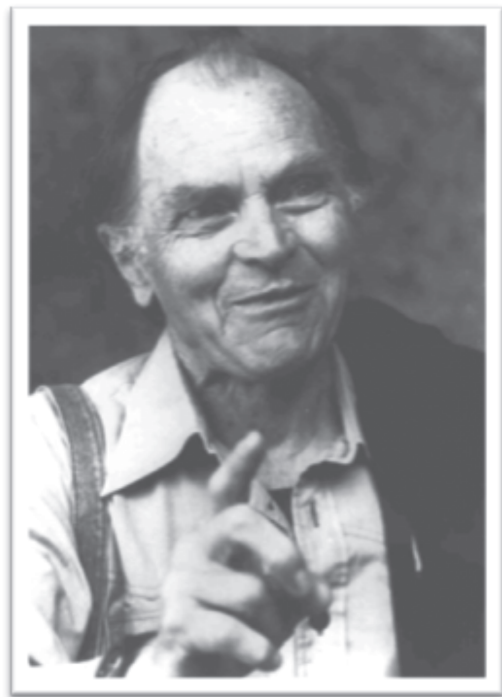


Figura 11: Paul Feyerabend (1924-1994).

Para Feyerabend, não há possibilidade de serem estipuladas autênticas regras metodológicas, não há verdade a ser alcançada, não há como definir que uma teoria, dentre duas concorrentes, é a mais verdadeira, já que teorias são incomensuráveis.

Os fatores *não racionais* são de extrema importância na prática científica, além disso, repudia qualquer tentativa de se estabelecer um critério de demarcação. O único princípio que não inibe o progresso é: *tudo vale* (FEYERABEND, 2007). Vemos, então, que Feyerabend compartilha com Kuhn a tese da incomensurabilidade e, também como Kuhn, é acusado de irracionalista. É claro que, em outros aspectos, há divergências nítidas entre eles.

O francês Gaston Bachelard (1884-1962) foi um dos filósofos da ciência mais importantes no século XX e apresenta uma visão distinta dos filósofos da ciência até aqui discutidos.

Apesar de quase toda sua obra ter sido escrita na primeira metade do século citado, suas ideias até hoje podem ser consideradas atuais. Um dos aspectos mais importantes na ideia de Bachelard é o conceito de *obstáculos epistemológicos* ou *barreiras epistemológicas*, bem explorado na pesquisa em ensino de Química (LOPES, 1992; LOGUERCIO e DEL PINO, 1995; LOPES, 1996a; 1996b; LOGUERCIO, SAMRSLA e DEL PINO, 2001).

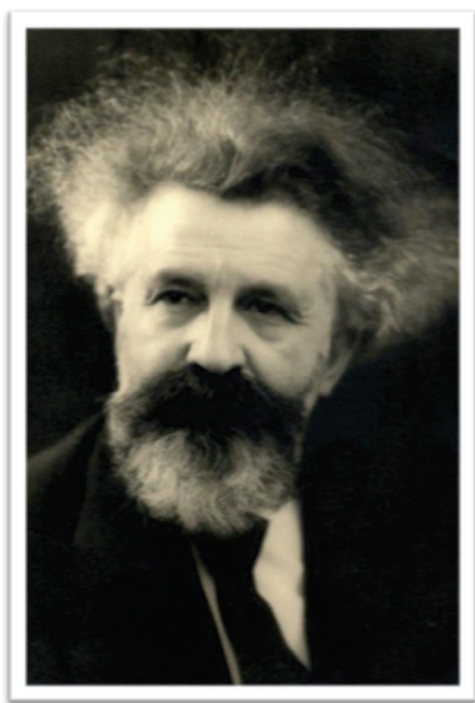


Figura 12: Gaston Bachelard (1884-1962).

Nas Ciências Naturais, a construção do conhecimento científico se dá através de uma relação sujeito-objeto³⁴, sendo esta relação mediada por uma técnica e instrumentos de medida. Segundo Lopes (1996a), nesse processo

³⁴ Nessa relação é que aparece a “Filosofia do Não”, na qual o sujeito assume uma postura de negação, de desilusão com o conhecimento anterior, buscando sempre avançar.

há conotações tanto instrumentais quanto teóricas, uma vez que existe a teoria que permite a construção do aparelho de medida e a teoria que permite a interpretação de resultados experimentais, muitas vezes sobrepondo-se uma com a outra. Essa última só toma sentido através da experiência. Os sentidos humanos também fazem parte, obviamente, desse processo. A noção do real nas Ciências Naturais é compreendida, a partir de Bachelard, segundo a noção de fenomenotécnica.

Os fenômenos não aparecem naturalmente, mas se esboçam através de um processo instrumental e teórico. Por exemplo, na síntese de novos materiais, não encontrados naturalmente na natureza, há uma construção de fenômenos que rompem com o mundo diretamente visível, fazendo com que o cientista atue na natureza como criador, sempre através da técnica. Assim, o fenômeno se diferencia da fenomenotécnica. O fenômeno se constitui apenas do evento, também chamado de real dado. Segundo Lopes (1996a), o real dado adquire o caráter de real científico apenas quando é objeto de uma fenomenotécnica. Ou seja, para construir o real científico é necessária a interação da razão com a experimentação, sendo essa interação mediada pela técnica. O conhecimento comum, ou senso comum, é fortemente fundamentado no real dado, que é o mais palpável a todos os humanos.

Esse conhecimento comum lida com um mundo constituído por fenômenos, enquanto o conhecimento científico lida com um mundo reprocessado a partir da fenomenotécnica. Bachelard sustenta que o conhecimento comum se transforma em um obstáculo epistemológico ao conhecimento científico. Em outras palavras, a evolução da Ciência é dificultada pelos obstáculos epistemológicos, gerados pelo senso comum, experiências perceptíveis e diretas e também por conhecimentos acumulados.

Para superar esses obstáculos é necessária, muitas vezes, uma ruptura com conhecimentos anteriores, reestruturando o novo conhecimento. Bachelard também defende o conhecimento científico abstrato e acusa a experiência sensível e imediata como um obstáculo à abstração. Pode-se então entender barreira epistemológica, de forma simplificada, como um impedimento de que uma pessoa assimile um novo conhecimento, causado, entre outras coisas, pela experiência imediata e pelo senso comum.

Como um dos últimos racionalistas do século XX, o americano Larry Laudan constrói uma epistemologia a partir de críticas aos modelos de Kuhn e Lakatos (considerados, por ele, as mais influentes epistemologias contemporâneas).

Na tentativa de superar dificuldades enfrentadas por essas epistemologias, Laudan (SMITH, KILLETT, ANDREW *et al.*, 2005; SMITH, KILLETT, RAYMER *et al.*, 2005) propõe que a atividade científica seja encarada como uma atividade de resolução de problemas, na qual a primeira, e essencial, prova de fogo para uma teoria é se ela proporciona respostas aceitáveis a perguntas relevantes; em outras palavras, se ela proporciona soluções satisfatórias para problemas importantes.

Para avaliar os méritos das teorias, é mais importante perguntar se elas constituem soluções adequadas a problemas relevantes do que se as mesmas são *verdadeiras*, se estão *corroboradas*, *bem confirmadas*. Ao propor um modelo centrado na resolução de problemas, Laudan, em síntese, enfatiza que o problema – empírico ou conceitual – a ser resolvido é a unidade básica de progresso científico. O objetivo da ciência, portanto, seria o de ampliar ao máximo a esfera de problemas empíricos resolvidos e, ao mesmo tempo, reduzir ao mínimo o âmbito de problemas anômalos e conceituais.

Essas são algumas ideias de alguns filósofos da ciência contemporâneos.

Há muitas outras ideias e muitos outros autores que não foram aqui mencionados. Essas ideias, como foi dito anteriormente, trazem importantes implicações para o ensino de Ciências, qual seja, a visão de ciência construtiva a partir da problematização do conhecimento e como superação da concepção empirista-individualista.

Não há, então, um método único que norteia a atividade científica. Cada epistemólogo tem sua postura e é possível aderir a uma epistemologia, a despeito dos problemas que cada uma delas pode apresentar.



Figura 13: Larry Laudan (1941-).

Capítulo 4

IMPLICAÇÕES PARA O ENSINO

4.1 Alguns resultados de pesquisa

A década de 50 marca o fim de um longo período de estabilidade na concepção de ensino de Ciências, em geral, e de Física, em particular. A ênfase até então era o ensino de Ciências como o corpo de conhecimento estabelecido. A partir dos anos 60, houve uma grande mudança de ênfase curricular, marcada pela implementação de vários projetos (no ensino de Física, Physical Science Study Committee, Harvard Project Physics, estes dois nos Estados Unidos; Nuffield, na Inglaterra; e muitos outros em Biologia, Química e Ciência) os quais priorizavam os processos de ciência e não seus conteúdos. Os aspectos considerados principais para o ensino de Física nesses projetos eram a estrutura da ciência, o papel da teoria científica, a natureza do método científico e o propósito dos experimentos. A intenção era que os estudantes gostassem de Ciências (por meio da vivência das atividades científicas), se conscientizassem do que fazem os cientistas e se encorajassem a seguir carreiras científicas. Apesar do grande investimento feito, esses projetos falharam em atingir seus objetivos (principalmente quando importados para a América Latina) por vários motivos. Entre eles, pode-se destacar a questionável visão de ciência que transmitiam e a distância entre os objetivos dos projetos e as necessidades reais das escolas e dos professores.

Além disso, atualmente, vê-se como uma concepção um tanto reduzida e parcial de educação científica, aquela que considera uma única ênfase curricular (ROBERTS, 1982), como *a correta*. Prefere-se, hoje, pensar sob a perspectiva de várias ênfases curriculares: não só educação sobre Ciências (conhecimento científico, estrutura da ciência, seus processos e métodos).

Um programa de Educação em Ciências é incompleto se negligencia

um dos seguintes aspectos: o conhecimento científico (certos fatos, principais e teorias devem ser aprendidos), os processos e métodos da ciência (a visão de ciência), experiência direta com a atividade científica, apreciação das complexas relações entre Ciência, Tecnologia e Sociedade, busca de atitudes positivas frente à Ciência (HODSON, 1985).

Para atingir esses objetivos na educação científica, devemos buscar fundamentação teórica, basicamente, na Didática das Ciências, na Psicologia da Educação e na História e Filosofia da Ciência, assim como levar em conta as expectativas e necessidades sociais de cada comunidade escolar.

Há muito tempo, a pesquisa em ensino de Ciências tem assinalado a necessidade de que a educação científica procure, na História e Filosofia da Ciência, uma fundamentação mais sólida e atualizada. Sem dúvida, as questões investigadas pela História e Filosofia da ciência trazem importantes implicações para o ensino (CAWTHON e ROWELL, 1978; NUSSBAUM, 1989; CLEMINSON, 1990; WINDSCHITL, 2004; WINDSCHITL, THOMPSON e BRAATEN, 2008). Dentre essas implicações, podemos destacar a problematização do conhecimento e, conseqüentemente, a visão de ciência proporcionada pelas noções contemporâneas sobre Filosofia da Ciência. No entanto, essa transposição do mundo filosófico para uma situação em sala de aula vem recebendo críticas (MORTIMER, 1996), pois não é nada trivial. De qualquer forma, é importante inserir estudantes e professores em uma cultura que adote uma visão mais moderna da ciência.

Essa visão nos faz questionar a concepção empirista-indutivista tão difundida nos livros e nas aulas e, por outro lado, encarar a produção do conhecimento científico como uma construção. Outra implicação seria a busca do paralelismo (muitas vezes encontrado, outras vezes, não) entre a história da ciência e as concepções das crianças sobre os fenômenos naturais como, por exemplo, a Física Aristotélica como base para muitas ideias e crenças dos alunos sobre o mundo físico (PEDUZZI, 1996; PEDUZZI e ZYLBERSTAJN, 1997; CUNHA e CALDAS, 2001; REZENDE e BARROS, 2001; MASSON e VÁZQUEZ-ABAD, 2006). O paralelismo entre epistemologia e aprendizagem, no sentido de se utilizar as teorias de Popper, Lakatos, Kuhn, Feyerabend, entre outros, para entender algumas questões sobre a dinâmica da mudança conceitual e inspirar possíveis metodologias também seriam, apesar das críticas desse tipo de transposição, outras importantes contribuições da História e Filosofia da Ciência para a psicologia da aprendizagem.

Em particular, a perspectiva de Laudan permite problematizar a visão clássica de mudança conceitual, na medida em que no seu modelo de rede triádica (SMITH, KILLET, ANDREW *et al.*, 2005) a revolução científica não é considerada a categoria básica para o tratamento da evolução da ciência. O debate sobre os fundamentos conceituais de qualquer tradição de pesquisa (seja ela a visão de senso comum de estudantes de Física) é um processo historicamente contínuo, não ocorrendo por meio de uma simples ruptura ou por abandono de ideias prévias.

Quanto à visão de ciência transmitida aos alunos no ensino de Ciências, é importante assinalar que os filósofos da ciência contemporâneos divergem em muitos aspectos, embora coincidam na questão da rejeição à concepção empirista-indutivista que é a tradição ainda bastante vigente no ensino de Ciências. Portanto, a Filosofia da Ciência contemporânea nos leva a criticar a ciência ensinada nas escolas que, geralmente, projeta essa imagem empirista-indutivista da atividade científica.

A aprendizagem do próprio método científico é ainda enfatizada por professores que o consideram como uma sequência rígida, linear e indutiva de passos que culminam com uma descoberta científica (MOREIRA e OSTERMANN, 1993). Essa concepção empirista-indutivista e o ensino do método científico levam a várias concepções errôneas sobre a produção do conhecimento científico, já discutidas aqui.

Além disso, uma das perspectivas atuais no ensino da Ciência ainda é o construtivismo, o qual vê o aluno como construtor de seu próprio conhecimento. Tal enfoque está baseado na concepção de que quem aprende traz seus conhecimentos prévios (o levantamento das ideias prévias gerou o Movimento das Concepções Alternativas no final da década de 70) para construir significados científicos. Vemos que a visão de ciência compartilhada pelos filósofos da ciência contemporâneos – a produção do conhecimento científico como uma construção – é utilizada como um subsídio teórico para o ensino construtivista. Portanto, ser construtivista é uma postura que implica coerência: assim como encaramos o aluno como construtor de sua estrutura cognitiva, devemos transmitir a ele uma visão construtivista de ciência.

A visão contemporânea de ciência também nos faz questionar a chamada aprendizagem por descoberta, por ser um importante exemplo de aplicação da concepção empirista-indutivista ao ensino de Ciências. Essa proposta tem como pressuposto que a observação e a experimentação bem conduzidas levam à obtenção do conhecimento, ou seja, transmitem ao aluno a falsa

ideia de que o conhecimento é *descoberto* e não *inventado* ou *construído*. Além disso, é uma ingenuidade pensar que o aluno descobriria o conhecimento científico que os cientistas levam anos para construir.

Relacionado à aprendizagem por descoberta, está o chamado mito do laboratório que preconiza um ensino de Ciências basicamente experimental, isto é, os alunos aprenderiam somente fazendo experimentos e manipulando equipamentos sem grande necessidade de aulas teóricas ou argumentação. Entretanto, um paralelo entre epistemologia e aprendizagem nos mostra que o conhecimento não deriva das observações dos experimentos; ao contrário, as observações são sempre antecedidas de teorias incipientes. A observação e a experimentação têm papéis importantes na construção do conhecimento, mas diferentes daqueles colocados pela epistemologia empirista-indutivista. Por meio delas, testamos nossas construções, teorias e, eventualmente, podemos constatar que algo vai mal com nosso conhecimento (por exemplo, uma predição não é confirmada). Portanto, aprender envolve modificar algum conhecimento anterior e isso se dá com o uso de conceitos e proposições teóricas, não por mera manipulação.

A epistemologia de Gaston Bachelard foi muito articulada na construção e avaliação de materiais didáticos de Química, servindo como inspiração para outras áreas. Segundo ele, deve-se tomar muito cuidado com analogias e imagens que porventura venham a ser inseridas em livros, hipertextos ou qualquer outro tipo de material. Muitas vezes, essas analogias e imagens podem justamente se constituir em um obstáculo epistemológico. Nesse caso, iriam no sentido contrário ao que se espera, que seria facilitar o aprendizado. Segundo (LOPES, 1996a):

A razão acomodada ao que já conhece, procurando manter a continuidade do conhecimento, opõe-se à retificação dos erros ao introduzir um número excessivo de analogias, metáforas e imagens no próprio ato de conhecer, com o fim de tornar familiar todo conhecimento abstrato, constituindo assim, os obstáculos epistemológicos. Não podemos, contudo, considerar que Bachelard defende a impossibilidade de utilização de metáforas e imagens. Sua posição é que a razão não deve se acomodar a elas, devendo estar pronta a destruí-las sempre que o processo de construção do conhecimento assim o exigir. (LOPES, 1996a, p. 263)

Há trabalhos em ensino de Física e Química que apontam para esse problema, aparentemente negligenciado na maioria dos livros didáticos. Há que se ter cuidado com o uso não cuidadoso de metáforas e analogias. Segundo (LOGUERCIO e DEL PINO, 1995):

Quando a construção de metáforas é descuidada, fruto de associações não trabalhadas e nem tampouco racionalizadas, certamente a eles foram transferidos valores sensíveis e primitivos que obstaculizarão a compreensão científica. Serão sempre traduções grosseiras do conhecimento científico: sobre eles nada dizem, mas o que é pior, produzem a crença do conhecimento, a impressão de que se compreende (LOGUERCIO e DEL PINO, 1995, p. 5).

Segundo Lopes (1996b) e Loguercio e Del Pino (1995), obstáculos provocados por uso não criterioso de linguagem comum podem se constituir em um poderoso obstáculo epistemológico. Tais obstáculos são denominados *obstáculos verbais*. Outro tipo de obstáculo epistemológico comum em livros didáticos e em situações que acontecem em sala de aula é o chamado *obstáculo realista*. Segundo Loguercio e Del Pino (1995), quando, em uma abordagem realista, se pretende conhecer algum objeto, se tenta descrever suas propriedades. Pode ocorrer, então, que se constitua “uma ciência do real e do superficial”, sem evoluir para o abstrato. Assim, tudo ficaria confinado no *real dado* apontado por Bachelard. Loguercio e Del Pino (1995) argumentam ainda que os obstáculos verbais podem ser, muitas vezes, reforçados pelos obstáculos realistas, já que o uso excessivo de linguagem de senso comum pode, em alguns casos, levar o aluno a se manter no que ele já conhece, dificultando a evolução para o abstrato.

Outro tipo bastante comum é o *obstáculo animista*, que se caracteriza pela associação de aspectos humanos a certos objetos. Por exemplo, se fosse dito que “os elétrons *caminhavam* no sentido contrário ao campo elétrico” ou “a água *prefere* ser líquida a uma temperatura de 300 K e a uma pressão de 1 atm”, se estaria inserindo um obstáculo animista. Afirmações como essa podem reforçar as concepções errôneas dos alunos que, a partir delas, podem construir modelos completamente equivocados conceitualmente (LOGUERCIO e DEL PINO, 1995). Existem ainda alguns outros tipos de obstáculos epistemológicos que aparecem em livros didáticos, como os *obstáculos substancialistas* e o *currículo oculto* (LOPES, 1992; LOGUERCIO e

DEL PINO, 1995; LOGUERCIO, SAMRSLA e DEL PINO, 2001), que não serão abordados aqui.

A razão pela qual as pessoas não assimilam uma nova teoria, mesmo que elas sejam reforçadas por um conjunto de evidências, passa provavelmente por muitos outros fatores. Um dos mais atuantes é o fator cultural, no qual se enquadra, por exemplo, a religião. Visões de mundo normalmente são bastante resistentes e difíceis de serem modificadas, pois não se atrelam apenas ao cognitivo, mas com um contexto muito amplo no qual a pessoa está inserida: o contexto sociocultural. Portanto, a simples exposição de uma teoria consensualmente aceita como correta não necessariamente fará com que alguém a assimile ou acredite nela, mesmo que a compreenda.

A modificação conceitual pode se estabelecer quando há desconforto da pessoa com sua própria concepção, causando um desequilíbrio que pode levar à sofisticação ou refinamento das suas teorias. No entanto, existem pesquisas que apontam que esse desequilíbrio não é suficiente para uma mudança conceitual, mostrando que há outros aspectos importantes que devem ser considerados (VILLANI e CABRAL, 1997). As lacunas de conhecimento, por exemplo, podem inibir muito esse processo (MORTIMER, 1996). As pesquisas continuam nessa área e são valiosas para a Educação e, em especial, para o ensino de Ciências.

4.2 Ciência e pseudociência

4.2.1 Algumas considerações iniciais

É comum, em sala de aula, os professores se depararem com situações inusitadas em relação a temas que são ignorados ou, quando citados, são referidos de forma, muitas vezes, marginal ou quase satírica pela comunidade científica. É inegável que questões metafísicas como vida após a morte, medicina alternativa, fatos apocalípticos como o fim do mundo, astrologia e outros, habitam o imaginário popular. Se as pessoas se dirigem aos cientistas e perguntam algo vinculado a isso tudo, como eles deveriam responder a pergunta? É comum encontrarmos, por parte de alguns cientistas, uma postura arrogante e silenciosa: argumentam que a ciência não trata dessas coisas e fecham totalmente o diálogo. Em sala de aula isso pode se repetir.

Os alunos, por estarem imersos nessa cultura mundial na qual o fantástico e o sobrenatural parecem muito mais atraentes do que o conteúdo, aparentemente rígido e engessado da ciência, formulam perguntas de cunho metafísico. Uma atitude satírica, arrogante ou qualquer outra que não proporcione diálogo intenso apenas dá força ao misticismo e interpretações ingênuas e equivocadas (ou, às vezes, mal-intencionadas) de tópicos interessantes da ciência.

Os conteúdos disciplinares da área hoje denominada *Ciências da Natureza* sempre estiveram orientados no sentido de construir um conhecimento hegemônico. O conhecimento escolar tem tradição de assumir o discurso científico como única forma adequada para descrever e compreender a realidade, sem dar lugar ao diálogo com outras práticas discursivas, como a linguagem cotidiana dos alunos, produzida no contexto de diferentes grupos sociais e culturais. Como os alunos se interessariam em ler e escrever sobre Física se esta Ciência não dialoga com práticas discursivas fora do seu âmbito? Por exemplo, no orkut² há uma comunidade de pouco mais de 19.000 membros escrevendo ou trocando ideias sobre o filme “Quem Somos Nós?” e os conceitos de Física Quântica errôneos (mas atraentes aos leigos) por ele veiculados. Sobre a mística *Lei da Atração* há muito mais comunidades – a mais numerosa possui quase 50.200 membros. Ou seja, ignorar essas questões é impensável.

Se a comunidade científica não se posiciona ou se posiciona de forma arrogante, onde as pessoas costumam encontrar as “respostas” para suas perguntas? Podem-se enumerar algumas possibilidades:

- Mídia: internet, cinema, televisão, jornais, revistas científicas e pseudocientíficas, textos de autoajuda;
- Na religião ou em instituições religiosas;
- Crenças pessoais;
- Família e comunidade;
- Muitas outras fontes...

O fato é que elas encontram “respostas” em todo lugar, menos na escola. E a comunidade científica, com sua voz, não raras vezes, veladamente apolítica,

³⁵ Conhecido site de relacionamentos (ver <http://www.orkut.com>)

neutra ou socialmente desvinculada, se omite do diálogo, adota uma postura de fingir que essas questões não existem ou, quando as encara, o faz de forma arrogante. Será que a ciência não tem nada melhor a oferecer às pessoas? Com certeza sim. Nesse caso, qual postura deveriam, os cientistas, assumir frente à sociedade? E os professores? Essas não são perguntas de respostas simples.

4.2.2 O que esperar da comunidade científica, da escola e dos meios de informação a respeito disso?

O cientista tem o compromisso social de divulgar a ciência e dialogar com a sociedade, uma vez que seu trabalho é financiado por ela e o conhecimento científico construído tem impacto sobre a vida das pessoas. A atividade científica faz uso de uma consciência crítica e postura filosófica, aspectos inerentes à investigação, que são benéficas para toda a sociedade. Estimular o bom ensino de ciências nas escolas também é vital, pois uma boa educação científica é condição necessária para o pleno exercício da cidadania. É, portanto, compromisso da comunidade científica dialogar com os leigos, e é compromisso da educação em Ciências promover a enculturação científica das pessoas. Existem algumas formas de diálogo por meio de publicações científicas de qualidade, dirigidas a um público basicamente instruído: *Scientific American*, *Ciência Hoje* e alguns outros. Mas, apesar disso, as pessoas em geral parecem preferir outro tipo de leitura, mais apelativa e mística.

Mesmo tendo mérito científico, essas publicações ignoram quaisquer aspectos metafísicos ou místicos que vêm sendo atribuídos indiscriminadamente e de forma errônea e tendenciosa a algumas teorias científicas, com o argumento de que esses aspectos são também corroborados pela ciência. Os cientistas não se posicionam nessas publicações e assumem postura de total neutralidade ou, em alguns casos, desprezam essas visões alternativas do mundo sem uma necessária contraposição crítica. Assim, não cumprem seu compromisso social.

Essas visões alternativas de mundo vêm crescendo muito, como já dito, e é dever dos cientistas esclarecer o ponto de vista da comunidade científica a respeito delas, sem usar de discurso autoritário e hegemônico, ou seja, sem usar de arrogância. É uma forma de enculturar as pessoas. Em suma, essas

publicações, que são parte do meio de comunicação entre os cientistas e o grande público, ignoram os anseios das pessoas leigas, as quais provavelmente constituem boa parte do público alvo dessas publicações.

Quanto às escolas, em vários países do mundo parece que é ignorado o contexto em que seus alunos vivem. Muitas das questões trazidas por eles surgem nesse contexto e merecem que sejam levadas em conta. No entanto, adotar uma postura ingênua de encarar essas questões como simples concepções errôneas, que devem ser modificadas e substituídas pelas concepções cientificamente aceitas, é um erro. Obviamente seria contestável estimular um aluno ou qualquer pessoa a acreditar que astrologia, espiritismo ou criacionismo são consensualmente aceitos pela comunidade científica como campos de pesquisa. Mas se o aluno acredita fortemente nessas concepções de mundo, isso deve ser tratado com cuidado e respeito. Como bem afirma Lemke (2001):

Mesmo se optarmos por ignorar os contextos de maior escala em que trabalhamos, não podemos ignorar que o aprendizado do aluno também está embutido nesses contextos. O interesse do estudante, as atitudes e a motivação para a ciência e a vontade do estudante em acolher algumas considerações conceituais particulares dos fenômenos dependem de crenças da comunidade, de identidades aceitáveis, e as consequências para a vida do aluno fora da sala de aula (e dentro dela) de como eles respondem a nosso bem-intencionado, mas muitas vezes desinformado, esforço focalizado na aprendizagem: desinformado na medida em que não levamos em conta que a aprendizagem não é apenas uma questão de saber se podemos compreender uma explicação científica, mas também de saber se nossas opções sociais e culturais na vida fazem nosso interesse se voltar nessa direção. Uma suposição aparente na perspectiva da mudança conceitual no ensino de ciências é que as pessoas podem simplesmente mudar seus pontos de vista sobre um tema ou em um domínio científico, sem a necessidade de mudar coisa alguma sobre suas vidas ou suas identidades. Este modularismo contraria os resultados trazidos pela pesquisa sociocultural. Deixe-me dar um exemplo simples, mas eficaz: a controvérsia evolucionista-criacionista. Adotar uma visão evolucionista das origens do ser humano não é, para um criacionista,

apenas uma questão de mudar de ideia sobre os fatos, ou sobre o que constitui uma explicação econômica e racional dos fatos. Isso significaria mudar um elemento essencial da sua identidade como alguém cristão que crê na Bíblia (fundamentalista). Isso significaria quebrar um vínculo essencial com a sua comunidade (e com o seu Deus). Tal coisa poderia levá-lo ao ostracismo social e à ruína de seus negócios ou de suas perspectivas de emprego. Ele poderia complicar a sua vida familiar ou as suas chances de casar. Embora eu esteja exagerando um pouco aqui (substitua isso por adotar uma visão secular progressiva da aceitação de estilos de vida de um gay para apreciar as consequências potencialmente mais extremas), o ponto é que as crenças sobre o mundo natural e social têm se desenvolvido em culturas junto com toda a rede complexa de práticas sociais que vincula toda uma comunidade. A Igreja da Renascença não se opôs a Galileu só porque ele discordou de suas conclusões sobre os movimentos dos corpos celestes. Havia muito mais em jogo do que uma escolha racional entre teorias concorrentes. (LEMKE, 2001, p. 301)

A ciência deve ser um movimento humano que nos faça crescer, transpor a níveis mais altos no conhecimento, repensando inclusive nossa cultura. A obrigação dos cientistas e da escola, cada um no seu âmbito, é prover meios das pessoas crescerem e transporem barreiras que as permitam contestar até mesmo os seus valores culturais. Isso, quando acontece, se dá muito lentamente. Quando se diz que é necessário respeitar as crenças não corroboradas pela ciência de uma pessoa, não se está dizendo que os professores ou os cientistas devem compactuar com essa crença. A ideia é estabelecer um possível diálogo, um confronto saudável, que permita a essa pessoa rever e aprofundar seu modo de ver o mundo.

No entanto, isso não é nem um pouco simples, pois modificar crenças envolve muito mais do que aprender conceitos científicos. Segundo Lemke (2001):

Mudar a mente não é simplesmente uma questão de decisão racional. É um processo social, com consequências sociais. Não é simplesmente uma questão sobre o que é certo ou o que é verdadeiro, no sentido estreito racionalista; é sempre também uma questão sobre quem

somos, de quem gostamos, de quem nos trata com respeito, sobre a forma como nos sentimos a respeito de nós mesmos e dos outros. Em uma comunidade, os indivíduos não são simplesmente livres para mudar suas mentes. A realidade prática é que somos dependentes uns dos outros para nossa sobrevivência, e todas as culturas refletem esse fato, fazendo a viabilidade das suas crenças dependerem de suas consequências para a comunidade. Isto não é diferente, de fato, dentro da comunidade de investigação científica do que em qualquer outro lugar. É uma outra falsificação da ciência fingir para os estudantes que alguém pode ou deve viver de acordo com princípios estritamente racionalistas. É frequentemente irreal até fingir que salas de aula em si são comunidades fechadas livres para mudar as suas mentes coletivas. Alunos e professores precisam entender como a ciência e a educação científica são sempre uma parte menor das comunidades e suas culturas, inclusive no sentido em que toma partido nos conflitos sociais e culturais que se estendem muito além da sala de aula. (LEMKE, 2001, p. 301)

Sendo assim, não cabe à Ciência estabelecer o que é ou não verdade e nem implementar uma cruzada contra misticismos ou religiões. No entanto, a comunidade científica e a educação em Ciências jamais pode se omitir quando algum grupo tenta exigir que se ensinem nas escolas, nas aulas de Ciências, concepções de fundo religioso, não consensualmente aceitas pela comunidade científica. Isso se constitui em uma batalha por supremacia cultural, que pode prejudicar a livre exposição de ideias, a liberdade de argumentação e avaliação dessa argumentação para validar (ou não) as ideias expostas. É esse confronto saudável que se deve esperar nas aulas de Ciências e na comunidade extraescolar, não uma batalha por supremacia cultural.

4.2.3 Há um critério para separar claramente a ciência da pseudociência?

Nessa diversidade cultural em que se vive hoje, como dizer se algo é científico ou não? Não há, a princípio, um critério único. Tomemos um exemplo: uma pessoa criacionista afirma que o Design Inteligente é uma teoria que desfruta do mesmo *status* da Teoria da Evolução, com convicção. Outro caso: um espírita afirma categoricamente que a Física Quântica

confirma a existência dos poderes da mente em mudar a realidade externa. Ou seja, Espiritismo é uma ciência. Como argumentar contrariamente a essas afirmações?

Pode-se seguir os passos de um cientista ingênuo, para ilustrar a discussão: o cientista ingênuo diria que a ciência obedece aos passos do método científico, a pseudociência não. Como não há nenhuma evidência experimental convincente e que seja consenso na comunidade científica a favor do espiritismo ou do Design Inteligente, nenhuma das duas é ciência. Portanto, são pseudociência. Nesse caso, a Teoria M, por não ter respaldo experimental, seria também uma pseudociência? Como há muitos físicos trabalhando na Teoria M, eles estão fazendo pseudociência e, portanto, admitindo valer a pena gastar esforços com o que não é científico? O Espiritismo e o Design Inteligente estariam no mesmo status acadêmico que a Teoria M? Argumentar em favor do método científico único é um ato muitíssimo frágil. Na realidade não é tão fácil quanto parece argumentar em favor de uma separação clara entre ciência e pseudociência. Isso depende da epistemologia adotada e é sempre polêmico e sujeito a críticas. Popper se preocupou em estabelecer o que ele chamou de *critério de demarcação*, com o qual pretendia distinguir as ciências da metafísica ou da pseudociência. Como cita Silveira (1989).

Para os indutivistas a demarcação entre ciência empírica e pseudociência, não ciência e metafísica, era realizada pelo “método indutivo”. As teorias científicas eram obtidas a partir dos fatos e podiam por eles ser verificadas. Além disso, os positivistas (indutivistas) tomaram o termo metafísico como pejorativo: as ideias metafísicas não tinham qualquer importância para a ciência, pois careciam de sentido. Para Popper o critério de demarcação é dado pela refutabilidade ou testabilidade. As teorias das ciências empíricas podem em princípio ser refutadas pelos fatos, já as teorias pseudocientíficas, não científicas ou metafísicas não são testáveis, ou seja, não há fatos que as possam refutar. (SILVEIRA, 1989, p. 154)

Vários epistemólogos criticaram essa postura de Popper, alguns tentando estabelecer seus próprios critérios de demarcação. A despeito de todas essas tentativas, pela falta de consenso entre os principais epistemólogos, percebe-se que esse problema não foi resolvido na Filosofia. O fato é que, assim como

a postura empirista-indutivista, o critério de Popper não fornece condições suficientes para demarcar exatamente o que é científico do que não é. A própria Teoria M no momento não se mostra testável, ao menos diretamente. Os postulados da Física Quântica ou da Relatividade Restrita também não podem ser testados diretamente. Sendo assim, algumas teorias que são consideradas científicas poderiam sucumbir ao se cumprir esses critérios à risca.

Thagard (1978), um dos críticos do critério de demarcação de Popper, faz uma proposição interessante. Segundo ele, uma teoria pseudocientífica se caracteriza pelos seguintes aspectos fundamentais:

- Elas são menos progressivas do que outras teorias alternativas durante um longo período de tempo, enfrentando muitos problemas ainda a resolver;
- Apesar disso, a sua comunidade de adeptos faz poucas tentativas no sentido de desenvolver uma teoria para soluções dos problemas enfrentados, não demonstrando preocupação em avaliar suas teorias em relação a outras;
- Essa comunidade é seletiva e tendenciosa ao considerar confirmações e não confirmações.

Segundo o autor, esse critério gera, como consequência, uma teoria que pode ser pseudocientífica em um instante, mas científica em outro. Note que esse critério também pode ser alvo de objeções. A Teoria Criacionista sofreu muita evolução e há uma comunidade de estudiosos criacionistas que vem há anos tentando resolver seus principais problemas e fraquezas (daí vem, por exemplo, o Design Inteligente). O mesmo pode ser aplicado à Ufologia e ao Espiritismo: evoluíram muito nos últimos 50 anos e há um número imenso de pessoas trabalhando no sentido de refinar essas concepções. Isso não quer dizer que o Design Inteligente, a Ufologia ou o Espiritismo sejam facilmente qualificados como ciência. Ou seja, é complicado usar esse critério como demarcador. Larry Laudan foi um dos filósofos que criticou o critério de demarcação de Popper. Em um de seus trabalhos (LAUDAN, 1983), ele argumenta:

A menos do fato que ele (*o critério de Popper*) deixa ambíguo o status de virtualmente todo enunciado existencial, embora bem

fundamentado (por exemplo, a alegação de que os átomos existem, que há um planeta mais próximo do Sol do que a Terra, que há um elo perdido), ele tem a consequência indesejável de disfarçar de “científico” qualquer alegação doentia que faça indubitavelmente falsas asserções. Assim, defensores da ideia de que a Terra é plana, os criacionistas bíblicos, proponentes do *laetrile*³⁶ e das caixas de *orgônio*³⁷, devotos do Uri Geller³⁸, caçadores do *Pé-Grande*³⁹, defensores da existência do monstro do lago Ness, defensores da cura pela fé, os amadores que criaram o *polywater*⁴⁰, Rosacruz⁴¹, os que acreditam que o mundo vai acabar, videntes que veem o futuro na água, os *primal screamers*⁴², mágicos, astrólogos, todos se tornarão científicos no critério de Popper... (LAUDAN, 1983, p. 121)

³⁶ Produto da medicina alternativa mal intencionada, que promete a cura do câncer. Ainda é vendido nos Estados Unidos, mesmo sabendo-se que é fraude (NELSON SPECTOR, 1998).

³⁷ Produto do misticismo comercial. O *orgônio* é “definido” como uma “energia” que, com o uso correto, favorece o “equilíbrio energético” e a “força vital” de todo ser vivo.

³⁸ Israelense que afirmava ter poderes paranormais e, na década de 70, ficou famoso em todo o mundo. Em 1976 esteve no Brasil e a rede Globo dedicou um programa inteiro a ele (na memorável noite do dia 1º de agosto de 1976), em que supostamente ele consertou relógios à distância, levitou pessoas e realizou algumas outras “proezas”. Há um vídeo sobre esse histórico e bizarro programa no YouTube, no link <http://www.youtube.com/watch?v=bFnVKAMJMcU>. Ele ainda continua fazendo aparições exóticas nos Estados Unidos e em outros lugares.

³⁹ Um animal com características de primata, quase humano, que parte dos americanos acredita habitar em algumas florestas. É a versão ocidental do *Yeti* tibetano (o famoso “abominável homem das neves”).

⁴⁰ Uma forma de água polimerizada que foi controvérsia na década de 60, mostrando-se uma falácia depois. Ela nada mais era do que água com impurezas biológicas.

⁴¹ É uma ordem, um grupo fechado de pessoas que pensam em contribuir para a evolução espiritual da humanidade.

⁴² Na década de 70, com a publicação do livro *The Primal Scream*, o psicólogo norte-americano Arthur Janov, popularizou um tipo de terapia, denominada em inglês de *primal therapy* (terapia primordial). Essa terapia afirmava que um problema psicológico poderia ser curado se a pessoa revivesse repetidas vezes situações da infância que supostamente causaram traumas dolorosos. Por falta de estudos posteriores, Arthur Janov não conseguiu convencer a comunidade científica de sua proposta.

Laudan, na verdade, reluta em aceitar um critério de demarcação, pois esses critérios, segundo ele, sempre levam a ambiguidades (LAUDAN, 1983). Segundo Plutynski (2008), esses argumentos de demarcação ou ficam restritivos (por exemplo, podendo excluir a Mecânica Newtoniana da ciência) ou permissivos demais (por exemplo, permitindo que a Astrologia seja considerada científica). Essa autora propõe um critério de demarcação (PLUTYNSKI, 2008):

- Uma teoria bem-sucedida deve gerar um programa de pesquisa. Em outras palavras, deve sugerir novas experiências, ou novas formas de investigação empírica do mundo. Uma boa teoria científica nunca vai sugerir que a iniciativa da pesquisa deve parar, ou que nossa compreensão de como funciona o mundo deve acabar em algum momento determinado;
- Em segundo lugar, uma teoria bem-sucedida deve frequentemente fazer conexões entre, sistematizar ou unificar fenômenos díspares em alguns domínios. Este não é um critério necessário para a ciência bem-sucedida, mas é uma característica que partilham muitas teorias científicas bem-sucedidas. Por exemplo, a teoria de Newton unificou a mecânica celeste e terrestre; ele mostrou que as mesmas leis representam os movimentos dos planetas e os movimentos de maçãs na Terra;
- Em terceiro lugar, certamente uma condição central, uma teoria bem-sucedida deve ser em algum sentido testável. Isso não quer dizer que ela deva ser “provada” além de qualquer possibilidade de dúvida, nem, como discutido acima, que ela deva ser imediatamente rejeitada se baseada em casos de previsões aparentemente falhas. Pelo contrário, devemos ser capazes de mostrar como as evidências empíricas podem e devem levar a aceitar que uma dada teoria é mais aceitável do que as suas concorrentes. O ideal é que não só se deve mostrar isso, mas também que a possibilidade, a variedade e quantidade de evidências em favor dessa teoria deve ser maior do que para as teorias rivais. Testabilidade não é o mesmo que falseabilidade. Teste no sentido empregado aqui inclui não apenas o modelo-padrão de testes experimentais, onde se tem um grupo controle e

experimental, mas também, o teste envolve a acumulação e ponderação das evidências, diretas e indiretas, em apoio das hipóteses concorrentes. Com relação ao muito pequeno e ao passado distante, testes científicos de detecção são muitas vezes como em um romance de mistério que envolve a acumulação de indícios que, por assim dizer, apontam todos no mesmo sentido. Ciências históricas como a geologia ou biologia evolutiva, ou teorias sobre as origens do universo, não podem utilizar experimentos controlados; ao invés disso, as hipóteses são ponderadas, isto é, são evidências indiretas de uma variedade de fontes relevantes. (PLUTYNSKI, 2008, p. 4-5)

Esse critério também deixa espaço para inconsistências. Mas encaixa-se bem com uma afirmação de Larry Laudan. Referindo-se às batalhas travadas nos Estados Unidos para se inserir o Design Inteligente nos currículos escolares, nas quais os opositores usavam o discurso de que Design Inteligente não é ciência, Laudan argumentou que o importante não é provar que o Design Inteligente não é científico, pois é demasiado complicado, mas se as evidências disponíveis fornecem argumentos mais fortes para a Teoria Evolucionista do que para o Design Inteligente. Tais evidências são atualmente muito mais favoráveis à Teoria Evolucionista, mas os criacionistas não admitem esse fato. Assim, o embate entre eles e os evolucionistas segue, sem que se possa vislumbrar uma possibilidade de consenso.

Os criacionistas mais radicais parecem muito mais preocupados em silenciar os cientistas do que em estabelecer debates; tentam com isso impedir que os conhecimentos construídos por seus programas de pesquisa, que derrubam dogmas bíblicos, sejam propagados nas escolas e na sociedade.

Por mais objeções que os partidários da teoria do Design Inteligente (ou de outros tipos de teorias criacionistas) construam contra o evolucionismo, até o momento nenhuma delas foi capaz de apontar alguma falha séria o suficiente que pudesse abalar as bases da Teoria Evolucionista⁴³.

⁴³ Existe um número imenso de objeções à Teoria Evolucionista, bem como à Teoria do Big-Bang, colocadas por cientistas (ou não cientistas) adeptos do criacionismo. Sem exceção, todas se revelam mal fundamentadas, ingênuas ou são insuficientemente problematizadoras para causar uma mudança no pensamento da comunidade científica.

Tampouco, nenhum partidário de teorias criacionistas teve (e muito provavelmente jamais terá) condições de formular uma teoria criacionista capaz de ganhar respeito e dedicação da comunidade científica. Sendo assim, não há nenhum motivo para ensinar teorias criacionistas nas escolas como se fossem teorias concorrentes da Teoria Evolucionista, pois isso incentivaria os alunos a pensarem que existe essa falsa controvérsia na ciência.

A demarcação é ainda um ponto muito polêmico na Filosofia da Ciência. Embora seja muito difícil definir com clareza o que é científico do que não é sem correr riscos de ser restritivo demais (eliminando teorias ou atividades consensualmente consideradas como merecedoras de investigação) ou permissivo demais (incluindo teorias ou atividades não consensualmente consideradas como merecedoras de investigação), pode-se, adotando uma dada epistemologia, tentar traçar essa demarcação (mesmo que seja uma demarcação não muito precisa).

Quando se fala “teorias ou atividades consensualmente merecedoras de investigação” não se está dizendo de modo algum que os cientistas precisam ser unânimes em relação a uma atividade ou teoria⁴⁴. Em geral, quando uma teoria é controvertida e, no sentido kuhniano, quebra paradigmas, a comunidade científica pode se dividir e não estar em consenso entre si.

Segundo um critério kuhniano para esboçar uma demarcação, as teorias não são aleatoriamente escolhidas pela comunidade como merecedoras ou

Uma das objeções mais conhecidas (e ingênuas) à Teoria da Evolução é aquela que afirma que a origem da vida, e qualquer processo espontâneo no universo, deve obrigatoriamente ir da ordem para a desordem (adota a ideia de que aumentando a entropia necessariamente aumenta a desordem). Essa objeção é fundamentada em um entendimento errôneo acerca da entropia (como sendo associada unicamente à ordem ou desordem espacial) e é um argumento fácil de contestar. Há muitos estudos detalhados e muito bem fundamentados sobre a entropia em complexos processos biológicos, mostrando que seu aumento jamais pode ser considerado um impedimento à evolução (KAUFFMAN, 1993; DEMETRIUS, 2000).

⁴⁴ Existem vários episódios na história da ciência que mostram discordâncias e controvérsias enormes: dentre as mais famosas, cita-se a Teoria Evolucionista de Charles Darwin e a Teoria da Deriva Continental do alemão Alfred Lothar Wegener, entre outras. Nesses dois casos específicos, seus precursores convenceram a comunidade científica da relevância de suas teorias e hoje são plenamente aceitas, mesmo que ressalvas ainda estejam sendo propostas.

não de investigação: elas são submetidas à publicação em revistas especializadas, nas quais acontece a avaliação pelos pares, ou seja, tanto quem propõe as teorias como quem as avalia são cientistas experientes e com sólida formação para tal. Se são publicadas, acredita-se que possam merecer investigação. Esse “aval” é sempre temporário, pois a teoria é posta em discussão. Isso pode acontecer mesmo sem um consenso geral de toda a comunidade científica em torno da teoria e mostra que ela ganhou esse “aval” por ter argumentos sólidos que a fundamentavam, ao menos no momento em que foi aceita para publicação.

É nesse sentido que se argumenta que não é a maioria popular que decide o que é científico ou não, e sim, pessoas com formação acadêmica para isso. A comunidade científica, mesmo depois de controvérsias no final do século XIX, validou e continua validando a teoria Darwinista, mesmo com muitos refinamentos. Quanto ao Design Inteligente, Cura Quântica, Fenômenos Paranormais ou coisas parecidas, jamais algum deles conseguiu cumprir esse critério.

É de se esperar, nas aulas da área de Ciências da Natureza, que a escola ensine os resultados referendados pela comunidade científica, sob pena de não estar enculturando os alunos, mas de ir na contramão disso. Portanto, quando nos referimos à origem da vida e do universo, é bastante contestável que Design Inteligente ou qualquer teoria criacionista sejam ensinados como teorias concorrentes ao evolucionismo nas escolas, nas aulas de Ciências da Natureza. Essas teorias não têm esse *status* na comunidade científica e, portanto, não é aceitável ensiná-las nas aulas de Ciências da Natureza como se o tivessem.

Mesmo não havendo um critério de demarcação satisfatório e claro, deve-se lembrar de que há uma comunidade séria, imensa e bem preparada trabalhando em uma infinidade de linhas de pesquisa. É dessa comunidade que saem as decisões sobre o que é ou não merecedor de investigação. Essa comunidade não é infalível e há uma série de fatores que interferem na evolução da ciência como, por exemplo, relações de poder. Mesmo que essa comunidade não seja perfeitamente isenta, historicamente se vê que os enganos são reparados com o tempo. Enfim, mesmo o critério rígido não existindo, existe o forte escrutínio de uma comunidade especializada, que deve ser respeitado.

Capítulo 5

COMENTÁRIOS FINAIS

Nesse texto, buscamos introduzir o tema da epistemologia, discutindo sua importância para a ciência e para seu ensino. Argumentamos contra a visão de que a ciência tem um método para estudar os fenômenos naturais, o chamado método científico, discutindo um panorama sobre a visão de ciência de influentes epistemólogos contemporâneos.

Em síntese, não há um método científico único que norteie a atividade científica e, portanto, não é esse tal método que permite estabelecer fronteiras entre ciência e pseudociência. Cada epistemólogo tem sua postura sobre a ciência e sobre a existência ou não de um critério de demarcação. Tanto a natureza da ciência quanto um hipotético critério de demarcação devem ser estabelecidos à luz de uma epistemologia e não de um método fantasioso.

Capítulo 6

APÊNDICE I:

Uma abordagem mais detalhada sobre os números racionais e irracionais

6.1 Somatórios

Antes de aprofundarmos a nossa visão dos números racionais e irracionais, vamos introduzir uma ferramenta importante: a notação de somatório, que será usada mais adiante. Quando temos uma soma de uma quantidade finita ou infinita de termos, convém compactá-la em uma notação de somatório, sendo bastante simples compreendê-la através de exemplos. Suponha que você quer escrever a soma dos n primeiros números inteiros, que chamaremos de S_i^n . Podemos escrever:

$$S_i^n = 1 + 2 + 3 + \dots + n \quad (4)$$

Porém, usando-se a notação de somatório, podemos compactar de forma a tornar o seu manuseio mais confortável. Com essa notação escrevemos:

$$S_i^n = 1 + 2 + 3 + \dots + n = \sum_{j=1}^n j \quad (5)$$

O símbolo grego (Σ) sigma simboliza a soma e a letra j é chamada de índice da soma. O valor que aparece abaixo do símbolo de soma é o limite inferior de j e o que aparece acima o limite superior. Esses limites indicam

que devemos tomar o termo que está dentro da soma (j) variando-o entre o seu valor no limite inferior ($j = 1$) e o seu valor no limite superior ($j = n$) somando termo a termo. Esse é o significado da notação de soma em (5). Outro exemplo:

$$\sum_{k=1}^n (k-1)^k = \underbrace{(1-1)^1}_{k=1} + \underbrace{(2-1)^2}_{k=2} + \underbrace{(3-1)^3}_{k=3} + \dots + \underbrace{(n-1)^n}_{k=n} \quad (6)$$

Se quisermos somar n vezes um certo número A , teremos obviamente o resultado nA . Escrevemos essa operação na notação de somatório como:

$$\sum_{\ell=1}^n A = \underbrace{A + A + A + A + \dots + A}_{n \text{ termos}} = nA \quad (7)$$

Podemos obter a seguinte relação da equação acima:

$$A = \frac{\left(\sum_{\ell=1}^n A \right)}{n} \quad (8)$$

Você deve ter notado que em cada exemplo mostrado o índice da soma mudou (foram usados j, k e ℓ , nesta ordem).

Pode-se usar qualquer letra como índice, tomando-se o devido cuidado de ser coerente com o que está dentro do somatório. Tudo o que estiver dentro do somatório e que não depende do índice da soma, pode ser colocado para fora do mesmo. Isso é o equivalente a colocar em evidência, como vemos a seguir:

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^n (A_i B_\ell C_k) &= B_\ell C_k A_1 + B_\ell C_k A_2 + \dots + B_\ell C_k A_n \\ &= B_\ell C_k (A_1 + A_2 + \dots + A_n) \\ &= B_\ell C_k \sum_{i=1}^n A_i \end{aligned} \quad (9)$$

Por fim, apresentamos ainda a seguinte propriedade:

$$\sum_{i=n_1}^{n_2} (A_n + B_n) = \sum_{i=n_1}^{n_2} A_n + \sum_{i=n_1}^{n_2} B_n \quad (10)$$

6.2 O número finito ou infinito de casas decimais

O que realmente impede que os números irracionais possam ser expressos como uma razão entre dois números inteiros? Não é porque eles têm um número infinito de casas decimais. Para melhor compreender esse assunto, comecemos com os números racionais. Pense em um número racional qualquer, como por exemplo 3,57. Qualquer número com um número finito de casas decimais é um número racional. Mas, indo adiante na nossa odisséia entre os números, como achar dois números inteiros quaisquer cuja razão nos dê como resultado 3,57? É bastante simples: basta tomar 357 e dividir por 100. Ou então 3570 dividido por 1000. Ambos os procedimentos estão corretos, pois mostram que o número 3,57 pode ser expresso como uma razão entre dois números inteiros. Um número finito de casas decimais automaticamente identifica o número como racional, como será demonstrado a seguir. De forma geral, um número com n casas decimais pode ser escrito como:

$$A, a_1 a_2 \dots a_n \quad (11)$$

Os algarismos a_1, a_2, \dots, a_n são as casas decimais do número acima. Podemos multiplicá-lo por 10^n , obtendo:

$$10^n \times A, a_1 a_2 \dots a_n = A a_1 a_2 \dots a_n \quad (12)$$

O resultado acima é, com certeza, um número inteiro. Logo:

$$A, a_1 a_2 \dots a_n = \frac{A a_1 a_2 \dots a_n}{10^n} \quad (13)$$

Como o resultado mostrado em (13) é uma fração m/n conclui-se que qualquer número que possua uma quantidade finita de casas decimais é um número racional.

Continuando o raciocínio sobre números racionais: será que um número com um número infinito de casas decimais pode ser racional? As dízimas periódicas, ou seja, números do tipo $A,aaaa\dots$, $A,ababab\dots$, $A,abcabc\dots$ ou $A,a_1a_2a_3\dots a_nbbb\dots$, possuem infinitas casas decimais. Mas têm uma característica peculiar: a partir de uma dada casa decimal, os algarismos se repetem periodicamente. Pode-se demonstrar genericamente, que números nessa forma podem ser expressos como uma razão entre dois números inteiros, ou seja, são números racionais. Vamos fazer isso para o caso mais simples, ou seja, um número do tipo $A,aaaaa\dots$. Multiplicando $A,aaaaa\dots$ por 10 e fazendo a subtração $10 \times A,aaaaa\dots - A,aaaaa\dots$, obtemos:

$$\begin{aligned} 10 \times A,aaaaa\dots - A,aaaaa\dots &= Aa,aaaaa\dots - A,aaaaa\dots \\ &= Aa - A \\ &= 9 \times A,aaaaa\dots \end{aligned} \quad (14)$$

Porém, o número Aa pode ser decomposto na base decimal como:

$$Aa = A \times 10^1 + a \times 10^0 = 10A + a \quad (15)$$

Substituindo a equação na equação :

$$9 \times A,aaaaa\dots = 10A + a - A = 9A + a \quad (16)$$

Obtemos, finalmente, que:

$$A,aaaaa\dots = \frac{9A + a}{9} \quad (17)$$

Logo, uma dízima periódica do tipo acima, pode ser expressa como uma razão entre dois números inteiros, ou seja, é um número racional. Essa dízima é dita de período 1, uma vez que os algarismos de suas casas decimais se repetem de 1 em 1. Como exemplo:

$$A = 1, a = 6: \quad 1,666\dots = \frac{9 \times 1 + 6}{9} = \frac{15}{9} = \frac{5}{3}$$

$$A = 20, a = 7: \quad 20,777\dots = \frac{9 \times 20 + 7}{9} = \frac{187}{9}$$

Uma dízima periódica de período 2 pode ser expressa na forma geral como $A, a_1 a_2 a_1 a_2 \dots$, sendo $a_1 \neq a_2$. Por procedimento análogo ao usado para a dízima periódica de período 1, multiplica-se $A, a_1 a_2 a_1 a_2 \dots$ por 100 (10 elevado ao período, que é 2) e faz-se a subtração $100 \times A, a_1 a_2 a_1 a_2 \dots - A, a_1 a_2 a_1 a_2 \dots$, obtendo:

$$\begin{aligned} 100 \times A, a_1 a_2 a_1 a_2 \dots - A, a_1 a_2 a_1 a_2 \dots &= A a_1 a_2, a_1 a_2 a_1 a_2 \dots - A, a_1 a_2 a_1 a_2 \dots \\ &= A a_1 a_2 - A \\ &= 99 \times A, a_1 a_2 a_1 a_2 \dots \end{aligned} \quad (18)$$

Decompondo $A a_1 a_2$ na base decimal, obtemos:

$$A a_1 a_2 = A \times 10^2 + a_1 \times 10^1 + a_2 \times 10^0 = 100A + 10a_1 + a_2 \quad (19)$$

Ou seja:

$$A, a_1 a_2 a_1 a_2 \dots = \frac{99A + 10a_1 + a_2}{99} \quad (20)$$

Pode ser demonstrado facilmente, por esse mesmo raciocínio, que uma dízima periódica de período 3, do tipo $A, a_1 a_2 a_3 a_1 a_2 a_3 \dots$ (onde pelo menos uma das casas decimais $a_1 a_2 a_3$ deve ser diferente das outras duas) é um número racional, podendo ser expresso por:

$$A, a_1 a_2 a_3 a_1 a_2 a_3 \dots = \frac{999A + 100a_1 + 10a_2 + a_3}{999} \quad (21)$$

No caso em que temos uma dízima periódica de período p , ou seja, do tipo $A, a_1 a_2 a_3 \dots a_p a_1 a_2 a_3 \dots a_p \dots$ (onde a sequência formada pelas casas decimais $\{a_1, a_2, a_3, \dots, a_p\}$ não apresenta nenhuma periodicidade) mostra-se que essa dízima é também um número racional, podendo ser expresso por uma razão entre dois números inteiros:

$$A, a_1 a_2 a_3 \dots a_p a_1 a_2 a_3 \dots a_p \dots = \frac{(10^p - 1)A + \sum_{k=1}^p (10^{p-k} a_k)}{(10^p - 1)} \quad (22)$$

Assim, vê-se que números com um número finito de casas decimais e números com um número infinito de casas decimais que apresentam periodicidade são números racionais. Se tivermos um número com infinitas casas decimais e nenhuma delas se repete periodicamente, estaremos entrando no terreno dos números irracionais. É exatamente a conjunção de ter infinitas casas decimais e estas não se repetirem periodicamente que impede os números irracionais de poderem ser expressos por uma razão de dois números inteiros. Neste caso, temos:

$$\begin{aligned} A, a_1 a_2 a_3 \dots &= A \times 10^0 + a_1 \times 10^{-1} + a_2 \times 10^{-2} + a_3 \times 10^{-3} + \dots \\ &= A + \sum_{i=1}^{\infty} (a_i \times 10^{-i}) = A + \sum_{i=1}^{\infty} \frac{a_i}{10^i} \end{aligned} \quad (23)$$

Se as casas decimais (dadas pelos algarismos a_i) não apresentam uma periodicidade, não podemos expressar (23) como um quociente entre números inteiros e, portanto, não podemos expressar o número dado na forma m/n .

A expressão (23) pode ser obtida da expressão (22) fazendo o período p tender a infinito (casas decimais sem periodicidade). Para fazer isso, usa-se teoria de limites, não tratada neste texto por estar fora dos nossos objetivos.

6.3 A irracionalidade de $\sqrt{2}$:

Para demonstrar a irracionalidade de $\sqrt{2}$, podemos usar a redução ao absurdo (essa demonstração é atribuída a Aristóteles). Vamos supor que, por hipótese, $\sqrt{2}$ é racional. Sendo assim, ele pode ser igualado a uma razão entre dois números inteiros, ou seja:

$$\sqrt{2} = \frac{m}{n}, \quad (24)$$

onde os números m e n não possuem um divisor comum (ou seja, a fração m/n é a mais simples que, por hipótese, representa $\sqrt{2}$). Nesse caso, elevando-se ao quadrado os dois lados da equação (24), temos:

$$2n \cdot n = m \cdot m. \quad (25)$$

Assim, temos que $m \cdot n$ é um número par, ou seja, m é par⁴⁵. Mas se isso é verdade, podemos expressar m como $m=2k$, ($k = 0,1,2,3,\dots$). Substituindo esse resultado na equação (25):

$$2n \cdot n = 4k \cdot k, \quad (26)$$

ou seja, n também é par. Mas se tanto m quanto n são pares, isso significa que ambos são divisíveis por 2, o que contraria a hipótese que eles não possuem um divisor comum. Sendo assim, recaímos em um absurdo. Esse absurdo só pode vir da hipótese na qual supomos que $\sqrt{2}$ é racional. Portanto, $\sqrt{2}$ é um número irracional.

⁴⁵ Se o quadrado de um certo número inteiro é par, esse número é par. A prova dessa afirmação é simples e não será desenvolvida aqui.

Capítulo 7

APÊNDICE 2:

A alegoria da caverna de platão

A alegoria da caverna de Platão está contida em uma de suas muitas obras, chamada *A República* (PLATÃO, 2002). Com essa alegoria, Platão simboliza a passagem de um grau de conhecimento para outro mais pleno. Há um vídeo de uma animação com personagens de argila, muito interessante, sobre essa alegoria no YouTube (<http://www.youtube.com/watch?v=RtuhNm6z10E>).



Figura 14: A alegoria da caverna de Platão, representada em gravura por Jan Sanraedam (artista holandês, que viveu entre 1565 e 1607).

Abaixo segue a transcrição.

Sócrates: Agora imagine a nossa natureza, segundo o grau de educação que ela recebeu ou não, de acordo com o quadro que vou fazer. Imagine, pois, homens que vivem em uma morada subterrânea em forma de caverna. A entrada se abre para a luz em toda a largura da fachada. Os homens estão no interior desde a infância, acorrentados pelas pernas e pelo pescoço, de modo que não podem mudar de lugar nem voltar a cabeça para ver algo que não esteja diante deles. A luz lhes vem de um fogo que queima por trás deles, ao longe, no alto. Entre os prisioneiros e o fogo, há um caminho que sobe. Imagine que esse caminho é cortado por um pequeno muro, semelhante ao tapume que os exibidores de marionetes dispõem entre eles e o público, acima do qual manobram as marionetes e apresentam o espetáculo.

Glauco: Entendo

Sócrates: Então, ao longo desse pequeno muro, imagine homens que carregam todo o tipo de objetos fabricados, ultrapassando a altura do muro; estátuas de homens, figuras de animais, de pedra, madeira ou qualquer outro material. Provavelmente, entre os carregadores que desfilam ao longo do muro, alguns falam, outros se calam.

Glauco: Estranha descrição e estranhos prisioneiros!

Sócrates: Eles são semelhantes a nós. Primeiro, você pensa que, na situação deles, eles tenham visto algo mais do que as sombras de si mesmos e dos vizinhos que o fogo projeta na parede da caverna à sua frente?

Glauco: Como isso seria possível, se durante toda a vida eles estão condenados a ficar com a cabeça imóvel?

Sócrates: Não acontece o mesmo com os objetos que desfilam?

Glauco: É claro.

Sócrates: Então, se eles pudessem conversar, não acha que, nomeando as sombras que vêm, pensariam nomear seres reais?

Glauco: Evidentemente.

Sócrates: E se, além disso, houvesse um eco vindo da parede diante deles, quando um dos que passam ao longo do pequeno muro falasse, não acha que eles tomariam essa voz pela da sombra que desfila à sua frente?

Glauco: Sim, por Zeus.

Sócrates: Assim sendo, os homens que estão nessas condições não poderiam considerar nada como verdadeiro, a não ser as sombras dos objetos fabricados.

Glauco: Não poderia ser de outra forma.

Sócrates: Veja agora o que aconteceria se eles fossem libertados de suas correntes e curados de sua desrazão. Tudo não aconteceria naturalmente como vou dizer? Se um desses homens fosse solto, forçado subitamente a levantar-se, a virar a cabeça, a andar, a olhar para o lado da luz, todos esses movimentos o fariam sofrer; ele ficaria ofuscado e não poderia distinguir os objetos, dos quais via apenas as sombras anteriormente. Na sua opinião, o que ele poderia responder se lhe dissessem que, antes, ele só via coisas sem consistência, que agora ele está mais perto da realidade, voltado para objetos mais reais, e que está vendo melhor? O que ele responderia se lhe designassem cada um dos objetos que desfilam, obrigando-o com perguntas, a dizer o que são? Não acha que ele ficaria embaraçado e que as sombras que ele via antes lhe pareceriam mais verdadeiras do que os objetos que lhe mostram agora?

Glauco: Certamente, elas lhe pareceriam mais verdadeiras.

Sócrates: E se o forçassem a olhar para a própria luz, não achas que os olhos lhe doeriam, que ele viraria as costas e voltaria para as coisas que pode olhar e que as consideraria verdadeiramente mais nítidas do que as coisas que lhe mostram?

Glauco: Sem dúvida alguma.

Sócrates: E se o tirarem de lá à força, se o fizessem subir o íngreme caminho montanhoso, se não o largassem até arrastá-lo para a luz do sol, ele não

sofreria e se irritaria ao ser assim empurrado para fora? E, chegando à luz, com os olhos ofuscados pelo brilho, não seria capaz de ver nenhum desses objetos, que nós afirmamos agora serem verdadeiros.

Glauco: Ele não poderá vê-los, pelo menos nos primeiros momentos.

Sócrates: É preciso que ele se habitue, para que possa ver as coisas do alto. Primeiro, ele distinguirá mais facilmente as sombras, depois, as imagens dos homens e dos outros objetos refletidas na água, depois os próprios objetos. Em segundo lugar, durante a noite, ele poderá contemplar as constelações e o próprio céu, e voltar o olhar para a luz dos astros e da lua mais facilmente que durante o dia para o sol e para a luz do sol.

Glauco: Sem dúvida.

Sócrates: Finalmente, ele poderá contemplar o sol, não o seu reflexo nas águas ou em outra superfície lisa, mas o próprio sol, no lugar do sol, o sol tal como é.

Glauco: Certamente.

Sócrates: Depois disso, poderá raciocinar a respeito do sol, concluir que é ele que produz as estações e os anos, que governa tudo no mundo visível, e que é, de algum modo, a causa de tudo o que ele e seus companheiros viam na caverna.

Glauco: É indubitável que ele chegará a essa conclusão.

Sócrates: Nesse momento, se ele se lembrar de sua primeira morada, da ciência que ali se possuía e de seus antigos companheiros, não acha que ficaria feliz com a mudança e teria pena deles?

Glauco: Claro que sim.

Sócrates: Quanto às honras e louvores que eles se atribuíam mutuamente outrora, quanto às recompensas concedidas àquele que fosse dotado de uma visão mais aguda para discernir a passagem das sombras na parede e de uma memória mais fiel para se lembrar com exatidão daquelas que precedem certas outras ou que lhes sucedem, as que vêm juntas, e que,

por isso mesmo, era o mais hábil para conjeturar a que viria depois, acha que nosso homem teria inveja dele, que as honras e a confiança assim adquiridas entre os companheiros lhe dariam inveja? Ele não pensaria antes, como o herói de Homero, que mais vale “viver como escravo de um lavrador” e suportar qualquer provação do que voltar à visão ilusória da caverna e viver como se vive lá?

Glauco: Concordo com você. Ele aceitaria qualquer provação para não viver como se vive lá.

Sócrates: Reflita ainda nisto: suponha que esse homem volte à caverna e retome o seu antigo lugar. Desta vez, não seria pelas trevas que ele teria os olhos ofuscados, ao vir diretamente do sol?

Glauco: Naturalmente.

Sócrates: E se ele tivesse que emitir de novo um juízo sobre as sombras e entrar em competição com os prisioneiros que continuaram acorrentados, enquanto sua vista ainda está confusa, seus olhos ainda não se recompuseram, enquanto lhe deram um tempo curto demais para acostumar-se com a escuridão, ele não ficaria ridículo? Os prisioneiros não diriam que, depois de ter ido até o alto, voltou com a vista perdida, que não vale mesmo a pena subir até lá? E se alguém tentasse retirar os seus laços, fazê-los subir, você acredita que, se pudessem agarrá-lo e executá-lo, não o matariam?

Glauco: Sem dúvida alguma, eles o matariam.

Sócrates: E agora, meu caro Glauco, é preciso aplicar exatamente essa alegoria ao que dissemos anteriormente. Devemos assimilar o mundo que apreendemos pela vista à estada na prisão, a luz do fogo que ilumina a caverna à ação do sol. Quanto à subida e à contemplação do que há no alto, considera que se trata da ascensão da alma até o lugar inteligível, e não te enganarás sobre minha esperança, já que desejas conhecê-la. Deus sabe se há alguma possibilidade de que ela seja fundada sobre a verdade. Em todo o caso eis o que me aparece tal como me aparece; nos últimos limites do mundo inteligível aparece-me a idéia do Bem, que se percebe com dificuldade, mas que não se pode ver sem concluir que ela é a causa

de tudo o que há de reto e de belo. No mundo visível, ela gera a luz e o senhor da luz, no mundo inteligível ela própria é a soberana que dispensa a verdade e a inteligência. Acrescento que é preciso vê-la se quer comportar-se com sabedoria, seja na vida privada, seja na vida pública.

Glauco: Tanto quanto sou capaz de compreender-te, concordo contigo.

REFERÊNCIAS

- ABDALLA, E. Teoria quântica da gravitação: cordas e teoria M. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, São Paulo, v. 27, n. 1, p. 147-155, mar. 2005. Disponível em: <<http://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/abdala.pdf>>.
- ADELSON, E. H. Perceptual organization and the judgment of brightness. *Science*, New York, v. 262, n. 5142, p. 2042-2044, Dec. 1993. Disponível em: <<http://www.sciencemag.org/cgi/content/abstract/262/5142/2042>>.
- ADELSON, E. H. Lightness perception and lightness illusions. In: GAZZANIGA, M. S.; BIZZI, E. (Eds.). *The new cognitive neurosciences*. Cambridge: MIT Press, 2000. p. 339-351.
- ALBRECHT, A.; STEINHARDT, P. J. Cosmology for grand unified theories with radiatively induced symmetry breaking. *Physical Review Letters*, Maryland, v. 48, n. 17, p. 1220-1223, Apr. 1982. Disponível em: <<http://link.aps.org/abstract/PRL/v48/p1220>>. Acesso em: 29 dez. 2009
- ANDERSON, P. W. God (or not), physics and, of course, love: scientists take a leap. *New York Times*, 2005, p. 3. Disponível em: <http://www.nytimes.com/2005/01/04/science/04edgehed.html?_r=1&pagewanted=3&oref=login>. Acesso em: 1 jan. 2010
- ASPECT, A. One century of quantum revolutions. In: Valerio Scarani. *Quantum physics, a first encounter: interference, entanglement, and reality*. Oxford: Oxford University Press, 2006. p. ix-xiv. Foreword.
- AULETTA, G. *Foundations and interpretation of quantum mechanics: in the light of a critical-historical analysis of the problems and of a synthesis of the results*. Singapore: World Scientific, 2001.
- BACHELARD, G. *A filosofia do não*. Lisboa: Presença, 1984.
- BACON, F. *Novum Organum*. Wirceburgi, Apud J. Stahel, 1779. Disponível em: <http://books.google.com/books/download/Novum_organum_scientiarum.pdf?id=IKoAAAAcAAJ&hl=pt-BR&output=pdf&sig=ACfU3U0c0bGuOJdBzcj8BFhZXlgXeEVLdw&source=gbs_v2_summary_r&cad=0>. Acesso em: 30 dez. 2009.
- BOYER, C. B.; MERZBACH, U. C. *A history of mathematics*. New York: John Wiley and Sons, 1991.
- BURTON, D. M. *The history of mathematics: an introduction*. Boston: Allyn and Bacon, 1985.

CARRUCCIO, E. *Mathematics and logic in history and in contemporary thought*. New Brunswick: Aldine Transaction, 2006.

CAWTHON, E. R.; ROWELL, J. A. Epistemology and science education. *Studies in Science Education*, v. 5, n. 1, p. 31 - 59, 1978. Disponível em: <<http://www.informaworld.com/10.1080/03057267808559856>>. Acesso em: January 02, 2010

CERN. *LHC_Homepage*. Disponível em: <<http://lhc.web.cern.ch/lhc/>>. Acesso em: 8 jan. 2009.

CHASSOT, A. *A ciência através dos tempos*. São Paulo: Moderna, 2000.

PARALLEL Universes (Parte 1). Direção: CLARK, M. Produção: Horizon. London: BBC, 2002a, Disponível em: <http://www.youtube.com/watch?v=kxraG_20yjE&feature=Playlist&p=1921B6AD1134593D&index=0&playnext=1>. Acesso em: 1 jan. 2010.

PARALLEL Universes (Parte 2). Direção: CLARK, M. Produção: Horizon. London: BBC, 2002b, Disponível em: <<http://www.youtube.com/watch?v=nzUbZFNDGLs&feature=Playlist&p=1921B6AD1134593D&index=1>>. Acesso em: 1 jan. 2010.

PARALLEL Universes (Parte 3). Direção: CLARK, M. Produção: Horizon. London: BBC, 2002c, Disponível em: <<http://www.youtube.com/watch?v=Mqhmejfmj0U&feature=Playlist&p=1921B6AD1134593D&index=2>>. Acesso em: 1 jan. 2010.

PARALLEL Universes (Parte 4). Direção: CLARK, M. Produção: Horizon. London: BBC, 2002d, Disponível em: <<http://www.youtube.com/watch?v=7oKp4LL18jQ&feature=Playlist&p=1921B6AD1134593D&index=3>>. Acesso em: 1 jan. 2010.

PARALLEL Universes (Parte 5). Direção: CLARK, M. Produção: Horizon. London: BBC, 2002e, Disponível em: <<http://www.youtube.com/watch?v=c9e8Fw4WCJE&feature=Playlist&p=1921B6AD1134593D&index=4>>. Acesso em: 1 jan. 2010.

CLEMINSON, A. Establishing an epistemological base for science teaching in the light of contemporary notions of the nature of science and of how children learn science. *Journal of Research in Science Teaching*, v. 27, n. 5, p. 429-445, 1990. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1002/tea.3660270504>>.

COYNE, J. A.; ORR, H. A. *Speciation*. Sunderland: Sinauer Associates, 2004.

CUNHA, A. L.; CALDAS, H. Modos de raciocínio baseados na teoria do impetus: um estudo com estudantes e professores do ensino fundamental e médio. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, São Paulo, v. 23, n. 1, p. 93-103, mar. 2001. Disponível em: <http://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/v23_93.pdf>. Acesso em: 10 jul. 2008

DEMETRIUS, L. Thermodynamics and Evolution. *Journal of Theoretical Biology*, London, v. 206, n. 1, p. 1-16, 2000. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/B6WMD-45CWWTN-2X/2/6e3f9f82543542c1d1d4c18b2e3c1405>>.

- DO CARMO, R.; NUNES-NETO, N.; EL-HANI, C. Gaia Theory in Brazilian High School Biology Textbooks. *Science & Education*, Dordrecht, v. 18, n. 3, p. 469-501, 2009. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/s11191-008-9149-3>>.
- EINSTEIN, A. *Como vejo o mundo*. 11. ed. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1981.
- FEYERABEND, P. *Contra o método*. São Paulo: UNESP, 2007.
- FEYNMAN, R. P.; LEIGHTON, R. B.; SANDS, M. *The Feynman lectures on Physics: mainly mechanics, radiation and heat*. New York: Addison-Wesley, 1963a. v. 1.
- FEYNMAN, R. P.; LEIGHTON, R. B.; SANDS, M. *The Feynman lectures on Physics: mainly electromagnetism and matter*. New York: Addison-Wesley, 1963b. v. 2.
- GUTH, A. H. Inflationary universe: A possible solution to the horizon and flatness problems. *Physical Review D*, v. 23, n. 2, p. 347-356, Jan. 1981. Disponível em: <<http://link.aps.org/abstract/PRD/v23/p347>>. Acesso em: 29 dez. 2009
- HANSON, N. R. *Patterns of discovery: an inquiry into the conceptual foundations of science*. Cambridge: University Press, 1961.
- HANSON, N. R. *Perception and discovery: an introduction to scientific inquiry*. San Francisco: Freeman, Cooper, 1970.
- HANSON, N. R.; TOULMIN, S. *Observation and explanation: a guide to philosophy of science*. London: G. Allen and Unwin, 1971.
- HAWKING, S. W.; ELLIS, G. F. R. The cosmic black-body radiation and the existence of singularities in our universe. *Astrophysics Journal*, London, v. 152, p. 25-36, Apr. 1968.
- HAWKING, S. W.; PENROSE, R. The singularities of gravitational collapse and cosmology. *Proceedings of the Royal Society of London: Series A, Mathematical and Physical Sciences*, London, v. 314, n. 1519, p. 529-548, Jan. 1970. Disponível em: <<http://rspa.royalsocietypublishing.org/content/314/1519/529.full.pdf+html?sid=a61f7f57-1e3d-4df5-b6be-0a423bc0f106>>. Acesso em: 29 dez. 2009
- HODGKIN, L. *A history of mathematics: from Mesopotamia to modernity*. Oxford: Oxford University Press, 2004.
- HODSON, D. Philosophy of science, science and science education. *Studies in Science Education*, v. 12, n. 1, p. 25 - 57, 1985. Disponível em: <<http://www.informaworld.com/10.1080/03057268508559922>>. Acesso em: 2 jan. 2010
- HOPE, W.; HOLSTON, K. R. *The Shakespeare controversy: an analysis of the authorship theories*. Jefferson, N.C.: McFarland & Co., 2009.
- HOWARD, D. A. Albert Einstein as a Philosopher of Science. *Physics Today*, Woodbury, v. 58, n. 12, p. 34-41, 2005.
- HUTCHINSON, D. S.; JOHNSON, M. R. *Aristotle: invitation to philosophy*. Documento eletrônico, parte de um projeto de reconstrução do texto Convite à Filosofia (Protrephtikos

Filosofias), originalmente escrito por Aristóteles. Disponível em: <<http://www.chass.utoronto.ca/~phl102y/Protrepticus.pdf>>. Acesso em: 9 jul. 2009.

KAUFFMAN, S. A. *The origins of order*. New York: Oxford, 1993.

KAY, K. M.; SCHEMSKE, D. W. Natural Selection reinforces speciation in a radiation of neotropical rainforest plants. *Evolution: International Journal of Organic Evolution*, Lancaster, v. 62, n. 10, p. 2628-2642, 2008. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1111/j.1558-5646.2008.00463.x>>.

KHOURY, J.; OVRUT, B. A.; STEINHARDT, P. J.; TUROK, N. Ekpyrotic universe: Colliding branes and the origin of the hot big bang. *Physical Review D*, v. 64, n. 12, p. 123522/1-123522/24, Dec. 2001. Disponível em: <<http://link.aps.org/abstract/PRD/v64/e123522>>. Acesso em: 1 jan. 2010

KOPERSKI, J. Two bad ways to attack intelligent design and two good ones. *Zygon(r)*, Chicago, v. 43, n. 2, p. 433-449, Jun. 2008. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1111/j.1467-9744.2008.00926.x>>.

KUHN, T. *A estrutura das revoluções científicas*. São Paulo: Perspectiva, 1997.

LAKATOS, I. O falseamento e a metodologia dos programas de pesquisa científica. In: LAKATOS, I.; MUSGRAVE, A. (Eds.). *A crítica e o desenvolvimento do conhecimento*. São Paulo: EDUSP, 1979.

LAUDAN, L. The demise of the demarcation problem. In: COHAN, R. S.; LAUDAN, L. (Eds.). *Physics, philosophy, and psychoanalysis*. Dordrecht: Kluwer, 1983. p. 111-127.

LAUDAN, L. *El progreso y sus problemas: hacia una teoría del crecimiento científico*. Madrid: Ediciones Encuentro, 1986.

LEMKE, J. L. Articulating communities: Sociocultural perspectives on science education. *Journal of Research in Science Teaching*, v. 38, n. 3, p. 296-316, Mar. 2001. Disponível em: <[citeulike-article-id:2320195http://dx.doi.org/10.1002/1098-2736\(200103\)38:3%3C296::AID-TEA1007%3E3.0.CO;2-R](http://dx.doi.org/10.1002/1098-2736(200103)38:3%3C296::AID-TEA1007%3E3.0.CO;2-R)>.

LINDE, A. D. A new inflationary universe scenario: A possible solution of the horizon, flatness, homogeneity, isotropy and primordial monopole problems. *Physics Letters B*, v. 108, n. 6, p. 389-393, Feb. 1982.

LOGUERCIO, R.; DEL PINO, J. C. *Livros didáticos*. Porto Alegre: UFRGS, 1995.

LOGUERCIO, R. D. Q.; SAMRSLA, V. E. E.; DEL PINO, J. C. A dinâmica de analisar livros didáticos com os professores de química. *Química Nova*, São Paulo, v. 24, p. 557-562, jul./ago. 2001. Disponível em: <<http://quimicanova.sbq.org.br/qn/qnol/2001/vol24n4/17.pdf>>.

LOPES, A. R. C. Livros didáticos: obstáculos ao aprendizado da ciência química. *Química Nova*, São Paulo, v. 15, n. 3, p. 254-261, jul. 1992. Disponível em: <[http://quimicanova.sbq.org.br/qn/qnol/1992/vol15n3/v15_n3_%20\(16\).pdf](http://quimicanova.sbq.org.br/qn/qnol/1992/vol15n3/v15_n3_%20(16).pdf)>. Acesso em: 3 jan. 2010

- LOPES, A. R. C. Bachelard: o filósofo da desilusão. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, Florianópolis, v. 13, n. 3, p. 248-273, dez. 1996a. Disponível em: <<http://www.periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/7049/6525>>. Acesso em: 2 jan. 2010
- LOPES, A. R. C. Potencial de redução e eletronegatividade: obstáculo verbal. *Química Nova na Escola*, São Paulo, v. 2, n. 4, p. 21-23, nov. 1996b. Disponível em: <<http://qnesc.sbg.org.br/online/qnesc04/conceito.pdf>>. Acesso em: 3 jan. 2010
- LOSEE, J. *A historical introduction to the philosophy of science*. 4. ed. Oxford: Oxford University Press, 2001.
- MARQUES, M.; KAUARK, P.; BIRCHAL, T. *Filosofia: Proposta Curricular (Ensino Médio)*. Belo Horizonte: Governo do Estado de Minas Gerais, 2007. Disponível em: <http://crv.educacao.mg.gov.br/sistema_crv/banco_objetos_crv/%7B29D0A457-F644-4CF4-A309-468518DB19AC%7D_PC%20FILOSOFIA%202008%20EM.pdf>. Acesso em: 6 jan. 2010.
- MASSON, S.; VÁZQUEZ-ABAD, J. Integrating history of science in science education through historical microworlds to promote conceptual change. *Journal of Science Education and Technology*, Dordrecht, v. 15, n. 3, p. 257-268, 2006.
- MAYR, E. *What evolution is*. London: Weidenfeld & Nicolson, 2002. (Science masters).
- MOREIRA, M. A.; OSTERMANN, F. Sobre o ensino do método científico. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, Florianópolis, v. 10, n. 2, p. 108-117, ago. 1993. Disponível em: <<http://www.periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/7275/6704>>. Acesso em: 8 jan. 2009
- MORTIMER, E. F. Construtivismo, mudança conceitual e ensino de ciências: para onde vamos? *Investigações em Ensino de Ciências*, Porto Alegre, v. 1, n. 1, p. 20-39, 1996. Disponível em: <http://www.if.ufrgs.br/ienci/artigos/Artigo_ID8/v1_n1_a2.pdf>.
- MULLEN, L. M.; HOEKSTRA, H. E. Natural Selection along an environmental gradient: a classic cline in mouse pigmentation. *Evolution: International Journal of Organic Evolution*, Lancaster, v. 62, n. 7, p. 1555-1570, May 2008. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1111/j.1558-5646.2008.00425.x>>.
- MURCHO, D. Does science need philosophy? *Revista Eletrônica Informação e Cognição*, Marília, v. 5, n. 2, 2006. Disponível em: <<http://www.portalppgci.marilia.unesp.br/reic/include/getdoc.php?id=182&article=49&mode=pdf>>. Acesso em: 9 jul. 2009
- NELSON SPECTOR. *A cura do câncer*. Disponível em: <<http://www.observatoriodaimprensa.com.br/ofjor/curadocancer.htm>>. Acesso em: jan. 2010.
- NUSSBAUM, J. Classroom conceptual change: philosophical perspectives. *International Journal of Science Education*, London, v. 11, n. 5, p. 530 - 540, 1989. Disponível em: <<http://www.informaworld.com/10.1080/0950069890110505>>. Acesso em: 3 Jan. 2010
- OLIVEIRA, A. M.; SILVA, A. *Biblioteca da matemática moderna*. 1. ed. São Paulo: Lisa, 1968. v. 1.
- ORR, H. A. Sutilezas da seleção natural. *Scientific American Brazil*, São Paulo, n. 81, p. 32-39, fev. 2009.

PEDUZZI, L. O. Q. Física aristotélica: por que não considerá-la no ensino da mecânica? *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, Florianópolis, v. 13, n. 1, p. 48-63, abr. 1996. Disponível em: <<http://www.periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/7078/6549>>. Acesso em: 10 jul. 2008

PEDUZZI, L. O. Q. *A relatividade einsteiniana: uma abordagem conceitual e epistemológica*. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), 2008. Trabalho não publicado. (Material instrucional produzido pelo autor).

PEDUZZI, L. O. Q.; ZYLBERSTAJN, A. La Física de la fuerza impresa y sus implicaciones para la enseñanza de la mecánica. *Enseñanza de las Ciencias*, Barcelona, v. 15, n. 3, p. 351-359, 1997. Disponível em: <<http://www.raco.cat/index.php/Ensenanza/article/view/21504/93554>>. Acesso em: 10 jul. 2008

PEREIRA, A.; OSTERMANN, F.; CAVALCANTI, C. O ensino de física quântica na perspectiva sociocultural: uma análise de um debate entre futuros professores mediado por um interferômetro virtual de Mach-Zehnder. *Revista Electrónica de Enseñanza de Las Ciencias*, Vigo, v. 8, n. 1, mayo 2008.

PESSOA JR., O. Interferometria, interpretação e intuição: uma Introdução conceitual à Física Quântica. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, São Paulo, v. 19, n. 1, p. 27-48, mar. 1997.

PESSOA JR., O. Interpretações da teoria quântica e as concepções dos alunos do curso de Física. *Investigações em Ensino de Ciências*, Porto Alegre, v. 7, n. 2, p. 107-126, 2002. Disponível em: <http://www.if.ufrgs.br/ienci/artigos/Artigo_ID84/v7_n2_a2002.pdf>. Acesso em: 12 jul. 2009

PESSOA JR., O. *Conceitos de Física Quântica*. São Paulo: Livraria da Física, 2003.

PESSOA JR., O. What is an essentially quantum mechanical effect? *Revista Eletrônica Informação e Cognição*, Marília, v. 3, n. 1, p. 1-13, 2006. Disponível em: <<http://www.portalppgci.marilia.unesp.br/reic/include/getdoc.php?id=100&article=13&mode=pdf>>. Acesso em: 9 jul. 2009

PLATÃO. *A alegoria da caverna (livro VII da república)*. Lisboa: Ésquilo, 2002.

PLUTYNSKI, A. Should intelligent design be taught in public school science classrooms? *Science & Education*, Dordrecht, Aug. 2008. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/s11191-008-9169-z>>. Online First (Publicação em breve).

POPPER, K. *A lógica da pesquisa científica*. 6. ed. São Paulo: Cultrix, 1996.

RANDALL, L.; SUNDRUM, R. Large Mass Hierarchy from a Small Extra Dimension. *Physical Review Letters*, Maryland, v. 83, n. 17, p. 3370-3373, May 1999. Disponível em: <<http://link.aps.org/abstract/PRL/v83/p3370>>. Acesso em: 1 jan. 2010

REZENDE, F.; BARROS, S. D. S. Teoria aristotélica, teoria do impetus ou teoria nenhuma: um panorama das dificuldades conceituais de estudantes de Física em Mecânica básica. *Revista da Associação Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, Belo Horizonte, v. 1, n. 1, p. 43-56, jan./abr. 2001. Disponível em: <<http://www.fae.ufmg.br/abrapec/revistas/v1n1a4.pdf>>. Acesso em: 10 jul. 2008

- RICE, W. R.; HOSTERT, E. E. Laboratory experiments on speciation: what have we learned in 40 Years? *Evolution: International Journal of Organic Evolution*, Lancaster, v. 47, n. 6, p. 1637-1653 Dec. 1993. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.2307/2410209>>.
- ROBERTS, D. A. Developing the concept of “curriculum emphases” in science education. *Science Education*, v. 66, n. 2, p. 243-260, Apr. 1982. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1002/sce.3730660209>>.
- ROCHA, A. S. D. Filosofia e Física. *Revista da Sociedade Brasileira de História da Ciência*, Rio de Janeiro, v. 5, n. 1, p. 61-68, jan./jun. 1991. Disponível em: <http://www.mast.br/arquivos_sbhc/214.pdf>. Acesso em: 9 jul. 2009
- SCHLUTER, D. Evidence for ecological speciation and its alternative. *Science*, New York, v. 323, n. 5915, p. 737-741, July 2009. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1126/science.1160006>>.
- SILVEIRA, F. L.; PEDUZZI, L. O. Q. Três episódios de descoberta científica: da caricatura empirista a uma outra história. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, Florianópolis, v. 23, n. 1, p. 26-52, abr. 2006. Disponível em: <<http://www.periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/6289/5822>>.
- SILVEIRA, F. L. D. A filosofia de Karl Popper e suas implicações no ensino da ciência. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, Florianópolis, v. 6, n. 2, p. 148-162, 1989. Disponível em: <<http://www.periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/7713/7084>>. Acesso em: 3 jan. 2010
- SILVEIRA, F. L. D. Comentários sobre o artigo “A evolução da física e a sua relação com o arcabouço conceitual do intelecto ocidental”. *Revista de Ensino de Física*, São Paulo, v. 12, n. 1, p. 192-198, dez. 1990. Disponível em: <<http://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/vol12a12.pdf>>.
- SILVEIRA, F. L. D. A filosofia da ciência e o ensino de ciências. *Em aberto*, Brasília, v. 11, n. 55, p. 36-41, 1992. Disponível em: <<http://www.rbep.inep.gov.br/index.php/emaberto/article/view/816/734>>. Acesso em: 3 jan. 2010
- SILVEIRA, F. L. D. A metodologia dos programas de pesquisa: a epistemologia de Imre Lakatos. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, Florianópolis, v. 13, n. 3, p. 219-230, dez. 1996. Disponível em: <<http://www.periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/7047/6523>>. Acesso em: 2 jan. 2010
- SILVEIRA, F. L. D.; OSTERMANN, F. A insustentabilidade da proposta indutivista de “descobrir a lei a partir de resultados experimentais”. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, Florianópolis, p. 7-27, jun. 2002. Disponível em: <<http://www.periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/download/10052/9277>>. Acesso em: 4 jan. 2010. Número especial.
- SMITH, B. J.; KILLETT, B.; ANDREW, N.; RAYMER, M. G.; BANASZEK, K.; WALMSLEY, I. A. The One- and Two-Photon Transverse Wave Functions: Theory and Experiment. In: Conference on Lasers and Electro-Optics/Quantum Electronics and Laser Science and Photonic Applications Systems Technologies, Baltimore. *Technical Digest (CD)*...: Optical

- Society of America, 2005. 1v. p. QTuA3. Disponível em: <<http://www.opticsinfobase.org/abstract.cfm?URI=QELS-2005-QTuA3>>. Acesso em: 27 Jan. 2010.
- SMITH, B. J.; KILLETT, B.; RAYMER, M. G.; WALMSLEY, I. A.; BANASZEK, K. Measurement of the transverse spatial quantum state of light at the single-photon level. *Optics Letters*, New York, v. 30, n. 24, p. 3365-3367, Dec. 2005. Disponível em: <<http://ol.osa.org/abstract.cfm?URI=ol-30-24-3365>>. Acesso em: 27 Jan. 2010
- STEINHARDT, P. J.; TUROK, N. Cosmic evolution in a cyclic universe. *Physical Review D*, v. 65, n. 12, p. 126003/1-126003/20, June 2002a. Disponível em: <<http://link.aps.org/abstract/PRD/v65/e126003>>. Acesso em: 1 jan. 2010
- STEINHARDT, P. J.; TUROK, N. A Cyclic Model of the Universe. *Science*, v. 296, n. 5572, p. 1436-1439, May 2002b. Disponível em: <<http://www.sciencemag.org/cgi/reprint/sci;296/5572/1436.pdf>>. Acesso em: 1 jan. 2002
- STEINHARDT, P. J.; TUROK, N. The cyclic model simplified. *New Astronomy Reviews*, v. 49, n. 2-6, p. 43-57, May 2005. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.newar.2005.01.003>>. Acesso em: 1 jan. 2010
- TAVARES, M. D. L.; JIMÉNEZ-ALEIXANDRE, M.-P.; MORTIMER, E. Articulation of Conceptual Knowledge and Argumentation Practices by High School Students in Evolution Problems. *Science & Education*, Dordrecht, Sept. 2009. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/s11191-009-9206-6>>. Online First (Publicação em breve).
- THAGARD, P. R. Why Astrology is a Pseudoscience. In: PSA: Proceedings of the Biennial Meeting of the Philosophy of Science Association, East Lansing. Philosophy of Science Association, 1978. p. 223-234.
- VILLANI, A.; CABRAL, T. C. B. Mudança conceitual, subjetividade e psicanálise. *Investigações em Ensino de Ciências*, Porto Alegre, v. 2, n. 1, 1997. Disponível em: <http://www.if.ufrgs.br/ienci/artigos/Artigo_ID28/v2_n1_a1997.pdf>. Acesso em: 3 jan. 2010
- WINDSCHITL, M. Folk theories of “inquiry:” how preservice teachers reproduce the discourse and practices of an atheoretical scientific method. *Journal of Research in Science Teaching*, v. 41, n. 5, p. 481-512, May 2004. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1002/tea.20010>>.
- WINDSCHITL, M.; THOMPSON, J.; BRAATEN, M. Beyond the scientific method: model-based inquiry as a new paradigm of preference for school science investigations. *Science Education*, v. 92, n. 5, p. 941-967, Sept. 2008. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1002/sce.20259>>.

