



# REFLEXÕES EPISTEMOLÓGICAS PARA O ENSINO DE CIÊNCIAS: QUESTÕES PROBLEMATIZADORAS

## EPISTEMOLOGICAL REFLEXIONS TO THE SCIENCE TEACHING: PROBLEMATIZER QUESTIONS

Leandro Daros Gama <sup>1</sup>

João Zanetic <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Instituto de Física – USP, gama@if.usp.br

<sup>2</sup> Instituto de Física – USP, zanetic@if.usp.br

### Resumo

Tornou-se comum, em conversas, comerciais televisivos, reportagens ou textos o uso da expressão "isso está comprovado cientificamente". Considerando que nessa única expressão está refletida toda uma visão sobre a Natureza da Ciência, uma concepção sobre sua construção e sobre o tipo de conhecimento que ela promove, mostra-se relevante desenvolver a discussão da filosofia da ciência no ensino debruçada sobre o termo "comprovação" como tema motivador. Salientando a validade e a importância da ciência como diálogo com o mundo, é necessário ter em mente a problematização que cabe sobre o conceito de demonstração em ciências.

A partir de um esboço da epistemologia desenvolvida ao longo do século XX, propomos uma perspectiva problematizadora da Natureza da Ciência para o ensino. Ao final, defendemos alguns pontos de debate que merecem ganhar espaço de discussão nas salas de aula dos ensinos básico e superior.

**Palavras-chave:** Natureza da Ciência, Ensino de Ciências, problematização

### Abstract

The use of "it is scientifically proven" has become common in conversations, business television, reports or documents. Whereas only in that expression reflected a whole vision about the nature of science, a design on its construction and the type of knowledge that it promotes, it is important to develop the discussion of philosophy of science in the education, addressing the term "proof" as motivating theme. Stressing the importance and validity of science as dialogue with the world, it is necessary to bear in mind that the problematization which lies on the concept of demonstration in science.

From a sketch of the epistemology developed during the twentieth century, we propose a perspective problematizing the concept of "scientific proof" in the science teaching. In the end, we indicate some points of debate that deserve to win space for discussion in classrooms of basic and higher education.

### Introdução

O conhecimento científico é sem dúvida uma construção cultural<sup>2</sup> de grande valor. Tomando um referencial bachelardiano, podemos dizer que a ciência, enquanto cultura humana, é uma forma de o homem e a mulher estabelecerem um diálogo inteligente com o mundo. Por essa via, a ciência concebe formas de ler o mundo e estabelece uma indissociável relação com a

<sup>1</sup> Beneficiário de bolsa da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo

<sup>2</sup> A esse respeito, cf. ZANETIC (1989).

história geral da humanidade.

É com argumentos dessa natureza que defendemos o ensino das ciências da natureza na escola básica. A história vivenciada e influenciada pela evolução do saber humano, além do próprio conjunto de conhecimentos e concepções construídos nesse percurso, são uma herança cultural que pertence a todo membro da espécie *Homo sapiens*.

Tomemos agora a liberdade de fantasiar uma breve viagem no tempo, um pequeno recurso para vislumbrarmos um fragmento dessa nossa herança. Visitemos o século XVII e apreendamos algum panorama do embate em defesa do sistema heliocêntrico de mundo<sup>3</sup>. Aqueles que agiam em tal defesa buscavam argumentos e evidências que, no momento, representavam uma *contestação* do sistema cosmológico vigente. Análogo existe na defesa do evolucionismo, nas ciências biológicas, e em tantas outras histórias.

Não parece absurdo defender que a evolução do conhecimento científico em boa dose correspondeu a um questionamento, a uma revisão ou a uma contestação das visões de mundo. Não se segue daí que a ciência seja constituída de uma simplória sucessão de questionamentos infundados. A aceitação mais geral de qualquer nova idéia sempre dependeu de uma complexa articulação de evidências e argumentos em sua defesa.

Mas ao percebermos que há um papel de enorme relevância, na história da ciência, desempenhado pelas mudanças científicas, por concepções de mundo que foram contestadas e outras que foram defendidas, a imagem de uma ciência estática, dada ou inanimada é sem dúvida uma falácia a ser evitada na educação científica. É importante dizer, contudo, que isso não significa que essas mudanças ocorram o tempo todo; pelo contrário: há longos períodos também de continuidade após o estabelecimento das mudanças científicas (o período de paradigma, onde se faz ciência normal, em termos da epistemologia de T. Kuhn).

Nessa linha podemos elencar alguns conceitos epistemológicos que merecem discussão, como as mudanças teóricas, as práticas empíricas, a elaboração de modelos ou as demonstrações, e mesmo o significado de “ciência”.

Cada conceito é digno de análises aprofundadas, e na verdade não existe separação entre eles. Atenhamo-nos, porém, a um desses pontos: o uso corrente das palavras “demonstração” e “comprovação”.

Notícias na mídia, propagandas comerciais, textos de divulgação científica, e mesmo diálogos não apenas entre o público mais geral, mas envolvendo *experts*, como pesquisadores ou professores de ciências, não raras vezes incluem um “está comprovado cientificamente que”, já tornado clichê. A concepção de ciência que essa frase encerra tem sido foco de críticas, na filosofia das ciências, há tempo. Essa problematização, contudo, é ainda ignorada por muitos.

O fato é que falar em *demonstração* científica no mesmo sentido usado para referir-se à demonstração de um teorema matemático apresenta problemas frente às discussões estabelecidas pela filosofia das ciências. E quando a demonstração feita em uma ciência experimental é usada como sinônima de *comprovação*, o efeito ideológico começa a surgir; daí ser eficaz para o *marketing*. Dizer que algo está *provado* ou *comprovado* equivale a proibir, diante de uma certeza<sup>4</sup>, a contestação. Dessa forma, há um peso relevante em afirmar que a eficácia de um produto está bem estabelecida por meio de um teste “científico”.

Dois pontos merecem ser levantados agora. O primeiro se refere à forma como se

---

<sup>3</sup> O termo “mundo” pode referir-se a algo mais geral que Terra. Podemos usá-lo, como muitas vezes ocorre na literatura, em conotação análoga a “universo”.

<sup>4</sup> Certeza esta de origem geralmente desconhecida. O conhecimento passa a ser referido como algo definitivo e dado, ou seja, como se houvesse feito parte do conjunto de concepções humanas desde sempre, o que inibe a imagem de sua historicidade, do debate (relativamente longo) que envolveu muitos personagens, e do questionamento que eventualmente poderá ser reaberto a seu respeito. Apenas como exemplo desta reabertura (e sublinhando que existem muitos outros), citemos a retomada, em nova abordagem em relação à mecânica dita clássica, que Einstein realizou da proporcionalidade entre as massas inercial e gravitacional, e o papel fundamental que essa relação desempenha no princípio de equivalência da Relatividade Geral.

pode ter essa certeza. Neste caso o método de sua obtenção remove a dúvida e costuma corresponder a algo dado (a-histórico, fixo) onde, supostamente, reside o *método científico*. E aqui a metodologia da ciência – que poderia ser concebida como um estudo do conjunto de formalismos, dinâmicas e ações constitutivas da construção do conhecimento científico – fica reduzida ao típico termo no singular: *o método científico*.

Elaborada sob esta forma a ciência torna-se *mística*, enquanto seus temas e seus empreendedores, os “cientistas”, adquirem tom *misterioso*. A raiz das palavras é a mesma do termo grego *mystikós*, que pode ser traduzido como “segredo”. Esclarecer, isto é, *desmistificar* a dinâmica da ciência, é algo que certamente tem lugar na educação científica.

Isso nos leva ao segundo ponto: o desafio de desmistificar a ciência é pertinente à filosofia da ciência, e mais especificamente ao ensino de ciências com abordagem epistemológica. Não sem motivo, pois, o problema da participação da epistemologia no ensino vem sendo explorado como linha de pesquisa em Educação.

## Resumo epistemológico

Em primeiro lugar, é preciso destacar que, nessa seção, o que apresentamos é *um* resumo epistemológico: estamos tomando apenas alguns dos grandes nomes da epistemologia e, mesmo entre eles, ater-nos-emos essencialmente aos aspectos que, de suas teorias, promovemos especial interesse, dado nosso objeto de estudo.

O método de *indução*, apontado pelo filósofo Francis Bacon (1561-1626), ilustra bem a concepção de metodologia científica positivista, de cunho empirista, que logrou perdurar do século XVII ao final do século XIX. Trata-se de um conceito de racionalidade científica segundo o qual as hipóteses devem advir imediatamente dos fatos empíricos, e ainda segundo a qual o crivo do teste experimental promove a *verificação* da teoria científica. Nas palavras do próprio Bacon:

*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 axiomas intermediários a partir desses princípios e de sua inamovível 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.*<sup>5</sup>

De acordo com essa concepção, o conhecimento científico é obtido quando se segue um método pelo qual as primeiras hipóteses teóricas são induzidas diretamente da observação; em seguida, conforme avança a aplicação do método, teremos a sistematização das hipóteses até que cheguemos a axiomas ou princípios gerais a serem verificados na natureza.

Aqui é importante discernir a *verificação* do conceito de *comprovação* como uma prova definitiva da veracidade de uma afirmativa. A verificação é quase definitiva, mas pode sofrer pequenos ajustes conforme caminhamos na busca pelo conhecimento. É daí que deriva uma importante crítica que fora apresentada pelo holandês David Hume (1711-1776) à obtenção de conhecimento com o uso do método defendido por Bacon. Esse questionamento, que ficou conhecido como “o problema da indução” ou “o problema de Hume”, baseia-se na concepção lógica de que a veracidade de um enunciado só poderia estar completamente verificada se, de fato, houvesse sido observada em *todas* as situações possíveis. Mas isso seria impossível de se concretizar, posto que as possibilidades de fenômenos abarcados por uma lei natural expressa através de um enunciado científico são infinitas, e que o fato de o princípio ter valido até o momento não implica em sua validade futura. Nas palavras do próprio Hume:

*Afirma-se que uma proposição é inferida de outra, porém há de reconhecer-se que a inferência não é intuitiva nem tampouco demonstrativa. Então de que natureza é?*

<sup>5</sup> BACON, Francis. *Novum organum*. Trad. de José A. R. de Andrade. “Os pensadores”. São Paulo: Abril S. A. Cultural, 1984, p. 16.

*Dizer que é experimental equivale a cair em uma petição de princípio (...) Aceite que o curso da natureza até agora tenha sido muito regular; isto por si só, sem algum argumento novo ou inferência, não demonstra que no futuro o seguirá sendo. Em vão se pretende conhecer a natureza dos corpos a partir da experiência passada. (HUME, 1984, pp.60-1, tradução livre)*

Hume destaca que, embora se pretenda que o conhecimento científico advenha diretamente da observação, conforme estabelece a indução, esta própria não se obtém pela observação, ou, dito de outra forma: a indução precisa ser aceita como princípio para que seja possível a pesquisa científica, no entanto não há nenhuma evidência direta dos sentidos que demonstre a validade da indução. Por ser esta a base de todo conhecimento da ciência, e por ela não ser demonstrável, fica a ciência portanto sem demonstração! Tal era o problema da indução apontado por Hume:

*Segundo Hume, as teorias não podem ser derivadas dos fatos. A exigência de admitir somente as teorias que decorrem dos fatos deixa-nos sem teoria alguma. Logo, a ciência tal como a conhecemos pode existir só se abandonarmos essa exigência e revisarmos nossa metodologia. (FEYERABEND, 1985, p. 85)*

É preciso notar que o que Hume aponta, já no trecho citado do século XVIII, é uma fundamentada crítica ao conceito de comprovação definitiva de uma teoria. E, diga-se de passagem, esse questionamento foi observado com grande atenção por nomes importantes da filosofia da ciência. É uma discussão que não pode ficar fora do nosso sistema educacional, e talvez menos ainda de nossa academia.

O questionamento lançado sobre a indução, que ficou iconizado na figura de Hume, é retomado com outra ótica após o advento de novas teorias, como a Relatividade, a Mecânica Quântica, a Evolução darwiniana e mesmo a psicanálise de Freud. As enormes mudanças de concepções de mundo que essas teorias promoveram chamaram à atenção alguns estudiosos interessados no tema da construção do conhecimento humano.

Um desses personagens foi o filósofo alemão Hans Reichenbach (1891-1953), que propôs uma lógica indutiva baseada na expectativa ou na probabilidade de ocorrência dos eventos. Nessa visão, a indução não exatamente prevê uma verificação da teoria, mas admite-se que, se até o momento um certo princípio mostrou valer, é de se esperar, com boa chance de acerto, que continuará valendo. Assim, as proposições científicas abandonam o caráter afirmativo “A implica em B” para substituí-lo por algo como “Se A ocorre, então muito provavelmente B ocorrerá”.

Não nos estenderemos na visão reichenbachiana, mas passaremos agora a uma outra pessoa cujas idéias hoje são amplamente exploradas nos estudos sobre a natureza da ciência (NdC). Trata-se do epistemólogo austríaco Karl Popper (1902-1994), que também interessou-se especialmente pela questão de Hume.

O livro de Bryan Magee, “As idéias de Popper” (ver ref.), apresenta a escola popperiana da filosofia da ciência e salienta, considerando o problema da indução, que Popper inspirou-se em um importante aspecto da lógica presente na verificação: ele explorou a assimetria que existe entre *verificar* e *refutar*: enquanto a primeira exigiria infinitas observações, a segunda pode-se configurar com um único contra-exemplo. Seriam, então, dois os alicerces nos quais Popper fundamenta sua filosofia:

1. O fato de que, embora a verificação seja impossível, a refutação ou, seu sinônimo, o falseamento, é factível e perfeitamente admissível em uma filosofia do conhecimento:

*Ora, a meu ver não existe a chamada indução. Nestes termos, inferências que levam a teorias, partindo-se de enunciados singulares 'verificados por experiência' (não importa o que isto possa significar) são logicamente inadmissíveis. Consequentemente, as teorias nunca são empiricamente verificáveis. (POPPER, 1975, pp. 41-2)*

2. O critério, estabelecido pelo método baconiano, para separar ciência de metafísica corre o risco de ser restrito e impreciso, de forma que uma nova filosofia da ciência deve fundar-se em um critério de demarcação tal que mesmo as hipóteses mais

distantes de uma suposta verificação possam ser admitidas: isso exigirá que essa filosofia contemple uma concepção diferente de hipótese, a qual não poderá prescindir de uma imediata indução pelos fatos, isto é, deve-se admitir que uma hipótese, quando de sua elaboração, tenha liberdade de alçar maiores abstrações, no lugar de apenas ater-se ao objeto empírico mais próximo. Assim exprime Popper seu critério de demarcação pelo falseacionismo:

*Só reconhecerei um sistema como empírico ou científico se ele for passível de comprovação por experiência. Essas considerações sugerem que deve ser tomado como critério de demarcação, não a verificabilidade, mas a falseabilidade de um sistema. Em outras palavras, não exigirei que um sistema científico seja suscetível de ser dado como válido, de uma vez por todas, em sentido positivo; exigirei, porém, que sua forma lógica seja tal que se torne possível validá-lo através de recurso a provas empíricas, em sentido negativo: deve ser possível refutar, pela experiência, um sistema científico empírico. (Ibid., p. 42)*

Cabe aqui citar um exemplo de enunciado não-falseável (baseado no exemplo que Magee apresenta em seu livro). Se alguém diz “choverá”, o enunciado é tão impreciso, por não identificar local e horário do evento, que mesmo após séculos de seca no planeta inteiro, não se pode dizer que houve refutação da afirmativa. Entretanto, se disser “choverá amanhã, ao meio-dia, no centro desta cidade” há uma possibilidade nada desprezível de haver refutação da afirmativa.

Perceba-se que “falseável” é completamente diferente de “falseado” (ou “refutável” de “refutado”). A primeira palavra exprime que uma afirmação admite o risco de mostrar-se falsa diante da experiência, ou seja, que é precisa e objetiva o suficiente para acarretar a si mesma esse risco. A segunda refere-se a uma assertiva que, sendo falseável, de fato acabou por mostrar-se refutada em um conjunto de experimentos. Um adendo, neste ponto: é preciso ter o cuidado de não dar uma teoria por falseada pelo resultado de apenas um experimento, pois outros fatores podem ter influído nas medidas. Ademais, mesmo após falseada uma teoria não necessariamente é abandonada, mas o que ocorre é evidenciar os seus limites e incentivar a elaboração de novas teorias.

Por fim isso nos leva (e voltaremos a esse ponto em um momento de seção posterior) ao fato de que a epistemologia popperiana trabalha com o conceito de *mensurabilidade* ou grau de *verossimilhança* de teorias, que deriva da noção de falseamento. De forma resumida, para exprimir esse conceito, suponhamos que duas teorias falseáveis A e B tratem de uma mesma classe de fenômenos. Suponha-se que exista um conjunto de fenômenos F experimentados sob a perspectiva de testar ambas as teorias e que A tenha sido falseada para um conjunto F-F1 de observações, ou seja, observa-se que A expressa bem os fenômenos do conjunto F1, mas há um limite de validade dessa teoria: suas previsões são insatisfatórias para o conjunto de fenômenos F-F1.

Suponha-se que as previsões de B estejam em bom acordo com todos os fenômenos de um conjunto F2, sendo tal que F1 está contido em F2, o qual por sua vez é contido ou idêntico ao conjunto F. Por outras palavras: B parece expressar em bom acordo todos os fenômenos empíricos nos quais A tinha sucesso e mais outros diante dos quais A teria “falhado”. Em termos popperianos, não se diz que B seja mais *verdadeira* que A, posto que a verificação final de B é impossível, mas afirma-se que B é mais *verossímil* que A.

Finalizando esse curto recorte epistemológico, apresentamos muito brevemente a concepção de Paul Feyerabend (1924-1994). Em um artigo de Laudan encontra-se a seguinte colocação sobre essa filosofia:

*(...) sustenta que a nossa experiência como um todo deve ser reinterpretada ou reordenada à luz das categorias conceituais de uma nova teoria global. Por se tratar de um processo que requer tempo e a articulação de várias teorias colaterais sobre virtualmente o campo inteiro, ele mantém que as novas teorias globais nunca podem (em seus estágios iniciais) desfrutar do mesmo grau de apoio empírico armazenado por suas rivais mais antigas. Desse modo, é preciso renunciar a todas as regras usuais de apoio empírico, caso as novas teorias globais venham a ter uma chance de aceitação.*

*À medida que uma nova teoria global se desenvolve, muitos fenômenos que as*

*teorias globais mais antigas pensavam explicar passam a ser considerados espúrios, de menor consequência, ou mesmo como anomalias para estas teorias. Tais anomalias não poderiam ser encontradas na ausência da nova teoria global. A incessante competição entre teorias globais rivais é, portanto, essencial ao progresso científico; a ciência normal, em que um conjunto de teorias globais possui total domínio numa disciplina, é um mito. Finalmente, Feyerabend salienta que, mesmo quando uma teoria está completamente madura, ela continua a confrontar-se com numerosas anomalias.* (LAUDAN et al.,1993, p. 61)

Essa epistemologia recebe muitas vezes a alcunha, que o próprio autor adotava, de *anarquismo epistemológico*, por defender que nenhuma concepção metodológica tem validade sobre toda a história da ciência. Segundo Feyerabend, o conhecimento obteve avanço em muitos momentos nos quais algumas pessoas ousaram agir *contra-indutivamente*. Isso significa que importantes concepções que hoje a ciência utiliza apenas puderam surgir porque houve defensores que aceitaram tais idéias à revelia da aparente contradição com os “fatos” empíricos. Mencionaremos mais adiante, em outra seção, o exemplo muito estudado sob essa perspectiva pelo próprio Paul Feyerabend: o argumento da torre, de Galileu.

A leitura que se faz desse episódio pode ser assim resumida: a hipótese de mobilidade da Terra parece refutada pela evidência dos sentidos, segundo a concepção corrente no passado, que não atesta nenhum movimento. A aceitação de que esse fato em nada nega o mover do mundo depende da aceitação simultânea de outra coisa: a hipótese teórica de que o movimento é relativo, de modo que as velocidades compartilhadas (como a do movimento que nós compartilhamos com a Terra) não são perceptíveis. Em suma: é preciso, a um tempo, aceitar uma mudança na teoria e olhar para a observação empírica com outra concepção, de modo que as colocações de uma Terra em movimento e de uma física que relativiza o movimento devem ocorrer ao mesmo tempo, pois se isoladas não podem sustentar-se.

Na sua visão, portanto, se não houver um constante confronto entre diferentes teorias, as eventuais limitações de uma teoria isolada não se farão perceptíveis. É necessário que formas alternativas de ver o mundo (e mesmo formas ditas não-“científicas”) sejam postas a dialogar, a fim de que, por vias da comparação e das releituras que uma visão lança sobre a outra, seja possível fazer avançar o conhecimento.

Somente o confronto entre teorias (e, portanto, deveria-se defender a proliferação destas) permite que sejam questionadas hipóteses tão antigas que sequer sabemos que as estamos usando. Um exemplo simples seria o uso da palavra “cair”, diante de cujo significado seria possível argumentar que não pode a Terra ser redonda ou as chuvas, em certas regiões, dar-se-iam para cima. Aqui está presente a hipótese tácita de que existe uma referência absoluta de “para cima” e “para baixo”; faz-se necessário apresentar uma concepção diferente a fim de explicitar essa suposição implícita no verbo “cair”.

*A linguagem que [os fenômenos] falam está, naturalmente, influenciada pela crença de gerações anteriores, mantidas a tanto tempo que não mais parecem princípios separados, apresentando-se nos termos do discurso cotidiano e parecendo, após o treinamento natural exigido, brotar das próprias coisas.* (FEYERABEND, 1977, p.107)

Há outras escolas e muitos outros nomes que poderiam ser citados, mas restringimo-nos a esboçar um quadro que pretende, basicamente: (i) evidenciar a gama de concepções possíveis sobre a NdC, mostrando que há de fato uma discussão atual sobre o tema, que portanto cabe ser abordado e discutido com atenção maior, e (ii) apoiar os argumentos que construímos no decorrer do presente texto. Alguns outros autores (nomeadamente, Thomas Kuhn e Gaston Bachelard) serão ainda citados em outros momentos.

Com base no que foi mostrado até aqui, pode-se levantar que é questionável (e, de fato, atualmente é em geral rejeitada) a idéia de existência do método científico. O conceito de ciência é também palco de debates, assim como a mensurabilidade de teorias. Mas se essas referências que mencionamos sugerem colocar em questionamento uma concepção simplista de demonstração científica, e basicamente refutam a possibilidade de se crer em “provas finais” (ou comprovações definitivas), é possível lançar a pergunta: que relação se estabelece

entre a teoria e a observação? Essa questão apareceu no breve esboço que acabamos de apresentar.

Em que medida o experimento dá “a palavra final” sobre a teoria e em que medida esta tem um papel sobre a interpretação e o estabelecimento do próprio experimento ou da observação? A pergunta pode ser abordada e respondida de acordo com diferentes escolas de pensamento. Se nos colocarmos na linha de pensamento feyerabendiana, veremos argumentos a favor de que existem tantas hipóteses implícitas mesmo na narração de um fenômeno, que sem um confronto entre diferentes leituras de mundo não seremos capazes de explicitá-las todas, de maneira que a elaboração e a interpretação de observações empíricas ficará demasiado restrita.

## O conceito de demonstração

As palavras “mostrar” e “demonstrar” aparecem em diferentes contextos, e não apenas em textos acadêmicos. Quanto a “comprovar”, o uso da palavra geralmente encerra um valor um tanto definitivo da afirmação, conforme discutido há pouco. Não é nosso intuito defender uma definição para cada um desses termos. No entanto, é mais que conveniente adotar, neste ponto, uma convenção – mais ou menos arbitrária no que nos cabe – sobre como cada uma dessas palavras será doravante entendida, a fim de explicitar nosso raciocínio ao leitor.

Quanto ao termo *demonstração*, tomar-lo-emos como distinto de *comprovação*, admitindo um sentido amplo que lhe confere referir-se a qualquer processo de teste ou observação empírica, quer se lhe atribua, quer não, algum poder de refutação ou verificação da validade de uma teoria ou de um modelo para o caso específico dos limites do experimento. A demonstração – da forma que colocamos – não tem, portanto, o caráter definitivo da comprovação, e, na verdade, adiantando o que se pode considerar bem aceito na epistemologia, a comprovação seria impossível.

Essa impossibilidade pode não se verificar na Matemática, em que se podem ver provados os teoremas (aqui sim o termo demonstração reduz-se a sinônimo de prova ou comprovação). Tomemos o exemplo: como provar que  $I$  é maior que  $0$ ? Sob um ponto de vista empirista, poderíamos argumentar que quem possui *uma* coisa tem mais do que aquele que não possui *nenhuma*. E, na medida em que isso sempre acontece,  $I$  será sempre maior que  $0$ .

Adendos são possíveis a esta altura, afinal os números são conceitos que representam quantidades do mundo “real”, ou, dito melhor, do mundo empírico. O fato de um ente teórico representar um ente empírico pode ser devido à *definição* da entidade teórica, relacionando-a com um fenômeno observacional. Assim, se definições são usadas tanto na matemática como nas ciências ditas experimentais, como a Física, pode-se questionar o papel que uma definição exerce em cada área, e buscar em quais aspectos existem semelhanças e em quais há diferenças entre elas.

Em outras palavras, se por um lado a Matemática e a Física têm naturezas epistemológicas bastante diferentes (uma experimental<sup>6</sup> e outra não), o valor da definição em física pode estar sendo negligenciado algumas vezes, quando se esquece que o fenômeno é não apenas experimental, mas também teórico, pois “todo conhecimento é impregnado de teoria, inclusive nossas observações” (POPPER, 1975, p.75).

A título de ilustração deste problema, suponhamos um ato empírico simples: medir a temperatura da água de uma panela usando um termômetro. Se nos questionássemos “o termômetro mediu a temperatura da água?”, haveria uma possibilidade de problematizar a resposta: foi observada a altura da coluna de mercúrio no instrumento, mas não se pode esquecer que há todo um arranjo teórico bem estabelecido que me dá a interpretar essa coluna

---

<sup>6</sup> Em alguns dos critérios de demarcação (tipicamente os baseados na concepção da NdC dada por Popper), a Matemática fica fora da classificação de ciência, por conta do fato de não possuir uma contrapartida empírica ou, para usar uma terminologia popperiana, não é falseável.

como uma indicação da temperatura<sup>7</sup>.

A respeito do mesmo assunto cabe a seguinte discussão de Bachelard:

*O simples fato do caráter indireto das determinações do real científico já nos coloca num reino epistemológico novo. Por exemplo, enquanto se tratava, num espírito positivista, de determinar os pesos atômicos, a técnica – sem dúvida muito precisa – da balança bastava. Mas, quando no século XX se separam e pesam os isótopos, é necessária uma técnica indireta. O espectroscópio de massa, indispensável para essa técnica, fundamenta-se na ação dos campos elétricos e magnéticos. É um instrumento que podemos perfeitamente qualificar de indireto se o compararmos à balança.*

(...)

*No que diz respeito ao espectroscópio de massa, encontramos em plena epistemologia discursiva. Um longo percurso através da ciência teórica é necessário para compreender os seus dados. Na realidade, os dados são aqui resultados. (BACHELARD, 1983, pp.18-9, grifos do autor)*

Essa distinção entre *direto* e *indireto* é mais profundamente explorada na obra bachelardiana, e de fato a epistemologia desse autor apresenta uma formulação relativamente complexa, e muito interessante. Entretanto, o ponto que nos interessa na citação anterior é o que toca a forte presença da teoria na prática de medidas empíricas.

É possível argumentar, a respeito do parágrafo reproduzido, que mesmo uma simples balança de pratos apresenta uma medida que se comunica com muitos itens – como alguma concepção de equilíbrio estático, a relação entre massas inercial e gravitacional, entre outros – que, ainda que bem estabelecidos empiricamente, figuram como fatos que devem ser aceitos a fim de que seja possível atribuir sentido à medição realizada (são, portanto, de uma classe de hipóteses de medida). Conforme acaba de ser mencionado, a intenção do autor no trecho reproduzido é a de introduzir uma discussão dos níveis de percepção fenomenológica (que pode ir de uma percepção mais direta a uma mais abstrata).

Nosso interesse nesse excerto, no entanto, reside na última frase, em que o próprio uso da palavra “dados” fica questionado; afinal, a realização de uma medida exige que sejam aceitas certas hipóteses sobre os princípios naturais envolvidos no funcionamento do equipamento. Voltaremos a esse ponto mais tarde.

Retornando à questão dos números, que propusemos como exemplo: a matemática aborda o problema de um modo não-empírico (e definitivo) que lhe é de certa forma próprio. Trata-se do uso de definições como axiomas, dos quais extraem-se demonstrações. Considerem-se os seguintes axiomas dos números reais<sup>8</sup>:

1. o número  $1$  é elemento neutro da multiplicação:  $1 \cdot a = a$  para qualquer  $a$ ;
2.  $a \cdot a \geq 0$ , qualquer que seja  $a$ ; e
3.  $0 \neq 1$ .

Se  $a$  valer  $1$ , o axioma 1 garante que  $1 \cdot 1 = 1$ . Logo, pelo axioma 2 temos que  $1 \geq 0$ . Pelo axioma 3, temos que  $0$  e  $1$  não são iguais; logo, só resta a conclusão de que  $1 > 0$ , “como

<sup>7</sup> Esse arranjo teórico vai desde modelos sobre dilatação térmica até a definição de temperatura através da anteprema lei da termodinâmica. Aqui é possível mesmo fazer discussões acerca de em que medida algumas leis físicas são verificadas e em que medida são definidas: tal questão é foco de debates na epistemologia atual. A lei de inércia, p. ex., é um princípio físico ou uma definição de força? A distinção assume importância epistêmica quando tratamos do conceito popperiano de falseacionismo. Não cabe, por ora, avançar neste ponto, confrontando os partidários de cada idéia: limitamo-nos a mencionar que o debate existe: alguns tópicos relevantes da Física passam por problematização no livro “A ciência e a hipótese” (onde, em especial, levanta-se o supracitado problema da inércia como convenção), do físico H. POINCARÉ, ilustrando a complexidade epistemológica que estamos defendendo.

<sup>8</sup> Existe mais de um arranjo possível de axiomas para o conjunto  $\mathbb{R}$  (arranjos esses equivalentes entre si). Estamos aqui supondo três axiomas de um arranjo particular, suficientes para nosso objetivo. Este exemplo é adaptado do exercício 23 (item “d”) do cap. “Números Reais” do livro “Um curso de Cálculo”, vol. 1, de H. L. Guidorizzi (LTC, 1985, 5a. ed., p. 13).



queríamos demonstrar”. Mas a condição com que iniciamos a demonstração (*a* valer *I*) é garantidamente possível pelas afirmações de que os axiomas 1 e 2 valem “para qualquer *a*”. Esse tipo de garantia de generalidade não está presente em ciências com viés empírico, caso da Física.

### **Aula de Ciências: o exemplo da demonstração da lei de Ohm**

Um dos tópicos que são trabalhados quando se trata o assunto Eletricidade, na disciplina de Física, é a lei de Ohm, que estabelece ser a tensão (ou voltagem) igual à corrente multiplicada pela resistência elétrica.

A “lei de Ohm” é usada na calibração de instrumentos de medidas elétricas, como o multímetro (um aparelho que realiza as funções de medir corrente, resistência e tensão). Suponha-se que uma turma de Física vá ao laboratório na intenção de estudar, com uso desse instrumento, a lei de Ohm. Há algumas sutilezas que devem ser levadas em conta.

O primeiro cuidado epistemológico que se deve ter é não pensar que se está *comprovando* a lei de Ohm através das medidas do multímetro. O motivo mais imediato disso é que o aparelho em si já pressupõe a referida lei em sua calibração: logo, não possui “isenção” suficiente para promover uma atividade comprobatória imparcial. Mas há outras sutilezas menos nítidas em questão.

Suponhamos um enunciado como “uma pedra, se for solta, cairá”. É um tipo de afirmação de natureza diversa daquela que colocamos como o enunciado de Ohm. A fim de se sustentar isso, pode-se notar que há dois tipos básicos de resistência: as ditas “ôhmicas” e as “não-ôhmicas”, ou seja, que obedecem e que desobedecem a lei de Ohm. Já quanto a pedras, não existe uma categoria de pedras “não-gravitantes”. Isso nos permite considerar que o enunciado de Ohm – diferente da afirmação sobre as pedras – pode ser entendido como uma *definição* de resistência elétrica.

Ele pode ser estendido mesmo à categoria de resistências não-ôhmicas. Neste caso, tomam-se as curvas de Tensão em função de Corrente, obtidas experimentalmente, e nelas, para cada ponto, através da reta tangente, é possível definir um valor de resistência, o qual não será constante, mas dependerá de outros fatores. A lei não será falsa, para esses dispositivos, caso a abordemos desse modo, como é – de fato – feito.

Assim, ao invés de considerar a aula de laboratório como um momento em que se pretende “provar” a lei de Ohm, pode ser mais adequado tratar (afora outras coisas) o uso do equipamento para discutir exemplos de componentes não-ôhmicos<sup>9</sup> e, a partir desses, o que significa o conceito de resistência, o que permitirá tratar a própria natureza epistêmica da referida lei enquanto uma definição.

O argumento nesse sentido, que se deve fazer notar, é o de que não existe fora do enunciado de Ohm uma definição de resistência elétrica<sup>10</sup> (e o mesmo não ocorre quanto à tensão e à corrente), cuja existência independente seria necessária a fim de que se pudesse confrontar o valor obtido no experimento – com o uso dessa tal definição – com o valor supostamente previsto pela lei.

Por fim, vale salientar que apresentamos aqui um exemplo específico de uma aula fictícia de Física. Acreditamos, porém, que a discussão que realizamos em torno desse exemplo tem relevância em muitos outros casos e em outras disciplinas. Uma outra situação,

---

<sup>9</sup> Componentes eletrônicos não-ôhmicos são bastante comuns. De fato, nenhum componente é perfeitamente ôhmico, mas alguns apresentam uma curva  $V \times I$  mais acentuadamente “desobediente” à lei de Ohm (uma simples lâmpada “pingo d'água” é um bom exemplo).

<sup>43</sup> Poder-se-ia indicar, por exemplo, uma definição de resistência como o produto entre a resistividade de um material e seu comprimento dividido pela largura de sua seção reta. O que ocorre neste caso é que agora a resistividade fica indefinida (a menos que se pretendesse defini-la em função da resistência, o que obviamente não resolve a questão): trata-se apenas de deslocar o problema da definição de resistência para o da definição de resistividade.

que teve na época certo espaço na mídia, a qual ilustra o mesmo problema, foi a reclassificação de Plutão como “planeta-anão”: aqui pode-se discutir que a mudança tratou-se não de *descobrir* que Plutão não era um planeta, mas de estabelecer uma nova *definição* para este termo, a qual implicou na reconsideração<sup>11</sup>.

## Evidenciando a dinâmica da ciência

A história das ciências não é pobre em *revoluções*, as quais revelam um caráter não definitivo do conhecimento científico. Mais ainda: pode-se defender (como o faz Kuhn) que as revoluções não constituem apenas uma adaptação de teorias onde a anterior torna-se um caso particular da sucessora, mas sim uma verdadeira ruptura com os conceitos, que ganham significados radicalmente novos.

Assim, por exemplo, a mecânica newtoniana não é um caso particular da relativística, válida no limite de baixas velocidades; a comparação seria imprópria, para Kuhn, dado que há uma radical diferença entre os conceitos de espaço e tempo newtonianos e o de espaço-tempo da relatividade. Na epistemologia de Popper, por outro lado, a mensurabilidade das teorias tem lugar de destaque, fundamentada em seu critério de demarcação.<sup>12</sup>

A explicitação de um método único ou de uma interpretação única para a metodologia científica, ou mesmo de um conceito universal de ciência (no qual se pressuporia serem semelhantes a física e a biologia, por exemplo), são controvertidas por certos epistemólogos, dentre os quais está Feyerabend.

Quanto a este, sua concepção funda-se, como já foi dito, na negação da validade de um método científico único. O caso do argumento da torre (cf. Feyerabend, 1977, pp. 89-101) permite explorar essa concepção: de forma muito resumida, deve-se observar que a defesa do heliocentrismo, durante a vigência do sistema geocêntrico, não estava apoiada em evidências empíricas. Pelo contrário, a observação mais imediata parece refutar a possibilidade do movimento da Terra.

Dessa forma, é preciso estabelecer uma argumentação em pró de uma nova concepção teórica (que assinala a relatividade do movimento) juntamente com uma conseqüente releitura dos fenômenos observacionais. A questão colocada por Feyerabend é: o que convenceu figuras como Kepler, Galileu e outras a defender uma visão diferente que não parece apresentar bons motivos observacionais para sua aceitação, a qual não poderia tomar assento em lugar que não o cabível às hipóteses metafísicas?

---

<sup>44</sup> Por outras palavras: não havia sido feita nenhuma descoberta nova acerca das características fundamentais do astro; o que houve foi uma necessidade, dado o grande número de outros objetos semelhantes descobertos, de se estabelecer uma definição mais clara para o termo “planeta”, e convencionaram-se determinadas definições que acabaram por colocar Plutão na categoria de “planeta-anão”. Há de se sublinhar, porém, que uma definição não é arbitrária, mas observa a toda uma classe de conveniências, e deve ser tal que, em se relacionando com outras definições dentro de uma mesma teoria, não cause contradições e permita construir uma estrutura de linguagem propícia a descrever satisfatoriamente o fenômeno a que a referida teoria se propõe.

<sup>12</sup> Há ainda algumas concepções intermediárias, como a de Mary Hesse, que não abordaremos neste artigo, ou a de Bachelard, tendo ambas em comum o fato de interpretarem a mudança científica (para usar um termo mais ou menos “neutro”, evitando apontar uma epistemologia em particular; cf. LAUDAN et. al., 1993) conciliando o conceito equivalente ao da revolução kuhniana com a possibilidade de mensurabilidade (utilizando-nos novamente do termo popperiano). A respeito de uma comparação panorâmica entre Popper, Kuhn e Hesse, cf., p. ex., KNELLER (1980, caps. 3 e 4) e o artigo de L. Laudan citado há pouco. (Em ambos, porém, ausenta-se a filosofia bachelardiana, como é comum em muitos textos comparativos das linhas da Epistemologia contemporânea).

## Considerações educacionais

Quando falamos em *problematização*, é possível eleger mais de um autor que tenha promovido relevantes estudos a esse respeito. Se observarmos a pedagogia freireana, teremos uma forte distinção entre a educação *dialógica* e a *invasão cultural* (ou entre "comunicação" e "extensão", cf. "Extensão ou comunicação?"). Essa diferença, na abordagem de Freire, sugere-nos que a simples apresentação das discussões atuais sobre a NdC na sala de aula pode não ter a desejada repercussão de fazer os alunos refletirem sobre o tema:

*O que se pretende com o diálogo, em qualquer hipótese (seja em torno de um conhecimento científico e técnico, seja de um conhecimento "experencial"), é a problematização do próprio conhecimento em sua indiscutível relação com a realidade na qual se gera e sobre a qual incide, para melhor compreendê-la, explicá-la, transformá-la.* (FREIRE, 1988, p. 52)

Na eleição desse referencial pedagógico, mostra-se mais interessante estabelecer um diálogo em busca de levantar os questionamentos. Certamente é diferente reservar uma aula, em um curso inteiro, em que se discuta a NdC, de trazer esse debate como uma abordagem do curso todo, ao longo do tempo de duração deste. A segunda possibilidade parece ser a mais adequada à problematização freireana, e – equivalentemente – é a que permite elaborar um amadurecimento do questionamento por parte dos educandos.

A citação seguinte, de Bachelard, além de uma contextualização científica, certamente cabe como observação educacional, mesmo porque preocupações deste cunho não são raras na obra desse autor:

*Em primeiro lugar, é preciso saber formular problemas. E, digam o que disserem, na vida científica [e educacional, ousamos acrescentar] os problemas não se formulam de modo espontâneo. É justamente esse sentido do problema que caracteriza o verdadeiro espírito científico. Para o espírito científico, todo conhecimento é resposta a uma pergunta. Se não há pergunta, não pode haver conhecimento científico (...)*. (BACHELARD, 1996, p. 18)

Sendo assim, elaboramos, a seguir, uma relação das questões que foram levantadas nesse texto. Com essa lista não pretendemos indicar um roteiro de aula, mas, longe disso, elencar os pontos de debate que, a nosso ver, conforme o que esperamos ter defendido em nossa explanação, são alguns dos alicerces que, por fundamentarem a discussão contemporânea acerca da NdC, merecem ganhar espaço de problematização em salas de aula e, como sugere a farta literatura disponível sobre a filosofia da ciência, também no meio acadêmico.

1. Existe (ou talvez deva passar a existir) *um* método usado na pesquisa científica e, caso sim, como é esse método, quais suas limitações ou ilimitações e qual sua universalidade (seria o mesmo na Física e na Biologia, por exemplo?);
2. O conhecimento científico desenvolve-se cumulativamente ou passa por rupturas, e, neste caso, teria sentido comparar as veridades entre duas teorias sucedentes? (a mecânica newtoniana, por exemplo, seria um caso particular da relatividade ou esta representa uma ruptura incomensurável com aquela?);
3. As demonstrações científicas representam conclusões definitivas? Se não, quais elementos são responsáveis pela mudança ou substituição da teoria? Em outras palavras, o que causaria um *erro* em uma conclusão científica? Ademais, o termo *erro* seria adequado?
4. A observação empírica é um dado objetivamente à parte ou depende de elementos de teoria? (Ilustrando com um exemplo atual: se as observações astronômicas feitas por diferentes equipes devem, a princípio, ser as mesmas, porque existem, ainda que representem uma minoria pouco significativa, cientistas que mantêm a defesa de um modelo de universo estacionário?).

## Conclusão

Creemos ter mostrado, a partir desse esboço epistemológico, que, em termos da educação em ciências, há muito o que ser problematizado sobre a natureza das demonstrações científicas. Pelo que discutimos nesse trabalho, a demonstração científica mostra-se mais complexa do que se possa supor a uma primeira vista ou do que possa parecer quando se ouve em um comercial na TV que “está comprovada cientificamente a eficácia do produto”. Dessa forma, esse conceito revela-se como um tema de problematização para iniciar discussões mais profundas e certamente importantes para a sala de aula.

Vale esclarecer que, se tomamos o termo "comprovação" como convencionamos no início, utilizá-lo referindo-se a demonstrações definitivas é algo um tanto problemático e talvez falacioso diante da epistemologia atual. Não estamos defendendo que seja excluído do vocabulário das ciências naturais (uma discussão desse tipo não caberia aqui, e não é intenção deste trabalho). Colocamos em pauta, outrossim, que, em uma época na qual as propagandas de produtos, os noticiários, livros e outros meios utilizam-se descompromissadamente (ou talvez intencionalmente, para efeitos de *marketing*) dessa palavra, e dado ainda o fato de que dentro desse vocábulo existe toda uma discussão cabível acerca da filosofia da ciência e da natureza do conhecimento, é inegável que essa palavra e todo o debate que traz consigo merecem atenção no ensino de ciências.

Por fim, esperamos que o leitor entenda esse trabalho como uma defesa da problematização, conforme a temos defendido no contexto educacional. Nesse sentido fomos levados a indicar as questões que anteriormente explicitamos, com vistas a levantar alguns conceitos do nível das concepções meramente tácitas e não questionadas. Nossa intenção foi de evidenciar essa problemática, dado que, muito embora esses debates figurem abertos atualmente entre os filósofos das ciências, a imagem de NdC que se propaga geralmente subentende um caráter definitivo, simples e fechado.

Corremos o risco de redundância ao sublinhar que não foi de nosso intuito oferecer uma *resposta* a essas questões, mas colocá-las. Entendemos, assim, que os argumentos que mostramos para situá-las constituem a conclusão preliminar de nosso trabalho, com o qual esperamos ter contribuído para as reflexões visantes ao debate sobre a NdC nos meios educacionais.

## Referências bibliográficas

BACHELARD, Gaston. **A formação do espírito científico**. Trad.: Estela dos S. Abreu. Rio de Janeiro: Contraponto, 1996;

\_\_\_\_\_. **Epistemologia**. Trad.: Caixeiro, N. C. Rio de Janeiro: Zahar, 1983;

FEYERABEND, Paul. **Contra o método**. Trad.: Mota & Hegenberg. Rio de Janeiro: Francisco Alves, 1977;

FREIRE, Paulo. **Extensão ou comunicação?** Trad.: R. D. de Oliveira. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1988;

HUME, David. **Investigación sobre el conocimiento humano**. Trad. ao espanhol de J. S. Ortueta. Madrid: Alianza Editorial, 1984;

KNELLER, G. F. **A ciência como atividade humana**. Trad.: A. J. Souza, Rio de Janeiro: Zahar, São Paulo: EDUSP, 1980;

KUHN, Thomas S. **A estrutura das revoluções científicas**. Trad.: Boeira, B. V. e Boeira, N. São Paulo: Perspectiva, 1975;

\_\_\_\_\_ . **A tensão essencial**. Trad.: R. Pacheco. Lisboa: Edições70, 1989;

LAUDAN, L. *et al.* **Mudança científica: modelos filosóficos e pesquisa histórica**. Estud. Av. v. 7 n. 19, São Paulo, 1993. Trad.: A. E. Plastino;

MAGEE, Bryan. **As idéias de Popper**. Trad. de Leônidas Hegenberg e Octanny S. da Mota. São Paulo: Cultrix / Edusp, 1974.

POINCARÉ, H. **A ciência e a hipótese**. Trad.: M. A. Kneipp. Brasília: Ed. Universidade de Brasília, 1988;

POPPER, Karl R. **Lógica da pesquisa científica**. Trad.: Engenberg, L. e Mota, O. S. da. São Paulo: Cultrix, 1975;

ZANETIC, João. **Física também é cultura**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, 1989.