



CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA

Revisitando a noção de "Método Científico"

Revisiting the notion of "scientific method"

Neusa Teresinha Massoni¹; Marco Antonio Moreira¹; Maria Teresinha Xavier Silva¹

RESUMO

Este trabalho faz uma incursão através da História da Ciência e discute diferentes doutrinas filosóficas e suas interpretações da noção de "método científico" e, conseqüentemente, aborda certos aspectos relacionados à natureza da ciência. O objetivo é problematizar concepções inadequadas e ainda muito presentes na Educação Científica a respeito do "método científico" como um conjunto algorítmico, objetivo e fixo de regras para fazer ciência. Algumas implicações dessa herança empirista-positivista para o ensino são abordadas ao longo do texto. Defende-se que, mais importante do que simplesmente combater essas concepções, é preciso ressignificar a noção de "método científico", associando-o a distintos procedimentos, padrões, técnicas experimentais, computacionais e matemáticas que invariavelmente estão imbricadas nas práticas científicas dos mais diversos campos da ciência.

Palavras-chave: *método científico; pluralismo metodológico; filosofia da ciência.*

ABSTRACT

This paper makes an incursion in the History of Science and discusses different philosophical perspectives and their interpretations regarding the notion of "scientific method" and, consequently, approaches some aspects regarding the nature of science. The aim is to question inadequate conceptions still very present in Scientific Education concerning the "scientific method" as an algorithmic set, objective and rigid, of rules to make science. Some implications of this empiricist-positivist inheritance for science teaching are mentioned throughout the text. It is argued that, more important than just criticize these conceptions, it is necessary reconceptualize the notion of "scientific method", associating it to different procedures, standards and experimental techniques, computational and mathematical that are intrinsic to the scientific practices in most different fields of science.

Keywords: *scientific method; methodological pluralism; philosophy of science.*

¹ Instituto de Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul-UFRGS - Porto Alegre/RS – Brasil.

1. INTRODUÇÃO

Nas páginas iniciais do livro intitulado *O arco-íris de Feynman*, que apresenta uma reflexão interessante e humanista sobre o trabalho científico², Leonard Mlodinow descreve seu primeiro encontro com o diretor do Departamento de Física do Instituto de Tecnologia da Califórnia (Caltech), instituição onde realizava estudos de pós-doutorado, em que o centro de pesquisa é apresentado:

(...) o Caltech tem uma história bastante rica que talvez você ainda não conheça bem. Provavelmente sabe que foi aqui que Linus Pauling descobriu a natureza da ligação química. Mas sabe que também foi aqui no Caltech que Charles Richter e Beno Gutenberg inventaram a escala Richter? Ou que foi aqui que o pioneiro da computação Gordon Moore recebeu seu Ph.D? (...) que aqui foi descoberta a antimatéria (MLODINOW, 2005, pp. 29-30).

Essa fala passa uma ideia do panorama de sucesso de um dos mais conceituados centros de pesquisas americanos e de sua importância como instituição provedora de financiamento, amparo e desenvolvimento da ciência. Por outro lado, passa também uma noção bastante restrita e individualista da ciência, muito criticada na literatura (e.g. FORATO, PIETROCOLA & MARTINS, 2011), como se isoladamente cientistas pudessem realizar grandes “descobertas”, desconhecendo o trabalho colaborativo da comunidade científica, as trocas de ideias, as intuições criativas, a dependência da pesquisa com relação à técnica e instrumentação (consequentemente à indústria). Possivelmente a fala do Diretor do Caltech, seu uso livre da expressão “descoberta/descobrir”³ remeta à noção de que trabalho científico consiste em “descobrir” no sentido de desvelar leis e teorias através do uso meticuloso do método científico, o que representa uma visão demasiado simplista da ciência, ainda muito presente na Educação Científica. Contudo, é anti-histórico ignorar que o avanço da ciência tem como fio condutor ideias sobre o “método científico”. Este último aspecto – que também é uma pergunta frequente de alunos do Programa Institucional de Bolsa de Iniciação à Docência - PIBID da universidade pública em que atuamos: *por que é errado falar no “método científico”?* – foi o que motivou a escrita deste texto e incitou as reflexões aqui apresentadas.

Visões equivocadas e crenças ingênuas sobre o “método científico” têm sido discutidas há décadas na literatura especializada. Moreira e Ostermann (1993), em um artigo que se tornou um clássico na área de pesquisa em ensino de Física, há muito advertiam que concepções errôneas sobre o “método científico” têm permeado o ensino de ciências e podem estar sendo veiculadas através dos livros didáticos: *o ensino do “método científico” como se fosse uma rígida sequência de passos que começa com a observação e culmina em uma conclusão/descoberta é um erro didático e epistemológico* (ibid.).

Não há nada definitivo chamado “método científico”, adverte Pleitez (1996), mas quando se examina os artigos de uma área bem desenvolvida da ciência tem-se a impressão de que existe algo organizado. Argumenta ele que o senso comum é tão importante na ciência quanto na vida cotidiana; que os cientistas fazem uso de preconceitos, imaginação e intuição para tratar os dados experimentais e para elaborar teorias. O pensamento científico adotado nas pesquisas científicas não segue um

² O texto mostra de maneira elegante e envolvente como a vida e o trabalho de um grande cientista é marcada por dúvidas, competições e preocupações tipicamente humanas. Reflete também sobre uma preocupação legítima e atual frente à escassez de estudantes que se interessam por Física e as angústias de um jovem físico diante das pressões do ambiente acadêmico.

³ A expressão descoberta/descobrir é grafada com aspas para indicar que não se está assumindo o sentido de desvelar leis ou teorias, como se a natureza se mostrasse, mas sim o de construir a partir do intelecto humano.

padrão linear, um método único (AL-AHMADI; REID, 2011). Matthews (1995) defende que em educação científica é preciso usar estratégias didáticas que abordem a História e a Filosofia da Ciência (HFC) como forma de oferecer maior segurança aos professores para esclarecer a seus alunos os processos de idealização que a ciência utiliza, o caráter multifacetado do pensamento científico, evitando concepções ingênuas sobre a ciência e o “método científico”.

A utilização da HFC permite discutir valores e crenças a respeito da ciência, problematizar os processos usados pelos cientistas e o desenvolvimento alcançado através da investigação científica (LEDERMAN, 1992). No ensino, o uso de tópicos associados à natureza da ciência busca levantar concepções, como também propor e implementar propostas para melhorar essas concepções, geralmente ingênuas, de estudantes e professores no âmbito de diferentes linhas de pesquisa na área (LEDERMAN et al., 2002; TEIXEIRA, EL-HANI & FREIRE, 2001).

Chalmers (2006, pp. 7-8) assume uma postura da qual compartilhamos ao propor que o rechaço à ideia de um “método científico” fixo e universal, como geralmente fora defendido pelos *empiristas-indutivistas*, não implica em um completo abandono da racionalidade ou de quaisquer metodologias em ciência; há normas e procedimentos contingentes, sujeitos a mudanças, implícitos nas práticas científicas exitosas.

Para Larry Laudan (2000), a HFC têm uma preocupação comum e um interesse específico na *história do método científico*, sendo que o historiador deve se preocupar com esse problema já que não é possível ignorar as opiniões dos cientistas sobre questões de método quando explicamos suas teorias e seus procedimentos científicos. Ainda que as ideias metodológicas de um cientista individual sejam pouco pronunciadas, os padrões metodológicos de sua época (KUHN, 2003), afetam sua prática e não podem ser deixados de lado ou considerados irrelevantes. Como já comentado, a literatura mostra, há décadas, uma preocupação em introduzir HFC como condição necessária, embora não suficiente, para que professores e estudantes construam visões mais adequadas sobre a natureza da ciência e a respeito da metodologia científica.

Nessa linha, este texto faz uma breve releitura histórica do tema, aludindo a certos aspectos contraditórios e ilustrando com falas de um dos gigantes da Física do séc. XX, Richard Feynman, sobre suas abordagens e métodos na busca por teorias, por considerarmos que a apresentação de distintas perspectivas é mais rica.

2. A EVOLUÇÃO HISTÓRICA DA NOÇÃO DE “MÉTODO CIENTÍFICO”

A presente incursão histórica (e inevitavelmente epistemológica) busca revisitar a noção de “método científico”, compreender sua evolução e, assim, refletir o seu papel na ciência. Como geralmente se aceita que o mundo ocidental contemporâneo tem origens na cultura grega (PÉREZ TAMAYO, 2003), começamos pela visão dos gregos antigos, nascedouro de muitos princípios que marcam nossa civilização ocidental, sem esquecer que há contribuições da cultura judaica, base para a religião cristã.

2.1. Platão e Aristóteles

Na visão de Pérez Tamayo (2003), Platão (430-347 a.C.), influenciado por Sócrates (469 a.C.) preocupa-se com reflexões e perguntas sobre os valores (o belo, o bom), a consciência e o saber e propõe a *teoria das ideias*; ideias seriam entes universais, perfeitos e verdadeiros; fatos e objetos

reais seriam meras réplicas imperfeitas⁴ (das ideias). Para Platão, quando adquirimos novos conhecimentos através de nossos sentidos, o que fazemos é *reconhecer as ideias*, dado que já as conhecíamos em alguma encarnação anterior. Para compreendermos a beleza, por exemplo, iniciamos por contemplar um objeto que todos consideram belo; depois reunimos um conjunto desses objetos (belos) e identificamos um padrão comum de sua beleza; passamos então, à beleza do processo de aprendizagem; depois à de aumentar nosso conhecimento, daí para a de generalidade das leis e assim por diante. Para acessar o mundo das ideias (conhecimento ou *episteme*) precisamos percorrer antes o mundo dos sentidos (mundo sensível dos objetos) e o das opiniões (*doxa*), sendo que entre esses dois mundos há o da matemática e da geometria (postulados, modelos, axiomas que não são justificados e simplesmente aceitos; e como são não justificados, também são imperfeitos). Para passar deste último ao mundo das ideias, Platão propôs um método – o da *dialética* – que consiste na discussão racional da definição de um conceito entre indivíduos versados (ibid., p. 22). Ele via com certo desprezo o estudo da realidade, dos fenômenos da natureza.

Aristóteles (384-322 a.C.) foi discípulo de Platão, mas diverge dele atribuindo fundamental importância à estrutura do “método científico” dando origem à noção comumente conhecida até hoje. Podem-se resumir suas ideias sobre o “método científico” da seguinte forma: 1) *teoria do silogismo*: que consistem de duas premissas e uma conclusão obtida por inferência (e. g. *todos os homens são mortais; Sócrates é um homem; então Sócrates é mortal*); silogismos são instrumentos de lógica poderosos para examinar a racionalidade científica; 2) *teoria das definições*: Aristóteles pensava que a função de um cientista (filósofo, como era chamado à época) era a busca por definições corretas das coisas através de conceitos ou universais; assim, bastaria estabelecer a essência dos fenômenos que nos interessam e dela deduzir suas propriedades (é o chamado *essencialismo*⁵ (EFLIN; GLENNAM; REISH, 1999). O círculo, por exemplo, é uma figura plana (é a classe de figuras) em que todos os pontos são equidistantes a um ponto fixo, sendo esta propriedade sua essência, que o converte em objeto (o círculo); 3) *o método indutivo-dedutivo*: começando com a observação, o cientista formula uma série de proposições sobre objetos ou eventos e induz generalizações (um exemplo muito conhecido de *indução*: o corvo 1 é negro; os corvos 2, 3,... são negros; todos os corvos são negros); o uso de generalizações, obtidas por indução, como premissa para gerar outros conhecimentos caracteriza a *dedução* (por exemplo, metais dilatam ao serem aquecidos; trilhos de trem são de metal; trilhos não interrompidos por pequenos espaços deformam sob o calor do Sol); quando se formulam hipóteses por um ato de perspicácia temos a *abdução*; 4) *teoria da causalidade*: para Aristóteles *causa* é algo complexo, inclui o *material* (uma pedra de mármore), o *eficiente* (ação do artista ao fazer surgir uma estátua), o *formal* (substrato essencial dos objetos como temperatura, cor, textura) e o *final* (as coisas ocorrem não só pelo que são, mas pelo que podem vir a ser – estaria projetado que no futuro a pedra de mármore poderia vir a ser estátua). A causa *final* tem sido a pedra angular

⁴ Para exemplificar o conhecimento enganoso, das aparências, Platão alude ao *ídolo da caverna*: imagina homens que vivem prisioneiros, desde crianças, em uma caverna atados de tal forma, na parede da caverna, que não podem mover as pernas e a cabeça, só podem observar imagens projetadas na parede que fica em frente pela luz do Sol ou de uma fogueira que está atrás deles a certa distância; entre a fogueira e a entrada da caverna passam pessoas carregando utensílios e animais dos quais se projetam as sombras. As sombras que veem, afirma Platão, são para eles as coisas reais e assim são também nossas opiniões (*doxa*), ou seja, o mundo visível, de meras opiniões é inculto, confunde a realidade com as sombras, só o mundo das ideias é o verdadeiro saber, é o conhecimento pleno e absoluto (ibid., p. 23).

⁵ O *essencialismo* também pode ser pensado em termos da natureza da ciência. Eflin, Glennam e Reish, (1999) advertem que pressupor que exista uma “*natureza da ciência para ser descoberta e ensinada*” e uma lista de tópicos para descrever a natureza da ciência é ter “*uma visão essencialista da ciência*”, isto é, remete à crença de que haveria uma essência ou um conjunto de critérios capaz de descrever todas as atividades consideradas científicas. Trata-se de uma visão considerada insustentável pelos filósofos da ciência contemporâneos, pois cada ciência tem suas especificidades.

dos animistas (os que atribuem vida às coisas) e, ao mesmo tempo, um inimigo que os deterministas buscam derrotar.

Aristóteles contribuiu de maneira importante com a teoria do conhecimento, não apenas por seus escritos senão por sua influência nos pensadores medievais, para quem sua opinião serviu quase sempre de ponto de partida e não poucas vezes de árbitro da verdade (PÉREZ TAMAYO, 2003, p. 24).

Retomando a história, assumimos que as ideias até aqui apresentadas são algumas dentre muitas e foram escolhidas por sua relevância ao método científico dos sistemas filosóficos antigos. Platão e Aristóteles fizeram-se, em verdade, algumas das perguntas mais fundamentais baseados em pouquíssimas informações objetivas sobre o mundo real e obtiveram respostas tão magníficas que hoje, 25 séculos depois, seguimos discutindo (ibid., p. 32).

2.2. Idade Média

É incorreto afirmar que durante a Idade Média pouco se agregou às ideias de Aristóteles ou à história do “método científico”. Possivelmente uma das razões desse tipo de pensamento é que os teóricos⁶ do “método científico” foram em menor número nesse período. De qualquer forma, permitimo-nos fazer um salto de 20 séculos sem muitas perdas para nossos objetivos. De Aristóteles ao séc. XVII (início da revolução científica) houve um reexame da ciência aristotélica e na visão de Pérez Tamayo (2003), que é médico, a medicina contribuiu de forma importante ao exame da ciência aristotélica e com avanços que foram registrados ao longo desse período. É possível que em função de sua natureza (baseada no sofrimento humano) a medicina “deixou de pisar a terra” com menos frequência que outras ciências. Assim, algumas doutrinas (por exemplo, os silogismos hipotéticos, se “p” implica “q” e “p” é certa, então “q” é certa – conhecido como *modus ponens*; se “p” implica “q” e “q” é falsa, então “p” é falsa – conhecido como *modus tollens*, este é muito usado no falseacionismo de Popper (2000)), utilizadas para ensinar as ciências médicas e foram identificadas a classes aristotélicas de demonstração, no sentido de que é possível começar com efeitos para chegar às causas – esta é a chamada *doutrina resolutiva*, introduzida na medicina por Pedro Abano, em 1310.

Não dá para deixar de mencionar alguns nomes importantes do séc. XIV na teoria do “método científico”. Roger Bacon (1220-1292) buscou compreender o método experimental e desenvolveu uma teoria geral da ciência; Guilherme de Ockham (1285-1349) propôs o *princípio da simplicidade* ou parcimônia na ciência, que ficou conhecido como “navalha de Ockham” (em igualdade de condições devemos preferir a explicação mais simples). Também é de destacar a relevância dos metodólogos renascentistas, em particular italianos, que ajudaram a elucidar as ideias metodológicas de Leonardo da Vinci e as opiniões metodológicas que predominantes na época em que Galileu ainda era estudante.

⁶ Acompanhando Laudan (2000), assumimos que “método científico” são as técnicas e procedimentos que um cientista usa para realizar experimentos ou construir teorias; enquanto “teorias do método científico” são as opiniões metafísicas explícitas que um cientista adota ao examinar a lógica da inferência científica. Este texto trata dos dois aspectos de forma imbricada dado que às vezes alguns cientistas falam de seu próprio método, enquanto nas sínteses históricas aparece com maior clareza uma história de ideias e conceitos (ou seja, das teorias do método).

2.3. Cientistas da revolução científica e suas ideias sobre o método científico

Ao iniciarmos este item, é relevante destacar que o termo “revolução científica” é um conceito dinâmico, encontrado em textos desde a Idade Média e que começou a adquirir conotação de progresso, ou ruptura, parecido com o que conhecemos hoje, com o Renascimento no séc. XVII. Historiadores do início do início do séc. XX passaram a usar o termo para marcar o nascimento da Ciência Moderna e descrever a transformação da sociedade ocidental (de medieval para moderna). Emergiu desse movimento uma nova atitude frente à natureza, de superação da herança greco-romana e de afastamento do cristianismo. A ciência adquiriu uma influência sobre a vida humana antes inimaginável.

Mesmo antes do séc. XVII alguns cientistas passaram a opor-se à autoridade dos textos clássicos, propondo que a própria natureza devesse ser o árbitro da verdade (ou seja, a verdade de uma teoria ou de modelo científico estaria associada à sua concordância com a realidade – objeto ou fenômeno – que busca representar e explicar). Um desses cientistas foi Andreas Vesalius (1514-1564) que estudou medicina em Pádua, na Itália, e passou a dar conferências de cirurgia; rompendo com a tradição, fazia demonstrações práticas de anatomia e preparava suas próprias dissecações. Com isso, percebeu que a anatomia contida nos livros estava baseada em dissecações de animais e continha muitos erros, passando a criticar a crença dogmática nos textos antigos. Em 1543, publicou uma obra ilustrada com imagens de anatomia que ainda hoje é conhecida como uma das mais fantásticas ilustrações do conhecimento científico na área.

A questão da certeza, da verdade ou da vulnerabilidade do conhecimento tem acompanhado os debates epistemológicos ao longo da história da ciência e do próprio método científico. Moser, Mulder e Trout (2011) trazem um exemplo instrutivo para mostrar o quão é perturbador perceber que as crenças mais firmes de uma pessoa podem se revelar errôneas, pelo menos em alguma outra época, se formos demasiado rigorosos para o conhecimento.

Pense numa pessoa que viveu há dois séculos e que estivesse considerando a possibilidade de comunicar-se quase instantaneamente com um amigo situado a dois mil quilômetros de distância. Um cavaleiro do século XVIII provavelmente diria que sabe, com a mesma segurança com que conhece as coisas que o rodeiam que tal comunicação é impossível (ibid., p. 9).

Hoje sabemos que o cavaleiro setecentista está errado. Nós mesmos já nos comunicamos dessa forma várias vezes com nossos *smartphones*, por exemplo. Ele afirmava com segurança que sabia certas coisas que nós, hoje, sabemos não ser verdadeiras; tinha o mais elevado grau de confiança, mas não tinha o conhecimento verdadeiro; se examinasse cuidadosamente o assunto, teria que admitir que não ter certeza que a comunicação instantânea a distância é impossível. Por isso a maioria dos epistemólogos contemporâneos rejeitou a condição de certeza como pré-condição ao conhecimento. Assumir condições muito rigorosas para o conhecimento pode nos levar ao ponto de vista cético, segundo o qual o conhecimento não existe. Com certeza, não é este o nosso propósito. Assumimos que racionalidade e as metodologias científicas sofrem a ação do tempo, vão mudando de geração em geração, de um coletivo de pensamento a outro e com o avanço da tecnologia.

Para muitos historiadores, a ciência moderna começa com Galileu Galilei (1564-1642) por escrever em suas obras muitas páginas sobre como se faz ciência e, com isso, introduzindo avanços metodológicos, embora se tenha argumentado com dados aparentemente sólidos que o que Galileu disse que fez e o que realmente fez não é exatamente o mesmo. Zylbersztajn (1988) argumenta que,

longe de conduzir a um consenso, a diversidade de perspectivas sob as quais a obra de Galileu tem sido analisada estimulou a controvérsia e o debate. O historiador Stillman Drake (2001) assume que a condenação de Galileu pela Inquisição não se deveu ao seu desafio à Igreja, mas à hostilidade dos filósofos contemporâneos, seus adversários; que a lucidez de seus argumentos revela que seu método científico não se focava na busca de causas (como Aristóteles), mas de leis. Disto deriva o enorme significado e papel de seus métodos para o desenvolvimento da Física Moderna.

Galileu escreveu em suas obras (em especial no *Diálogo dos dois principais sistemas de mundo* e no *Diálogo sobre as duas novas ciências*) cuidadosas retóricas em geral dirigidas ao público não científico em que concentrou sua atenção no movimento dos corpos e em fatos que podem ser expressos matematicamente. Embora tenha descrito inúmeros experimentos (por exemplo, observações de montanhas da Lua, fases de Vênus, satélites de Júpiter; queda de corpos distintos na torre inclinada de Pisa; experiências com o plano inclinado), o que verdadeiramente ele levava em conta eram suas conclusões matemáticas; estas não poderiam ser colocadas à prova diretamente com os instrumentos que dispunha. Possivelmente não se possa dizer que tenha usado o método hipotético-dedutivo como alguns apontam (DRAKE, 2001), mas foi um dos grandes talentos do mundo ocidental: tratou de forma sensível suas evidências astronômicas, a percepção sensorial e os modelos matemáticos. Mesmo que não tenha feito todos os experimentos que descreveu, jamais se baseou nos escritos antigos, seus problemas têm uma estrutura moderna e ele teve um papel fundamental na mudança de percepção de nossa posição no universo (MATTHEWS, 1995, p, 168). Esta pode ser considerada sua grande contribuição à história do “método científico”, que nada tem a ver com a interpretação tradicional (ingênua), de que teria utilizado um processo indutivo segundo o qual se chega a generalizações (leis) a partir de observações de instâncias singulares (dados empíricos). Esta versão, como já dito, continua muito presente dentro das salas de aula da educação básica.

Isaac Newton (1642-1627) é um dos cientistas de maior prestígio da história da ciência: criou o cálculo, formulou as leis dos movimentos e concebeu a natureza universal da atração gravitacional, entre outras grandes contribuições. Suas ideias sobre o “método científico” opunham-se às de Descartes (que tentava derivar leis de princípios metafísicos evidentes e conhecidos *a priori*); Newton insistia que as generalizações científicas deveriam basear-se no exame minucioso da realidade e buscou afastar-se das hipóteses⁷. Para Pérez Tamayo (2003, p 63), Newton proclamava-se um aristotélico e referiu-se ao esquema indutivo-dedutivo de Aristóteles como o “método de análises e sínteses”. Em *Opticks*, de 1704, escreveu que análise *consiste em fazer experimentos e observações, e em derivar a partir dessas conclusões gerais por indução, rechaçando todas as objeções exceto as baseadas em experimentos e outras formas de conhecimento seguro*. Na terceira edição de seu livro *Principia Mathematica* Newton incluiu quatro regras propondo um “método” para investigar cientificamente que ele jamais seguiu em seus trabalhos (FEYERABEND, 1975, p. 57-58). Nesse sentido, aparece uma enorme incongruência. Por exemplo, em sua primeira lei ele refere a um comportamento que seguramente nunca havia observado: corpos que se movem com velocidade uniforme e em linha reta na ausência total de influências externas.

Robert Hooke (1635-1702), contemporâneo de Newton (considerado o primeiro microscopista, pois observou células dando-lhes esse nome), a par de disputar com Newton a prioridade do cálculo

⁷ É importante destacar que o significado de “hipótese” mudou muito nos últimos 400 anos. Na época de Newton tinha um caráter fantástico, de uma afirmação especulativa, mas nos tempos atuais “hipótese” é uma preconcepção imaginativa útil e respeitável sobre algum fato ou evento, no formato de uma declaração com consequências dedutivas verificáveis, isto é, com o compromisso de verificação.

elíptico das órbitas planetárias e da teoria das cores, ambas vencidas por Newton, teve contribuições ao “método científico”. Propôs o caráter reiterativo, que pode ser observado em seus dados, marcados por ciclos repetidos, réplica, análise e experimentos em rotinas idênticas como forma de enriquecer o conhecimento até que se alcance um nível que exija a formulação de novas e mais gerais hipóteses.

2.4. Filósofos da revolução científica e o “método científico”

Do séc. V a.C. ao séc. XVI d.C. ciência e filosofia eram a mesma coisa e seus pensadores eram chamados “filósofos naturais”. Possivelmente nenhum desses pensadores tenha sonhado que um dia os componentes essenciais do pensamento humano pudessem bifurcar-se e até mesmo ignorar sua história e sua relação recíproca. Essa separação ocorreu no séc. XVII e foi uma das facetas da revolução científica; o ser humano, diferente da Idade Média que se orientava ao passado, passou a olhar para o futuro. Os filósofos do séc. XVII conservaram um manto de cientistas (assim como os cientistas diziam-se filósofos naturais). Os ingleses Francis Bacon e John Locke são personagens fundamentais por suas posições empiristas do “método científico”. Mas muitos outros pensadores influenciaram essa história e não serão aqui tratados para não alongar demais o texto. Vamos, então, tentar compreender algumas dessas principais ideias.

Francis Bacon (1561-1626) estudou no Trinity College, em Cambridge (o mesmo de Newton) e teve uma carreira política prestigiosa. Em 1620 publicou o livro *Novum Organum*⁸, um livro que apresenta suas opiniões os fundamentos do “método científico”. O título do livro expressa sua intenção de substituir as ideias de Aristóteles recompiladas em uma obra medieval chamada *Organum*. Em sua obra, Bacon aponta os problemas relacionados ao estudo da natureza que não foram tratados por Aristóteles como sendo quatro “ídolos”: 1) *ídolo da tribo seria* da natureza humana aceitar os fatos e generalizar a partir de informações incompletas; 2) *ídolo da caverna*, associado à tradição e à educação do indivíduo; 3) *ídolo do mercado* tem a ver com o uso inadequado da linguagem e 4) *ídolo do teatro*, seriam os dogmas (religião, política, cultura) incorporados sem o devido exame racional. A filosofia aristotélica seria um ídolo do teatro que precisava ser extinto. O “método científico” baconiano propunha que para identificar as causas de um fenômeno, por exemplo, seria preciso: fazer induções graduais e progressivas com base em dados buscados nos fenômenos naturais; excluir fatores que não se correlacionam com a realidade; repetir o processo cada vez em níveis mais altos de generalidade. Conhecimento derivaria, então, da prática, de experimentos, do uso adequado de instrumentos e muito pouco ou nada de fatores individuais e da inteligência. O método experimental de Bacon extirpou a causa final (Aristóteles). Ele insistiu que o conhecimento científico conduz não só à sabedoria, mas ao poder; e que a “melhor ciência” é a institucionalizada e feita por grupos de pesquisadores e não a privada e isolada.

René Descartes (1596-1650), francês, considerado o fundador da filosofia moderna (PÉREZ TAMAYO, 2003, p. 82), foi influenciado pela nova física e nova astronomia que afloravam em sua época (físicos como Galileu Galilei e Isaac Beeckman⁹ (1588-1637)). Desenvolveu a geometria analítica e concebeu a ciência como uma pirâmide: no topo estariam os princípios e leis mais gerais; ao contrário de Bacon (que previa induções progressivas até chegar às generalizações), Descartes propôs que a ciência inicia

⁸ O título do livro expressa sua intenção de substituir as ideias de Aristóteles recompiladas em uma obra medieval chamada *Organum*.

⁹ Isaac Beeckman, matemático, médico, físico, foi um dos primeiros a propor a aplicação da Matemática na Física; era amigo e influenciou Descartes, fortemente. Teria Descartes composto e dedicado a Beeckman um pequeno tratado sobre música intitulado *Compendium Musicae* (Compêndio de Música) como um presente de Ano Novo em 1619.

do topo e segue por dedução à base, isto é, à realidade. A mais importante implicação de sua visão é que, para ele, pode-se alcançar a certeza do conhecimento científico *a priori* (daí seu famoso princípio: *penso, logo existo*). Para ele, era clara e precisa sua existência como ser pensante, mas sua física não foi tão evidente. Para estudar a realidade mostrou-se aristotélico, distinguindo qualidades primárias (extensão, mobilidade, flexibilidade) das secundárias (calor, som, sabor, odor...), sendo que as primárias deveriam ser intuídas pela mente; qualidades, para ele, podiam ser expressas matematicamente e formar relações, daí por que se diz que Descartes foi um *racionalista*.

O epistemólogo contemporâneo Larry Laudan (2000, p. 16) alerta, contudo, que não é plausível pensar que os racionalistas sejam antiempíricos. Para ele, Descartes era um mecanicista e propôs que tanto os seres inertes como os seres vivos obedeciam às mesmas leis (seriam máquinas autômatas). Seu "método científico" consistia em fazer deduções a partir de princípios intuitivos gerais (metafísicos) o que permitiria chegar a muitas realidades possíveis, todas compatíveis com os princípios gerais. Esta era uma limitação de seu método e por isso ele atribuiu à observação e à experimentação o papel de delimitar as circunstâncias em que ocorreriam fenômenos específicos, sendo que observação e experimentação assumiam um papel secundário.

John Locke (1632-1704), inglês, diferentemente de Bacon e Descartes que também fizeram contribuições científicas, foi um filósofo. Suas ideias abordavam também ética e política e tiveram repercussão em vários países da Europa e nos EUA. Locke é considerado um dos fundadores do *empirismo*, doutrina que assume que todo o conhecimento origina-se de sensações produzidas nos sentidos por estimulação ambiental, observacional e derivam, assim, da experiência. Foi ferrenho opositor ao racionalismo de Platão e Descartes, sugerindo que a mente seria uma "tábula rasa" ("papel branco") onde o conhecimento advindo da experiência poderia ser impresso (gravado). Para ele, também nossas ideias viriam da experiência e, assim, nenhuma parte do conhecimento antecede a experiência. A partir dos sentidos, a mente analisa, combina, compara e pode construir conceitos mais complexos. O empirismo parece óbvio hoje, mas não era na época de Locke, quando predominava a concepção de Descartes (mente poderia conhecer *a priori*). Locke defendeu, como Bacon e outros, a ideia de que existiria um mundo de átomos subjacentes ao mundo visível, cujas interações e colisões explicariam os fenômenos cotidianos e as chamadas qualidades primárias (solidez, extensão, forma, repouso, movimento, etc.); também produziriam as qualidades secundárias (sabor, odor, cor, etc.). Locke foi um crítico do conceito de "essência" de Aristóteles, considerando-o genérico e verbal, e defendeu que o que pode realmente "existir" são as coisas, buscando eliminar da filosofia o *essencialismo* e o *idealismo*¹⁰ (ver POPPER, 2008). Porém, seu empirismo sofreu duras críticas. Por exemplo, se nossa mente dispõe apenas de suas ideias (vindas dos sentidos) e nosso conhecimento refere-se apenas a elas, então estaríamos encerrados em nós mesmos. Contudo, para Locke o conhecimento consiste na apreensão de um acordo entre várias espécies de ideias e admite várias vias (intuição, sensação – da existência de coisas fora de nós, acordo/desacordo entre ideias, etc.). Locke foi também defensor da tolerância religiosa a partir da ideia de separação entre Estado e Igreja.

George Berkeley (1685-1753) deu um passo adiante no empirismo de Locke propondo que só o que possui existência real é o mundo das sensações (diretamente experimentadas) e que a realidade externa não apenas não pode ser percebida, como não existe. Berkeley foi mais empirista do que

¹⁰ *Idealismo* é a teoria filosófica que propõe que o mundo material, objetivo só pode ser compreendido a partir da verdade mental, subjetiva; para Popper (2008, p. 220) "o mundo é o meu sonho".

Locke ao afirmar que *por meio da observação diligente dos fenômenos que percebemos podemos descobrir as leis gerais da natureza e a partir delas deduzir outros fenômenos...* (BERKELEY, 1710 *apud* PÉREZ TAMAYO, 2003).

David Hume (1711-1776), filósofo escocês empirista e cético¹¹, focou seu ceticismo no seu rechaço ao "princípio da indução" que, como já foi mencionado, foi proposto por Aristóteles, aceito por Bacon e constitui a base do método científico newtoniano. Argumentou ele que é impossível chegar ao conhecimento de princípios gerais verdadeiros sobre a natureza a partir de observações externas individuais, pois para que o princípio da indução fosse filosoficamente aceitável, deveria poder ser derivado de outro princípio independente e não da experiência. Hume buscou mostrar que o empirismo puro não é suficiente para sustentar o desenvolvimento da ciência.

O filósofo da ciência Karl Popper retoma essa crítica, como veremos mais adiante, através do "problema da indução", mas é importante destacar que a indução é um princípio lógico importante e que, na prática, sem a indução a ciência seria impossível.

Não poderíamos deixar de mencionar algumas ideias de Immanuel Kant (1724-1804) por sua importância e abrangência. Kant viveu toda sua vida na pequena cidade de Königsberg, Prússia Oriental, escreveu um livro muito conhecido intitulado *Crítica da razão pura*. Nele, Kant defende a tese de que ainda que nada do nosso conhecimento transcenda a experiência, uma parte dele é *a priori* e não pode ser inferido indutivamente dos dados empíricos, como a lógica, mas não só ela. Para Kant o mundo exterior causa as sensações e o nosso cérebro ordena-as no espaço e no tempo e agrega conceitos para que possamos entender a experiência. O espaço e o tempo assim como conceitos de quantidade, qualidade e relação são subjetivos (originam-se na mente humana), tomam parte do nosso aparato perceptivo e são *a priori*. Em outras palavras, não existe realidade sem o sujeito. As categorias *a priori* são derivadas de formas de silogismos em número de doze (unidade, realidade, causa e efeito, existência,...) e representam os padrões mentais dentro dos quais as sensações, ordenadas no espaço e no tempo, adquirem sentido como objetos (por exemplo, quando percebemos o arco-íris recebemos certas sensações como o amarelo, verde, azul junto com a sensação de arco, de luz, etc.). Para Kant, nosso espírito, através de estruturas *a priori*, organiza a ordem no universo, unifica os fenômenos na experiência. Assim, reconcilia o racionalismo (de Descartes) que pretendia resolver tudo por meio da razão pura, e o empirismo, que assume que da experiência derivaria o conhecimento, pelo processo lógico da indução. As ideias de Kant são pedra angular para revisarmos certas crenças sobre o "método científico".

Outro personagem importante foi John Herschel (1792-1871). Inglês, filho de William Herschel, o astrônomo que "descobriu" o planeta Urano, Herschel fez contribuições à astronomia demonstrando que as estrelas duplas têm órbitas elípticas e movem-se segundo as leis de Newton. Em termos de metodologia da ciência, afirmou que é preciso atentar a que, para cada nova teoria que prediz novos fatos ou nova hipótese confirmada por dados experimentais, há dois aspectos distintos: o *contexto da descoberta* e o *contexto justificação*. O contexto da descoberta inclui a indução, a análise (ou separação dos fenômenos em seus elementos constituintes) e a geração de hipóteses que são depois colocadas à prova. Para ele, a geração de teorias (*contexto da justificação*) é a tarefa de mais elevado

¹¹ Ceticismo é a postura filosófica, segundo a qual o ser humano não pode conhecer (nada garante que ele possa chegar ao conhecimento).

nível, mas sua obra não especifica claramente como fazê-lo porque *Herschel sabia muito bem que não há regras precisas para gerar boas teorias científicas* (PÉREZ TAMAYO, 2003, p. 119).

Antes de encerrarmos esta seção é relevante destacar que na época de Bacon e Locke fazia sentido preocuparem-se em estabelecer diretrizes, princípios ou um método para tentar diferenciar a ciência da não ciência, conhecimento “propriamente dito” da mera opinião, verdade da falsidade, pois não havia ainda um conceito claro de ciência, a alquimia confundia-se com a química, a astrologia com a astronomia, etc. É um erro anacrônico analisar e criticar com olhos de hoje eventos que se situam em outra época sem levar em conta o contexto daquele momento histórico. Como já dito, foi nesse momento de revolução que a ciência passou a adquirir influência sobre a vida das pessoas de uma forma antes inimaginável.

2.5. Filósofos da revolução científica e o “método científico”

Mlodinow (2005) narra que na década de 60 do séc. XX uma controvérsia que animava o mundo da Física, em especial a disputa entre Richard Feynman e Murray Gell-Mann, dizia respeito às propriedades das partículas subnucleares, os quarks:

Se não se pode isolar um quark, que sentido faz afirmar que eles existem individualmente? Será que essas partículas dentro de partículas não passariam de um conveniente artefato matemático? Essas perguntas são parte de um debate filosófico mais amplo: em que medida se pode dizer que as experiências realizadas em modernos aceleradores de partículas consistem realmente em observações diretas e até que ponto elas são meramente interpretações aceitas de determinados dados numéricos? (...).

Uma corrente filosófica chamada positivismo evita essas questões ao sustentar que somente o que percebemos de forma direta pode ser aceito como realidade (MLODINOW, 2005, p, 35).

Como se pode ver, o debate filosófico faz parte do desenvolvimento da ciência e está imbricado a aspectos metodológicos. O positivismo, com frequência é citado como um dos movimentos filosóficos de enorme influência no continente europeu, desde o séc. XIX às primeiras décadas do séc. XX rechaça os juízos de valor e todas as entidades não são suscetíveis de exame empírico objetivo (causa, essência, afinidade, alma, transcendência) e também entidades hipotéticas (átomo, valência, afinidade, força gravitacional). Daí a importância de compreender melhor as ideias de alguns dos seus expoentes que se inspiraram em Francis Bacon, John Locke e outros empiristas.

O francês Auguste Comte (1788-1857) colocou as bases do positivismo em seu famoso *Curso de Filosofia Positiva*, de 1830. O curso inicia com um primeiro postulado que diz que todo conceito, ramo do conhecimento ou ciência passa por três etapas: a *teológica* (a busca da causa primária vê os fenômenos como produto da ação de agentes sobrenaturais); a *metafísica* (busca de uma essência, substitui agentes sobrenaturais por forças e entidades abstratas); a *positiva* (pela combinação da razão e da observação a mente busca leis que governam os fenômenos). Para ele, estas representam fases bem definidas da história da ciência e também o estado de desenvolvimento mental do indivíduo e da sociedade. Comte propõe uma hierarquia de disciplinas, das mais simples às mais complexas: matemática, astronomia, física, química, biologia, fisiologia e sociologia; não pode existir a física sem que antes se desenvolva a astronomia, nem a química sem que seja precedida pela física, sendo que a fisiologia (vida) seria a mais complexa, seguida pela sociologia; a matemática não seria ciência senão uma ferramenta de trabalho. Isto teve implicações no “método científico”, pois à medida que os fatos são mais complexos, também os métodos para estudá-los se complexificam. Opondo-se a

Descartes, defendeu que a mente não pode compreender *a priori*, mas que a tarefa do cientista é a de estabelecer leis que descrevem relações invariáveis dos fatos por meio da observação e experimentação controladas (na física e química) e da comparação (na fisiologia e sociologia).

Ernst Mach (1838-1916), matemático austro-húngaro, foi um dos grandes representantes do positivismo do séc. XIX, atribuindo enorme importância à ciência experimental como instrumento valioso (utilitarismo científico) que permitiria ao ser humano controlar as condições naturais e sociais da vida, colocando de lado a metafísica ("limpar" a ciência dos pontos de vista e do "*apriorismo*" cartesiano), alicerçando a ciência nos fenômenos naturais e na matemática como linguagem específica. Dessa postura radical derivou o "positivismo lógico", base da concepção do Círculo de Viena, no início do séc. XX: somente podemos crer naquilo que podemos experimentar empiricamente. Mas Mach também foi um instrumentalista, argumentando que as hipóteses e teorias científicas são instrumentos para gerar conhecimento, pois nada dizem sobre a realidade, apenas ajudam a apontar regularidades; admitiu que hipóteses bem adaptadas à realidade sobrevivem e as incongruentes desaparecem. Insistiu no enfoque histórico da filosofia da ciência argumentando que a divisão em especialidades (física, química, biologia...) é artificial e arbitrária.

Em termos de educação em ciências defendeu a ideia de ensinar menos (conteúdos) para aprender mais (ABRAHAM, 1995, p. 168). Com relação ao "método científico", atribuiu importância aos *Gedankenexperimenten* (experimentos mentais) como forma de clarear ideias antes de ir ao laboratório fazer experimentos.

Henri Poincaré (1854-1912), matemático e filósofo francês, fez contribuições importantes e originais à matemática, ganhou inúmeros prêmios e ocupou os mais altos cargos na Academia de Ciências de Paris. Via o "método científico" atrelado à existência de uma ordem geral no universo, independe do homem e do seu conhecimento. O objetivo do cientista é descobrir e entender tudo o que pode dessa ordem geral, postulando, observando, experimentando. Os experimentos são selecionados pelo cientista que decide em função daquilo que tem maior probabilidade de repetir-se, do que sejam configurações relevantes e com o menor número possível de componentes.

2.6. O positivismo lógico e o Círculo de Viena

O positivismo de Comte e Mach vestiu uma nova roupagem com o *positivismo lógico*, surgido em Viena em 1922, através de um grupo de cientistas e pensadores que se reuniam para discutir temas da filosofia da ciência. Em 1929 o grupo publicou um manifesto intitulado *A visão científica do mundo: o Círculo de Viena* escrito por cientistas como: Rudolf Carnap, físico e filósofo; Kurt Gödel, matemático; Gustav Bergmann, filósofo; Moritz Schlick, físico e filósofo; Otto Neurath, sociólogo, etc. Houve simpatizantes como Albert Einstein, Bertrand Russell e Ludwig Wittgenstein. Esse movimento filosófico teve impacto internacional e seus objetivos centravam-se na propagação e progresso de uma visão científica do mundo; e na criação dos instrumentos intelectuais do empirismo moderno. Embora Wittgenstein nunca tenha participado das reuniões do Círculo de Viena, seu *Tractatus Logico-Philosophicus* (1922) influenciou profundamente o positivismo vienense. Wittgenstein colocou ali fundamentos como: o mundo exterior existe como um conjunto de fatos, cada um constituído por distintas configurações; se desejamos descrever a realidade temos de nos preocupar com a correspondência entre o mundo real e sua descrição; as proposições de linguagem devem funcionar como imagem da realidade; a linguagem deve ter uma estrutura lógica capaz de refletir a própria lógica da realidade; só quando confrontamos as proposições (ou teorias) com a realidade é que podemos estabelecer se são falsas ou verdadeiras. Teorias só podem ser aceitas se são verificáveis

(se satisfazem condições empíricas), direta ou indiretamente, o que ficou conhecido como o “princípio da verificabilidade”; este princípio distinguiria enunciados científicos dos não científicos. O “método científico” do Círculo de Viena também incluía o reducionismo, que postula que todas as ciências podem ser unificadas e investigadas com uma metodologia comum. Esta postura sofreu fortes críticas. Um crítico do positivismo lógico foi Karl Popper (1902-1994), que deu início a uma nova visão epistemológica com grandes desenvolvimentos no séc. XX. Vamos a ela.

2.7. Algumas ideias da Epistemologia Contemporânea sobre o “método científico”

Antes de tudo, é relevante dizer que as visões epistemológicas contemporâneas não são coincidentes: algumas são complementares, outras divergentes, embora a maioria ataque o *empirismo-indutivismo*. Algumas serão abordadas aqui, mas há outras.

Chalmers (1999) argumenta que a crença na infalibilidade da ciência foi reforçada pela mídia, e sustentada pela noção de “método científico” como sendo: *coleta de dados por meio de cuidadosa observação e experimentos e da subsequente derivação de leis e teorias a partir desses dados por algum tipo de procedimento lógico* (ibid., p. 18). Tal postura, que ficou conhecida como *empirismo-indutivismo*, toma a observação como fonte do conhecimento. Leis e teorias científicas são vistas como verdades absolutas, pois derivam do uso do “método científico” que permite registrar fielmente o que se pode medir, ver, ouvir de maneira que se pode construir *afirmações singulares* (em grande número) e saltar, pelo uso da lógica indutiva, a *universais* (leis e teorias).

Se um grande número de As foi observado sob uma ampla variedade de condições, e se todos esses As observados possuíam sem exceção a propriedade B, então todos os As têm a propriedade B (ibid., p. 27).

O esquema *empirista-indutivista* é completado pelo processo lógico da *dedução*: uma vez obtidas leis e teorias a partir da observação é possível, considerando que as condições iniciais sejam cuidadosamente descritas, derivar delas consequências que servem como explicações ou *previsões*.

Como dito, este texto tem o objetivo de revisitar a noção de “método científico” (*existem regras fixas, precisas e universais para fazer ciência?*). Vejamos o que diz Feynman, um dos grandes físicos do séc. XX, quando perguntado (MLODINOW, 2005) sobre como solucionava problemas na física de baixas temperaturas, óptica, eletrodinâmica,

Quando você veio aqui pela primeira vez e me pediu que discutisse a forma como eu abordava um problema, entrei em pânico. Na verdade, não tenho a menor ideia. (...). Em alguns casos, encontrar o problema com o qual vai trabalhar pode ser o resultado de uma excelente imaginação criativa. E resolvê-lo talvez exija a mesma habilidade. Mas há casos na Matemática e na Física em que ocorre a situação inversa: os problemas tornam-se mais óbvios e sua solução muito difícil. (...) tomemos o problema no qual estou trabalhando agora. (...). Existe uma teoria matemática chamada cromodinâmica quântica que supostamente explica as propriedades dos prótons e nêutrons, e assim por diante. No passado, quando tínhamos uma teoria e queríamos descobrir se estava certa, bastava ver o que acontecia na teoria e compará-la à experiência. No caso em questão, as experiências realmente já foram feitas. Conhecemos um monte de propriedades dos prótons. A dificuldade é que se trata de algo novo (...). A minha primeira tentativa foi buscar um tipo de solução matemática, resolvendo algumas equações. Como fiz isso? Como visualizei dessa forma? Isso talvez tenha sido determinado pela dificuldade do problema. Nesse caso, eu simplesmente tentei de tudo. Tenho experimentado um método, depois outro (MLODINOW, 2005, p. 66).

Ainda que Feynman não tenha dado uma solução, ele oferece pistas sobre como desenvolveu o trabalho ao longo de sua prestigiosa carreira científica, diversificando metodologias: imaginação, outra maneira de ver as coisas, tentativa, persistência, intuição, simplificação, energia para experimentar de outra forma, entusiasmo. Mlodinow (ibid., p.68). Afirma que *"Pessoas que nunca trabalharam com física costumam descrevê-la com palavras como árida, exata e precisa. Mas a física da vida real está tão distante dessa ideia (...)"*. Isto pode ajudar a perceber como a ideia de um "método científico" algorítmico e universal não existe na ciência moderna.

Karl Popper, nascido em Viena, um dos filósofos da ciência mais influentes e mais discutidos do século passado, envolveu-se com o Círculo de Viena, mas nunca participou dele. Ao contrário, criticou-o mostrando que o positivismo e o empirismo, baseados na indução, tinham chegado a um impasse. Popper retomou o "problema da indução" de Hume mostrando que a indução não se justifica logicamente (não se pode usar a indução para justificar a indução, isto é uma circularidade); advertiu que a partir de um conjunto de dados pode-se induzir, não uma, mas muitas teorias igualmente legítimas; afirmou que esse não é o único processo legítimo para fazer ciência. É um deles. Não o único.

Para ele, teorias são conjecturas inventadas pelo intelecto humano, para explicar algum problema, e devem ser reiteradamente testadas para sua possível refutação; se uma hipótese não é falseável (testável), não é científica e, divergindo dos indutivistas, propôs que hipóteses audazes são preferíveis porque são mais falseáveis; uma vez falseadas as hipóteses devem ser abandonadas e substituídas por outras mais adequadas. A versão popperiana do "método científico" é hipotético-dedutiva, ou "tentativa e erro": aprendemos com nossos erros e a ciência avança com "conjeturas e refutações", que é título de seu principal livro.

Sobre o "método científico" Popper (2000) afirmou: *a visão que tenho (...) é a de que não existe método lógico de conceber ideias novas ou de reconstruir logicamente esse processo. Minha maneira de ver pode ser expressa na afirmativa de que toda a descoberta encerra um "elemento irracional" ou uma "intuição criadora"* (p. 32). Ele defendeu que o conhecimento científico é uma construção humana; que a ciência não começa com observações, mas com *problemas*; elementos como criatividade, imaginação, intuição são ingredientes importantes para o cientista ter ideias e depois colocá-las à prova; o método diz respeito tão somente às escolhas e decisões sobre como manipular e colocar à prova os enunciados científicos sempre tentando mostrar que estão equivocadas.

Imre Lakatos (1922-1974) foi discípulo de Popper e sucedeu-o na cátedra de Lógica e Método Científico na Escola de Economia de Londres. Porém, divergiu dele afirmando que teorias não têm morte rápida porque não são entes isolados, elas formam séries de teorias e organizam-se em *programas de pesquisa científica*; quando falham em fazer previsões podem ser modificadas para dar-lhes tempo para enfrentar as anomalias; uma teoria não é abandonada enquanto não houver outra para substituí-la; as contrastações ocorrem primeiro na periferia (no cinturão protetor) do programa, sendo seu núcleo duro protegido de contrastações por decisão metodológica dos cientistas. Embora Lakatos fosse um falseacionista sustentava que os cientistas estão mais interessados na confirmação do que na refutação de teorias.

Em relação ao "método científico", o que se pode dizer é que existem várias metodologias na ciência contemporânea, todas muito diferentes do que se entendia por método no séc. XVII e XVIII, que a metodologia não é um livro de receitas para resolver problemas científicos. Essa esperança há muito foi abandonada (PÉREZ TAMAYO, 2003, p. 231).

Thomas Kuhn (1922-1996) atribuiu grande importância à história da ciência como elemento facilitador para compreender a filosofia da ciência: *nenhuma história natural pode ser interpretada na ausência de pelo menos algum corpo implícito de crenças metodológicas e teóricas interligadas que permita a seleção, avaliação e crítica* (KUHN, 2003, p.37). Esse corpo de teorias, valores, padrões, técnicas compartilhadas por uma comunidade científica é, para ele, o *paradigma*. O paradigma se define pelo amálgama de um sistema teórico e os métodos que constituem uma forma de ver o mundo, uma visão de mundo. A evolução da ciência é mais bem vista através da história de evolução das disciplinas que passaram por um ou mais ciclos de ciência normal (período de adesão a um único paradigma), ou seja, a ciência passa por ciclos: fases de ciência normal (período de adesão a um único paradigma) seguidos de revolução científica (período de crise paradigmática) que culmina em substituição por um novo paradigma.

Kuhn opôs-se ao método hipotético-dedutivo de Popper e defendeu que a substituição de teorias segue um processo histórico-cíclico associado muito mais a forças irracionais e sociológicas.

Paul Feyerabend (1924-1994) é uma das figuras mais críticas da filosofia da ciência contemporânea; antirracionalista, segundo Pérez Tamayo (2003), usou todo tipo de argumento racional para convencer o leitor de que a ciência é irracional e pluralista (teórica e metodologicamente). Com relação ao “método científico” declarou que o único caminho viável para a ciência é o “anarquismo”, o princípio de “tudo vale” que se traduz no pluralismo metodológico. O cientista deve estar livre para usar todas as opções possíveis – tradicionais ou contemporâneas; absurdas ou racionais; emotivas ou intelectuais – para alcançar o conhecimento. Na história da ciência não há nada que possa se identificar com um “método científico” único: *a ideia de conduzir os negócios da ciência com o auxílio de um método que encerre princípios firmes, imutáveis e incondicionalmente obrigatórios vê-se diante de considerável dificuldade, quando posta em confronto com os resultados da pesquisa histórica. (...) não há uma só regra, embora plausível e bem fundada na epistemologia, que deixe de ser violada em algum momento* (FAYERABEND, p. 29). Além de criticar concepções ortodoxas do “método científico”, foi acusado por assumir um relativismo exacerbado ao afirmar que em ciência o que resta são juízos estéticos, juízos de gosto, pré-juízos metafísicos, isto é, valem nossos desejos subjetivos (CHALMERS, 2006), atribui o triunfo da ciência atual não à coerência lógica, mas à tecnologia que dela resultou.

Stephen Toulmin (1922-2009), físico, matemático e filósofo da ciência, entende que as diferentes atividades intelectuais dos seres humanos dividem-se em *disciplinas* tomadas como *empresas racionais*, que reúnem em torno de si cientistas, métodos, objetivos, ideais e ambições explicativas que estão em desenvolvimento histórico. Sustenta que em diferentes épocas a racionalidade pode operar com distintos métodos e princípios sem que se precise falar em padrões universais, em “método científico” fixo e eterno. Para ele, as disciplinas, conceitos científicos (compartilhados e captados por “enculturação”), assim como as técnicas e procedimentos passam por profundas mudanças de longo prazo, em um processo darwiniano de inovação e seleção.

Mario Bunge, físico matemático e filósofo da ciência argentino, defende a falibilidade do conhecimento e, por conseguinte, a impossibilidade de haver na ciência “regras de ouro” que nos levem a verdades finais. Para ele, uma das características fundamentais das ciências fáticas é a verificabilidade, mas o que chamamos de “método científico” já não é uma lista de receitas para obter respostas corretas a perguntas científicas; é um conjunto de procedimentos através dos quais o cientista propõe problemas científicos e põe à prova suas hipóteses científicas. Em sua visão, as “regras de procedimento” não

são cânones intocáveis, mas sim “regras de plástico” que facilitam a detecção de erros e aumentam a fecundidade do trabalho científico.

Para Pietrocola (1999), o caráter teórico do conhecimento torna-se medida de progresso científico, na visão de Bunge, mais do que o volume de dados empíricos acumulados. Tal progresso seria medido pela capacidade de áreas científicas específicas em apreender o real teoricamente. Nesse contexto, os entes que fazem parte desse jogo entre teoria e realidade são os modelos científicos.

Os modelos científicos são elementos intermediários entre as duas instâncias limítrofes do fazer científico: conceitos e medidas; teorias e dados empíricos. Para a epistemóloga Nancy Cartwright (1983), modelos são tão importantes que, em várias situações, rejeitamos teorias sem rejeitar os modelos porque eles são mais robustos que as teorias.

Bruno Latour (LATOURE; WOOLGAR, 1997) observando “in loco” o trabalho de pesquisadores, as interações sociais, as disputas, os métodos, a instrumentação, o estilo de escrita dos artigos, os interesses envolvidos no laboratório, afirma que fatos científicos não têm a ver com a natureza concebida como uma realidade externa independente, fatos científicos não são descobertos, são construídos.

Santarosa, Parisoto e Moreira (2017), em texto que narra vivências em um consolidado Laboratório de Supercondutividade, em uma universidade pública brasileira, entrevistaram o pesquisador-chefe do laboratório. Uma das perguntas foi: *Do seu ponto de vista, como se constrói a ciência?* A resposta do pesquisador foi: *A gente aplica o único método que sabemos, que é a tentativa e erro. Fazer a experiência, verificar, buscar entender tentando e errando, às vezes a gente acerta.* Obviamente esta resposta não representa uma trivialização da metodologia de pesquisa, mas corrobora, em situação real de laboratório, que o “método científico”, como receita, não existe.

Buscamos aqui revisitar distintas ideias sobre o “método científico”, respeitando certa cronologia, mas cientes de que há muitas omissões. Desejamos, contudo, lembrar que esta revisão é seletiva e esquemática. Seletiva, possivelmente por limitação de nosso conhecimento, esquemática por limitação de espaço. Mesmo assim, entendemos que é uma maneira de olhar para a longa “*história das teorias do método científico*” e perceber que existe uma interdependência entre a História da Física e a Filosofia da Ciência, como bem adverte Laudan (2000). As teorias metodológicas não raramente exerceram influência em certos desenvolvimentos na ciência. Seria difícil conceber uma apresentação adequada da mecânica celeste de Newton, das teorias elétricas de Ampère, do behaviorismo de Skinner, do sistema matemático para classificar e explicar as propriedades de partículas subnucleares de Murray Gell-Mann, que deixasse de apresentar suas ideias metafísicas e suas metodologias.

Não podemos perder de vista que também é um dos objetivos deste texto oferecer elementos para a construção de visões menos ingênuas sobre o que comumente se conhece por “método científico” e, finalmente, indicar que a noção de “método científico” tem evoluído acompanhando a própria ciência, de maneira que não é possível conceber a ciência desvinculada de suas metodologias, sejam elas quais forem.

3. "MÉTODO CIENTÍFICO" REINTERPRETADO: PROCEDIMENTOS CIENTÍFICOS CONTINGENTES

O exame das ideias e das visões epistemológicas apresentadas até aqui oferece um panorama da longa e complexa história das "teorias do método científico", mas não nos permite afirmar que tenha existido, exista ou venha a existir um "método científico" único, imutável e universal para se fazer ciência. É possível sintetizar os vários esquemas metodológicos propostos ao longo da história em quatro categorias: *método indutivo-dedutivo* (começa com observação, salta para generalizações que permitem fazer predições – é basicamente o esquema *empirista-indutivista* e positivista); *método 'a priori'-dedutivo* (é a captura mental de princípios gerais, que permitem deduzir instâncias particulares – esquema defendido por Descartes, Kant e outros); *método hipotético-dedutivo* (começa com problemas e com a construção de hipóteses que antecedem as observações; hipóteses são, então, colocadas à prova – é o esquema proposto por Popper e vários outros filósofos contemporâneos); *não há nenhum método* (postura defendida por Feyerabend e outros). Nesse cenário e frente à diversidade de argumentos metafísicos, lógicos, metodológicos que marcam a história do método científico e da persistência de alguns princípios, reiteramos que não é adequado passar aos estudantes a noção de que existe "um método científico" único, universal e a-histórico, seja através de aulas, dos livros didáticos ou outros materiais instrucionais, quer de forma explícita ou implícita.

Alinhamo-nos a Pérez Tamayo (2003, p. 236) que defende que ainda que em outros tempos fosse possível falar em "método científico", devido ao grande desenvolvimento da ciência física em comparação com outras ciências naturais, atualmente o campo global da ciência é tão complexo e heterogêneo, que já não é mais possível argumentar em defesa de um método que seja comum a todas as ciências. Já não se pode afirmar que todos os fenômenos naturais sejam redutíveis a expressões matemáticas, ou que todos os objetos e fatos da realidade sejam analisáveis experimentalmente, ou que todas as hipóteses válidas ou aceitas possam ser confrontadas diretamente com a realidade. Temos hoje inúmeros processos (estatísticos, de modelagem computacional, de matemática avançada e seu papel construtivo), de pluralidade de causas e emergência de propriedades não antecipáveis, especialmente as favorecidas pela sofisticada instrumentação.

Contudo, não se pode negar que técnicas e procedimentos estruturados marcam o fazer científico (em seu papel de construir explicações, modelos, teorias e experimentos). É nesse sentido que possivelmente precisemos reinterpretar o conceito de "método científico", não para bani-lo, mas para agregar a essa noção novas formas de experimentação¹², novas técnicas, novos padrões, novos procedimentos.

Chalmers (2006), como já mencionado, defende uma posição intermediária entre o método científico e o relativismo acético e coloca a questão da seguinte forma: a finalidade da ciência física é estabelecer leis e teorias gerais aplicáveis ao mundo; para isso, há que se estabelecer tais leis e teorias confrontando-as com o mundo da forma mais exigente possível, dadas as práticas e técnicas

¹² Lenoir (2003) atribui grande importância à instrumentação na moderna ciência e defende que coerência lógica, construção de conceitos novos e sua reunião em teorias podem emergir de interações entre diferentes tendências de experimentação na rede de empreendimentos investigativos (uma investigação tem certas metas investigativas, não uma). A influência mútua desses diferentes empreendimentos é facilitada pelo fato de que experimentos tomam tempo, permitindo que o investigador explore o problema que está sendo investigado sob vários ângulos. Portanto, experimentos podem servir, e frequentemente servem, a vários propósitos de forma simultânea dentro da rede de investigações em curso (p. 44).

existentes. Assim, procedimentos e normas podem ser avaliados do ponto de vista da sua utilidade para oferecer um contínuo melhoramento tanto das leis e teorias quanto das próprias práticas observacionais. Possivelmente, diante da diversidade de práticas, possa-se falar em “procedimentos científicos contingentes”, locais, específicos de cada área da ciência. A ciência é multifacetada, pluralista em seus métodos e já não faz sentido falar no “método científico” universal.

Para ilustrar algumas dessas distintas metodologias científicas, abordamos aqui dois exemplos: 1) na física da supercondutividade hoje os cientistas testam novos materiais, novas ligas cuja estrutura cristalina é complexa, submetem-nos a testes experimentais sob diferentes campos magnéticos, temperatura e pressão, por exemplo, com o objetivo de elevar a temperatura crítica (T_c), isto é, aumentar a temperatura em que ocorre a transição para o estado supercondutor. Após inúmeros testes controlados em laboratório, os físicos têm o desafio de compreender as propriedades das amostras e construir uma teoria, geralmente no âmbito da Mecânica Quântica, para explicá-las. 2) na Cosmologia, de outro lado, complexos modelos cosmológicos são executados em potentes computadores que simulam o nosso universo; o que os cientistas fazem depois é buscar evidências, geralmente indiretas – analisando o espectro da luz emitida por diferentes objetos celestes e levando em conta efeitos relativísticos e quânticos –, de que o modelo se ajusta à realidade. Dessa forma a teoria cosmológica hoje mais aceita pela comunidade científica, a teoria *do Big Bang*, pôde ser obtida. Geólogos, arqueólogos e biólogos seguem caminhos que envolvem a análise da estrutura e constituição das camadas de solos e de gelo das calotas polares, para reconstruir a história geológica e da vida em nosso planeta. Essas são metodologias que partem de perspectivas distintas, mas que são igualmente legítimas para se construir conhecimento científico. Daí a noção de pluralidade metodológica como uma marca da nossa ciência.

No ensino de ciências os aspectos relacionados às metodologias científicas merecem cuidados. Petrucci & Dibar Ure et al. (2001) mostraram que visões inadequadas da natureza da ciência de estudantes de Biologia/ciências, não raro, são atribuídas às posturas epistemológicas inadequadas dos professores de ciências. Essa situação parece persistir. Em 2015, em um questionário sobre aspectos de Filosofia da Ciência por nós aplicado a 36 professores já atuantes no Ensino Básico, que, à época, eram alunos de um curso de Especialização em Ensino de Física, em formato EAD em uma IES pública federal brasileira, produziu respostas que indicaram que quase metade (47%) dos professores acreditavam na existência de um “método científico universal” em campos da ciência como a Física, a Química, a Biologia; um método capaz de provar teorias e levar a ciência a alcançar “*verdades absolutas*”. Como assumimos neste texto, não há um método, mas sim uma pluralidade metodológica, de maneira que se pode dizer que ainda há um grande número de educadores que detém visões epistemológicas e metodológicas da ciência superadas.

Professores com visões equivocadas acabam por passar a seus estudantes visões também distorcidas do trabalho científico e das metodologias adotadas pelos cientistas, quer de forma explícita ou implicitamente. Não há aqui a intenção de responsabilizar os professores, pois eles próprios tiveram, muito possivelmente, uma formação tradicional e insuficiente para transformar suas concepções sobre a noção de “método científico”. Contudo, é preciso mudar essa realidade.

Docktor e Mestre (2014) em uma revisão de literatura abrangente sobre a pesquisa na área de ensino de Física produzida das últimas décadas identificaram seis diferentes aspectos que influenciam na aprendizagem da Física. Um deles diz respeito à existência de atitudes, crenças e expectativas dos estudantes sobre a aprendizagem de Física que podem influenciar na sua performance; uma crença

comum dos estudantes é de que a Física é composta de várias partes ou informações não relacionadas; a saída que eles encontram é memorizar fórmulas sem conectá-las a um entendimento mais amplo de conceitos e princípios. Caberia, então, um questionamento: se a Física é percebida como composta de partes não conectadas, qual o sentido de passar aos estudantes a noção da existência de um método científico único?

Uma das conclusões da revisão é que dentre as tentativas feitas na pesquisa em ensino de Física a partir da década de 2000 a 2010 destacam-se trabalhos interdisciplinares, como aplicações da psicologia cognitiva à aprendizagem e o uso da argumentação na Física. Queremos crer que a leitura e discussão de textos sobre a natureza da ciência e sobre a questão das metodologias científicas e o rechaço da noção de "método científico universal" pode contribuir na melhoria da habilidade de argumentação e, conseqüentemente, no melhor desempenho dos estudantes na aprendizagem da Física.

Enfrentar esse desafio não é algo trivial. A mídia e a propaganda utilizam, com frequência, expressões e terminologias como, por exemplo, "comprovado cientificamente" para publicizar determinados produtos mercadológicos; este tipo de afirmação carrega uma ideia de existência de um "método científico infalível" que assegura validade e garantia científica ao produto, de maneira que a publicidade midiática contribui para reforçar e/ou construir representações sociais sobre ciência e sobre o "método científico" que são compartilhadas socialmente, independentemente das aulas de ciências. Assim, muitos jovens já chegam às aulas com representações equivocadas de ciência e do "método científico".

Por isso, uma vez mais, consideramos importante revisitar e rediscutir a noção de "método científico" como sendo um dos aspectos epistemológicos, dentre outros, associado ao ensino que merece atenção. Já que a mudança conceitual-epistemológica mostra-se lenta e complexa, esforços precisam ser no sentido de gerar reflexões para que os professores e estudantes não reforcem visões inadequadas.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Do que aqui foi apresentado, consideramos que há implicações claras para o ensino de Física/ciências uma vez que, de um lado a noção usual de "método científico", como vimos, é inadequada às visões epistemológicas contemporâneas, de outro, concepções equivocadas de estudantes e professores persistem de forma bastante enraizada.

Esperamos que este texto que aborda a história do método científico, apresentando diferentes noções de método, em diferentes épocas, possa auxiliar professores e estudantes debaterem, revisitarem e refletirem suas próprias concepções sobre o tema. A noção de método científico é importante à ciência até mesmo por sua necessidade de legitimação ao público em geral, como também ao público específico (acadêmico e escolar). Modelos, experimentos, testes lógicos, matemáticos, computacionais e empíricos precisam ser reproduzíveis e é nisto que reside a importância da estruturação que as metodologias científicas emprestam à ciência.

Não há "um método", como dito. Pode haver inúmeras metodologias científicas em constante transformação, acompanhando o avanço da ciência e das técnicas práticas (LENOIR, 2003). Ciência é, ela própria, uma construção dinâmica, viva. No dizer de Feynman, a vida e a ciência são regidas

por intuição, inspiração, imaginação; o cientista criativo ignora a todo momento os métodos convencionais e inventa seus próprios métodos:

Para entender realmente o modo como as coisas funcionam em pequena e em grande escala, o que se descobre destoa tanto do que esperávamos que é necessário ter uma imaginação dos diabos para ver isso! Precisamos de muita imaginação para visualizar o átomo, para imaginarmos que existem átomos e como eles devem se comportar (...). Mas ao contrário do que acontece com um escritor, o cientista tem sempre sua imaginação posta à prova e verificada (FEYNMAN *apud* MLODINOW, 2005, p. 132).

Defendemos que disciplina(s) que discuta(m) a natureza da ciência e a metodologia científica deveria(m) compor a formação inicial de futuros professores de ciências e também de futuros cientistas. Isso evitaria que esses futuros professores sejam levados a lançar mão de seus próprios recursos recolhendo, ao acaso, fragmentos desorganizados ou seguir caminhos difíceis para construir visões de ciência e de “método científico”.

Contudo, ensinar ciências com a preocupação de desmistificar crenças sobre a “verdade” científica e sobre a existência de um “método científico” algorítmico não implica, necessariamente, rechaçar quaisquer normas ou métodos. Ao contrário, problematizar junto aos estudantes os procedimentos científicos, estruturados e rigorosos, que marcam o trabalho científico pode ser benéfico para a própria ciência.

Possivelmente uma sugestão útil ao ensino possa ser a de analisar, em sala de aula, textos (como o de Mlodinow) que narram casos notáveis de construção do conhecimento científico, detalhando formas de pensamento científico e estratégias de trabalho de cientistas reconhecidos por sua contribuição ao avanço da ciência. Isto poderia incitar reflexões sobre o tema visando alcançar uma Educação Científica mais reflexiva.

A modo de conclusão, apresentamos na Figura 1, um diagrama que tenta mapear conceitualmente o conteúdo deste texto. Mapas conceituais (ou diagramas conceituais) são instrumentos heurísticos úteis, pois podem ser utilizados em sala de aula a fim de que os estudantes, identificando os conceitos mais abrangentes e relacionando-os a conceitos secundários, possam compreender um texto científico ou epistemológico, ambos importantes na formação científica.

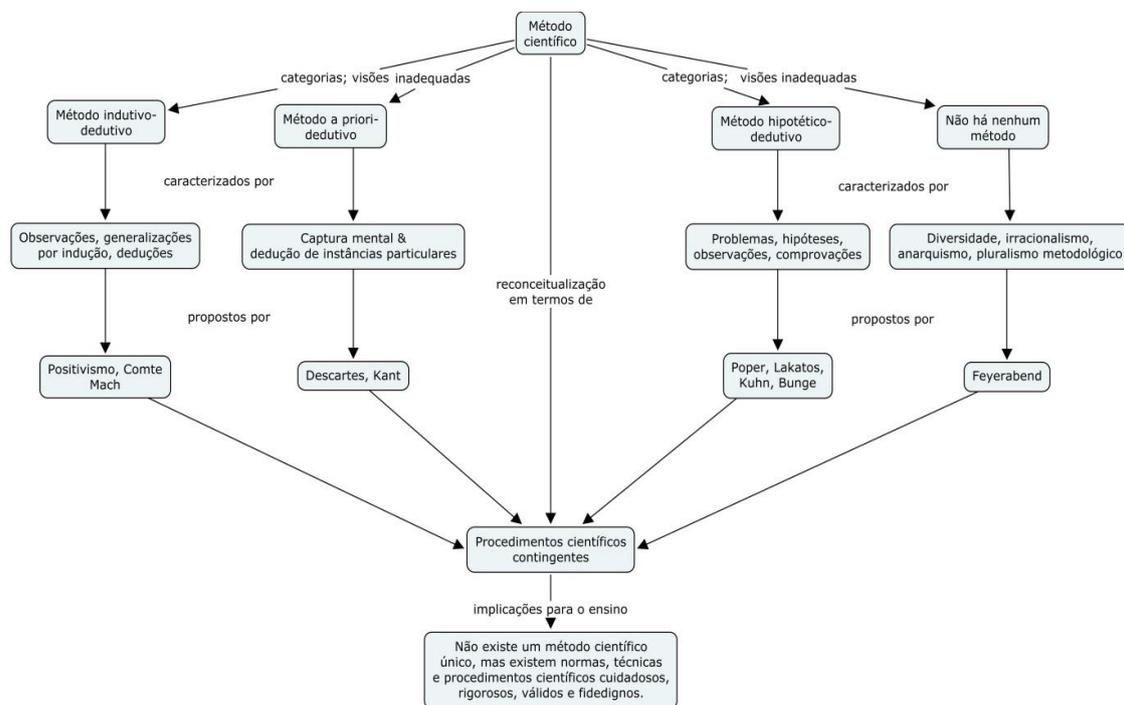


Figura 1: Um mapa conceitual para "método científico", destacando categorias, visões inadequadas, e suas características; alguns nomes de filósofos da ciência associados a essas categorias; a necessidade de reconceitualizar a metodologia científica descartando a unicidade e defendendo o pluralismo de procedimentos científicos; chamando atenção a implicações para o ensino de ciências.

5. REFERÊNCIAS

- ABRAHAM, P. **Sutil é o senhor...: a ciência e a vida de Albert Einstein**. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1995.
- AL-AHMADI, F. M. A.; REID, N. Scientific thinking. What is it and can it be measured? **Revista de Educación em Ciências**, 12(5), p. 53-59, 2011.
- CARTWRIGHT, N. **How the Laws of Physics Lie**. N. Y.: Oxford University, 1983.
- CHALMERS, A. F. **O que é ciência afinal?** São Paulo: Editora Brasiliense, 1999.
- CHALMERS, A. F. **La ciencia y cómo se elabora**. México: Siglo Veintiuno Editores, 5ª ed., 2006.
- DOCKTOR, J. L.; MESTRE, J. P. Synthesis of discipline-based education research in Physics. **Physical Review Special Topics – Physics Education Research**, 10 (2), 020119, 2014.
- EFLIN, J.; GLENNAM, S.; REISH, G. The nature of Science: a perspective from the philosophy of Science. **Journal of Research in Science Teaching**, vol. 36, n. 1, 1999, p. 107-116.
- KUHN, T. S. **A Estrutura das Revoluções Científicas**. São Paulo: Editora Perspectiva, 2003.
- FORATO, T. C. M.; PIETROCOLA, M.; MARTINS, R. A. Historiografia e natureza da ciência na sala de aula. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, vol. 28, n. 1, p. 27-59, 2011.
- KUHN, T. S. **A Estrutura das Revoluções Científicas**. São Paulo: Editora Perspectiva, 2003.
- LATOUR, B.; WOOLGAR, S. **A Vida de Laboratório: a produção dos fatos científicos**. Rio de Janeiro: Relume Dumara, 1997.
- LAUDAN, L, Teorias do método científico de Platão a Mach (Resenha Bibliográfica), **Caderno de História, Filosofia e Ciência**, série 3, v. 10, n. 2, p. 9-140, 2000.

- LEDERMAN, N. Student's and teacher's conceptions of the nature of science: A review of the research. **Journal of Research in Science Teaching**, vol. 29, p. 331-359, 1992.
- LEDERMAN, N. G.; ABD-EL-KHALICK, F.; BELL, R. L.; SCHWARTZ, R.S. Views of nature of science questionnaire: toward valid and meaningful assessment of learner's conceptions of nature of science. **Journal of Research in Science Teaching**, vol. 39, nº 6, p-497-521, 2002.
- LENOIR, T. **Instituindo a Ciência: a produção cultural das disciplinas científicas**. São Leopoldo: Editora UNISINOS, 2003.
- MATTHEWS, M. R. História, filosofia e ensino de ciências: a tendência atual de reaproximação, **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, vol. 12, n. 3, p. 164-214, 1995.
- MLODINOW, L. **O arco-íris de Feynman: o encontro de um jovem cientista com um dos maiores gênios de nosso tempo**. Rio de Janeiro: Editora Sextante, 2005.
- MOREIRA, M. A.; OSTERMANN, F. Sobre o Ensino do Método Científico. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 10, n. 2, p. 108-117, 1993.
- MOSER, P. K.; MULDER, D. H.; TROUT, J. D. **A teoria do conhecimento: uma introdução temática**. São Paulo: Martins Fontes, 2011.
- PETRUCCI, D.; DIBAR URE, M. C. Imagen de la ciencia en alumnos universitarios: una revisión y resultados, **Enseñanza de las Ciencias**, 19 (2), p. 217-229, 2001.
- PLEITEZ, V. O acaso, o preconceito e o Método Científico em Física. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 18, n. 4, p-355-361, 1996.
- PÉREZ TAMAYO, R. **? Existe el método científico?** México, Colección La Ciencia para Todos, 161, Fondo de Cultura Económica (FCE), Secretaría de Educación Pública-SEP, 2003.
- PIETROCOLA, M. Construção e realidade: o realismo científico de Mário Bunge e o ensino de ciências através de modelos, **Investigações em Ensino de Ciências**, vol. 4, n. 3, 1999.
- POPPER, K. **A Lógica da Pesquisa Científica**. São Paulo: Editora Cultrix, 6ª ed., 2000.
- POPPER, K. **Conjecturas e Refutações**. Brasília: Editora da UnB, 2008.
- SANTAROSA, M. C.; PARISOTO, M. F. e MOREIRA, M. A. Observações em um laboratório de supercondutividade e magnetismo: aspectos metodológicos e epistemológicos. **Revista do Professor de Física**, vol. 1, n.1, pp. 1-20, 2017.
- TEIXEIRA, E. S.; EL-HANI, C. N.; FREIRE, O. Jr. Concepções de Estudantes de Física sobre a natureza da ciência e sua transformação por uma abordagem contextual de ensino de Ciências, **Revista da ABRAPEC**, Vol.1, nº 3, p. 111, 2001.