

INTERFACES ENTRE VISÕES EPISTEMOLÓGICAS E ENSINO DE CIÊNCIAS

INTERFACES BETWEEN EPISTEMOLOGICAL VIEWS AND SCIENCE TEACHING

MOREIRA, Marco Antonio e MASSONI, Neusa Teresinha

¹Instituto de Física – UFRGS Caixa Postal 15051 – Campus 91501-970 Porto Alegre, RS
moreira@if.ufrgs.br

¹Instituto de Física – UFRGS Caixa Postal 15051 – Campus 91501-970 Porto Alegre, RS
neusa.massoni@if.ufrgs.br

RESUMO

Inicialmente, são feitas breves apresentações das epistemologias, ou filosofias da ciência, de Karl Popper, Thomas Kuhn, Imre Lakatos, Larry Laudan, Gaston Bachelard, Stephen Toulmin, Mario Bunge e Nancy Cartwright, finalizando cada uma delas com alusões a implicações para o ensino de ciências. Após, é construído um quadro comparativo, destacando conceitos básicos, ideias centrais e implicações dessas epistemologias para o ensino. Ao final, retomam-se as interfaces entre epistemologias e ensino de ciências, muitas das quais, na prática, são ignoradas, ainda hoje, após décadas de discussões na literatura sobre ensino de ciências.

Palavras-chave: epistemologias; filosofias da ciência; ensino de ciências.

ABSTRACT

Initially, brief presentations are made regarding the epistemologies, or philosophies of science, of Karl Popper, Thomas Kuhn, Imre Lakatos, Larry Laudan, Gaston Bachelard, Stephen Toulmin, Mario Bunge, and Nancy Cartwright, ending each one with allusions to implications for science teaching. Then, a comparative chart is organized emphasizing key concepts, central ideas and implications of these epistemologies for science teaching. At the end, a discussion is made about the interfaces between epistemologies and science teaching, most of them still ignored in classroom, even after decades of discussions in the science teaching literature.

Keywords: epistemologies; philosophies of science; science teaching.

Introdução

A epistemologia, enquanto um ramo, ou subdisciplina, da Filosofia é o estudo do conhecimento. Então, a epistemologia da ciência seria o estudo do conhecimento científico, ou seja, o estudo da natureza, abrangência e justificação da ciência. Contudo, no estudo do conhecimento científico é comum falar-se em filosofia da ciência. Em razão disso, neste texto as terminologias filosofia da ciência e epistemologia da ciência serão usadas, alternativamente, como se fossem sinônimos. Além disso, às vezes será

usado o termo epistemologias referindo-se a visões epistemológicas de determinados filósofos da ciência (Moreira e Massoni, 2011).

Outro esclarecimento inicial que se faz necessário é o que significa o termo ciência quando usado sem nenhum qualificativo. Normalmente, aceita-se que se está falando de Física, Química, Biologia e campos afins. Aceita-se também que esse termo não está se referindo, por exemplo, a temas econômicos, políticos, sociais. Para isso, usam-se qualificativos como Ciências Econômicas, Ciências Políticas, Ciências Sociais.

O assunto é polêmico e polissêmico, assim como o da filosofia e epistemologia da ciência. No entanto, como o objetivo deste estudo não é o de entrar nessa polêmica e polissemia, ao longo dele serão usados os significados apresentados acima.

O objetivo desse texto é basicamente apontar implicações de visões epistemológicas bastante reconhecidas no meio científico, ainda que com discordâncias e rupturas, para o ensino da ciência.

Como será destacado, a ciência é viva e em processo permanente de modificações e crescimento. Paradoxalmente, é ensinada como acabada, definitiva, com ênfase em definições, fórmulas, equações, reações, taxonomias, respostas corretas, sem nenhum questionamento. Isso não é ciência, mas o ensino de ciências é assim. Espera-se que este texto leve professores, produtores de materiais didáticos e gestores a refletir sobre o assunto e mudar suas práticas.

Antes de Popper e Kuhn

Karl Popper (1902-1994), austríaco, foi professor de Física e Matemática no ensino médio durante vários anos. Mais tarde, foi professor de Lógica e Metodologia Científica na Escola de Economia de Londres.

Thomas Kuhn (1922-1996), norte-americano, fez graduação e doutorado em Física em Harvard, onde depois foi professor de Física, mas logo passou para a Filosofia da Ciência. Lecionou também em Berkeley, em Princeton e no M.I.T.

As posições epistemológicas de Popper e Kuhn foram tão marcantes na Filosofia da Ciência que não é exagero falar-se em antes e depois de Popper e Kuhn.

De um modo geral, pode-se dizer que antes de Popper e Kuhn predominava na Filosofia, ou Epistemologia, da Ciência o positivismo lógico, segundo o qual a ciência era uma atividade caracterizada pela objetividade, pela racionalidade, cujo caminho para a verdade era o empirismo-indutivista. Haveria ordem e regularidade nos

acontecimentos físicos naturais, as quais podiam ser descobertas através do método científico. A ciência consistiria de generalizações empíricas formuladas em termos observacionais. O contexto da verificação, i.e., onde as teorias são verificadas, estaria regido pelas leis da lógica e da observação fática (Moreira e Massoni, 2011, pp. 10-12).

Popper defendeu o falsacionismo contra o verificacionismo e o método hipotético-dedutivo contra a indução. Sua obra clássica é *Conjeturas e Refutações* (1963, 1982).

Kuhn, em sua obra clássica, *Estrutura das Revoluções Científicas* (1962, 2001), aproximou a Filosofia da Ciência à História da Ciência; essa obra é tida como a de maior impacto na Filosofia da Ciência desde sua publicação.

Passemos agora a abordar sucintamente, em termos de conceitos e ideias centrais, as epistemologias de Popper e Kuhn. Mais adiante serão apresentadas, também brevemente, outras epistemologias que diferem ou discordam das de Popper e Kuhn, mas sem ignorá-las, o que seria um grande erro.

As conjeturas, as refutações e o falsacionismo de Popper

Para Popper, o que distingue ciência de não-ciência, ou seja, o critério de demarcação é a testabilidade ou refutabilidade das teorias científicas. As teorias científicas podem ser testadas e refutadas, i.e., pode-se mostrar que são falsas.

Ligados a essa lógica falsacionista estão os conceitos de conjeturas e refutações. Conjeturas são suposições, antecipações, tentativas de solução, especulações provisórias criadas livremente pelo intelecto humano, inclusive independente de dados observacionais empíricos, como tentativa de resolver problemas enfrentados por teorias anteriores e de explicar adequadamente eventos, comportamentos do mundo físico, do universo (Moreira e Massoni, p. 19). Nessa óptica, as teorias científicas são conjeturais. Mas devem ser testáveis, o que significa que devem fazer afirmações que possam ser testadas rigorosamente pela observação e pela experimentação. As teorias (conjeturas) que não superam os testes observacionais experimentais aos quais são submetidas, ou seja, que são falseadas, devem ser refutadas e substituídas por outras conjeturas. A ciência progride graças a essa sucessão de conjeturas e refutações (ibid.).

Isso leva à questão da indução. Na lógica indutivista, se em uma grande quantidade de observações, em uma ampla variedade de situações, sempre se observar uma determinada propriedade para um certo objeto ou fenômeno, pode-se generalizar,

enunciando uma lei ou teoria universal, segundo a qual todos objetos ou fenômenos dessa natureza têm essa propriedade.

Por exemplo, a interação dos neutrinos com a matéria é praticamente nula. Então, mesmo que fossem detectados não apresentariam sinais de massa. A conclusão seria a de que neutrinos são partículas sem massa. De fato, assim se pensou, por indução, durante muito tempo, mas experimentos recentes apresentaram evidências de que os neutrinos têm massa, embora não tenha sido possível ainda estabelecer com precisão o valor de sua massa. Mas se assim é, o enunciado, induzido, de que “neutrinos não têm massa” deve ser rejeitado.

Então, segundo a lógica indutivista, é possível gerar enunciados universais a partir de enunciados singulares. Mas Popper se opõe a essa lógica defendendo uma lógica falsacionista segundo a qual a falsidade de enunciados universais pode ser deduzida de enunciados singulares.

No entanto, é um erro pensar que, na ciência, a indução não leva a teorias, ou enunciados mais gerais. O que não se pode é acreditar, ingenuamente, que pela indução se pode chegar, algoritmicamente, de enunciados observacionais singulares a enunciados universais. Não é difícil mostrar que sempre existem enunciados alternativos compatíveis com os enunciados observacionais. Mas isso não significa que os cientistas não usem a indução, nem que todos enunciados alternativos sejam igualmente bons (op. cit., p. 21).

Na perspectiva popperiana o progresso do conhecimento científico dá-se por meio da racionalidade refletida no exame crítico das conjeturas – que são construções humanas – controladas por refutações. As teorias para serem científicas devem ser falseáveis, mas seria ingênuo pensar que para o progresso científico o importante é falsear teorias bem estabelecidas e tomar como verdade enunciados observacionais que as falseam. São igualmente importantes as confirmações das teorias, inclusive algumas bastante especulativas. Quer dizer, confirmações de previsões resultantes de conjeturas audazes são muito importantes para o progresso da ciência. Pouco se aprende da confirmação de uma conjetura muito prudente ou da refutação de uma conjetura muito audaz (op. cit., p. 19).

Uma boa teoria científica é aquela que faz afirmações bem definidas, e de amplo alcance, sobre o mundo, sendo, então, sumamente falseável (não falsa!) e resiste firmemente quando submetida a provas experimentais e observacionais. Nesse sentido, quanto mais falseável é uma teoria, melhor ela é (ibid.). Mas uma teoria nunca é

irrefutavelmente comprovada; é, no máximo, corroborada. Assim, a natureza da ciência é sempre provisória.

A existência de uma partícula que explicasse porque outras partículas teriam massa, proposta pelo físico britânico Peter Higgs, em 1964, talvez seja um bom exemplo de conjectura audaz. Essa partícula acabou ficando com o nome do autor da conjectura e foi detectada em 2012, quase cinquenta anos depois, após uma série complexa de experimentos no CERN envolvendo muitos cientistas de vários países, e pode vir a explicar a massa de todas as partículas, ou seja, a massa em si mesma. A detecção da partícula de Higgs, em um grande colisor de partículas, foi muito importante para consolidar o Modelo Padrão, como é conhecida a teoria das partículas elementares. Na mídia ficou conhecida como a “Partícula de Deus”, embora a conjectura de Higgs não tivesse nenhuma conotação religiosa ou mística. Era uma conjectura audaz bem científica, bem popperiana.

É claro que o falsacionismo tem limitações. Uma delas tem a ver com o fato de que as observações são sempre falíveis, ou seja, os enunciados observacionais que supostamente falseiam uma teoria podem estar errados. Portanto, se as observações são falíveis não há razão para que sejam sempre as teorias que devem ser refutadas. Por isso, os cientistas não abandonam, de imediato, suas teorias quando entram em conflito com dados observacionais, experimentais. Ao contrário, muitas vezes buscam “salvar”, melhorar, resolver o conflito com novas conjecturas. Para Popper, isso é uma atividade científica desde que as novas conjecturas também sejam refutáveis. Hipóteses ad hoc não são aceitas na lógica falsacionista.

Como foi dito antes, o falsacionismo de Popper foi um marco no desenvolvimento da Filosofia da Ciência embora epistemólogos posteriores venham a discordar de sua lógica falsacionista.

Do ponto de vista do ensino de Física, ou de ciências de um modo geral, a lógica falsacionista de Popper, das conjecturas e refutações, é importante para não transmitir aos alunos a ideia de teorias definitivas, acabadas, às quais se chega através de uma receita infalível chamada “método científico”.

Teorias definitivas não existem e o método científico como receita para fazer ciência também não. Cientistas estão sempre buscando novas teorias e metodologia científica não é o mesmo que método científico. Os alunos devem ser ensinados a pensar, a questionar, a argumentar cientificamente ao invés de ficar decorando fórmulas e definições.

Mas isso é difícil porque os alunos estão acostumados a decorar respostas corretas sem entendê-las, sem compreensão. E se são ensinados que as teorias físicas não são definitivas ficam perguntando por que aprendê-las (decorá-las para as provas). O professor tem que enfrentar essas dificuldades. Ensinar Física, ou ciências, desde uma perspectiva científica não é fácil. Ao contrário, é um grande desafio. Mas que vale a pena enfrentar se, de fato, queremos formar cidadãos mais críticos.

Os paradigmas da ciência normal e as revoluções de Kuhn

Como já foi dito, assim como a de Popper, a epistemologia de Kuhn é também um marco na filosofia da ciência. Mesmo que tenha sido questionada por outros epistemólogos nunca é ignorada. No ensino de ciências, como será levantado mais adiante, também é um referencial marcante.

Começemos com os paradigmas. O que são paradigmas no sentido kuhniano? São realizações científicas universalmente reconhecidas que, durante algum tempo, fornecem problemas e soluções exemplares para uma comunidade de praticantes de uma ciência (Kuhn, 2001, p. 13).

Na Física, por exemplo, a Mecânica Clássica newtoniana é um paradigma, a Relatividade Restrita de Einstein é um outro exemplo de paradigma, assim como a Relatividade Geral e a Mecânica Quântica.

Paradigmas servem, por algum tempo, para definir, implicitamente, os problemas e metodologias legítimos de um campo de pesquisa para gerações futuras (ibid.). De início, o sucesso de um novo paradigma é, em grande parte, uma promessa (p. 44), mas vai ganhando aceitação, adesão, reconhecimento na medida em que é mais bem sucedido que seu predecessor na solução de problemas, tanto anteriores não resolvidos como novos, contribuindo para o progresso da ciência.

A adesão a um paradigma implica assumir compromissos paradigmáticos teóricos, metodológicos, filosóficos (crenças profundas, visões de mundo), assim como instrumentais (tipos de instrumentos e maneiras adequadas de utilizá-los). Tais compromissos deixam claro que paradigma é muito mais do que um conjunto de regras para fazer ciência, muito mais do que um “método científico”. Kuhn usou também o termo matriz disciplinar para esclarecer melhor o que entendia por paradigma porque este se refere a uma posse comum aos praticantes de uma dada disciplina.

Isso leva ao conceito de ciência normal: é aquela em que a pesquisa está orientada pelo paradigma e busca articular fenômenos e teorias já fornecidos pelo paradigma, não para trazer à tona novos tipos de fenômenos nem para criar novas teorias. A ciência normal é amplamente não crítica porque seu sucesso consiste em consolidar o paradigma, em resolver problemas definidos pelo paradigma juntamente com instrumentos e métodos também por ele definidos como adequados para sua solução.

Fazer ciência normal é ter um paradigma e trabalhar dentro dele. Para Kuhn, o que caracteriza uma ciência madura é a adesão a um único paradigma (obviamente, não para sempre). A ausência de paradigma é característica de uma pré-ciência.

Na ciência normal são geradas soluções concretas, soluções padrão, para determinados problemas que passam a ser chamados de exemplares. A formação inicial de um cientista é, em grande parte, a apropriação desses exemplares, é aprender como se resolve certos problemas paradigmáticos. A formação de um futuro cientista é um processo de enculturação dentro da ciência normal. Nos cursos de graduação e pós-graduação em ciências os estudantes devem aderir ao paradigma e às soluções exemplares. Essa é a razão de ser das aulas, dos livros de texto, dos manuais, da leitura de artigos clássicos, da resolução de problemas clássicos, da realização de experimentos clássicos. É aprender o ofício, é adquirir a linguagem, os jargões da área.

Mas isso não é permanente. A ciência normal, paradigmática, pode parar de gerar resultados, de resolver problemas, as metodologias começam a ficar improdutivas e, pior ainda, começam a aparecer anomalias, i.e., problemas, enigmas, não resolvidos dentro do paradigma.

A existência de anomalias sérias e persistentes pode significar uma crise para o paradigma e, inclusive, levar a sua rejeição e substituição (Chalmers, 1993, p. 129). Mas a simples existência de problemas não resolvidos dentro de um paradigma não constitui uma crise.

Por exemplo, se considerarmos o Modelo Padrão da Física de Partículas como um paradigma (o que faz sentido, pois esse “Modelo” é muito mais do que um modelo), a não incorporação da força gravitacional, a não detecção do gráviton, que seria a partícula mediadora dessa força, seriam anomalias desse paradigma, mas não uma crise. Ao contrário, apesar dessas dificuldades o Modelo Padrão continua “bombando”. Ainda mais com a recente detecção do bóson de Higgs, a “Partícula de Deus”, como aparece na mídia.

Mas se houver mesmo uma crise, ela pode terminar com a emergência de um novo paradigma e uma subsequente batalha por sua aceitação. A mudança descontínua de um paradigma para outro é o que Kuhn chama de revolução científica.

Apesar de que a adesão ao novo paradigma depende de vários fatores – inclusive políticos, econômicos e de comodidade – Kuhn aponta pelo menos quatro condições necessárias (mas não suficientes) para uma revolução científica (Moreira e Massoni, 2011, p. 34):

1. insatisfação com o paradigma existente (anomalias persistentes, crise);
2. inteligibilidade de um novo paradigma (não haverá mudança se a comunidade científica não entender o novo paradigma);
3. plausibilidade do novo paradigma (parece ter a capacidade de resolver anomalias não resolvidas pelo paradigma vigente);
4. potencialidade no que se refere a um novo período de ciência normal frutífero (com muitos resultados e publicações).

Assim sendo, o progresso da ciência, na perspectiva kuhniana, pode ser esquematizado da seguinte maneira: pré-ciência → ciência normal (dentro de um paradigma) → crise → revolução científica (mudança descontínua de paradigma) → nova ciência normal (dentro do novo paradigma) → nova crise → nova revolução científica →... (ibid.).

A pré-ciência é a atividade desorganizada e diversificada que precede a ciência madura (paradigmática). Com isso, pode-se imaginar que o critério de demarcação entre ciência e não-ciência, ou ciência e pseudociência, é a existência de um paradigma capaz de apoiar uma tradição de ciência normal.

O modelo kuhniano – monoparadigmático, descontínuo, revolucionário – do progresso científico foi criticado e modificado por outros epistemólogos, mas, metaforicamente, funcionou como paradigma na filosofia, ou epistemologia, da ciência.

No ensino de ciências a epistemologia de Kuhn teve forte impacto nos estudos sobre a mudança conceitual. A década dos anos setenta do século passado pode ser considerada, na pesquisa em ensino de ciências, como sendo a década das concepções alternativas. Inúmeros artigos foram publicados identificando concepções não-científicas que os estudantes apresentavam sobre fenômenos físicos, químicos ou biológicos. Não tardou muito para que surgisse a pergunta da mudança conceitual, ou

seja, o que fazer para que os alunos mudem suas concepções alternativas para concepções científicas?

Em 1982, Posner et al. publicaram na revista *Science Education* um trabalho de grande impacto na pesquisa em ensino de ciências: *Accommodation of a science conception: toward a theory of conceptual change?*

Nesse trabalho, argumentaram que apesar de existirem várias condições para a mudança conceitual havia quatro que pareciam ser necessárias (op. cit., p. 214):

1. deve existir uma insatisfação com as concepções existentes; é pouco provável que os alunos façam mudanças radicais em seus conceitos a menos que percebam que pequenas mudanças em suas concepções não funcionam.
2. uma nova concepção deve ser inteligível; o estudante deve ser capaz de entender suficientemente bem o novo conceito para perceber sua potencialidade e explorar suas possibilidades;
3. a nova concepção deve parecer inicialmente plausível; qualquer novo conceito a ser aceito deve pelo menos ter a capacidade de resolver problemas que geraram o conflito cognitivo¹ implícito na primeira condição;
4. a nova concepção deve parecer frutífera no sentido de ter o potencial de ser aplicada a muitas situações, inclusive novas situações assim como em outras áreas.

Estas condições são praticamente as mesmas que Kuhn propôs para a mudança de paradigmas. Na pesquisa em ensino de ciências, os anos seguintes ao trabalho de Posner et al. constituíram a década da mudança conceitual (Moreira e Greca, 2003). Inúmeras pesquisas foram realizadas sobre mudança conceitual usando a proposta (kuhniana) de Posner et al. e interpretando-a como uma troca, ou substituição, de significados na estrutura cognitiva. No entanto, de um modo geral, o que essas pesquisas mostraram foi que essa proposta é inadequada. Mudança conceitual no sentido de troca ou substituição de conceitos e significados não existe. A mudança conceitual é progressiva, não substitutiva.

Os programas de pesquisa, as heurísticas e o núcleo firme de Lakatos

¹ Conflito cognitivo está sendo usado aqui no sentido piagetiano, aquele que é condição para acomodação cognitiva.

Imre Lakatos (1922-1974), húngaro, estudou em Budapest, Moscou e Cambridge, onde concluiu seu doutorado em 1958. Assim como Popper, foi professor de Lógica na Escola de Economia de Londres durante vários anos.

Embora reconhecesse a importância das epistemologias de Popper e Kuhn, embora dissesse que aprendeu muito com esses mestres, Lakatos apresentava desacordos com essas epistemologias.

Por exemplo, ele não aceitava, acriticamente, o falsacionismo de Popper como critério de demarcação entre ciência e não-ciência. Para ele, uma teoria é científica se tem uma sólida base empírica, ainda que falível. Os cientistas não abandonam uma teoria simplesmente porque fatos experimentais a contradizem, mas buscam explicar a contradição com hipóteses explicativas e novos, e metodologicamente rigorosos, experimentos. A ciência não progride por ensaio-e-erro de uma série de conjeturas e refutações. A unidade descritiva típica dos grandes logros científicos não é uma conjetura isolada, mas sim um programa de pesquisa (Lakatos, 1982, pp. 12 e 13).

Programa de pesquisa é o conceito-chave da epistemologia de Lakatos, a qual pode ser caracterizada como a da metodologia dos programas de pesquisa (Moreira e Massoni, p. 45) e está relacionada a um falsacionismo sofisticado que substituiu o conceito de teoria como conceito básico da lógica da pesquisa pelo conceito de série de teorias. O que deve ser avaliado como científico ou pseudocientífico é uma sucessão de teorias não uma dada teoria. Porém, os membros de tais séries de teorias normalmente estão relacionados por uma notável continuidade que os agrupa em programas de pesquisa (Lakatos, 1982, p. 65). Então, o que caracteriza um programa de pesquisa não é apenas uma série de teorias, mas também a continuidade entre elas e a existência de regras metodológicas, das quais algumas indicam linhas de pesquisa que devem ser evitadas (heurística negativa) e outras que devem ser seguidas (heurística positiva).

A heurística negativa está relacionada ao conceito de núcleo firme do programa, ou seja, um conjunto básico de conjeturas que deve ser tenazmente protegido contra refutações mediante um cinturão protetor de hipóteses auxiliares em torno desse núcleo. O núcleo firme de um programa de pesquisa é irrefutável por decisão metodológica dos pesquisadores.

A física newtoniana, por exemplo, não é apenas um conjunto de quatro conjeturas (teorias) refutáveis (as três leis da Mecânica e a da Gravitação). Para Lakatos (op. cit., p. 13) essas quatro leis constituem o núcleo firme do programa newtoniano de

pesquisa, o qual tem uma heurística positiva, i.e., um poderoso instrumental que orienta a solução de problemas e que, com a ajuda de técnicas matemáticas sofisticadas, assimila anomalias e, inclusive, pode convertê-las em evidência positiva, como é o caso da previsão de um novo planeta.

A heurística positiva tem a ver com o cinturão protetor que é um conjunto, parcialmente estruturado, de sugestões ou pistas sobre como mudar e desenvolver as “versões refutáveis” do programa de investigação, sobre como modificar e ampliar o cinturão protetor refutável (op. cit., p. 69). Essa heurística indica o que pesquisar dentro do programa, impede que os cientistas se percam em meio às anomalias, indicando como poderão, progressivamente, resolvê-las e, inclusive, transformá-las em corroborações.

Relacionado com as heurísticas está o conceito de poder heurístico do programa que é avaliado em função da quantidade de novos fatos produzidos e de sua capacidade de explicar suas próprias refutações ao longo de seu crescimento (op. cit., p. 71). A partir de seu poder heurístico, os programas de investigação podem ser classificados em progressivos e regressivos. São regressivos quando as teorias e eventuais modificações são propostas somente para acomodar fatos já conhecidos, quando não fazem novas previsões ou, fazendo-as, não são confirmadas. São regressivos também quando os ajustes no cinturão protetor constituem-se em hipóteses ad hoc, ou seja, não refutáveis (as hipóteses auxiliares são refutáveis, as ad hoc não).

Conceitos como heurística negativa e positiva, cinturão protetor e poder heurístico deixam claro que na epistemologia de Lakatos o falsacionismo continua vigente, mas é um falsacionismo sofisticado aplicável a um programa de pesquisa, a uma série de teorias, não a uma teoria ou a uma conjectura no sentido popperiano.

Lakatos também divergia do monismo paradigmático de Thomas Kuhn, segundo o qual ciência madura é aquela que adere a um só paradigma. Ele argumentava que o pluralismo paradigmático é superior ao monismo kuhniano. O usual é a competição de programas de pesquisa (ou paradigmas) que não tem sido nem deve converter-se em uma sucessão de períodos de ciência normal; o quanto antes comece a competição tanto melhor para o progresso científico (op. cit., p. 92).

Para ele, o abandono de um programa pode não ser definitivo, pois o mesmo pode, em princípio, entrar em nova fase progressiva, por exemplo, à medida que evolui a tecnologia de pesquisa de laboratório. Significa também que não se pode eliminar um

programa de investigação em crescimento simplesmente porque, no momento, não consegue superar um poderoso rival (op. cit., p. 94). Em suma, discorda da morte rápida de uma teoria, como defendia Popper.

Do ponto de vista do ensino de ciências, a epistemologia lakatosiana, se tomada como referente, traz várias implicações: a ciência progride através de programas de pesquisa que competem; teorias não são abandonadas simplesmente porque algumas previsões não foram confirmadas ou porque alguns experimentos não deram resultados esperados; programas de pesquisa, ou teorias, têm um núcleo firme, um núcleo duro, constituído de conceitos e proposições centrais; esses programas podem ser deixados de lado durante algum tempo e retomados em função de novos resultados e novas tecnologias; enfim, a ciência é viva, não acabada, não definitiva, como usualmente ensinada nas escolas.

Na perspectiva da aprendizagem em ciências, a epistemologia de Lakatos permite interpretar o fracasso da interpretação da mudança conceitual como uma troca, ou substituição, conceitual. Os alunos não trocam suas concepções alternativas pelas concepções científicas simplesmente porque estas são apresentadas nas aulas como corretas e poderosas e as primeiras como erradas, não científicas. Na estrutura cognitiva do aluno as concepções científicas e as alternativas podem coexistir e competir. As concepções alternativas não são abandonadas somente porque apresentam anomalias apresentadas pelo(a) professor(a). Podem ser abandonadas, ou obliteradas, mas isso pode levar muito tempo. Por outro lado, as concepções científicas “aprendidas para as provas” também podem ser abandonadas quando “termina a matéria” (i.e., a disciplina).

Os problemas empíricos e conceituais de Laudan

Larry Laudan, norte-americano, nascido em 1945, fez o bacharelado em Física, na Universidade do Kansas, e o mestrado e o doutorado em Filosofia, em Princeton. Foi professor de História e Filosofia da Ciência nas Universidades de Londres, Pittsburgh, Virgínia e Havaí, de 1965 a 1997.

Contrariamente a Popper, em particular, e a todos empiristas lógicos em geral, segundo os quais uma teoria que é refutada, ou desconfirmada, por problemas empíricos anômalos, não merece consideração séria, e a Kuhn que propõe que é a acumulação de um grande número de anomalias que, finalmente, leva os cientistas a abandonar o

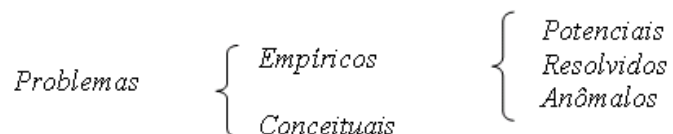
paradigma, Laudan sugere que o mais natural seria falar do grau de ameaça que as anomalias apresentam à teoria (1986, p. 68).

Para Laudan, teorias não são rechaçadas simplesmente porque apresentam anomalias, assim como não são aceitas simplesmente porque são confirmadas empiricamente; a coexistência de teorias rivais é a regra, não a exceção, de modo que sua avaliação é, primordialmente, uma atividade comparativa (op. cit, p. 10).

Desde esta perspectiva, a proposta de Laudan é que o progresso científico está baseado na resolução de problemas, tanto empíricos como conceituais. Nessa visão epistemológica, a ciência progride somente se as novas teorias resolvem mais problemas do que suas predecessoras, de modo que o objetivo da ciência é o de obter teorias com elevada efetividade na resolução de problemas (op. cit., p. 11).

Laudan não concorda com a ideia de que o progresso científico pode ser caracterizado como evolução rumo a uma “verdade aproximada”, a uma maior verossimilidade. Segundo ele, esses conceitos têm muitas dificuldades semânticas e epistêmicas. Por isso, prefere a ideia de progresso científico baseado na resolução de problemas.

Dentro desse enfoque, propõe uma classificação de tipos de problemas (op. cit., p. 12)



Empíricos potenciais constituem o que existe a ser explicado sobre o mundo, mas para o que não existe ainda explicação.

Empíricos resolvidos constituem a classe de afirmações sobre o mundo que foram obtidas por uma ou outra teoria viável.

Empíricos anômalos são problemas resolvidos por teorias rivais, mas que não foram resolvidos pela teoria em questão (ou seja, um problema só é anômalo para uma teoria se foi resolvido por uma teoria rival viável).

Conceituais são problemas que se apresentam a uma teoria quando ela é internamente inconsistente, quando são ambíguos seus postulados teóricos, quando adota suposições sobre o mundo que contradizem ou que não podem ser sustentadas em termos das doutrinas epistêmicas e metodológicas dominantes, quando vulnera princípios da tradição de investigação da qual faz parte, quando não consegue utilizar conceitos de paradigmas ou outras teorias às quais deveria estar logicamente subordinada.

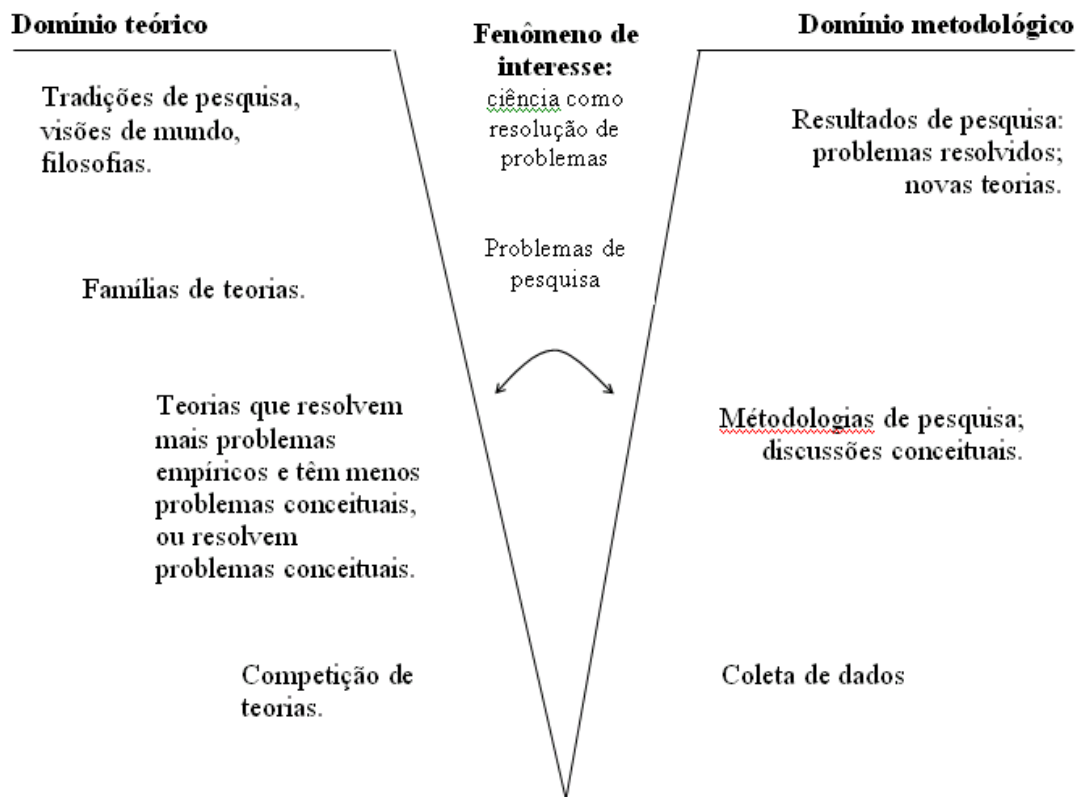
A epistemologia de Laudan contrapõe-se a outras que assumem que teorias anteriores estejam contidas nas posteriores ou que sejam casos limites delas ou que o conteúdo empírico ou as consequências confirmadas das teorias anteriores sejam subconjuntos do conteúdo das novas. Para ele, é preciso romper o laço entre conservação cumulativa e progresso científico e essa ideia de progresso científico sem acumulação leva a preferir a teoria que se aproxima a resolver o maior número de problemas empíricos importantes, ao mesmo tempo que gera o menor número de problemas conceituais e anomalias relevantes (op.cit., p.6). A eliminação de problemas conceituais representa progresso científico, pois é possível que ocorra a substituição de teorias, bem confirmadas, por outras menos confirmadas, contanto que resolvam problemas conceituais relevantes. Um exemplo disso é o modelo atômico de Bohr.

Contudo, a visão epistemológica de Laudan não se resume à disputa entre teorias. Isso seria muito limitante. Por trás das teorias, há visões mais fundamentais sobre o mundo e as mudanças ou modificações de teorias só têm sentido dentro do referencial desses compromissos mais radicais (Moreira e Massoni, 2011, p. 54). Laudan chama de tradições de pesquisa aos sistemas de crenças que constituem tais visões fundamentais (1982, p. 18). A toda tradição de pesquisa ativa está associada uma família de teorias. Diferentemente das teorias, tradições de pesquisa não são diretamente contrastáveis porque seus pressupostos teóricos e metodológicos são demasiadamente gerais para produzir predições concretas ou afirmações diretamente comparáveis (Moreira e Massoni, 2011, p. 55). É como se as tradições de pesquisa fossem filosofias, visões de mundo.

Enfim, Laudan discorda de Popper, Kuhn e Lakatos em questões epistemológicas básicas e propõe um modelo pragmático, racional, de progresso científico baseado na resolução de problemas. Para ele, a racionalidade científica está na escolha das teorias mais progressivas em termos de resolução de problemas (op.cit., p. 63). Mas essas teorias têm tradições de pesquisa, filosofias, visões de mundo por trás.

Pensando no ensino de ciências a epistemologia de Laudan é bastante coerente com o Vê heurístico, Vê epistemológico ou diagrama V, de D.B.Gowin (Moreira, 1990) usado para esquematizar a estrutura do processo de produção do conhecimento. A Figura 1 mostra o V epistemológico de Gowin, adaptado à epistemologia de Laudan. Nesse diagrama fica clara a pluralidade de teorias dentro de tradições de pesquisa e a ênfase na resolução de problemas, contrariamente ao ensino tradicional de ciências onde as teorias são ensinadas como definitivas, acabadas, isoladas e os problemas são apenas exercícios de aplicação de fórmulas ao invés de problemas de pesquisa que estão na essência do fazer científico.

Quer dizer, a epistemologia de Laudan não deve ser usada para reforçar a abordagem usual ao ensino de Física, por exemplo, onde o importante é resolver listas de problemas. Essas listas são de exercícios, não são de problemas. Aprender ciências não é aprender a resolver exercícios mecanicamente; é preciso focar na compreensão conceitual para dar sentido às fórmulas, aos problemas e aos próprios exercícios.



Problemas empíricos potenciais; problemas conceituais relevantes.

Figura 1. O Vê epistemológico de Gowin na perspectiva da epistemologia de Laudan.

O espectro epistemológico, o perfil epistemológico e a filosofia do não de Bachelard

Gaston Bachelard (1884-1962), francês, foi professor de Física de 1919 a 1930; antes trabalhou no serviço postal durante dez anos. Sua tese de doutorado, defendida em 1927, teve por título Um ensaio sobre o conhecimento aproximado. De 1940 a 1954 lecionou História e Filosofia da Ciência na Sorbonne.

A filosofia da ciência é, segundo Bachelard (1991, p.11), uma filosofia aberta, pois seus princípios não são intocáveis e suas verdades não são totais e acabadas. Pensar cientificamente é colocar-se no campo epistemológico intermediário entre teoria e prática, entre matemática e experiência. Além de ser aberta, para ele, a filosofia da ciência é uma filosofia dispersa, distribuída, pluralista, capaz de lidar com os elementos tão diversificados da experiência e da teoria (Moreira e Massoni, 2011, p. 68).

Esse pluralismo, essa abertura, da filosofia da ciência leva à existência de um espectro epistemológico que vai desde um realismo ingênuo até um idealismo ingênuo, passando por outros “ismos” como empirismo, positivismo, racionalismo, materialismo, formalismo. Leva também ao conceito de perfil epistemológico das distintas conceitualizações pessoais de um indivíduo, ou seja, enquanto o conceito de espectro epistemológico se aplica, segundo Bachelard, à filosofia da ciência o de perfil epistemológico é pessoal, aplicado a um determinado sujeito que se examina (que reflete sobre sua conceitualização científica).

Por exemplo, o perfil epistemológico a respeito do conceito de massa de uma pessoa (como do próprio Bachelard, op.cit., pp. 41-43) pode ir desde de um realismo ingênuo (uma apreciação quantitativa grosseira, i.e., massa como quantidade de matéria) até um racionalismo que permite falar em massa relativística e até mesmo em massa negativa, passando por um empirismo, no qual a massa é algo que pode ser medido com um instrumento e pelo racionalismo clássico da mecânica newtoniana no qual a massa é definida como o quociente da força pela aceleração.

Um terceiro conceito, relacionado com estes dois, é o de obstáculo epistemológico, um fato mal interpretado, uma experiência, um contrapensamento, uma crença, que pode obstaculizar o processo do conhecimento no indivíduo ou na própria ciência. No ensino, obstáculos epistemológicos podem funcionar como obstáculos pedagógicos.

Segundo Bachelard, na formação do espírito científico o primeiro obstáculo epistemológico é justamente a experiência primeira, aquele primeiro contato com um fenômeno, com um objeto, antes e acima de qualquer crítica. É a interpretação ingênua, simplista, de um evento ou objeto.

Mas além de experiência primeira, e provavelmente associados a ela, há outros obstáculos epistemológicos a serem superados na formação do espírito científico como o substancialismo, o animismo, o coisismo, o choquismo, o imagismo. É natural para o ser humano a ideia de substância; tudo tem substância. É também natural “dar vida à matéria”, “animar a matéria”, por exemplo, quando se diz que um objeto material exerce uma força sobre outro é natural (ainda que não se explicita) imaginar umas “mãozinhas” fazendo força sobre alguma coisa. Outro obstáculo dessa natureza é o “coisismo”. O ser humano tende, naturalmente, a coisificar e querer imaginar eventos e objetos. É o caso da noção de corpúsculo o qual, naturalmente, é coisificado e imaginado como uma bolinha muito pequena não visível a olho nú. No Modelo Padrão, as partículas elementares não são bolinhas e não são imagináveis. Então o coisismo e o imagismo funcionam como obstáculo epistemológico ou como noções-obstáculo. Outro obstáculo dessa natureza é o choquismo: o choque apresenta-se no ser humano como uma ideia simples que implica contato, encontro, mas um choque de partículas elementares é uma interação, não um “choque elástico de bolas de bilhar”; essa interação não implica contato e algumas partículas, como o fóton, nem mesmo são pensadas como tendo massa.

Tudo isso leva à famosa filosofia do não, de Bachelard. Na formação do espírito científico é preciso dizer não à experiência primeira (a explicação científica não é a explicação ingênua que se dá aos eventos e objetos), não ao substancialismo (há conhecimentos não substancialistas), não ao animismo, ao coisismo, ao choquismo, ao imagismo (há conhecimentos científicos não imagináveis, não coisificáveis).

Mas a filosofia do não é uma atitude de reconciliação, uma atividade construtiva, não uma atitude de recusa. A experiência nova diz não à experiência antiga, mas se isso não acontecesse a experiência nova não seria nova. Não se trata de negar experiências, explicações, teorias antigas, mas sim de buscar novas experiências, melhores explicações, teorias mais frutíferas. A epistemologia bachelardiana é descontinuista, de ruptura com o conhecimento anterior, sobretudo com o conhecimento comum, mas sem negar esses conhecimentos.

Para Bachelard, a objetividade científica só é possível quando se rompe com o objeto imediato, quando não se aceita a sedução da primeira escolha, quando se contradiz os pensamentos que nascem da primeira observação (Bachelard, 1991, p.147).

No ensino de ciências, os conceitos bachelardianos de obstáculo epistemológico, perfil epistemológico e filosofia do não são extremamente importantes. O conhecimento prévio dos alunos é a variável isolada que mais influencia a aprendizagem (Ausubel, 1963) e os alunos chegam às aulas de ciências com uma estrutura cognitiva cheia de conhecimentos prévios que podem funcionar como obstáculos epistemológicos para a aquisição de conhecimentos científicos. É preciso ajudá-los a dizer não a esses obstáculos, mas desde uma perspectiva construtivista, não de negação. Não adianta apenas dar-lhes as teorias corretas, as explicações corretas, enfim, as respostas corretas. Isso não é ensinar ciências.

Outra perspectiva é a de que na aprendizagem de conceitos o aluno desenvolve ou está em determinada fase de um perfil epistemológico. Por exemplo, não tem sentido ensinar quantização da energia se o aluno está em uma parte de seu perfil epistemológico em que energia é um conhecimento confuso misturado com sentimentos como raiva, coragem, tenacidade, capacidade de trabalho. É preciso ajudá-lo a avançar no seu perfil epistemológico, na perspectiva de Bachelard.

Os conceitos, as populações de conceitos e a mudança conceitual de Toulmin

Stephen Toulmin nasceu em 1922, em Londres. Graduado em Matemática e Física pelo King's College, com doutorado em Filosofia pela Universidade de Cambridge. Foi professor de Filosofia em várias universidades europeias e norte-americanas.

A epistemologia de Toulmin está centrada em conceitos, em populações de conceitos em evolução e na mudança conceitual. Para ele, a chave da compreensão humana está nos conceitos. Conceitos são intrínsecos às habilidades, às atividades, aos procedimentos e aos instrumentos da vida intelectual e da imaginação do ser humano (Toulmin, 1977, p. 27).

Cada ser humano tem seus próprios pensamentos, mas pensa com conceitos que são compartilhados com seus semelhantes. Para compreender o que são conceitos e o papel que desempenham na vida do ser humano é preciso considerar a relação central entre pensamentos e crenças que são individuais e a herança linguística e conceitual que

é coletiva. Contudo, para compreender claramente a autoridade intelectual dos conceitos é preciso levar em conta os processos sócio-históricos pelos quais se desenvolvem dentro de uma cultura ou de uma comunidade (op. cit., pp. 41-49).

Para Toulmin, conceitos científicos não formam sistemas axiomáticos, mas sim sistemas de pressuposições e as relações lógicas entre tais pressuposições não são relações de verdade, mas sim de significado (op. cit., p.81).

Em ciências, há certos conceitos fundamentais que são, por assim dizer, constitutivos das ciências dentro das quais são usados. Por exemplo, sem os conceitos de “raio de luz” e de “inércia” a Óptica e a Dinâmica desapareceriam (op.cit., p.84).

Conceitos científicos, segundo Toulmin, têm três aspectos ou elementos distintos: 1) a linguagem; 2) as técnicas de representação; 3) os procedimentos de aplicação da ciência. Os dois primeiros elementos compreendem os aspectos simbólicos da explicação científica, da atividade científica chamada de “explicar”, enquanto que o terceiro compreende o reconhecimento de situações às quais são apropriadas essas atividades simbólicas.

Repetindo, são três os aspectos de um conceito científico linguagem, representação e aplicação. Problemas científicos podem implicar mudanças em qualquer um desses aspectos ou em todos eles (op. cit., p.190). O propósito dos conceitos científicos não é serem verdadeiros ou falsos, mas sim pertinentes e aplicáveis. Conceitos têm história e podem mudar ao longo do tempo.

Com isso, chega-se à ideia de mudança conceitual: em lugar de uma explicação revolucionária da mudança intelectual que se proponha a mostrar como sistemas conceituais inteiros sucedem uns aos outros, o que se necessita construir é uma explicação evolutiva que mostre como se transformam progressivamente as populações conceituais (op.cit., p.131).

A epistemologia toulminiana, mais histórica do que lógica, supõe que disciplinas são populações conceituais em evolução. Como membros de uma “população”, conceitos conservam seus lugares na ciência somente reafirmando continuamente seu valor. Em vez de especular sobre uma direção universal e irreversível de desenvolvimento conceitual, Toulmin argumenta que o processo de variação e perpetuação seletiva ajuda a explicar as transformações das populações conceituais (op.cit., p. 340). Defende também a existência e convivência de ecologias conceituais.

Ou seja, na ciência, para Toulmin, a mudança conceitual não é revolucionária (troca de paradigmas), mas sim evolutiva. Disciplinas são populações conceituais em

evolução. Analogamente à evolução das espécies orgânicas, a mudança conceitual apresenta notáveis diferenças de ritmo. Às vezes mudanças conceituais, com o surgimento de novos e importantes conceitos, seguem a outras rapidamente (e até revolucionariamente), porém pode também passar muito tempo sem mudanças ou com pequenas mudanças que acabarão gerando grandes mudanças se as populações conceituais forem comparadas com as de “tempos passados”.

As disciplinas, na ótica toulminiana, são vistas também como entidades históricas em evolução, não eternas, e como empresas racionais em desenvolvimento histórico. Há fatores intrínsecos (ou intelectuais) e extrínsecos (ou sociais) que condicionam essa evolução, esse desenvolvimento. Por exemplo, a criação de grupos de referência, de associações e periódicos reconhecidos têm papel importante na maturação e evolução disciplinar.

Cabe ainda destacar que, para Toulmin, os conteúdos (declarativos e procedimentais) de uma ciência são transmitidos de uma geração para a seguinte por um processo de enculturação. Esse processo supõe uma aprendizagem cujo núcleo é o repertório de técnicas, procedimentos e habilidades intelectuais e modos de representação que se empregam nas explicações científicas disciplinares. Os cursos de graduação em Física, por exemplo, são um processo de enculturação.

Para o ensino de ciências as implicações da epistemologia de Toulmin são claras: ênfase em conceitos, mudança conceitual, disciplinas como populações de conceitos, entidades históricas, empresas racionais em desenvolvimento, ecologias conceituais. Nas aulas e livros de ciências não se dá ênfase, atenção, aos conceitos, mesmo quando são conceitos estruturantes. A ênfase fica nas fórmulas, equações, definições, taxonomias. A mudança conceitual é encarada como troca, substituição, de um conceito por outro na “cabeça do aluno”. A pesquisa em ensino de ciências já mostrou que a mudança conceitual kuhniana não funciona. Essa mudança é toulmiana, ou seja, evolutiva, não substitutiva. As leis científicas são apresentadas como definitivas, as teorias também. Na prática, um ensino anticientífico.

Outra implicação para o ensino de ciências é que o(a) aluno(a) pode conservar suas concepções alternativas e, ao mesmo tempo, aprender conceitos científicos, construindo uma ecologia conceitual colocando fim ao sonho de que abandonaria definitivamente suas concepções, crenças ingênuas ou ideológicas, em nome das concepções científicas.

A ciência fática e os modelos científicos de Bunge

Mario Bunge nasceu em Buenos Aires, em 1919. Obteve seu doutorado em Ciências Físico -Matemáticas na Universidade Nacional de La Plata, Argentina, em 1952. Foi professor de Física Teórica e de Filosofia nas Universidades de Buenos Aires e de La Plata e de Filosofia da Ciência na Universidade McGill, no Canadá. Tem grande quantidade de publicações – livros e artigos – sobre Física Teórica, Matemática Aplicada, Filosofia da Ciência e outras áreas.

A visão epistemológica de Bunge é notoriamente objetiva, mas para ele nem toda investigação científica está em busca de conhecimento objetivo e nesse sentido faz uma distinção entre ciência formal (ideal) e ciência fática (material). Na categoria formal incluem-se, por exemplo, a Lógica e a Matemática, pois embora produtoras de conhecimento racional, seus objetos de estudo não fornecem informações sobre a realidade, tratam de entes abstratos que só existem na mente humana. Na categoria fática estão as chamadas ciências da natureza como, por exemplo, a Física e a Química, as quais baseiam-se na formulação de hipóteses a respeito de fatos e/ou objetos materiais. Nesta categoria, empregam-se símbolos, conceitos, proposições que apresentam racionalidade e coerência lógica-matemática, mas esta condição, embora necessária, não é suficiente pois os enunciados fáticos devem ser verificáveis direta ou indiretamente (Moreira e Massoni, 2011, p. 149).

No entanto, essa verificação não garante que um certo enunciado seja verdadeiro ou único. Apenas diz se é provavelmente adequado sem excluir a possibilidade de que uma nova hipótese possa vir a fazer melhores aproximações da realidade em questão. A ciência formal demonstra ou prova, a ciência fática verifica hipóteses geralmente provisórias (ibid.). Nas palavras de Bunge (1960, p. 14), a demonstração é completa e final, a verificação é incompleta e temporária.

Como foi dito antes, a ciência fática caracteriza-se pela racionalidade e pela objetividade. Por racionalidade, segundo Bunge, entende-se que o ponto de partida são as ideias, mas de modo que possam se combinar de acordo com um conjunto de regras lógicas para produzir novas ideias, ou seja, inferência dedutiva. Por objetividade entende-se, na ótica de Bunge, que o conhecimento científico concorda aproximadamente como o evento ou objeto de estudo; que as ideias se adaptam em alguma medida aos fatos (observação e experimentação).

Dentro dessa perspectiva de racionalidade e objetividade, Bunge enumera um grande conjunto de características da ciência (1960; pp. 16-36), dos quais apenas algumas serão destacadas a seguir:

- o conhecimento científico é fático;
- a investigação científica é especializada;
- o conhecimento científico é claro e preciso;
- o conhecimento científico é comunicável, não é privado;
- o conhecimento científico é verificável;
- a pesquisa científica é metódica;
- o conhecimento científico é legal, busca leis;
- a ciência é explicativa;
- a ciência é aberta e útil.

Destas características, duas, pelo menos, merecem alguma explicação, a da verificabilidade e a de ser metódica. Verificabilidade tem a ver com a verificação das hipóteses recorrendo, necessariamente, à experiência. Mas não se trata de obter verdades. Elas são sempre provisórias porque os dados empíricos não são infalíveis. Metódica não significa que exista um “método científico”, uma “receita” para chegar a respostas corretas a perguntas científicas. Para Bunge, essa “arte” jamais foi inventada e jamais o será, a menos que se modifique radicalmente a definição de ciência. Não há regras infalíveis que garantam o descobrimento de novos fatos e a invenção de novas teorias. O que existe são procedimentos metodológicos pelos quais se propõem problemas científicos e se colocam à prova hipóteses científicas.

Um outro aspecto importante de epistemologia de Bunge é o papel fundamental que ele atribui aos modelos no desenvolvimento científico. Para ele, toda teoria fática encerra um aspecto idealizado de um pedaço da realidade e esta idealização é chamada de modelo.

A construção de um modelo começa com idealizações e simplificações, com uma equemamatização e simplificação da realidade. O objetivo é representar os principais traços de um evento ou objeto de estudo, de algum aspecto da realidade. O resultado dessas idealizações e simplificações é o que Bunge chama de modelo conceitual ou objeto-modelo, da coisa, fato ou fenômeno. O modelo conceitual dá uma

representação conceitual, esquemática, aproximada, de alguma coisa, alguma situação real ou suposta como tal (Bunge, 1974, p. 16).

Uma vez construído o modelo conceitual, atribui-se a ele certas propriedades, em geral não sensíveis, buscando inseri-lo em uma teoria capaz de descrevê-lo teórica e matematicamente. Esta é a etapa do modelo teórico que tenta especificar o comportamento ou os mecanismos do modelo conceitual. Ou seja, a complexidade vai aumentando.

De um modo geral, começa-se construindo o modelo conceitual, ou objeto-modelo, estilo “caixa preta” e depois vão sendo acrescentados aspectos estruturais e matemáticos até que, chegando ao modelo teórico, se explique o que se quer explicar. Esse modelo teórico deve ser inserido em um arcabouço teórico existente ou é preciso criar uma nova base teórica para que o modelo possa ser confrontado com os fatos. Somente a prova da experiência pode dizer se o modelo é adequado ou falso, ou sugerir novas ideias, novas modificações, a serem introduzidas no modelo de modo a torná-lo mais realista, mais próximo à realidade.

As implicações da epistemologia de Bunge para o ensino de ciências são claras e importantes: a ciência é aproximada; o método científico, como receita infalível, não existe; tudo começa com modelos, todas as teorias têm modelos subjacentes.

No entanto, nas aulas de ciências os modelos são largamente ignorados, as teorias científicas são ensinadas como exatas e acabadas. Além disso, é comum que tanto nas aulas como nos materiais instrucionais seja usado o termo método científico como se fosse “o método”.

As leis mentirosas de Cartwright

Nancy Cartwright, norte-americana, nascida em 1944, tem graduação em Matemática pela Universidade de Pittsburgh e doutorado em Filosofia pela Universidade de Illinois. Iniciou seu trabalho em Filosofia da Ciência na Universidade de Stanford, onde foi professora por 18 anos. Desde então tem lecionado no Departamento de Lógica, Filosofia e Método Científico da Escola de Economia de Londres e na Universidade da Califórnia, San Diego.

Centrando no debate entre leis fenomenológicas e lei teóricas, Cartwright (1983) afirma que filósofos da ciência e físicos diferenciam esses dois tipos de leis de formas

distintas. Para os filósofos da ciência as leis fenomenológicas são sobre coisas que, pelo menos em princípio, podem ser observadas diretamente enquanto as leis teóricas podem ser conhecidas apenas por inferência indireta. Ou seja, para os filósofos, os termos fenomenológico e teórico distinguem o observável do inobservável. Para os físicos, o contraste é entre fenomenológico e fundamental: leis fenomenológicas descrevem o que acontece postulando certas equações sem investigar profundamente seu significado, descrevem algum fenômeno ou efeito que um tratamento teórico mais aprofundado pode explicar através de uma lei fundamental. Ou seja, leis fenomenológicas descrevem e leis teóricas explicam (Massoni e Moreira, 2014a).

Contudo, para ela, o poder explicativo das leis fundamentais não argumenta em favor de sua verdade e propõe que a rota das leis teóricas (fundamentais, explicativas) para a realidade dá-se das leis para modelos e destes para leis fenomenológicas que descrevem fenômenos ou objetos reais. Isso implica que as leis fundamentais da Física não são sobre objetos do mundo real, não descrevem, de fato, regularidades do mundo real, mas são sobre modelos (entidades abstratas, teóricas).

Em outras palavras, leis fenomenológicas são específicas ao passo que leis fundamentais (teóricas) são formulações abstratas e não descrevem circunstâncias particulares. Portanto, a função dessas leis é distinta, para essa epistemóloga.

Assim, explicar em Física, envolve, segundo Cartwright, dois tipos distintos de atividades: primeiro, quando se explica um fenômeno, identifica-se suas causas e tenta-se fornecer informações detalhadas sobre como exatamente o fenômeno foi produzido; segundo, adequa-se o fenômeno a um sistema teórico amplo que abarca, sob um conjunto de equações fundamentais, um grande conjunto de diferentes tipos de fenômenos.

Esse tipo de explicação é o que os filósofos da ciência chamam de leis da natureza. Segundo Cartwright, há dois tipos de leis que tentam dar conta da natureza: leis de associação e leis causais. As de associação são aquelas que dizem como certas qualidades ou quantidades estão associadas, e podem ser determinísticas ou probabilísticas. As equações da Física são bons exemplos de leis de associação. Mas essas leis têm causalidade neutra, não fornecem relato sobre o que faz as coisas acontecerem, enquanto as leis causais têm a palavra “causa” embutida. Por exemplo, “fumar causa câncer”. Para Cartwright, uma lei causal do tipo “A causa B” não deve ser entendida como uma lei universal, pois sempre se refere a fatos particulares.

No entanto, muitos fenômenos para os quais há boas explicações não são cobertos por nenhuma lei. Além disso, segundo Cartwright, leis que podem desempenhar muitas funções são falsas. Para ela, a inverdade das leis fundamentais está nisso. Ou seja, não existem generalizações excepcionais, não existem leis excepcionais que expliquem tudo (Cartwright, 1983). Isso vai de encontro ao falsacionismo de Karl Popper de que toda teoria científica é passível de falseamento e da filosofia da desilusão de Gaston Bachelard de que o conhecimento científico é sempre a reforma de uma ilusão. Mesmo as leis precisas e detalhadas da Física, são sempre aproximadas, apresentam alguma forma de deficiência. Elas têm a ver com a tarefa principal da ciência: a de explicar. O compromisso é explicativo e é sempre aproximado.

Isso implica que se as leis científicas são sempre aproximadas, não podem ser confirmadas ou testadas de forma definitiva. As leis da natureza que conhecemos, em algum momento requerem uma decisão que os teóricos tomam quando acenam para a existência de “entidades teóricas” ou “modelos”. Entidades teóricas (modelos) às vezes são mais robustas do que teorias. O elétron, por exemplo, não é uma entidade de uma única teoria, de uma teoria particular.

Além de aproximadas, na visão de Cartwright, as leis da Física não descrevem fatos reais, assim como o fazem afirmações da Biologia (por exemplo, como vive um animal, como se alimenta, como se reproduz etc.) que não são leis. Tomadas como descrições de fatos, as leis da Física são falsas e nesse sentido “mentem” (Cartwright, 1983). O que fazem, então, as leis da Física? Cartwright concorda com Richard Feynman (1967) que afirma existirem ritmos, padrões entre fenômenos da natureza que não estão aparentes aos olhos e esses ritmos e padrões são o que se chama de leis da Física.

Resumindo, para essa epistemóloga, as leis explicativas fundamentais da Física não são “verdades” porque não descrevem, de fato, o mundo real, a não ser através de entidades ideais (ou modelos) que podem ser tomadas realisticamente. Segundo ela, entidades teóricas (modelos) bem justificadas, por afirmações causais bem testadas, raramente foram descartadas na história da ciência, pois são robustas e podem sobreviver às teorias (Massoni e Moreira, 2014). Ou seja, Cartwright acredita em entidades teóricas (modelos), mas não em leis teóricas.

Assim como para Mario Bunge (1974), para Cartwright modelos têm um papel fundamental na construção do conhecimento científico, mas ela os toma como entidades teóricas e Bunge os considera como representações esquemáticas ou simplificações da realidade. Outra diferença é que para Cartwright a rota da ciência é da teoria para a

realidade, ou seja, parte-se de alguma teoria fundamental, constrói-se um modelo, um esquema explicativo tentativo e salta-se para as leis fenomenológicas que descrevem realisticamente os fatos. Teorias fundamentais não são verdadeiras e só fazem sentido quando apoiadas por leis fenomenológicas que descrevem detalhadamente o que acontece no mundo. Enquanto que para Bunge, o “método” da ciência começa com objetos-modelo; é possível modelar qualquer organismo, objeto ou fato construindo-se objetos-modelo; o passo seguinte é chegar a modelos teóricos que fazem afirmações conceituais logicamente consistentes e são, então, enxertados em teorias mais gerais, sendo que só o que se pode submeter a provas empíricas são os modelos teóricos. Teorias gerais permanecem incomparáveis, a menos que sejam enriquecidas com modelos testáveis (Massoni e Moreira, 2014).

Nancy Cartwright é uma epistemóloga contemporânea, com formação em Matemática, mas fala muito da Física e usa a metáfora de que “as leis da Física mentem”. Pode parecer uma metáfora provocativa, mas tem grandes implicações para o ensino da Física, ou das ciências de um modo geral, porque leva ao questionamento do significado de lei Física, ou lei científica. No ensino de Física, as leis são ensinadas como “verdadeiras”, como descobertas geniais. Um grande erro, pois leis verdadeiras, definitivas, não existem. Os cientistas estão sempre buscando novas leis, sejam elas fenomenológicas ou fundamentais. O Modelo Padrão da Física de Partículas é um belo exemplo. Apesar de seu tremendo êxito explicativo, apesar da detecção do bóson de Higgs, não é considerado definitivo, completo. Isso não existe.

Quadro comparativo

Procurando comparar as epistemologias até aqui descritas, no Quadro 1 são destacados conceitos básicos e algumas ideias centrais de cada uma delas, assim como possíveis implicações para o ensino de ciências.

Conclusão

Como foi dito na Introdução, o ensino de ciências na educação básica é, praticamente, anticientífico. Os estudantes “recebem” a matéria como se as teorias fossem verdades científicas e depois têm que decorar fórmulas, definições, respostas corretas e “resolver problemas” que não passam de exercícios algorítmicos.

QUADRO COMPARATIVO ENTRE VISÕES EPISTEMOLÓGICAS E ENSINO DE CIÊNCIAS

	Conceitos básicos	Algumas ideias centrais	Implicações para o ensino de ciências
POPPER	Conjeturas, refutações, falsacionismo, critério de demarcação.	O critério de demarcação entre ciência e não-ciência é a refutabilidade das teorias científicas. A ciência progride graças à sucessão de conjeturas e refutações. As teorias científicas são conjeturais. Uma boa teoria científica é aquela que faz afirmações bem definidas e de amplo alcance, sendo sumamente falseável, resiste firmemente (é corroborada) quando submetida a provas observacionais e experimentais.	Teorias não devem ser ensinadas como descobertas de cientistas geniais, nem como definitivas, acabadas. Isso não existe. Teorias são construções do ser humano e devem ser testáveis. Aprender ciências é aprender a conjeturar, questionar, argumentar, ao invés de decorar fórmulas e “resolver” problemas de aplicação de fórmulas.
KUHN	Paradigma, ciência normal, revolução científica, anomalia.	Ciência normal é aquela em que a pesquisa está orientada por um paradigma. Anomalias são problemas, enigmas, não resolvidos dentro do paradigma. O excesso de anomalias sérias e persistentes pode significar uma crise para o paradigma e levar a sua rejeição e substituição por outro. A mudança descontínua de um paradigma para outro é uma revolução científica. A ciência progride da seguinte maneira: pré-ciência → ciência normal → crise → revolução científica → nova ciência normal → nova crise...	Contrariamente à mudança paradigmática descontínua (troca de um paradigma por outro) de Kuhn, a mudança conceitual no aluno não é uma substituição, ou troca, de significados alternativos por significados “corretos” em sua estrutura cognitiva. A mudança conceitual é progressiva, evolutiva, não substitutiva, não revolucionária.
LAKATOS	Programa de pesquisa, núcleo firme, cinturão protetor, poder heurístico.	Um programa de pesquisa caracteriza-se por um núcleo firme, que deve ser resguardado por um cinturão protetor constituído por hipóteses auxiliares refutáveis. A ciência progride através de programas de pesquisa que competem. Programas de pesquisa podem estar em fase progressiva ou regressiva, dependendo de seu poder heurístico que é avaliado em função da quantidade de novos fatos produzidos e de sua capacidade explicativa.	A ciência é viva, não acabada, não definitiva. Assim deve ser ensinada. A ciência não é monoparadigmática. O usual é a competição de programas de pesquisa. As respostas que a ciência tem hoje não devem ser ensinadas como “corretas”, para sempre. As teorias podem mudar e as respostas também, o que não significa que não sejam boas.
LAUDAN	Problema conceitual, problema empírico, tradição de pesquisa, grau de ameaça.	A coexistência de teorias rivais é a regra, não a exceção, de modo que sua avaliação é, primordialmente, uma atividade comparativa. Teorias não são rechaçadas simplesmente porque apresentam anomalias. O progresso científico está baseado na resolução de problemas, empíricos e conceituais. As melhores teorias científicas são as que resolvem mais problemas empíricos e têm menos problemas conceituais. Por trás das teorias, há visões mais fundamentais sobre o mundo, chamadas tradições de pesquisa.	A resolução de problemas tomada como um aspecto central da ciência e do progresso científico. Porém, problemas científicos, empíricos ou conceituais, não são os de “aplicação de fórmulas”, normalmente usados após a aula teórica do professor ou como “tema de casa”. Estes são exercícios, não problemas. Problemas incitam a reflexão, o questionamento.

Quadro 1. Comparação entre várias epistemologias, ou filosofias da ciência, em termos de seus conceitos básicos, de algumas ideias centrais de cada uma delas e de possíveis implicações para o ensino de ciências em situação formal de ensino, presencial ou virtual.

	Conceitos básicos	Algumas ideias centrais	Implicações para o ensino de ciências
BACHELARD	Espectro epistemológico, perfil epistemológico, obstáculo epistemológico, filosofia do não.	A filosofia da ciência é aberta, pluralista, e isso leva à existência de um espectro epistemológico. Leva também à existência de um perfil epistemológico das distintas conceitualizações de um indivíduo. Na formação do espírito científico é preciso dizer não à experiência primeira, ao substancialismo, ao animismo, ao choquismo, ao coisismo, ao imagismo. Conhecimentos alternativos e “ismos” podem funcionar como obstáculos epistemológicos. Mas essa filosofia do não é uma atitude construtiva, não uma atitude de recusa, de negação.	O conhecimento prévio do aluno deve ser sempre considerado no ensino de ciências pois pode funcionar como obstáculo epistemológico, pode impedir a aprendizagem de conhecimentos científicos. Além disso, é preciso ter sempre em conta que o aluno está aprendendo, está conceitualizando, dentro de um perfil epistemológico.
TOULMIN	Conceito, mudança conceitual, população de conceitos, disciplina.	Em ciências há certos conceitos fundamentais que são constitutivos, estruturadores, daquelas em que estão sendo usados. Disciplinas são populações de conceitos em evolução, são entidades históricas em evolução, empresas racionais em desenvolvimento histórico. A mudança conceitual não é revolucionária (troca de paradigmas), mas sim evolutiva. Conteúdos declarativos e procedimentais de uma ciência são transmitidos de uma geração para outra em um processo de enculturação.	O ensino de ciências deve enfatizar muito mais a conceitualização, a aquisição de conceitos-chave da matéria de ensino do que a memorização mecânica de fórmulas, equações, reações, “respostas corretas”. Conceitos terão retenção muito maior, talvez permanente, do que fórmulas e definições rapidamente esquecidas. Conceitos são muito mais importantes do que fórmulas e conceitos científicos podem conviver com as concepções e construtos pessoais dos estudantes.
BUNGE	Ciência fática, ciência formal, modelo conceitual (objeto-modelo), modelo teórico	A ciência formal demonstra ou prova, a ciência fática verifica hipóteses geralmente provisórias. A demonstração é completa e final, a verificação é incompleta e temporária. Método científico, como receita infalível, para chegar a respostas corretas a perguntas científicas, não existe. Não há regras infalíveis que garantam o descobrimento de novos fatos e geração de novas teorias. Toda teoria fática encerra aspectos idealizados de pedaços da realidade e estas idealizações chamam-se modelos, inicialmente conceituais (tipo caixa preta) e depois teóricos, formalizados, matematizados.	Modelos são fundamentais na ciência. Tudo o que se ensina está baseado em modelos, mas estes não são enfatizados ou, pior, são ignorados. Um grande erro no ensino de ciências. Ao invés de ficar decorando definições e fórmulas, o estudante deve ser ensinado a modelar, inclusive computacionalmente. A metodologia científica não deve ser tratada como “método científico”.
CARTWRIGHT	Leis fenomenológicas, leis fundamentais, leis de associação, leis causais.	Leis fenomenológicas descrevem, leis fundamentais explicam. Leis fenomenológicas são específicas, leis fundamentais (teóricas) são formulações abstratas e não descrevem circunstâncias particulares. Leis de associação dizem como certas qualidades e quantidades estão associadas (e.g., leis da Física). Leis causais têm a palavra causa embutida. As leis científicas são sempre aproximadas, não podem ser confirmadas ou testadas de forma definitiva. Entidades teóricas (modelos) às vezes são mais robustas do que teorias. Leis que desempenham muitas funções são falsas. Não existem generalizações excepcionais, não existem leis excepcionais que expliquem tudo.	Há vários tipos de leis e não são verdadeiras. As leis científicas não devem ser ensinadas como verdades, mas sim como as melhores explicações que a ciência tem hoje para certos fatos ou fenômenos. As leis científicas são sempre aproximadas. Modelos têm papel fundamental na construção do conhecimento científico.

Quadro 1 (continuação). Comparação entre várias epistemologias, ou filosofias da ciência, em termos de seus conceitos básicos, de algumas ideias centrais de cada uma delas e de possíveis implicações para o ensino de ciências em situação formal de ensino, presencial ou virtual.

As visões epistemológicas apresentadas, resumidamente, neste artigo divergem em vários aspectos. Aparecem termos como conjecturas, refutações, programas de pesquisa, tradições de pesquisa, paradigmas, espectro epistemológico, população de conceitos, modelos conceituais e teóricos, leis fenomenológicas e fundamentais com significados nem sempre compartilhados, mas nenhuma delas dá uma ideia de ciência como produtora de verdades, de respostas definitivas, muito menos de fórmulas mágicas. Todas sugerem que a ciência é uma construção permanente do ser humano.

Mas na prática, no ensino de ciências as epistemologias da ciência são ignoradas. Mesmo no caso de professores de Física que tiveram alguma iniciação em epistemologia elas não chegam à sala de aula; eles ou elas não sabem articular suas visões epistemológicas com suas práticas, mostram-se despreparados e isso sugere que há muito o que fazer nesse campo (Massoni, 2010; Massoni e Moreira, 2014b). Quer dizer, ensina-se ciência sem considerar o que é ciência. O resultado, infelizmente, é um ensino não científico ou anticientífico como diz Carl Wieman (2013), um físico, Nobel de Física em 2001.

No ensino de Física, por exemplo, chega-se ao absurdo de “ensinar” que uma fórmula do tipo $A = B/C$ pode ser “aprendida” como três fórmulas: $A = B/C$, $B = AC$ e $C = B/A$.

Além das fórmulas, o importante é a “resposta correta” para perguntas que “cairão” nas provas.

Que ensino é esse? Anticientífico!

Que ciência é essa? Nenhuma. Contudo, a culpa não é dos professores. É do ensino para testagem (o teaching for testing) fomentado pelo sistema educativo nacional e internacional. As escolas e os professores devem preparar, treinar os alunos para a testagem, para as provas nacionais e internacionais, independente de epistemologias. É um ensino de ciência sem considerar o que é ciência.

É importante também ter presente que documentos oficiais tipo Padrões Curriculares Nacionais (PCNs) geralmente apontam para a importância de abordar aspectos históricos e epistemológicos no ensino de ciências.

No Brasil, por exemplo, os PCN, de 1999, especificam, para o ensino de Física, a habilidade de “reconhecer a Física enquanto construção humana, aspectos de sua história e relações com o contexto cultural, social, ... (p.29). Os PCN+, de 2002, indicam como uma estratégia para a construção de competências científicas tratar a “Física como cultura” e destacam que é relevante “investigar e resgatar a história da ciência enquanto atividades humana e social (p.82). As Orientações Curriculares Nacionais (2006) no Caderno de Ciências da Natureza, no item “A Física no Ensino Médio”, indicam como uma estratégia de ação didática “o uso da História e Filosofia da

Ciência para enriquecer o ensino (...) possibilita a visão da ciência como uma construção humana” (p. 64).

Quer dizer, os documentos oficiais reconhecem, incentivam, um ensino de ciências distinto daquele fomentado pelo ensino para testagem, mas é este que predomina

Mas, então, se fosse possível superar a barreira do ensino para testagem, como deveria ser o ensino de ciências, tendo em conta a natureza da ciência?

Centrado no aluno e no desenvolvimento de competências científicas como modelagem, argumentação, questionamento.

Com ênfase em conceitos e modelos, não em fórmulas, equações, reações, taxonomias.

Considerando a mudança conceitual como progressiva, evolutiva, não substitutiva.

Focado em perguntas, em como perguntar, não em respostas corretas.

Abordando as teorias científicas como construções aproximadas e sempre em desenvolvimento, não como exatas, definitivas, acabadas.

Problematizando os conceitos e procurando articulá-los com situações cotidianas para que os alunos deem sentido ao ensino da Física.

Focando na formação e na valorização dos professores para que se sintam preparados e estimulados a enfrentar esses desafios, a ensinar uma Física mais epistemologicamente adequada.

Claro que isso é muito difícil, inclusive porque haverá reação dos alunos que estão acostumados a que o docente “dê a matéria” para ser estudada (decorada) na véspera das provas. É difícil, sem dúvida, mas para, de fato, ensinar ciências é preciso mudanças. O ensino de ciências não pode ser anticientífico.

Referências

Ausubel, D.P. (1963). *The psychology of meaningful verbal learning*. New York: Grune and Stratton.

Bachelard, G. (1971). *Epistemologia*. Barcelona: Editorial Anagrama. Tradução do original *Epistemologie*.

Bachelard, G. (1991). *A filosofia do não*. Lisboa: Editorial Presença. Tradução do original *La philosophie du non*.

Brasil. Ministério da Educação e Cultura. (1999). *Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio (PCNs)*. Brasília: MEC-SEMTEC.

Brasil. Ministério da Educação e Cultura. (2002). *Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio (PCN+)*. Brasília: MEC – Secretaria da Educação Básica.

Brasil. Ministério da Educação e Cultura. (2006). Orientações Curriculares para o Ensino Médio: Ciências da natureza, matemática e suas tecnologias. Brasília: MEC – Secretaria da Educação Básica

Bunge, M. (1960). La ciencia su método y su filosofía. Buenos Aires: Ediciones Siglo Veinte.

Bunge, M. (1974). Teoria e realidade. São Paulo: Editora Perspectiva.

Cartwright, N. (1983). How the laws of physics lie. New York: Oxford University Press.

Chalmers, A.F. (1999). O que é essa coisa chamada ciência afinal? São Paulo: Editora Brasiliense.

Tradução dos original What is this thing called science?, 1976. University of Queensland Press.

Feynman, R. (1967). The character of physics laws. Cambridge, MA: MIT Press.

Kuhn, T.S. (2001). A estrutura das revoluções científicas. 6ªed. São Paulo: Perspectiva. Tradução do original The Structure of scientific revolutions, 1962, Chicago: The University of Chicago Press.

Lakatos, I. (1982). La metodología de los programas de investigación científica. Madrid: Alianza. Tradução para o espanhol do original The methodology of scientific research programs, 1977, Cambridge University Press.

Laudan, L. (1986). El progreso y sus problemas. Hacia una teoría del crecimiento científico. Madrid: Encuentro Ediciones. Tradução para o espanhol do original Progress and its problems, 1977, University of California Press.

Massoni, N.T. (2010). A epistemologia contemporânea e suas contribuições em diferentes níveis de ensino de Física: a questão da mudança epistemológica. Tese de Doutorado. Instituto de Física, UFRGS.

Massoni, N.T. & Moreira, M.A. (2014a). Epistemologia de Nancy Cartwright: uma contribuição ao debate sobre a natureza da ciência atual. Revista Ensaio, 16(3): 95-119.

Massoni, N.T. & Moreira, M.A. (2014b). Uma análise cruzada de três estudos de caso: a influência de concepções sobre a natureza da ciência nas práticas didáticas. Ciência & Educação, 20(3): 595-616.

Moreira, M.A. & Greca, I.M. (2003). Cambio Conceptual: análisis crítico y propuestas a la luz de la teoría del aprendizaje significativo. Ciência & Educação, 9(2): 301-315.

Moreira, M.A. & Greca, I.M. (2004). Sobre cambio conceptual, obstáculos representacionales, modelos mentales, esquemas de asimilación y campos conceptuales. Porto Alegre: UFRGS.

Moreira, M.A. (1990). Pesquisa em Ensino: o Vê epistemológico de Gowin. São Paulo: E.P.U.

Moreira, M.A. (2006). Mapas conceituais & diagramas V. Porto Alegre: Ed. do Autor.

Moreira, M.A. & Massoni, N.T. (2011). Epistemologias do século XX. São Paulo: Editora Pedagógica e Universitária Ltda.

Popper, K. (1982). *Conjeturas e refutações*. Brasília: Editora da UnB. Tradução do original *Conjectures and refutations. The Growth of scientific knowledge*, 1963, Londres: Routledge & Kegan.

Posner, G., Strike, K., Hewson, P. & Gertzog, W. (1982). Accommodation of a scientific conception: toward a theory of conceptual change. *Science Education*, Vol.66, pp. 211-227.

Science (2013). Grand challenges in science education. Vol.340, pp. 290-323.

Toulmin, S. (1977). *La comprensión human – Volume 1: El uso colectivo y la evolución de los conceptos*. Madrid: Alianza Editorial. Tradução ao espanhol do original *Human understanding – Volume 1: The collective use and the evolution of concepts*, 1972, Princeton University Press.

Wieman, C. (2013). Transformation is possible if a university really cares. *Science*, Vol.340, pp.291-296.