

PRINCÍPIOS NAS CIÊNCIAS EMPÍRICAS E O SEU TRATAMENTO EM LIVROS DIDÁTICOS

Principles in the empirical sciences and their treatment in textbooks

José Francisco Custódio¹
Maurício Pietrocola²

Resumo: Neste artigo, analisamos o papel desempenhado pelos princípios na produção e no ensino de conteúdos científicos. Nós constatamos que nas ciências empíricas princípios são guias heurísticos genéricos na produção científica. E exercendo essa função, um princípio é capaz de limitar consideravelmente as possíveis arbitrariedades dentro de um sistema teórico. No ensino, focalizamos o tratamento do princípio de conservação de energia em livros didáticos de física. Nós concluímos que existe uma frágil relação entre teorias/modelos e objetos/eventos nos livros didáticos; disso decorre que o tratamento dos princípios assume apenas o papel de técnica adicional para a resolução de problemas fechados, um estatuto epistemológico reduzido e diferente daquele das ciências empíricas. Nós sugerimos que tratar os princípios nos livros didáticos aproximando-os de sua função teórica exige incentivar a atividade de criação dos estudantes na construção de significados balizada na validade dos princípios. Isto se daria por meio da apresentação de situações físicas não modelizadas, não idealizadas e abstraídas. Assim, a riqueza heurística do princípio estaria sendo explorada, e não somente aspectos operacionais.

Unitermos: princípios, guias heurísticos, princípio de conservação de energia, modelos

Abstract: *In this article, we analyse the role performed by the principles in teaching scientific content. We observed that principles in the empirical sciences are generic heuristic guides in scientific production and by exercising this function, a principle is able to limit the feasible arbitrariness inside a theoretical system. In teaching, we have focused on the treatment of energy conservation principles in physics textbooks. We concluded that there is a fragile relationship between theory/model and objects/events in textbooks: consequently the treatment of principles only assumes a role as an additional technique to solve given problems. We suggested the enhanced treatment of principles in textbooks by bringing them closer to the theoretical function, so demanding, and motivating the students' creativity in constructing inferences limited by the validity of principles. That could happen through the presentation of non-modeled physical situations, neither idealized nor abstracted. Thus, heuristic wealth would be sought and not only the operational aspects.*

Keywords: *principles, heuristic guides, conservation of energy principle, models*

Introdução

Ao longo das últimas décadas, a dissonância entre saber científico, saber escolar e senso comum tem sido tema tratado por vários autores, de filósofos da ciência (PATY, 2003) a pesquisadores da área de ensino de ciências (CHEVALARD, 1985; ASTOLFI, 1993; entre outros). À medida que a ciência amplia seus domínios, tanto em extensão como em profundidade, o saber do cidadão comum se distancia do saber científico. Currículos, programas e livros didáticos buscam incorporar os resultados oriundos da prática científica. Assim, a alfabetização científica permanece um dos objetivos precípuos da educação contemporânea.³

¹ Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica, Centro de Ciências Físicas e Matemáticas, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, Brasil. Bolsista da Fundação Capes. (e-mail: jfcustodio@hotmail.com)

² Professor Assistente Doutor, Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil. (e-mail: mpietro@usp.br)

³ Ver os desafios de propostas curriculares de diversos países em Fourez (1997) e no currículo brasileiro nos PCNs (Brasil, 1999).

Os livros didáticos, em particular, representam uma interface entre a demanda do currículo e o espaço cognitivo criado pelos professores em sala de aula (GILBERT *et al.*, 1998). Eles são o instrumento mais utilizado pelos professores de física do ensino médio na preparação de aulas, o que caracteriza uma vinculação parcial (às vezes total) entre os conteúdos ensinados e aqueles propostos nos programas. Na perspectiva tradicional, evidenciada na maioria dos livros, temos fortes indícios que os conteúdos almejam operacionalizar aplicações formais em exercícios (GIL-PEREZ, 1987). Mede-se a validade de um conteúdo pela eficácia na elaboração dessas situações artificiais que em nada se remetem aos fatos reais. Outro vetor transmissor desta tendência é a necessidade de atender aos pré-requisitos externos ao curso, como exames etc. Os autores dos livros didáticos propõem uma infinidade de questões de vestibulares, quase sempre escolhidas a dedo e coerentes com as suas propostas. Sob essa justificativa, o conhecimento físico apresentado em alguns cursos é freqüentemente banalizado em mnemônicos musicais e meras aplicações de fórmulas.

Longe da realidade, dificilmente as intervenções didáticas empreendidas por professores de física permitirão a elaboração de modelos (GRECA E MOREIRA, 1997; GILBERT E BOULTER, 1998). Ao que parece, o uso de problemas padrões no ensino de física privilegia apropriações do conhecimento científico voltadas prioritariamente às necessidades imediatas da disciplina. Elas são descartadas quando os estudantes deparam-se com situações mais próximas de sua realidade, pois aí os conhecimentos científicos ensinados não são operacionais. Há que se reincorporar o conhecimento científico, em particular o da disciplina Física, como forma de explicar o mundo para além do contexto restrito da vida escolar (PIETROCOLA, 2001). Neste sentido, a construção de modelos é fundamental, e os princípios jogam um importante papel, na medida em que eles guiam, frente à complexidade do mundo, quais modelos são suscetíveis de explicá-lo em consonância com os ditames científicos.

O uso de modelos e modelagem no ensino tem sido um tema recorrente de pesquisa na área de educação científica (KRAPAS *et al.*, 1997; GILBERT & BOULTER, 2000). Essas pesquisas revelaram o papel desempenhado pelos modelos na aprendizagem de conteúdos científicos (NERSESSIAN, 1995). Em menor quantidade, trabalhos dedicaram-se a avaliar as formas e os resultados de atividades de modelização no ensino de ciências (TIBERGHEN, 1994). Porém, poucas pesquisas têm discutido o tema no que se refere à apresentação de modelos em livros de ciências [RUTHERFORD (1995) é uma exceção]. Modelos científicos são extensamente apresentados nos livros didáticos como fatos estáticos. Isso reduz a possibilidade de se criar estratégias de ensino construtivistas, uma vez que os livros raramente convidam os alunos a efetivamente construir, testar e revisar modelos (VAN DRIEL & VERLOOP, 2002).

Na ciência, os modelos estão fortemente ligados às teorias (BUNGE, 1974) e na ausência destas os princípios tornam-se guias preferenciais na condução das pesquisas, sejam elas teóricas ou experimentais. O princípio de conservação de massa foi importante na formulação da teoria atômica. Os princípios de conservação da energia e da quantidade de movimento foram referências fundamentais nos estudos preliminares sobre a estrutura atômica e as partículas elementares.

Neste artigo pretendemos analisar o papel desempenhado pelos princípios na produção e no ensino de conteúdos científicos. Iniciaremos por uma discussão de natureza filosófica sobre o papel heurístico dos princípios nas ciências. Em seguida, apresentaremos uma análise sobre a forma de apresentação dos princípios nos livros didáticos de física.

O sentido de um princípio

A acepção atribuída ao termo Princípio na língua portuguesa culta, bem como em seu uso comum, designa em geral “o momento em que alguma coisa tem origem”, a “causa primária” dos acontecimentos e das coisas. Nesse aspecto, a palavra princípio tem sentido vinculado diretamente ao termo “começo”. Para além dos casos da língua, dentro do domínio das ciências empíricas, de uma forma semelhante, um princípio denota este significado, como um ponto de partida, um primeiro estado de um processo. Eles caracterizam-se como conhecimentos de um nível diferente daqueles no qual se encontram os conceitos e as leis. Os princípios são metadisciplinares com relação à doutrina onde eles são o ponto de partida ou justificação (GRANGER, 1999).

Nas ciências empíricas, um princípio pode ser tomado como um ponto de partida de uma dedução, mas formulado como interpretação, generalização e abstração de um saber anterior. Um procedimento que pode ser entendido na generalização de leis de um certo domínio elevando-as ao grau de princípio. É o caso da lei de movimento de um corpo proposta por Galileu, enunciada mais tarde por Descartes como Princípio de Inércia. Segundo esse princípio, um corpo isento de forças, ao começar seu movimento, continua-o indefinidamente de maneira uniforme e em linha reta. Neste sentido, Poincaré sintetiza a idéia, afirmando que:

[...] princípios são resultados de experiências fortemente generalizadas; mas eles parecem tomar a própria generalidade delas num elevado grau de certeza. Efetivamente, quanto mais gerais são eles, mais freqüentemente temos oportunidade de controlá-los, e as verificações, multiplicando-se, tomando as formas mais variadas e mais inesperadas, acabam por não deixar mais margem a dúvida. (POINCARÉ, 1995, p. 113).

Para Einstein (1998, p. 142), os princípios nas ciências empíricas servem de base para a formulação de todas as hipóteses, e é a partir deles que se pode deduzir conseqüências. Assim, o trabalho do cientista consiste necessariamente em buscar uma certa regularidade, uma propriedade a ser generalizada, uma lei que determine a evolução do sistema considerado e que principalmente sirva de princípio geral da natureza. De posse de tais princípios, pode-se procurar, via observação, nos fatos experimentais, características gerais e exatas, a serem explicitadas nitidamente. Quando esta formulação obtiver êxito, começa então o desenvolvimento das conseqüências, que muitas vezes revelam relações insuspeitadas que transcendem o campo dos fatos de onde foram tirados os princípios.

Nesse sentido, um conjunto de princípios pode, dentro das ciências empíricas, nos ensinar satisfatoriamente o que podemos esperar conhecer sobre o mundo físico. Tomemos o simples exemplo de uma bolinha de borracha que liberada de uma certa altura cai verticalmente, choca-se com o piso, e retorna a uma nova altura. Mesmo pressupondo-se que não conhecêssemos como se dá a interação com o solo, ainda assim seria possível produzir algum entendimento por meio de alguns princípios mecânicos. O princípio de conservação de energia (PCE) permite afirmar que a altura final não será nunca maior que a inicial. Sendo assim, em nenhum momento necessitamos entrar nos detalhes que envolveram a interação, ou conhecer as forças que impeliram novamente a bolinha, basta sabermos quais as condições inicial e final. Parece haver, neste ponto, uma renúncia à visão mecanicista do universo, conforme Poincaré nos esclarece de forma mais apurada:

Renunciamos a penetrar no detalhe da estrutura do universo, a isolar as peças desse vasto mecanismo, a analisar uma a uma as forças que as põem em movimento, e nos contentamos em tomar por guias certos princípios gerais cujo objetivo é precisamente o de nos dispensar desse estudo minucioso. (POINCARÉ, 1995, p.112).

Outrora, o intento das ciências empíricas era desmontar a grande máquina do universo. A idéia que o “todo é a mera soma das partes”, despertou no homem o desejo de dominar a natureza e agir sobre ela, tornar-se senhor da natureza. Este estilo de pensamento disseminado no século XVI, cujos expoentes foram Galileu, Descartes, Hobbes (KOYRÉ, 1991), hoje, é substituído por um novo sistema intelectual, baseado em princípios que, por sua vez, fornecem um quadro não tão detalhado do mundo empírico, porém bem mais geral e conclusivo. Ao imaginarmos qualquer mecanismo de “caixa preta”, podemos, com certeza, inferir proposições verdadeiras sobre o seu comportamento através do uso de princípios gerais. Nesse sentido, um conhecimento razoável e verdadeiro acerca do universo, a grande “caixa preta”, pode, com auxílio dos princípios que conhecemos, ser concebido, sem com isto pagarmos o esforço de revelar os diversos mecanismos ocultos. Esta interpretação também mostra que os princípios conduzem o cientista na realização do trabalho empírico, já que a partir destes, as hipóteses podem ser formuladas e os dados empíricos lançados em sistemas teóricos deduzidos logicamente. Indubitavelmente serão estes princípios os responsáveis em dizer o quanto a “máquina” deve ser desmontada.

Mas é claro que a Ciência procura também compreender os mecanismos. Isto se dá, por exemplo, na física de partículas. Projetos vultosos pretendem a construção de grandes aceleradores de partículas para prospectar o interior da matéria. Cientistas têm afirmado que com este novo acelerador chegarão a uma grande teoria unificadora. Tais pesquisas, cada vez mais, adentram nos “mecanismos ocultos” da natureza; novas interações são hipotetizadas e, no limite, tenderão a chegar à derradeira. Entretanto, vale ressaltar que os mecanismos se remetem ao funcionamento do sistema, que pode não ser mecânico (CUPANI & PIETROCOLA, 2002). Neste caminho o cientista lançará mão de guias, caso contrário, não haveria nenhum critério de seleção dos modelos construídos. Citamos Einstein:

Enquanto os princípios básicos para dedução não forem descobertos, o teórico não tem, absolutamente, necessidade dos fatos individuais da experiência. Nem mesmo pode empreender qualquer coisa com leis mais gerais, descobertas empiricamente. Deve antes confessar seu estado de impotência diante dos resultados elementares da pesquisa empírica até que se lhe manifestem princípios, utilizáveis como base de dedução lógica. (EINSTEIN, 1998, p. 142).

Assim, verificamos uma substituição das determinações complexas e ainda desconhecidas do real, que se oferece nas observações empíricas, por um conjunto de princípios; sobre o alicerce destes, a teoria desenrolará seus encadeamentos: eles servirão de quadro formal e protocolo metodológico. Temos, no interior desta classe, os princípios de conservação (de energia, de quantidade de movimento, de momento angular, de carga etc.), o princípio de relatividade e os axiomas da mecânica quântica. Esses princípios são relativos às propriedades mais gerais do real (o movimento e a constituição dos corpos materiais) e constituem a transcrição mais abstrata que dele fazemos e, em sua generalidade, substituem o real. São um pensamento-do-real, uma abstração simplificadora, de utilidade e aplicações gerais, uma denominação não contraditória da realidade à qual pode se aplicar, com toda legitimidade, a lógica comum e sua transcrição matemática (PATY, 1995).

De acordo com Einstein (1950), as teorias, em função de suas bases epistemológicas, podem ser de dois tipos: As teorias construtivas, “que tentam construir uma representação dos fenômenos complexos a partir de algumas proposições relativamente simples” e constroem modelos sobre seus constituintes fundamentais. É o caso da teoria cinética dos gases. E as teorias de princípio, nas quais o “ponto de partida e fundamento não são constituintes hipotéticos, mas propriedades gerais empiricamente observáveis nos fenômenos, princípios dos quais as fórmulas matemáticas são deduzidas tal que elas se aplicam a todo o caso que se apresenta”: é o caso da termodinâmica.⁴

⁴ Uma teoria de princípio que serviu de protótipo para formulação da teoria da relatividade de Einstein.

Segundo ele, “o mérito das teorias construtivas está em seu alcance, adaptabilidade e clareza; o das teorias de princípio em sua perfeição lógica e segurança de seus fundamentos” (EINSTEIN, 1950, p. 54).

A teoria da relatividade de Einstein parte dos princípios de relatividade e da constância da velocidade da luz, que são idéias anteriores ao corpo da teoria. Por outro lado, existem construções teóricas que partem de pequenas idéias e tentam relacioná-las com outras construções. Lorentz, por exemplo, teve a idéia de elétron e ao associá-lo ao eletromagnetismo de Maxwell tentou explicar outros fenômenos. As leis de Newton e o modelo das bolas de bilhar foram as fontes da teoria cinética e o seu modelo de gases. Porém, tal tarefa é sofisticada e exige a adoção de guias. Dentro de um processo de teorização, os princípios aparecem como guias genéricos, responsáveis pela organização das hipóteses e matematização do real físico, e ainda, cabe a eles de certa forma reger as verificações empíricas.

A categoria de verdade de um princípio

Princípios dentro das ciências empíricas são postos como proposições verdadeiras dentro do sistema de fatos que eles organizam. Mas esta “verdade” é de uma outra natureza que aquela das outras proposições de uma teoria, porque os princípios não são proposições verificáveis ou demonstráveis.

Cabem aqui algumas considerações feitas por Freire-Maia (1990) sobre a noção de verdade científica. As três definições clássicas para que uma proposição seja verdadeira são: quando for coerente com o restante do nosso conhecimento; quando, posta em prática, realiza o que diz; quando revela uma correspondência com a realidade a que se refere, isto é, entre o pensamento e a realidade. A primeira noção⁵ exclui qualquer “verdade” nova que possa contradizer os conhecimentos já adquiridos, portanto, é demasiado conservadora. A segunda noção exclui qualquer “verdade” que não possa ser posta em prática, assim sendo, o excessivo pragmatismo elimina proposições incapazes de entrar em funcionamento. A última noção define como verdadeiro só o que mostra adequação com os fatos, sendo a “verdade” neste caso, uma relação entre a proposição e a “realidade”; a proposição deixará de ser verdadeira caso a representação da realidade se alterar.

No entanto, qualquer destas três noções de verdade, dentro das ciências empíricas, não pode ser traduzida com eficácia ou sem ambigüidades, devido às sérias restrições impostas a esta noção no seio da comunidade científica: na primeira noção, pode-se dar coerência ao erro; na segunda noção, uma hipótese pode explicar bem um fenômeno e estar errada; na terceira noção, os cientistas vêem os fatos de acordo com suas teorias. Parece emergir destas considerações a necessidade de uma noção de verdade mais adequada.

Para Popper, por mais que os fatos ocorram conforme as predições de uma teoria, nunca se poderá saber se ela é “verdadeira”. Segundo ele, uma teoria ao passar pelo teste empírico é apenas corroborada, ou seja, por mais que a teoria seja corroborada, jamais poderá se dizer ter sido provada. Nesta visão, não existe forma de provar se uma teoria é ou não verdadeira; estamos sempre sujeitos a encontrar no futuro, conseqüências derivadas de uma teoria que sejam incompatíveis com as verificações empíricas. A ciência procura exatamente, teorias cada vez mais corroboradas e, por isto, cada vez mais *verossímeis*.

Popper (1982) sustenta que as conseqüências lógicas de uma teoria podem ser divididas entre as que são verdadeiras (o “conteúdo de verdade” da teoria) e as que são falsas (o “conteúdo de falsidade” da teoria). A diferença entre os dois conjuntos de conseqüências é a *verossimilhança* da teoria, ou quão perto da verdade ela se encontra. Assim, a teoria de Newton

⁵ A primeira noção de verdade se enquadra bem com o conceito de ciência normal em Kuhn (1987).

tem mais verossimilhança que a de Kepler, e a de Einstein mais do que a de Newton. A teoria de Einstein prevê todos os fatos previstos pela teoria de Newton e prevê alguns mais corretamente. Além disso, a teoria de Einstein prevê com êxito fatos que não foram previstos por Newton, como o deslocamento da luz, quando emitida num forte campo gravitacional, para a extremidade vermelha do espectro.

A idéia de *incomensurabilidade de paradigmas* proposta por Kuhn (1987), baseada no fato de que os padrões científicos e definições científicas são diferentes para cada *paradigma*, traz consigo alguns problemas para noção de verossimilhança. Já que as teorias não podem ser comparadas, é impossível sabermos se uma tem mais verossimilhança que a outra. Kuhn aborda este tema tratando da transição do paradigma newtoniano para o relativístico. Os termos compartilhados em ambas as teorias, como a grandeza da massa, assumem significados diferentes: a massa newtoniana é conservada, a massa relativística é conversível em energia. Como esses significados físicos são diferentes, a mecânica clássica não pode ser considerada como um caso particular da mecânica relativística. Assim sendo, negando a possibilidade de comparação, não podemos afirmar se a evolução da ciência avança para a verdade.

Para essa discussão, a posição de Popper sobre a noção de verdade parece mais adequada. Concordamos com ele, na medida em que suas idéias permitem uma compreensão que legitima setorialmente cada teoria, e conseqüentemente os princípios que a suportam. Em desacordo, Kuhn não defende uma aproximação teórica da verdade, ou seja, do real propriamente dito. Nessa concepção, nossos princípios são, enquanto guias teóricos, entes utilizáveis somente pelo poder de solução de problemas.⁶

No caso particular dos princípios a verdade aproximada é bem o que tem insistido Granger (1999) ao sustentar que os princípios não revelam a *categoria de verdade*, mas a de *validade* entendida como sabida. Uma validade mínima significará que o conjunto de princípios de uma teoria não é incompatível, que suas conseqüências não se contradizem; uma validade máxima significará que eles são fecundos dentro de um certo estado da ciência, que eles permitem enquadrar os objetos de uma teoria em uma unidade sistemática e de tirar conseqüências novas. A mutabilidade de princípios, por exemplo, quando da passagem da mecânica clássica para a mecânica relativística ou a para a mecânica quântica não significa sua baixa fundação na realidade; pelo contrário, significa que sua relação com a realidade é suscetível de progresso. Na medida em que a função principal dos princípios é a determinação de objetos de um domínio da ciência, eles são inseparáveis da evolução que podem suportar estes objetos introduzidos e representados. Assim, os princípios científicos têm uma realidade como ponto de partida do conhecimento, mas não uma verdade fixa e definitiva, porque eles podem ser transformados a cada etapa deste processo.

O dilema entre o empírico e o racional

Nas ciências empíricas, podemos discernir duas fontes de conhecimento: a *experiência* e a *razão*. Contudo, o conjunto de dados empíricos fornecidos na primeira não constitui conhecimento, é necessário que sobre ele aja a razão. A razão forma conceitos e constitui categorias, generalizações que ordenam os dados da experiência. Uma vez ordenados, os conceitos

⁶ *Convém ressaltar que, a solução de problemas na perspectiva kuhniana é tarefa diretamente ligada às “generalizações simbólicas” e “exemplares”. O sentido de um princípio, tal como apresentado neste artigo, coaduna-se mais fortemente com a idéia kuhniana inicialmente denominada de “paradigmas metafísicos” ou “partes metafísicas dos paradigmas”, que foi posteriormente revisada e relacionada à “... compromissos como crenças... – acarretando conseqüências importantes – ao longo de um espectro que abrange desde modelos heurísticos até ontológicos... desse modo, auxiliam a determinar o que será aceito como uma explicação ou como uma solução de quebra-cabeça...” (KUHN, 1987, p. 228-229).*

podem ser combinados em sistemas hipotético-dedutivos capazes de explicar, prever e inferir sobre o mundo empírico. O progresso científico pode ser medido por grau de avanço na ciência teórica melhor que pelo volume de dados empíricos. A ciência contemporânea não é apenas experiência, porém teoria mais experiência planejada, executada e entendida à luz de teorias (BUNGE, 1974).

Dentro das filosofias racionalista e empirista, como enquadrar os princípios das ciências empíricas em uma destas tradições? Seriam os princípios das ciências empíricas a própria evidência dos fatos? Ou atributos da razão em adequação ao real? São eles leis empíricas, ou princípios racionais? De acordo com PATY (1995), deve-se considerá-los implicitamente como os dois juntos, inseparavelmente, mesmo que uma formulação privilegie um ou outro aspecto. Tal ambivalência é atestada na qualificação das três leis de movimento de Newton. Para Newton, são fatos, mas podem também ser considerados princípios, no sentido em que, a partir deles, toda a mecânica dos corpos em movimento pode ser deduzida, mediante métodos de cálculo adequados. Por outro lado, d'Alembert apoiado em sua epistemologia fundamentalmente racionalista, os chama unicamente de princípios, e os desloca em relação às definições de Newton, referindo-os explicitamente ao real. Eles formam a base e o fundamento conceitual de todo o sistema da mecânica clássica. Mas é evidente que eles não são de modo algum empíricos. O princípio de inércia não é, absolutamente, evidente e faz referência a um pensamento muito afastado da experiência imediata.

A este respeito Poincaré (1984, p. 82), escreve: “um corpo que não está submetido a nenhuma força só pode ter um movimento retilíneo e uniforme. Será essa uma verdade que se impõe, a priori, ao espírito? Se fosse assim, como teriam ignorado os gregos?”. Mais adiante ele acrescenta, “o princípio de inércia, que não é uma verdade a priori, seria então um fato experimental?”. Ainda, segundo ele, Newton ao escrever “Princípios”, considerava-os como verdade estabelecida e demonstrada experimentalmente. No entanto, uma lei experimental está sempre sujeita à revisão; dever-se-ia estar preparado para vê-la algum dia substituída por uma lei mais precisa? Entretanto, por que o princípio de inércia não será abandonado ou corrigido? Precisamente porque ele não poderá, nunca, ser submetido a uma prova decisiva. Citamos Poincaré:

Essa lei, verificada experimentalmente em alguns casos particulares, pode ser estendida, sem medo, aos casos mais gerais porque sabemos que, nesses casos gerais, a experiência não a pode contrariar nem confirmar. (POINCARÉ, 1984, p. 86).

Essa força de generalização pode também ser apreciada no PCE, escapando assim aos ataques da experiência, já que é possível a redefinição de novas formas de energia, quando o princípio aparentemente falhar. Poincaré em *A Ciência e a Hipótese* afirma: “só nos resta um enunciado para o princípio de conservação da energia: existe alguma coisa que permanece constante”. Nitidamente esta frase explicita uma falta de imagem para a energia. Apresentado desta forma, o princípio parece ser anterior à experiência. Nesta direção, o próprio Poincaré escreve em seguida que: “o princípio de conservação da energia, baseado na experiência, não mais poderia ser por ela falseado” (POINCARÉ, 1984, p. 106). Mas, em outro momento, ele escreve também que a percepção de que algo se conserva é proveniente de constatações com o mundo, tendo, pois uma dimensão empírica. Recaímos então à dualidade.

Einstein (1998) estabelece um lugar para a razão e para a experiência, no processo de teorização. Para ele, a razão constitui a estrutura do sistema. Os resultados experimentais e suas imbricações mútuas podem ser expressos racionalmente mediante proposições dedutivas. É nesta possibilidade de representação que se situam o sentido e a lógica dos princípios que formam a base do sistema como um todo. Princípios se revelam como invenções espontâneas do espírito humano que não podem ser justificados a priori. No seu ponto de vista princípios são:

A parte inevitável, racionalmente incompreensível da teoria. Porque a finalidade precípua de toda teoria está em obter estes elementos fundamentais irredutíveis tão evidentes e tão raros quanto puderem ser, sem obviar da adequada representação de qualquer experiência possível. (EINSTEIN, 1998, p.148).

A posição de Einstein reflete uma noção mais voltada para o caráter racional na elaboração de um princípio; por outro lado, esta elaboração está condicionada pelos fatos observados. Naturalmente a experiência se impõe como único critério de comprovação da veracidade destes construtos. Entretanto, esses princípios podem ser sugeridos pela experiência, porém, em caso algum, deduzidos a partir dela. Mas essa é bem a posição de Bachelard ao dizer que “um empirismo sem leis claras, sem leis coordenadas, sem leis dedutivas, não pode ser nem pensado, nem ensinado; um racionalismo sem provas palpáveis, sem aplicação à realidade imediata não pode convencer plenamente” (BACHELARD, 1988, p. 5).

A incerteza sobre a natureza dos princípios não nos dá subsídios para concebermos com clareza se estes são *puros dados* ou *legítimas construções*. Parece-nos, que ambas formulações são plausíveis e simultâneas em uma relação dialética.

O valor heurístico de um princípio

Um princípio tem como função servir de guia a restrições de leis possíveis, uma função evidentemente teórica que, no entanto, não é suficiente para a construção de uma teoria; porém, exercendo esta função, um princípio é capaz de limitar consideravelmente as possíveis arbitrariedades dentro de um sistema teórico (PATY, 1993). Quer dizer, dentre as várias hipóteses a serem lançadas no processo de construção teórica, temos condições de restringir e simplificar uma série de formulações para leis de uma certa classe de fenômenos. Sob esta tutela, podemos afirmar, por exemplo, a impossibilidade do *moto-perpétuo*.

As máquinas de moto perpétuo são máquinas cujo movimento é auto-alimentado sem necessidade de um agente externo. Muitas foram as tentativas de construção de artefatos dessa espécie, utilizando-se fenômenos relativos à força gravitacional, aos magnetos, a capilaridade, ao empuxo etc. Hoje, com base nos princípios da termodinâmica, é invalidada a priori qualquer tentativa de construção de máquinas dessa espécie. Caso aceitássemos esta possibilidade, isto implicaria na violação do primeiro princípio (de conservação da energia), que possibilitaria criar energia do nada e, do segundo princípio (do aumento da entropia), que possibilitaria reaproveitar o calor na produção de ciclos infundáveis. Estas proposições encaixam-se perfeitamente dentro dessa função dos princípios e garantem necessariamente que, não é preciso construir máquinas desta espécie, pois de antemão, esta possibilidade é negada.

No processo de construção teórica, um princípio joga um papel importante, devido à sua capacidade de viabilizar descobertas experimentais imprevistas. Ou seja, a realidade à qual nos referimos, nesse processo, pode revelar novos elementos antes desconhecidos que, pela força de um princípio, passam de simples correções matemáticas ou “falta de algo” a um produto real. Falamos aqui de predizibilidade. Esta propriedade heurística dos princípios é atestada com maior clareza no caso concreto da ‘descoberta’ do neutrino⁷ que resumiremos a seguir.

Por volta de 1930, o estudo dos espectros de elétrons emitidos nas desintegrações beta dos corpos radiativos gerava grandes dificuldades. Chadwick demonstrara um aspecto contínuo relativo aos elétrons (raios beta) nucleares, isto é, diretamente oriundos da transformação do núcleo radiativo, que se superpunha às raias monoenergéticas dos elétrons de conversão, que resultavam dos rearranjos dos níveis atômicos em torno do núcleo final. Nessa transição

⁷ Ver PATY (1995), p. 243.

somente uma única partícula, o elétron, energia e , como se tratava de dois estados bem definidos, era esperado que ele apresentasse um única raia, e não um espectro contínuo. Portanto, perdia-se energia na reação. Após diversas pesquisas realizadas para explicar esta perda, diversos físicos (Bohr, Rutherford, entre outros) começam a discutir os limites do princípio de conservação da energia.

Diante do iminente desmoronamento dos princípios sobre os quais foram construídos os alicerces da física teórica moderna, Pauli propõe a existência de partículas emitidas ao mesmo tempo que os elétrons. De maneira que a soma das energias de tal partícula e do elétron fosse constante. Essas partículas, os neutrinos, seriam neutras, de spin $1/2$, massa muito pequena, obedecem ao princípio da exclusão e muito penetrantes. No entanto, vale ressaltar, esta formulação foi criada somente para levar em conta o que “faltava” nas equações, a fim de preservar os princípios fundamentais. Ou seja, o neutrino ainda não era uma partícula física, havia necessidade de verificações empíricas para a comprovação da hipótese.

A teoria construída por Fermi, em 1933, propunha que o neutrino, juntamente com o elétron, formava uma corrente que se acopla à corrente nuclear, através de um campo de força, o campo das interações fracas. A partir da criação da teoria – mesmo não sendo o neutrino mais do que uma função de onda – ele, passa a ser figura indispensável na compreensão deste fenômeno. A teoria seria corroborada na medida em que possuía alto grau preditivo. Foi, certamente, este mesmo poder preditivo que possibilitou a passagem do neutrino de hipótese à realidade, porque a teoria previa justamente a sua capacidade de interação. A interação dos neutrinos sobre os núcleos é um processo inverso da desintegração beta; neste caso os neutrinos são absorvidos, em vez de serem emitidos. Assim, estas interações elevaram o status do neutrino de *efeito*, enquanto simples “falta”; para *causa*, pois interagia com o núcleo, o que deu crédito definitivo à sua real existência.

Além das características de teorização, paralelamente, desenvolvem-se procedimentos experimentais que, partindo da hipótese da existência do neutrino, ou seja, da confiança nos princípios fundamentais, dão partida a um avanço tecnológico buscando melhorias nas técnicas observacionais. Completamos, com isto, o cenário necessário à construção, conforme a predição, de um elemento cuja realidade é construída “artificialmente”. Contemplamos neste palco, as abstrações que fundamentam as teorias: que passam pelos conceitos, símbolos, matematização, mas, imprescindivelmente, pelos princípios.

Uma vez caracterizado o valor heurístico de um princípio, sem dúvida, podemos nos questionar: até quando poderá ser atribuído este valor heurístico a um princípio? Até quando poderemos estender o domínio de aplicação de um princípio? Ou, principalmente, até quando poderemos confiar neles? A resposta proposta por Henri Poincaré parece-nos convincente. Segundo ele, poderemos abandonar um princípio quando:

Ele deixar de ser útil, isto é, quando não mais nos fizer prever, sem engano, fenômenos novos. Estaremos certos, num caso como esse, de que a relação afirmada não é mais real, pois, se tal não se desse, o princípio seria fecundo. A experiência, sem contradizer diretamente uma nova extensão do princípio, o terá, contudo, condenado. (POINCARÉ, 1984, p. 131).

Assim, o valor heurístico de um princípio está em sua fecundidade, na sua capacidade de gerar ou restringir novos conhecimentos, o que faz que acreditemos com tanta certeza nos resultados produzidos. Não seria por outro motivo, pois, uma ciência se constrói sobre bases sólidas, caso contrário, viveríamos somente de conjecturas.

O tratamento dos princípios em livros didáticos

Embora outros princípios (quantidade de movimento, conservação de carga) sejam também alvo explícito de situações de ensino, nós restringiremos aqui a análise do Princípio de Conservação de Energia (PCE) por questões metodológicas, já que cada princípio demandaria uma análise específica em seu domínio fenomenológico, uma tarefa extensa ao alcance de um único trabalho. Mas, isto não implica que nossas considerações não são aplicáveis às demais classes de princípios, bem como a outros domínios fenomenológicos.

Assumindo uma série de restrições, entre as quais que o conhecimento seja compreensível aos alunos e coerente com o conhecimento científico de física, decorre das orientações presentes na grade curricular do Ensino Médio brasileiro que, em geral, o PCE seja introduzido na 1ª. série de tal nível, no estudo de *mecânica*. Em uma progressão típica de pré-requisitos, neste ponto, os alunos já tiveram contato com as leis de movimento de Newton e a exploração de suas conseqüências em problemas. Em raras exceções a lei da gravitação universal de Newton intercala-se a estes conteúdos. Assim, o estudo do valor do PCE em livros didáticos passa pela apreciação dos textos de mecânica, no qual seu enunciado é expresso.

Um educador, ao buscar subsídio em um livro didático ao ensino de mecânica, no nível educativo supracitado, irá encontrar *energia* definida como:

- Na física, costuma-se introduzir o conceito dizendo que a energia representa a capacidade de realizar trabalho (MÁXIMO & ALVARENGA, 2000, p. 306).
- Podemos dizer que um sistema ou um corpo tem energia quando tem a capacidade de realizar trabalho (BONJORNO *et al.* 1992, p. 215).
- Trabalho é uma grandeza que mede a energia de um corpo, e um corpo tem energia quando é capaz de realizar trabalho (GASPAR, 2000, p. 193).
- Energia está relacionada à capacidade de produzir movimento (PARANÁ, 1998, p. 266).

Como podemos ver, as descrições gerais sobre energia partem da relação entre energia e capacidade de realizar trabalho, quando uma força constante é exercida em um corpo em um movimento unidimensional. Esta relação é então, apresentada na seguinte equação:

$$W = F \cdot x = \frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2$$

Temos por este caminho, definida, a *energia cinética de um corpo*, e posteriormente as *energias potencial, gravitacional e elástica*. Nós não iremos fazer considerações sobre os problemas conjugados à definição acima, uma vez que críticas já foram bem colocadas em outros trabalhos (DUIT, 1981; TRUMPER, 1991; BÉCU-ROBINAULT & TIBERGHIE, 1998). Trataremos por enquanto, de focalizar o papel do PCE nos livros didáticos após estas definições, embora saibamos que não será possível evitar o reencontro com estes problemas. Ressaltaremos apenas a exigência (ou pressão) curricular de conectar o conhecimento veiculado anteriormente com o atual (CHEVALLARD, 1985). Neste caso, a articulação das leis de movimento com o PCE.

Numa progressão típica, encontramos logo após as definições de energia as primeiras noções de conservação, restritas inicialmente à *energia mecânica*. Um texto (MÁXIMO & ALVARENGA, 2000) afirma que se atuarem apenas forças conservativas sobre um corpo em movimento a soma das energias cinética e potencial será constante em qualquer ponto da

trajetória. Um outro (BONJORNO *et al.*, 1992) segue a mesma linha ao dizer que em um sistema conservativo a energia mecânica total permanece constante qualquer que seja a transformação ocorrida no sistema. Existe, portanto, uma tendência em partir de definições do tipo: “*some as formas de energia que haverá conservação*”. Nesse caminho, o PCE aparece como decorrência puramente empírica. Parte-se do particular ao geral, num percurso indutivo, característico da tradição empirista. Mas isso não se ajusta às considerações epistemológicas anteriormente propostas. Na verdade, quando recorremos à epistemologia fica clara a constatação de que a definição de novas formas de energia decorre do PCE. Isto é, a idéia de energia só ganha sentido pelo fato de se conservar.

Deixe-nos, então, apresentar o enunciado mais comum do PCE em livros didáticos: “A energia pode ser transformada de uma forma em outra, mas não pode ser criada nem destruída; a energia total é constante”. Em alguns textos (MÁXIMO & ALVARENGA, 2000; BONJORNO & CLINTON, 1992) o PCE é apresentado logo após a definição da energia e da sua conservação em sistemas mecânicos puros. Outros, porém, preferem limitar-se à conservação da energia mecânica (CHIQUETTO *et al.*, 1996; GASPAS, 2000). Poucos introduzem o conteúdo a partir do enunciado do princípio (Paraná, 1998). Embora a localização ‘geográfica’ do enunciado seja distinta dentro dos diversos livros didáticos, encontramos seqüências didáticas muito parecidas, partindo das definições para as aplicações. Paradoxalmente, as definições postuladas são justificadas pelo campo de fatos empíricos do qual o princípio foi retirado, pretensamente, via experiência. Há um jogo entre pólos extremos, originalmente desconexos, sem a devida atenção ao processo de criação, as intervenções humanas, responsáveis pela sua ligação. Esta observação nos leva a uma conclusão provisória que seria a seguinte: a maneira de tratar a relação entre teoria/modelos e objetos/eventos, tal como é encontrada nos livros didáticos, é precária e interfere fortemente na valoração atribuída ao PCE. Voltaremos a este ponto.

No resto, encontramos às vezes no final dos capítulos, para os autores que se propõem a discutir um pouco mais o PCE, *Tópicos Especiais*, nos quais são tratados: velocidade de escape, relação massa-energia, aniquilação de um par etc. Com pequenas variações de autor para autor, assim se configura a progressão típica em um livro texto até o nosso ponto de interesse.

O papel do PCE nos livros didáticos

Ao focalizarmos o papel do PCE em livros didáticos, emerge a questão de saber se seu tratamento mantém a dimensão *heurística* que evidenciamos na discussão a respeito das Ciências Empíricas. Para tanto, após esta breve incursão sobre como o PCE se insere nos textos de mecânica clássica, passaremos a investigar alguns exemplos em maior detalhe a fim de esclarecermos nosso ponto de vista.

Por se tratar de um atributo importante do saber escolar, os livros didáticos de física precisam implementar atividades na forma de problemas/exercícios. No caso do PCE, os livros mostram que se usando o fato da EM_I (energia mecânica inicial do sistema) for igual a EM_F (energia mecânica final do sistema), a solução do problema é mais simples. Os livros didáticos, em geral, apresentam situações para as quais o PCE pode ser operacionalizado. Retoma-se uma série de problemas cuja solução se obtém através do uso de considerações sobre o movimento (cinemática) e as leis de Newton (dinâmica), e apresenta-se a solução baseada no PCE. Um problema *exemplar* deste tipo é o da *queda livre*. Ele se resume ao abandono de um corpo a certa altura do solo, do qual pretende-se obter a velocidade final. Esse problema poderia facilmente ser solucionado com a *equação de Torricelli*, uma conhecida relação de cinemática. O interesse nesse tipo de problema está em mostrar como velhos problemas podem ser resolvidos de maneira mais econômica com o uso da idéia de conservação.

Em outras ocasiões, apresenta-se situações impossíveis de ser enfrentadas a partir das leis de movimento de Newton e, portanto, carecem do auxílio de outras *estratégias de resolução*. É o caso *exemplar* do *looping*, talvez o problema preferido dos autores de livros didáticos ao abordarem tal assunto. Nesse caso, o problema clássico consiste em encontrar o menor valor da altura h (ver Fig. 1) que um corpo deve ser abandonado para que efetue a trajetória completa. Recorrendo à equação de conservação de energia mecânica e a suposição que no topo da trajetória a força centrípeta será mínima, obtém-se a altura h mínima de onde qualquer corpo deve partir. Para um sistema sem rolamento encontramos $h = 2,5 r$.

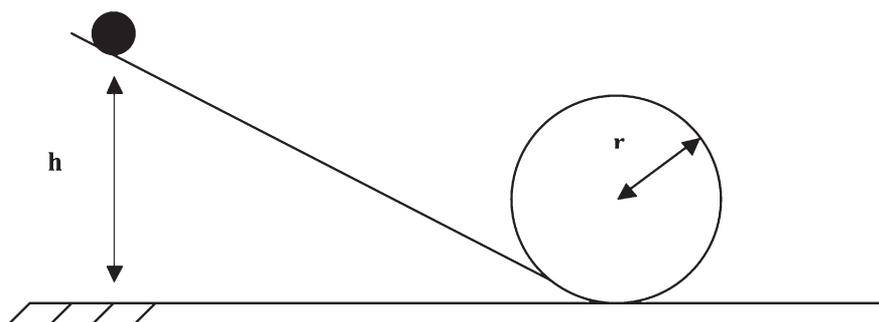


Fig. 1

Embora se deva reconhecer a adequação didática desses problemas *prototípicos*, em termos de operacionalidade de atividades, o que o PCE nos mostrou de novo? O que o PCE nos fez pensar que não sabíamos, ou não esperávamos previamente? Enfim, quais restrições assumimos em favor dele? Ao que parece, esse tipo de atividade não exige nenhum trabalho criativo. No caso particular do *looping*, o uso do PCE apenas oferece *economia* cognitiva na determinação da altura h , pois se exige somente uma certa destreza para efetuar os cálculos. Um papel coadjuvante! Não obstante, nos livros didáticos existe uma quantidade exorbitante de problemas desse tipo, nos quais não há mudança significativa de perfil além da alteração das variáveis desconhecidas.

Neste quadro, nós estamos autorizados a concluir, que o PCE serve meramente como mais um algoritmo para solução de problemas numéricos. De tal postura reducionista, ele não nos faz, concebivelmente, pensar sobre o domínio fenomenológico da mecânica; logo, não é entendido como um *guia heurístico*. Sua legitimidade estaria assegurada somente pela garantia de conhecermos e manejarmos, sem maior desconforto intelectual, as relações matemáticas entre as variáveis em jogo nos problemas, uma perspectiva parcial e meramente quantitativa. Nossa interpretação é confirmada nas próprias palavras de autores de livros didáticos:

Os exemplos que apresentaremos a seguir destinam-se a ajudá-lo [o estudante] a entender melhor os fatos relacionados com a conservação da energia. Além disso, veremos que a aplicação da conservação da energia torna mais simples a solução de alguns problemas que, se abordados de outra maneira, poderiam apresentar maiores dificuldades ao serem resolvidos. (MÁXIMO & ALVARENGA, 2000, p. 324) (grifo nosso).

Os autores reconhecem na idéia de conservação de energia apenas a virtude pragmática de facilitar a solução de problemas, em consonância com o estilo de pensamento por nós

acima invocado. Uma tal maneira de pensar está fundamentada na quantificação de valores e acaba por obliterar o caráter *heurístico* do PCE. A manipulação criativa de idéias que o cientista empreende na sua prática desaparece no contexto escolar.

Os resultados da análise acima nos levam a concluir que existe uma mudança de estatuto epistemológico do princípio de conservação de energia na sua transposição da ciência para o ensino de ciências. Nas ciências físicas o PCE, assim como os demais princípios físicos, é uma entidade abstrata que auxilia no desenvolvimento de conseqüências e na limitação das arbitrariedades de um sistema teórico. Enquanto no ensino da física o PCE adquire um caráter mais operacional de treinamento, de exercício, em vez de ferramenta intelectual para a construção de modelos de apreensão do real. Isto nos leva a considerar duas conseqüências cruciais: (1) existe uma frágil relação entre teoria/modelos e objetos/eventos nos livros didáticos; disso decorre que (2) o tratamento dos princípios nesses livros didáticos assume o papel de técnica adicional para a resolução de problemas fechados.

Conclusão e implicações educacionais

No domínio das ciências empíricas, consideramos que *idealização* e *aproximação* são essenciais. Quando cientistas interpretam ou prevêm fatos experimentais, eles não o fazem através de pura dedução matemática ou lógica. Eles procuram conquistar conceitualmente a realidade num processo que se inicia através de simplificações e estabelecimento de propriedades comuns aos objetos investigados. Isso culmina numa relação qualitativa/quantitativa entre a teoria e os objetos conceituais. Originalmente, em sua generalidade, as abstrações da teoria não se comunicam com os dados empíricos. Daí surge a necessidade de estruturas teóricas intermediárias, conhecidas na literatura como modelos. Nós nos referimos aqui à abordagem de Giere (1990) que compreende uma teoria como “uma população de modelos, e várias hipóteses ligando estes modelos com sistemas do mundo real” (p. 85). Nesta perspectiva, interpretar e predizer operacionalizam-se no processo de modelização, num terreno povoado por três dimensões: teoria, modelo e mundo real.

A didática das ciências reconhece o potencial envolvido na idéia de modelos e sua centralidade nas tarefas dos cientistas. Diversos trabalhos (TIBERGHEN, 1994; BUCKLEY & BOULTER, 2000) têm enfatizado a necessidade de se conduzir o ensino de ciências com enfoque nos processos de *modelização*. Em parte, tal sugestão decorre da dificuldade dos estudantes estabelecerem relações entre os *modelos físicos* ensinados e os fenômenos no mundo (GRECA & MOREIRA, 1997; BORGES & GILBERT, 1998; PIETROCOLA & ZYLBERSZTAJN, 1999; CUSTÓDIO & PIETROCOLA, 2002). Na maioria dos casos, ao serem solicitados a explicar ou prever o comportamento de determinados eventos reais, mesmo aqueles abordados na escola, os estudantes confeccionam explicações a partir de uma intuição pouco científica. Assim, no nível das representações mentais, procura-se compreender o tipo de raciocínio dos estudantes na mobilização dos saberes escolares em termos da produção de *modelos*. Nesse sentido, a exploração e a transposição desses saberes em termos de *modelos pedagógicos* deve constituir-se num objetivo dos livros didáticos. Deveríamos esperar que nos livros didáticos houvesse um percurso de *idealizações* e *aproximações* a partir de situações próximas do real. No entanto, a análise anterior demonstrou que há predomínio de exposições teóricas e aplicações na forma de “estratégias” para a resolução de problemas. Os livros didáticos debruçam-se sobre situações previamente *modelizadas*, portanto, não tratam o processo de modelização como atividade didática. Isto significa dizer que, no caso particular do PCE, exemplos *prototípicos* como *looping*, *montanha russa*, entre outros, tendem a limitar as possibilidades de

idealização, aproximação, e também de minimização de arbitrariedades. Elas acabam focando-se prioritariamente no produto e não no processo da atividade científica. Deste modo, não há espaço heurístico para criação conceitual. O objetivo das atividades tradicionais nos livros resume-se exercitar aspectos operacionais do princípio. Esta perspectiva didática dificulta a possibilidade de substanciá-lo na forma de *guia heurístico*.

Assim, consideramos necessária a mudança de perspectiva pedagógica na apresentação dos princípios nos livros didáticos a fim de contemplar, pelo menos em parte, a elaboração de *modelos*. Tal tarefa exigiria incentivar a atividade de criação dos estudantes na construção de significados balizados na validade dos princípios. Isso requer a apresentação de situações físicas *não modelizadas*, em forma “bruta”, não idealizadas e abstraídas. Nesta via, reforçaríamos a mobilização dos saberes científicos na construção de representações em situações distintas daquelas tratadas no contexto escolar. Em tais situações, a riqueza *heurística* do princípio estaria sendo explorada e não apenas aspectos operacionais do mesmo.

Nós afirmamos que seria um caminho interessante e viável apresentar o princípio de conservação de energia com suas dimensões empírica e racional, enfatizadas na discussão epistemológica precedente e, a partir disto, elaborar *modelos* para eventos mais próximos da realidade nos quais as diversas faces da energia aparecessem. Isso requer a revisão de seqüências didáticas que permeiam os livros didáticos. Por outro lado, a apropriação de princípios na figura de *guias heurísticos* favoreceria a mobilização dos saberes aprendidos para outros contextos, nos quais os compromissos com a disciplina se dissipam e o *desejo de entender* o mundo se apossa das ferramentas cognitivas mais ricas.

Referências

ASTOLFI, J. P. Los obstáculos para el aprendizaje de conceptos em ciencias: la forma de franquearlos didácticamente. In: PALACIO, C.; ANSOLEAGA, D.; AJO, A. (Org.). **Diez años de investigación e innovación en enseñanza de las ciencias**, Madrid: CIDE, 1993.

BACHELARD, G. **La philosophie du non**. Paris: Presses Universitaires de France, 1988.

BÉCU-ROBINAULT, K. & TIBERGHIE, A. Integrating experiments into the teaching of energy. **International Journal of Science Education**, London, v. 20, n. 1, p. 99-114, 1998.

BORGES, A. T. & GILBERT, J. K. Models of magnetism. **International Journal of Science Education**, London, v. 20, n. 3, p. 361-378, 1998.

BONJORNO, R. F. S. A. *et al.* **Física**. São Paulo: FTD, 1992.

BRASIL. Ministério da Educação e Cultura. Secretaria de Educação Média e Tecnológica. **Parâmetros curriculares nacionais: ensino médio**. Brasília: MEC/SEMT, 1999.

BUCKLEY, B. C. & BOULTER, C. Investigating the role of representations and expressed models in building mental models. In: GILBERT, J. K.; BOULTER, C. J. (Ed.). **Developing models in science education**. Dordrecht: Kluwer, 2000.

BUNGE, M. **Teoria e realidade**. São Paulo: Perspectiva, 1974.

CHEVALLARD, I. **La trasposition didactique**: du savoir savant au savoir enseigné. Grenoble: La Pensée Sauvage, 1985.

CHIQUETO, M.; VALENTIM, B.; PAGLIARI, E. **Aprendendo física**: mecânica. São Paulo: Scipione, 1996.

CUPANI, A & PIETROCOLA, M. A relevância da epistemologia de Mario Bunge para o ensino de ciências. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 19, n. 1, p. 97-122, 2002.

CUSTÓDIO, J. F. & PIETROCOLA, M. Princípios de conservação e construção de modelos por estudantes de ensino médio. In: ENCONTRO DE PESQUISA EM ENSINO DE FÍSICA, 8, 2002, Águas de Lindóia. **Atas... Águas de Lindóia**: SBF, 2002. CD-ROM.

DUIT, R. Understanding energy as a conserved quantity. **European Journal of Science Education**, London, v. 3, p. 291-301, 1981.

EINSTEIN, A. **Out of my later years**. New York: Philos. Library, 1950.

_____. **Como vejo o mundo**. São Paulo: Círculo do Livro, 1998.

FOUREZ, G. **Alfabetización científica y tecnológica**: acerca de las finalidades de la enseñanza de las ciencias. Buenos Aires: Ediciones Colihue, 1997.

FREIRE-MAIA, N. **A ciência por dentro**. Petrópolis: Vozes, 1991.

GASPAR, A. **Física: mecânica**. São Paulo: Ática, 2000.

GIERE, R. N. **Explaining science**: a cognitive approach. Chicago: The University of Chicago Press, 1988.

GILBERT, J. K. & BOULTER C. J. Aprendendo ciências através de modelos e modelagem. In: COLINVAUX, D. (Ed.). **Modelos e educação em ciências**. Rio de Janeiro: Ravil, 1998. p. 12-34.

_____. **Developing models in science education**. Dordrecht: Kluwer, 2000.

GILBERT, J. K.; BOULTER, C. J.; RUTHERFORD, M. Models in explanations, part 1: horses of courses? **International Journal of Science Education**, London, v. 20, n. 1, p. 83-97, 1998.

GIL-PÉREZ, D. Differences entre “models spontanés”, modeles enseignes et modeles scientifiques: quelques implicatios didactiques. In: JIES, 9, **Actes...** Chamonix, 1987.

GRANGER, G. G. Principes scientifiques, principes philosophiques. **Principia**, Florianópolis, v. 3, n. 1, p. 87-99, 1999.

GRECA, I. & MOREIRA, M. A. The kinds of mental representations models, propositions and images used by college physics students regarding the concept of field. **International Journal of Science Education**, London, v. 19, n. 6, p. 711- 724, 1997.

- KOYRÉ, A. **Estudos de História do Pensamento Filosófico**. Rio de Janeiro: Forense, 1991.
- KRAPAS, S. *et al.* Modelos: uma análise de sentidos na literatura de pesquisa em ensino de ciências. **Investigações em Ensino de Ciências**, Porto Alegre, v. 2, n. 3, p. 185-205, 1997.
- KUHN, T. S. **A estrutura das revoluções científicas**. São Paulo: Perspectiva, 1987.
- MÁXIMO, A. & ALVARENGA, B. **Curso de física**. São Paulo: Scipione, 2000.
- NERSESSIAN, N. Should physicist preach what they practice? Constructive modeling in doing and learning physics. **Science & Education**, New York, v. 4, n. 3, p. 203-226, 1995.
- PARANÁ, D. N. S. **Física: mecânica**. São Paulo: Ática, 1998.
- PATY, M. A ciência e as idas e voltas do senso comum. **Scientiae Studia**, São Paulo, v. 1, n.1, p. 9-26, 2003.
- _____. **Einstein philosophe: la physique comme pratique philosophique**. Paris: Presses Universitaires de France, 1993.
- _____. **A matéria roubada: a apropriação crítica do objeto da física contemporânea**. São Paulo: Edusp, 1995.
- PIETROCOLA, M. Construção e realidade: o papel do conhecimento físico no entendimento do mundo. In: PIETROCOLA, M. (Org). **Ensino de física: conteúdo, metodologia e epistemologia numa abordagem integradora**. Florianópolis: UFSC, 2001. p. 9-32.
- PIETROCOLA, M. & ZYLBERSZTAJN, A. The use of the principle of relativity in the interpretation of phenomena by undergraduate physics students. **International Journal of Science Education**, London, v. 21, n. 3, p. 261-276, 1999.
- RUTHERFORD, M. Explanations of colour. In: INTERNATIONAL HISTORY, PHILOSOPHY AND SCIENCE TEACHING CONFERENCE, 3., 1995, Minneapolis. **Proceedings...** Minneapolis: University of Minnesota, 1995. v. 2, p. 979-986.
- POINCARÉ, H. **A ciência e a hipótese**. Brasília: Editora da Universidade de Brasília, 1984.
- _____. **O valor da ciência**. Rio de Janeiro: Contraponto, 1995.
- POPPER, K. **Conjecturas e refutações**. Brasília: Editora da Universidade de Brasília, 1982.
- TIBERGHIE, A. Modeling as a basis for analyzing teaching-learning situations. **Learning and Instruction**, Oxford, v. 4, n. 1, p. 71-87, 1994.
- TRUMPER, R. Being constructive: an alternative approach to the teaching of energy - part two. **International Journal of Science Education**, London, v. 13, n. 1, p. 1-10, 1991.

VAN DRIEL, J. H. & VERLOOP, N. Experienced teachers' knowledge of teaching and learning of models and modeling in science education. **International Journal of Science**, London, v. 24, n. 12, p. 1255-1272, 2002.