

A HISTÓRIA E A EPISTEMOLOGIA NO ENSINO DAS CIÊNCIAS: DOS PROCESSOS AOS MODELOS DE REALIDADE NA EDUCAÇÃO CIENTÍFICA.#

Maurício Pietrocola de Oliveira
Depto. de Física - UFSC*

Para aqueles que já tiveram a oportunidade de se deparar com uma sala de aula no nível da educação básica ou superior, não é novidade que o ensino de ciências seja uma tarefa das mais difíceis. Os alunos têm dificuldade em entender e aplicar os conceitos científicos. Em geral, as disciplinas científicas marcam negativamente a experiência escolar dos estudantes, ao ponto de muitos deles desenvolverem uma fobia a tudo que se relaciona à ciência e aos conhecimentos que ela produz.

Na década de 30, Gaston Bachelard já declarava seu espanto para com a falta de percepção sobre as dificuldades no ensino de ciências, professando a célebre frase: “Eu tenho sido constantemente surpreendido pelo fato dos professores não compreenderem que não se compreenda”. Hoje, nos primeiros anos do século XXI, a frase de Bachelard continua mais atual do que nunca. Os professores ainda não têm clareza sobre o que impede os alunos de aprenderem ciências. Para uns, trata-se de falta de motivação. Para outros, o problema se reduz às estratégias didáticas pouco eficientes. Mas poucos são aqueles que percebem que boa parte dos problemas do ensino se encontra diretamente ligado às características do conhecimento que pretendem ensinar. A defesa deste posicionamento flui diretamente do argumento sugerido pelo bom senso, que nos indica que é delicado falar sobre algo que não se conhece bem. Em grande parte dos casos, os discursos educacionais sobre a ciência subestimam as principais dificuldades da ciência. As dificuldades não se vinculam apenas ao domínio operacional do conhecimento, medido pela capacidade em se resolver problemas científicos padrões. Professores e educadores em geral têm uma idéia muito estereotipada sobre o que seja a ciência, seu funcionamento e o valor intrínseco e extrínseco do conhecimento que ela produz. O que acaba por prevalecer no contexto escolar é o domínio da concepção lógico-positivista da ciência, onde o conhecimento é marcado pelo método empírico universal e pela idéia de verdade absoluta.

publicado no livro *A ciência em perspectiva. Estudos, ensaios e debates*. Organização Ana Maria Ribeiro de Andrade. Rio de Janeiro: MAST: SBHC, 2002. (Coleção História da Ciência, v.1)

* com apoio parcial do CNPq

Análises histórico-epistemológicas revelam que o conhecimento científico é fruto de um complexo processo de construção. A prospecção do mundo natural é feita sob a tutela da razão, da experimentação, da criatividade, das emoções, das influências culturais e sociais, das crenças mais diversas sobre a vida, o futuro, o universo etc. Esta variedade de fatores concorre na produção de uma simples lei científica, embora recitativos ingênuos sobre a ciência acabem por limitar esta complexidade à uma racionalidade auto-evidente.

Considerações de natureza histórica sobre as etapas de elaboração do conhecimento podem facilitar a tarefa de ensino-aprendizagem das ciências, pois através delas pode-se compreender por que não é simples compreender. A negação da trivialidade sobre o compreender se torna pedra de toque de um ensino revigorado, pois é através de análises com perfil histórico que se pode abarcar a dimensão do complexo que envolve a prática científica e o conhecimento por ela produzido. Um ensino de ciências pode melhor se situar no campo das construções do intelecto humano com o auxílio dos estudos históricos, iluminando conteúdos que de outra forma tendem a ser entendidos sob o clichê da realidade evidente, da objetividade imediata, da verdade absoluta. Sem um verdadeiro compromisso com a compreensão dos processos históricos que permitiram ao intelecto humano produzir os conhecimentos que hoje nos permitem entender e agir face a uma realidade que nos depassa, somos como cegos tateando no universo educacional e induzindo nossos alunos a uma falsa imagem deste mundo.

Não há como evitar, na análise dos processos de ensino/aprendizagem, a tarefa de refletir sobre o conhecimento que se espera seja aprendido. Desta forma, a imagem que fazemos da ciência dirige parte importante das ações no ensino. Alguns problemas detectados nesse processo estão diretamente relacionados com uma imagem muitas vezes distorcida e estereotipada desse conhecimento, resultante de uma análise superficial do mesmo. Um fato diversas vezes expresso por professores é a constatação que os alunos erram em trechos considerados "simples" da matéria. O professor muitas vezes surpreende-se em constatar que conteúdos considerados "fáceis" no seu entender, não são facilmente assimilados pelos alunos. A origem deste problema vincula-se ao fato da "facilidade" ser um atributo relativo. Ou seja, os conteúdos são fáceis em relação aos professores de ciências, pois estes são submetidos a uma formação de longo prazo antes de adentrar à sala de aula. A aparente sensação de simplicidade que o conhecimento científico inspira àquele que já o detém é resultado de uma ilusão enganosa, que reduz todo processo de formação vivenciado nos cursos à acumulação de informações e

desenvolvimento de habilidades operacionais, como a linguagem matemática, as práticas laboratoriais, os métodos computacionais etc.

Essa imagem da ciência, no entanto, não resiste a uma abordagem epistemológica mais rigorosa. Na verdade, ao longo de sua formação, um cientista adquire a capacidade de olhar o mundo segundo pressupostos muito particulares, definidos por teorias construídas historicamente, que inconscientemente "filtram" seu questionamento, modelando suas estruturas de entendimento.¹ Conceitos fundamentais tais como espaço e tempo, energia, seleção natural, herança genética, são resultados de processos históricos ocorridos ao longo dos últimos três séculos e integram a estrutura operatória de um cientista, capacitando-lhe na tarefa de interpretar e descrever o mundo. Esses aspectos do conhecimento habilitam o cientista na seleção de fenômenos, na proposição de problemas e na busca de resposta. Em geral, a ciência escolar desconsidera o valor intrínseco dos conceitos científicos, apresentando-os como partes inerentes à realidade. Discussões sobre os processos que levaram à formulação dos conceitos são evitadas, por serem muitas vezes rotuladas de metafísicas ou importância, e por não executarem nenhuma função específica no ensino. No entanto, elas são cruciais na formação das estruturas de entendimento que permitem transformar o mundo real em um mundo inteligível. Para alguns autores, este procedimento de "alienação epistemológica" é benéfico no dia-a-dia de pesquisa de um cientista. Segundo Thomas Kuhn (1987), a ciência avança no interior das comunidades de pesquisa à medida em que é capaz de limitar os questionamentos internos, caso contrário afetaria a capacidade de aprofundamento das teorias dominantes.

Esta atitude, porém, não tem trazido conseqüências benéficas para o ensino de ciências. Evitando tais discussões, o professor torna-se agente "filtrante" no processo de ensino, selecionando previamente os elementos que serão objeto de reflexão por parte dos alunos. Ao invés de favorecer o desenvolvimento de capacidade analítico-crítica, o ensino se interpõe de forma dogmática entre o estudante e o mundo natural, fornecendo-lhe um conhecimento já depurado. Dentro deste contexto, concordamos plenamente com a afirmação de A. Giordan para quem "a importância da 'análise da matéria' reside no fato

¹- Essa visão epistemológica da ciência é sugerida por filósofos da ciência, como Bachelard, Popper, Kuhn, Lakatos, Feyrabend entre outros, que nesse século opuseram-se a corrente positivista. Entre eles citamos.

que ela é uma condição e um antecedente necessário a um ensino renovado em profundidade".²

O conhecimento científico e suas dimensões espacial e temporal.

Uma análise em profundidade do conteúdo da ciências permite visualizar sua organização em duas dimensões complementares. Uma delas se vincula à forma como os conceitos se interrelacionam no interior das teorias. Chamaremos esta dimensão de *espacial*. A outra mostra a elaboração e evolução das teorias ao longo do tempo. Chamaremos esta dimensão de *temporal*.

A *dimensão espacial* do conhecimento científico se manifesta quando observamos que seus elementos não se apresentam de maneira isolada. As teorias produzidas no interior das ciências são estruturas nas quais conceitos, princípios, leis, convenções, etc, são articulados por regras bem definidas³. No caso das ciências físicas (Física e Química), a linguagem matemática confere precisão e solidez às teorias gerando estruturas lógico-formais. A disposição do conhecimento em estruturas conceituais, confere-lhe uma coerência interna muito grande. Os elementos constituintes destas estruturas arranjam-se no interior das mesmas de forma harmoniosa, respeitando uma lógica rígida, onde todos elementos interrelacionam-se via operações formais. Por exemplo, dentro da Mecânica Newtoniana, os conceitos básicos de massa e força relacionam-se entre si, produzindo as três leis da dinâmica e a lei da gravitação universal. Esta estrutura conceitual compõe um referencial completo para a interpretação do movimento dos corpos macroscópicos e dos astros. Os conceitos da mecânica e as quatro leis completam-se e explicam-se mutuamente no interior da estrutura.

As estruturas conceituais bastam-se a si mesmas, ou seja são *auto-contidas* pois demonstrações e/ou explicações são produzidas exclusivamente no seu interior. As estruturas são também sistemas *coerentes*, negando a possibilidade de contradição interna. Os elementos na estrutura encadeiam-se uns aos outros, formando uma rede conceitual onde cada um pode ser ponto de partida ou de chegada de seqüências dedutivas.⁴ A partir da escolha de alguns elementos da estrutura como fundamentais, obtém-se todos os outros elementos através de deduções lógico-matemáticas. Por exemplo, pode-se iniciar a apresentação da teoria eletromagnética pela definição de carga e campo elétrico e daí deduzir os conceitos de força e energia. Ou ao contrário,

²-Giordan (1983), p. 48.

³- Salém (1986), Robilotta (1985), Giordan (1983), Astolfi et al (1989).

⁴- idem

definir carga e força e deduzir os conceitos de campo e potencial elétrico. Ainda é possível formular questões internas à própria estrutura, do tipo: "por que a força elétrica diminui com o quadrado da distância?", cuja resposta seria: "isso ocorre pois o divergente do campo elétrico é proporcional a densidade de carga." Tal procedimento pode ser demonstrado matematicamente, aumentando a interligação dos elementos. Poder-se-ia ainda inverter a pergunta pela resposta sem violar a coerência da sentença.

A característica "cíclica" do conhecimento é decorrente da forma estrutural como ele está organizado, no qual os conceitos dispõem-se em redes, definindo e sendo definidos no seu interior. Os significados são obtidos não pelos conceitos em si, mas pela função que eles ocupam dentro da estrutura ou rede conceitual. Neste particular, os aspectos micro (conceito) e macro (rede) do conhecimento não podem existir separadamente.

O aprendizado de uma estrutura torna-se algo complicado, quando se tem em mente que não há um caminho preferencial de apresentação dos elementos que a compõem. Deve-se dar conta ao mesmo tempo dos aspectos micro e macro da estrutura se se espera ser bem sucedido na tarefa de habilitar alguém a apreendê-la. Os conceitos só se tornam compreensíveis tomando-se como referencial as estruturas nas quais eles estão incorporados. E as estruturas só fazem sentido quando já se dispõe dos seus elementos. Findo o processo de apreensão de uma estrutura, torna-se evidente o significado de seus elementos, pois é possível então identificar a função que cada um exerce dentro da mesma.

Robilotta caracteriza o ensino de conteúdos científicos (no caso o conhecimento físico) e as particularidades ligadas à sua disposição em estruturas da seguinte maneira:

"...as explicações que a Física propicia somente fazem sentido completo quando olhadas de dentro da teoria, quando já se sabe Física....para se saber eletrostática é preciso se conhecer bem o campo elétrico, o que só é possível ao se saber eletrostática".⁵

A forma estrutural na qual as teorias apresentam-se é responsável pelo caráter auto-contido do conhecimento científico. Essa característica mascara um grave problema para o ensino de ciências, pois o conhecimento organizado dessa maneira transmite a falsa idéia de simplicidade a qual nos referimos anteriormente. Tendo a estrutura conceitual por referencial e sabendo-se operar no seu interior há o domínio completo do processo e a falsa idéia de simplicidade. Porém, nessa análise não é considerada a

dificuldade na construção da própria estrutura teórica, que depois de completada serve como referencial para as operações cognitivas.

Segundo essa visão ingênua, parece possível ensinar o conteúdo encerrado numa estrutura pela separação dos elementos conceituais nela contidos, definindo e deduzindo-os de maneira isolada, e supondo que toda a teoria tenha sido apreendida. Neste contexto, por um lado, muitas das questões formuladas pelos alunos parecerão para os professores fruto de uma "lógica deformada". Por outro lado, as exposições realizadas pelos professores parecerão para os alunos desprovidas de sentido, consideradas muitas vezes como fruto de um saber "divino" e inacessível. Este impasse sugere que professor e aluno trabalham com perspectivas diferentes do conhecimento, o que torna um diálogo entre eles impossível.

A dimensão temporal do conhecimento manifesta-se quando se toma consciência que as teorias não são fruto de revelações, mas de um complexo processo histórico de construção. O apelo a uma análise histórica permite entender por que as teorias da ciência se distanciam tanto do senso comum. As sofisticadas teorias científicas hoje ensinadas na escola não têm nada de "natural". Na verdade, elas são fruto das tentativas bem sucedidas de compreender o mundo. Neste processo, os obstáculos epistemológicos erigidos pelos conhecimentos anteriores foram ultrapassados, permitindo-se atingir níveis superiores de entendimento.

Nos cursos de ciências em geral, o ensino das teorias é raras vezes acompanhado por discussões históricas que enfoquem seu processo de construção. Quando o fazem, apelam para um ingênuo processo de revelação a partir da observação sistemática dos fenômenos, onde cientistas superdotados são capazes de "ver" aquilo que é ocultado dos demais seres humanos. A dinâmica histórica da atividade científica é substituída por um monótono encadeamento linear de fatos observados e leis inferidas. A descrição da ciência escolar se revela atemporal e marcada por reconstruções históricas que expurgam a dúvida, o debate, o erro e a revisão que constituem a essência da atividade científica. Nesta pseudo-história, valoriza-se a clarividência de poucos em detrimento da capacidade de todos.

Assumindo-se o conhecimento da ciência como a-histórico, nega-se a possibilidade de inseri-lo dentro de um contexto de construção, onde a aceitação das seja fruto de um processo lento de maturação e adequação das formas de entendimento aos fenômenos estudados. Nesta visão, o conhecimento não é entendido como meio para

⁵- Robilotta (1988), p. 17.

alcançar um objetivo, mas muitas vezes um fim em si próprio. Cria-se o mito da relação direta entre o conhecimento científico e a realidade natural, onde a humanidade é mera coadjuvante, na medida em que ela não participa do processo de elaboração do conhecimento, mas simplesmente intermedia a revelação deste último. O conhecimento científico, subtraído momentaneamente à nossa percepção, aguardaria somente o momento de ser "descoberto"⁶ por uma consciência superior, revelando-se de uma só vez. Esta posição reflete a subserviência do processo da ciência a um método universal que funcionaria apesar da imperfeição dos indivíduos que dela participam. Como precisa F. Cruz

“...na física estamos acostumados com o resultado de um conhecimento que funciona, que aparentemente está aí, que dá certo e no qual a gente acredita, tem fé. Uma coisa que está por detrás disto... é que o conhecimento em Física se pretende seja incorruptível, a-histórico, sem dinâmica, mais ou menos eterno.”⁷

As qualidades operacionais da ciência, enquanto conhecimento que funciona e descreve de maneira precisa os fenômenos naturais, acaba por conferir-lhe *status* de verdade absoluta e atemporal. Segundo essa visão, entender as teorias passaria por dominar a estrutura teórica acabada, operacionalizando-a nas diversas situações a que ela se propõe, afim de obter resultados quantitativos. Nessa prática, não seria necessário (talvez nem acessível ao indivíduo comum) conhecer "como" tal conteúdo foi obtido.

Um reflexo claro dessa concepção aparece na apresentação das teorias nos cursos tradicionais de ciências sem nenhuma referência a suas raízes históricas. Nos cursos de Física, por exemplo, não se apresenta o que hoje chamamos de teoria "Eletromagnética Clássica" como uma etapa no processo histórico de interpretação de um certo grupo de fenômenos físicos. Normalmente opta-se por expô-la de forma axiomatizada, partindo de conceitos como carga e campo/ou força e relacionando-os pelas quatro equações básicas (equações de Maxwell). Salvo exceções, em nenhum momento ela é confrontada a teorias concorrentes. O confronto com sistemas explicativos diferentes evidenciaria a participação da dúvida na construção do conhecimento e debate acerca dos critérios que permitiram a substituição de uma corrente teórica por outra. Na maioria dos cursos, a lei de Coulomb, proposta no final do século XVIII, é apresentada paralelamente ao conceito de campo elétrico. Porém, até meados do século XIX, as

⁶- "De descobrir, tirar cobertura, véu, tampa... deixando a vista." Novo Dicionário da Língua Portuguesa, A. Ferreira.(1975)

⁷- CCEF (1988), p. 76.

ações entre cargas elétricas aconteciam através de ações instantâneas a distância e não eram mediadas por campos de natureza eletromagnética.

Essa forma de conceber a ciência desloca as suas atividades do eixo da ação humana em direção àquela dos gênios e super-dotados. Ela é responsável pela propagação de uma imagem distorcida da ciência, gerando uma inferioridade do indivíduo frente a um conhecimento que deu certo, que apresenta resultados concretos, que funciona e não poderia ser fruto direto da atividade humana, tão imperfeita e provisória.

Os estudos em História e Epistemologia da ciência (HEC) fornecem elementos que permitem reflexões mais profundas sobre a atividade científica, enfraquecendo consideravelmente o mito das verdades definitivas e do empiricismo e frisam o caráter eminentemente humano do conhecimento enquanto construção.

A história da ciência no contexto da educação científica

Apesar do sucesso das últimas décadas, não se pode considerar que o uso da HEC no ensino seja uma tendência moderna. Bacon, já no século XVII reclamava um ensino de ciências calcado na sua história (Merton, 1984, apud Cassonato, 1993). No início do século XX, Langevin(1992) apontava o valor da história da ciência numa perspectiva educacional, frisando que:

“ acreditar que temos apenas conclusões a tirar de princípios definitivamente adquiridos é uma idéia absolutamente errada, que põe em perigo o valor educativo da ciência”.

Nas décadas seguintes, várias tentativas editoriais tentaram colocar em prática a proposta de ensinar ciências através de sua história. W. Taylor (1941), lança na década de 40 o livro *Physics, the pioneer science*, destinado aos estudantes de nível médio e apresentando os conteúdos da Física numa perspectiva histórica. Nas décadas de 50 e 60, Geraldo Holton produziu excelentes materiais instrucionais com forte apelo histórico, como o *Foundations of Modern Physical Science*⁸, culminando com o excelente *Projeto de Física de Harvard*⁹. Esta lista poderia ser ampliada, incluindo livros atuais que ou se propõe a fornecer uma abordagem eminentemente histórica da ciência ou fazem forte uso dela.

Entre os críticos sobre o uso da história, destacam-se relatos de Augusto Comte, defendendo o ensino das ciências a partir de exposições dogmáticas de seus produtos

⁸ Holton, 1963

(Cassonato, 1993). Entre as críticas recentes, destaca-se um interessante artigo de Whitaker (1979), questionando o uso feito da História da ciência com propósitos educacionais. Diferentemente das críticas de Comte, ele analisou textos históricos destinados ao ensino de ciências e concluiu que a qualidade é duvidosa na maioria dos casos. Estes textos veiculavam uma história estereotipada da ciência (“wig”), por ele definida como *quasi-história*. A conclusão de seu trabalho indica que seria impossível conciliar os compromissos de um bom ensino com aqueles de uma boa historiografia. Anos mais tarde, Abrantes¹⁰, argumenta na mesma direção. Embora pertinentes, as críticas de Whitaker e Abrantes são hoje apenas marcos importantes na história da pesquisa em ensino de ciências. Hoje parece existir a certeza de que um bom ensino de ciências deve contemplar, de alguma forma, contribuições de natureza histórico-epistemológica.

Este posicionamento se reforça quando avaliamos as contribuições que a HEC forneceram às pesquisas em ensino de ciências. A mais valiosa delas parece ter sido o combate à hegemonia da posição positivista e empiricista sobre a ciência e seu ensino, que marcou profundamente o ensino de ciências do século XX.

A incorporação das discussões epistemológicas e históricas de Kuhn ao contexto do ensino de ciências foi importante na demolição de pelo menos dois obstáculos. O primeiro, puramente epistemológico, impedia de se analisar a ciência como uma empreitada humana, sujeita a erros e acertos e fortemente influenciada pelo contexto socio-cultural. O segundo, de natureza pedagógica, determinava que o ensino de ciências deveria se restringir a oferecer os produtos da atividade científica. Ultrapassar estes dois obstáculos permitiu a adoção de novos posicionamentos para com o ensino-aprendizagem da ciência.

O principal resultado produzido neste contexto de mudanças foi a súbita valorização do conhecimento trazido pelos alunos para a sala de aula. Contando também com as contribuições de pesquisas na área da psicologia cognitiva, onde se destacam os trabalhos de Jean Piaget (1927, 1937, 1946a, 1946b), os erros conceituais dos alunos nas aulas de ciência passaram a ser vistos como formas alternativas de conhecimento sobre o mundo. A introdução de termos como “ciência das crianças”, “concepções intuitivas”, “referenciais alternativos” tornaram-se o foco das discussões sobre o ensino-

⁹ Holton, 1978

¹⁰ CCEF, 1988.

aprendizagem¹¹. O *movimento das concepções alternativas*, como passou a ser chamado, produziu uma grande quantidade de resultados interessantes sobre a forma de pensar dos estudantes de várias idades e países¹². Usando técnicas de entrevistas clínicas originárias da psiquiatria, eles revelaram uma dimensão até então desconhecida e contribuíram para se entender por que as concepções científicas eram recebidas com resistências pelos estudantes. Não se tratava pois de erigir um edifício conceitual num terreno vazio, mas de proceder à substituição de formas de entendimento produzidas pelo senso comum por concepções trazidas do campo das ciências. Em contraste com a forte tendência positivista de conceber a ciência escolar como transmissão de conhecimento, surge o *movimento construtivista*, buscando mostrar que subjaz à todo processo de ensino-aprendizagem a construção de novos significados sobre uma estrutura conceitual pré-existente.

A História da ciência teve papel de destaque neste novo contexto da educação científica, pois passou a ser necessário o entendimento não só dos produtos, mas também dos processos inerentes à própria ciência. Muitos trabalhos foram produzidos buscando mostrar aos professores e estudantes de ciências que o “métodos científico” universal e infalível era uma falácia. Trabalhos históricos localizados enfocaram a evolução de uma teoria ou conceito científico específico¹³, procurando mostrar que os caminhos do desenvolvimento dos conteúdos na ciência são muito menos lineares do que o propagandeado pelos livros didáticos. Outros trabalhos centraram-se em discussões de cunho epistemológico sobre a prática científica e utilizaram episódios históricos como exemplos para evidenciar a dinâmica interna da ciência.

Estes trabalhos partem da idéia que a contextualização histórica permite a apreensão das dimensões espacial e temporal do conhecimento. Trabalhos nessa linha procuram apresentar de forma acessível resultados de pesquisas históricas sobre conteúdos enfocados nos cursos tradicionais. Foram produzidos textos históricos sobre, por exemplo, o aparecimento do conceito de energia na mecânica clássica no século XIX, mostrando suas origens na noção de "forças-vivas" e sua incorporação por diversas outras áreas das ciências.

¹¹ Gilbert et al 1985, Ogborn, 1985, McCloskey, 1983, Guidone, 1985, Viennot 1985, Villani et al, 1987.

¹² Para uma abordagem deste tema, ver Peduzzi, S. 2001.

¹³ Pietrocola, 1993 a e b, Nardi, 1991, Lythott, 1984.

Marginalmente, procurou-se também introduzir no ensino discussões de natureza epistemológica, em particular com o objetivo de negar a apresentação estereotipada do “Método Científico” feita nos livros didáticos. Valendo-se de elementos presentes nos sistemas de Kuhn, Popper, Bachelard e outros foi possível apresentar alternativas epistemológicas às concepções tradicionais¹⁴.

As contextualizações histórico-epistemológicas permitiram desdogmatizar o fazer científico, mostrando sua evolução conceitual através da história. O fim da ingênua concepção da ciência propagandeada pelo positivismo-lógico fez diminuir a chance de se subestimar as dificuldades dos alunos ao longo do processo de ensino-aprendizagem. Os conteúdos deixaram de ser vistos em si, mas através das relações que estabelecem entre si e com o contexto da pesquisa ao qual se vinculam. O ensino calcado na apresentação isolada de conceitos perdeu sentido, pois o todo tornou-se maior que a soma das partes, isso é a teoria tornou-se mais que a soma dos seus conceitos. O ensino passou a considerar de maneira prioritária as condições para que tais conteúdos pudessem ser apreendidos pelos alunos.

Dotar o professor de uma formação mais ampla do conhecimento científico tornou-se imprescindível para a melhoria do ensino. Isto passou a significar aperfeiçoar sua capacidade de analisar: os problemas na origem da proposição dos conceitos; os embates entre as novas e antigas concepções científicas; a função dos obstáculos epistemológicos no processo de produção de conhecimento. Essa tarefa constitui-se numa busca de aproximação entre a natureza, o conteúdo e a organização do saber que se pretendia ensinar. Assim, esses trabalhos contribuíram para uma revisão dos objetivos do ensino das ciências, na medida em que “costuraram” o processo ao produto, extirpado dos cursos pela pedagogia tradicional. Giordan resume de forma eficiente a contribuição de fundo das análises histórica e epistemológica para a educação científica:

“ Esta tentativa [de se constituir e se transformar o saber científico] não apresenta um caráter fluido, pois ela procura, ao mesmo tempo, determinar estruturas e mecanismos. Inicialmente, é necessária uma tentativa de apropriar-se da natureza, do conteúdo e da organização do saber que se pretende ensinar. Ela se concentra no conjunto de questões, sobre a organização “nodal” dos conceitos, isso é sobre as relações internas e externas entre as noções que constituem um campo conceitual com

¹⁴ Ver os trabalhos de Arden Zylbersztajn e Fernando Lang em Moreira e Axt, 1991.

uma atenção para com o alicerce e para com o contexto dos processos científicos (onde paradigma e ideologias não podem ser descartados)".¹⁵

O realismo científico numa perspectiva histórica

Pelo que apresentamos até aqui, poderíamos concluir que a grande contribuição que a abordagem histórico-epistemológica tem a oferecer ao ensino é a possibilidade de desvendar os processos de construção de conhecimento no interior das ciências. Sobre este ponto não parece pairar dúvida. No entanto, é possível que o entendimento dos sutis processos históricos envolvendo a produção do conhecimento que tanto apaixona os já iniciados na ciência não seja suficiente para motivar a aprendizagem daqueles ainda neófitos. Entender os processos de construção da ciência deve ser considerado motivador e cativante para aqueles que já vêem na ciência mérito e beleza. Parece certo que nenhum projeto de ensino de ciências poderá ter sucesso, como ou sem o uso HC, caso não consiga mostrar aos jovens o papel que a ciência pode desempenhar em suas vidas. Não parece que a mera abordagem histórica da ciência por si só possa desempenhar esta tarefa. A pergunta preliminar a ser respondida, antes do encaminhamento de qualquer proposta de ensino, é a seguinte: "Como motivar um adolescente de hoje para a riqueza e valor da abordagem científica?". Esta questão pode ser completada por outra mais próxima dos interesses imediatos deste texto: "Como a HC pode colaborar com uma proposta de ensino que mostre aos jovens o interesse que conhecimento científico pode ter na sua vida cotidiana?"

Para responder a esta pergunta devemos tentar contextualizar a prática científica dentre aquelas que produzem entendimento sobre o mundo. Na investigação científica uma das motivações fundamentais do homem, reside simplesmente em sua curiosidade intelectual, em seu desejo profundo e persistente de chegar a conhecer e compreender o mundo que habita (Hempel, 1979). A incorporação da explicação dentro do quadro epistemológico, tal como é feita por Bunge (1973), Meyerson (1921) e outros, permite ampliar os objetivos da ciência para muito além da descrição do mundo. Ao procurar lançar hipóteses, validá-la experimentalmente, comparar e articular estas com outras hipótese, ou seja, ao produzir boas teorias, a ciência se propõe a organizar explicações cada vez mais sofisticadas do mundo.

¹⁵-Giordan (1983), p. 154. traduzido por mim.

A busca dos *porquês* parece ter sido o motor do projeto de desenvolvimento da espécie humana, produzindo boa parte do conhecimento hoje disponível. A ciência seria, neste sentido, um sub-projeto racional do grande projeto explicativo da humanidade. O principal valor da ciência reside, então, em que ela constitui uma das melhores estratégias até hoje inventada para responder à pergunta sobre o *como* e o *porquê* dos eventos vivenciados diariamente. A explicação científica é, neste sentido, um caso privilegiado de explicação, que se pretende racional e até certo ponto segura. Se a busca de explicação faz parte dos desejos mais íntimos do homem, a ciência pode ser então entendida como um processo institucionalizado e historicamente aperfeiçoado de produzir explicações sobre o mundo a nossa volta.

A *estrutura lógica* das explicações racionais pode ser resumida da seguinte forma: trata-se de uma *demonstração* em que o “explicandum” é apresentado como caso particular de uma generalidade (Cupani e Pietrocola, 2002). Assim, quando se dá como explicação da dilatação de um fio de cobre o aumento da sua temperatura, essa explicação é na verdade uma condensação de uma argumentação que inclui como premissas: (i) a generalização conforme a qual todo fio de cobre torna-se mais longo quando é esquentado, e (ii) a informação de que o fio em questão era de cobre e que a sua temperatura sofreu uma elevação.. (Hempel 1979).

Para Bunge, o ponto de vista lógico é insuficiente para revelar a índole da explicação. Ele propõe distinguir ainda outros aspectos: *epistemológico*, *ontológico*, *pragmático*, *semântico* e *psicológico* (Cupani e Pietrocola, 2002). É por não se limitar ao aspecto puramente lógico que as teorias melhor definem a estruturação do conhecimento científico. Naturalmente, perceber a importância das teorias, e não só das leis, na explicação científica destaca a diferença, entre dispor de teorias apenas “de caixa negra” e contar com teorias “representacionais”. Estas últimas, por se referirem ao *modus operandi* dos sistemas, oferecem explicações mais profundas, do tipo interpretativas.

Assim entendida, a explicação científica implica a construção de *modelos* dos acontecimentos explicados (dando satisfação do “mecanismo”, em sentido amplo, da sua produção) e, à diferença da explicação vulgar e de certas pseudo-explicações, é *universal*, no sentido de que vale, não só para o caso em questão, mas para um número ilimitado de casos análogos.

Por que insistimos em enfatizar o caráter explicativo do conhecimento científico através dos modelos? Certamente porque esta função está relacionada com a elaboração do pensamento, onde o indivíduo busca uma estruturação mental que garanta coerência

entre sua bagagem conceitual pré-existente e o fenômeno a ser explicado. Em suma, um modelo mental eficiente dá a satisfação de “dominar” (no sentido cognitivo) aspectos importantes do mundo natural, na medida que permite explicar, por exemplo, desde o tradicional fenômeno de dispersão da luz branca por um prisma, presente na maioria dos livros didáticos de Física, até um belo arco-íris no céu. A abrangência das explicações promovidas pelo conhecimento científico no contexto escolar permite passar do mundo do livro e programas para o mundo em geral (Pietrocola, 2001).

As explicações acabam por fornecer ao indivíduo o sentimento de que existe um *elo* de ligação entre aquilo que ele produz como modelo e os fenômenos que acontecem no mundo exterior (Pietrocola, 1999). A explicação eficiente acaba por validar os modelos que a produziram e se reveste do aspecto ontológico acima mencionado. Neste sentido, os bons conhecimentos (aqueles que permitem a construção de modelos com alto grau explicativo) associam-se às boas representações da realidade. Em outras palavras, o sucesso do conhecimento científico em produzir explicações legitima seus modelos a bem representar a realidade, ou seja, a ciência permite a construção de *modelos de realidade*. (Pietrocola, 1999)

Neste sentido, a ciência implica um projeto realismo não ingênuo segundo o qual a realidade não é sempre nem simplesmente, tal como parece aos nossos sentidos, pois a percepção e o conhecimento produzido exclusivamente a partir dela é deficiente e deve ser enriquecido pelo conhecimento teórico. A explicação científica não se constitui numa cópia da realidade, mas numa representação simbólica e imperfeita da mesma. Isto equivale a dizer que a realidade científica inclui elementos que estão além da percepção, devendo pois ser hipoteticamente supostos e em seguida objetivados em objetos de conhecimento.

A despeito do interesse que a HC pode ter em si mesmo, afirmamos que através dela é possível acompanhar as tentativas de apreensão da realidade pelo homem ao longo dos tempos. A HC pode ser associada ao desenvolvimento de um programa realista, onde a evolução do conhecimento pode ser entendida em face dos modelos explicativos produzidos a partir das teorias de cada período. Tal afirmação pode destoar em meio à sonoridade de vozes que pleiteiam para a HC um lugar de destaque numa epistemologia anti-realista. O destaque incondicional dos processos de construção que subjazem a toda ação intelectual não deve fazer esquecer que todo processo de construção de conhecimento se vincula a necessidades de entendimento sobre mundo.

Um processo científico se justifica face aos produtos que ele pode fornecer para cumprir a tarefa de produzir entendimento sobre parte do mundo natural.

Em particular no caso do ensino de ciências, a explicação se avalia em termos de entendimento produzido previamente escolhidas da realidade. O ensino de ciências teria como papel fornecer os conhecimentos necessários e mostrar como explicações sobre o mundo podem ser produzidas a partir deles. A HC poderia mostrar como os conhecimentos e os critérios para se avaliar e produzir modelos explicativos a partir deles se modificaram ao longo do tempo. Um dos resultados mais preciosos que a ciência pode oferecer a um indivíduo é uma boa representação do mundo em que ele vive.

Nesta perspectiva, uma das atividades de ensino mais interessantes seria possibilitar um entendimento de como estas representações simbólicas e imperfeitas da realidade foram produzidas e se modificaram ao longo da história da ciência. Acompanhar o processo histórico de construção destas representações permitiria melhor avaliar o valor das representações atuais e valorizar a criatividade e imaginação do intelecto humano. As “realidades” historicamente contextualizadas deveriam ser apresentadas em comparação com as formas atuais de representação da realidade. A apresentação e discussão dos modelos produzidos no contexto da ciência ao longo tempo tem um grande potencial de aplicação no ensino das ciências, pois se vincula ao entendimento resultante da atividade científica. O uso de *modelos históricos de realidade* em atividades de sala de aula parece capaz de englobar a dialética presente nas formas científicas de conceber o conhecimento sobre o mundo, ou seja de tratar os produtos da ciência como frutos de processos históricos de entendimento. Os produtos, os processos e o entendimento se modificam ao longo do tempo. O perfil da realidade produzida hoje pela ciência não é o mesmo que aquele do início do século XX, que por sua vez se diferencia ainda mais daquele do século XVII. Os modelos históricos de realidade se vinculariam a determinados aspectos do mundo. A apresentação do seu contexto histórico permitiria que aspectos importantes da atividade científica fossem destacados, como:

- problemas enfocados
- representações disponíveis em determinado momento histórico
- concepções metafísicas que sustentam parte das crenças sobre tais representações;
- conteúdo empírico disponível na época;
- explicações e previsões possíveis a partir do conhecimento da época;
- controvérsias na comunidade científica
- desafios experimentais para superação de impasses;

- estudo comparado com as representações atuais sobre o mesmo domínio fenomenológico.

A apresentação e discussão dos aspectos acima permitiria que fosse composto o quadro representativo da realidade no período histórico focado. A possibilidade de avaliar e comparar realidades do passado com realidades atuais permitiria, por um lado, ganhar profundidade no papel do conhecimento atual sobre o mundo. Por outro lado, possibilitaria entender os complexos processos científicos que permitem que a realidade seja modificada em função da introdução de novos problemas e abordagens teóricas a eles adaptadas. A partir desta comparação, poder-se-ia elucidar as rupturas e continuidades, desvendando as opções teórico-conceituais e metafísicas e os desejos presentes no entendimento do mundo. Entender que o mundo não se deixa apreender facilmente, nem de uma só vez, resistindo ao nosso pensamento, seria valiosa experiência educacional para os jovens. Desta forma, parece possível caracterizar com mais facilidade a integração sujeito-objeto. Deste embate origina-se as realidades do mundo, com validade histórica e sempre sujeitas a revisões.

Não há sedentarismo nas nossas relações com o mundo, pois elas devem estar constantemente sujeito a críticas e abertas a modificações. Ainda assim, é preciso que forjemos a noção de uma realidade externa estável, capaz de servir de base para nossas ações cotidianas. Os estudos históricos teriam o mérito de mostrar como a ciência tem incrementado esta necessidade humana ao longo dos tempos. Os modelos históricos de realidade são as provas do embate entre o homem e a realidade e englobam as duas dimensões da atividade científica: o processo e o produto.



BIBLIOGRAFIA

Astolfi, J. e Develay, M. (1989). *La didactique des sciences*. Paris: PUF, 1989.

BUNGE, M. (1973) *Philosophy of Physics*. Dordrecht: D. Reidel (existe ed. em português).

Bachelard, G. (1938). *La formation de l'esprit scientifique*. Paris: Vrin, 1989.

Cassonato, O. 1993, "História das ciências no ensino das ciências da Vida", In *Anais do IV Seminário Nacional de História da Ciência e Tecnologia*, SBHC, São Paulo, 1993.

Caderno Catarinense de Ensino de Física, (1988). "Mesa-redonda: influência da História da Ciência no Ensino de Física". No "I ciclo de seminários sobre História da Ciência", Florianópolis, 10/87. *Caderno catarinense de Ensino de Física*, vol. 5, nº especial, 1988.

CUPANI, A. e PIETROCOLA, M. (2002), "A RELEVÂNCIA DA EPISTEMOLOGIA DE MARIO BUNGE PARA O ENSINO DE CIÊNCIAS", *Caderno Catarinense Ensino Física*, v.19, número especial: p.97-121, 2002.

Gilbert, J. e Zilbersztajn, A. (1985). "A conceptual framework for science education: The case study of force and movement". *European journal of Science Education*, 7 (2), p. 114, 1985.

Giordan, A. (1983). *L'élève et/ou les connaissances scientifiques*. Paris: Peter Lang, 1987.

Guidoni, P. (1985). "On natural thinking". *European journal of Science Education*, 7 (2), p. 133, 1985.

HEMPEL, C. (1979) *La explicación Científica (Aspects of Scientific Explanation, 1965)*. Buenos Aires: Paidós.

HOLTON, G. (1963) *Fundamentos de la Física Moderna*, Editorial Reverté, Barcelona, 1963.

_____ (1978), *Projecto Física*, Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa, 1978.

Koyré, A.(1986). *Estudos galilaicos*. Lisboa: publicações Dom Quixote, 1986.

Kuhn, T. S. (1987). *A estrutura das revoluções científicas*. São Paulo: editora Perspectiva, 1987.

Lakatos, E. (1970). *Criticism and the growth of knowledge*, Cambrigde, Cambrigde University Prewss, 1970. *Crítica e o desenvolvimento do conhecimento*. São Paulo: Cultrix/Edusp, 1979.

Langevin, P. 1992 “O valor educativo da História das ciências”. In Gama, R. (org.). *Ciência e técnica: analogia de textos históricos*, T. A. Queiroz, São Paulo, 1992

Lythott, J. (1984). "'Aristotelian' was given as the answer, but what was the question". In: The GIREP CONFERENCE ON PHYSICS EDUCATION (the many faces of teaching and learning), Utrecht, 1984, p. 276.

McCloskey, M. (1983). "Intuitive physics". *Scient. Amer.*, 248 (4): p.114, 1983.

Merton, R. 1984 – “Une reussité scientifique”, In *La double Hélice*, Hachette, Paris, 1984.

MEYERSON, E. (1921) *De l'explication dans les les sciences*, 2 vol., Paris, Payot.

Moreira, M. A. e Axt, R. (orgs) (1991). *Tópicos em Ensino de Ciências*. Porto Alegre: ED Sagra, 1991.

Nardi, R. (1991). "Campo de força: subsídios históricos e psicogenéticos para a construção do ensino desse conceito". *Textos - pesquisa para o ensino de ciências*. São Paulo: USP, 1991.

Ogborn, J. (1985). "Understanding students' understandings: An example from dynamics". *European journal of Science Education*, 7 (2), p. 141, 1985.

PEDUZZI, S. (2001) "Concepções alternativas em Mecânica", in Pietrocola (org.), *Ensino de Física: conteúdo, metodologia e epistemologia numa abordagem integradora*, INEP, Editora da UFSC, SC, 2001.

Piaget, J. (1927). *La causalité physique chez l'enfant*. Paris: Alcan, 1927.

_____ (1937). *La construction du réel chez l'enfant*. Neuchatel: Delachaux et Niestlé, 1937.

_____ (1946a). *Le développement de la notion de temps chez l'enfant*. Paris: PUF, 1946.

_____ (1946b). *Les notions de mouvement et de vitesse chez l'enfant*. Paris: PUF, 1946.

Pietrocola, M. (1993a). "Fresnel e o éter parcialmente arrastado". *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, vol 10, nº2, pag 157-172.

_____ (1993b). "A extensão do princípio de relatividade para a óptica". Atas do V, Seminário nacional da Sociedade Brasileira de História da Ciência, 1993.

PIETROCOLA, M. (1999) "Construção e Realidade: o realismo científico de Mário Bunge e o ensino de ciências através de modelos",

Investigações em Ensino de ciências (Investigaciones en Enseñanza de las Ciencias; Investigations in Science Education) Vol. 4, n. 3, dezembro de 1999.

PIETROCOLA M. (2001) "Construção e Realidade: modelizando o mundo através da Física". In : *Ensino de Física : conteúdo, metodologia e epistemologia numa concepção integradora*. Florianópolis : Ed. da UFSC, 2001.

Popper, K. (1974). "The logic of scientific discovery". Londres: Hutchinson, 1974.

Posner, G. (1982). "Accomation of a Scientific Conception. toward a theory of Conceptual Change", *Science education*, 66 (2), 1982.

Robilotta, M. (1985). *Construção e realidade no ensino de física*. Monografia. São Paulo:IFUSP, 1985.

_____ (1988). "O Cinza, O Branco e o Preto - da Relevância da História da Ciência no Ensino da Física." *Caderno catarinense de Ensino de Física*, vol. 5, n° especial, p. 7, 1987.

Salém, S. (1986). *Estruturas conceituais no ensino de Física*. Tese de mestrado, não publicada. São Paulo: USP, 1986.

Taylor, W. (1941), *Physics, the pioneer science*, Dover, 1941.

Vienot, L. (1985), "Analysing students' reasoning in science: A pragmatic view of theoretical problems". *European Journal of Science Education*, 7 (2), p. 151, 1985.

Villani, e Pacca, (1987). "Students' spontaneous ideas about the speed of ligh", *International Journal of Science Education*, 9 (1), p. 55, 1987.

Miller, A.(1981). *Albert Einstein's Special*. Addison-Wesley Publishing Company,1981.

Whitaker, M. A. B. (1979), “History and quasi-history in physics education - part 1”, *Physics Education*, vol 14, pag. 108.

Whittaker, E.(1951). *A History of the Theories of Aether and Electricity*; dois volumes, New York: Dover Publications, 1989.

Zylberstajn, A. (1991). "Revoluções científicas e ciência normal em sala de aula". In Moreira, M. A. e Axt, R. (orgs). *Tópicos em Ensino de Ciências*. Porto Alegre: ED Sagra, 1991.