

ESTRUTURAÇÃO E APLICAÇÃO DE UMA ESTRATÉGIA DE ENSINO DE FÍSICA INSPIRADA EM LAKATOS: ALGUMAS CONCLUSÕES

STRUCTURING AND APPLICATING A PHYSICS TEACHING FRAMEWORK INSPIRED IN LAKATOS: SOME OUTCOMES

Roberto Nardi♣

Osmar Henrique Moura da Silva♦

Carlos Eduardo Laburú♠

- ♣Professor Adjunto, Livre Docente do Departamento de Educação, Faculdade de Ciências, Universidade Estadual Paulista, Campus de Bauru. Grupo de Pesquisa em Ensino de Ciências; email: nardi@fc.unesp.br. Apoio: CNPq.
- ♦Doutorando em Educação para a Ciência pela Universidade Estadual Paulista – UNESP. Grupo de Pesquisa em Ensino de Ciências. Faculdade de Ciências. Campus de Bauru; email: osmarh@uel.br.
- ♠Docente do Departamento de Física, Universidade Estadual de Londrina, CEP 6001, 86051-970, Londrina, PR, Brasil; email: laburu@uel.br. Apoio: CNPq e Fundação Araucária.

Resumo

O desenvolvimento de estratégias de ensino de conceitos científicos por inspiração na filosofia da ciência tem sido objeto de vários estudos na área de Educação em Ciências. Este estudo trata da estruturação e aplicação em sala de aula de uma estratégia para o ensino de Física que inclui uma reconstrução racional didática com visão filosófica implícita, inspirada na epistemologia de Lakatos. A inclusão dessa reconstrução como um passo específico da estratégia de ensino tem a intenção de exemplificar situações de comparação e escolha de uma teoria entre outras e, com isso, preparar o aluno para posteriores debates entre concepções alternativas e científicas, de modo a auxiliar o aprendizado racional destas últimas. São apresentados aqui alguns resultados da aplicação desta estratégia para o ensino dos conceitos de calor e temperatura em alunos de ensino médio de uma escola pública.

Palavras-chave: Ensino de Física, Metodologia de Ensino de Física; Reconstrução Racional Didática, Epistemologia de Lakatos.

Abstract

The development of scientific concepts teaching strategies inspired in the philosophy of science has been object of several studies in Science Education. This research deals with the structuring and application in classroom situations of a physics-teaching framework that includes a didactical rational reconstruction inspired by the epistemology and rational reconstruction of Lakatos. The inclusion of this reconstruction as a specific step of the teaching strategy has the intention to exemplify comparison situations and choice of a theory among other, in order to prepare the student for posterior debates between alternative and scientific theories, in way to aid the rational learning of the last ones. We present here some outcomes of the application of this strategy when teaching heat and temperature concepts to High School students in a public school.

Keywords: Physics Teaching, Physics Teaching Methodology; Didactical Rational Reconstruction; Lakatos Epistemology.

Introdução

O desenvolvimento de estratégias de ensino de conceitos científicos por inspiração na filosofia da ciência tem sido objeto de vários estudos na área de Educação em Ciências. Pesquisas anteriores (Rowell, 1989; Niaz, 1998) inspiraram-se na filosofia da ciência para a elaboração de estratégias para o ensino de conceitos científicos. Niaz (1998) estruturou uma estratégia de ensino fundamentada em Lakatos (1978), fornecendo contribuições para metodologias de ensino embasadas

em aspectos oriundos da Filosofia da Ciência. Nessa proposta o levantamento das concepções alternativas de estudantes é o ponto de partida, tomando-se essas estruturas como se fossem programas de pesquisa. Dessa forma, a comparação permite que essas estruturas ou “programas” tornem-se candidatos à mudança e a complexidade cognitiva das convicções nucleares pode ser quebrada por uma série de questionamentos. Isso pode ser facilitado quando são distinguidas as concepções nucleares, mais resistentes à mudança, das explicações auxiliares que as defendem em analogia às ‘hipóteses auxiliares’. Essas “hipóteses ou explicações auxiliares” podem prover pistas e direções para a construção de novas táticas de ensino. Isto significa não considerar as concepções alternativas como erradas, mas como modelos, de forma semelhante aos usados pelos cientistas para simplificar a complexidade de um problema. Assim, as concepções alternativas devem ser consideradas como ‘teorias’ que competem com as teorias científicas e, às vezes, recapitulam teorias científicas do passado (Niaz 1998, p. 122-123).

Por sua vez, Rowell (1989) apresentou uma estratégia instrucional constituída por uma seqüência de cinco passos inspirados em um construtivismo piagetiano. O aspecto importante dessa seqüência é que ela se inicia com o levantamento das concepções alternativas, que são confrontadas com as concepções científicas apenas após o ensino destas últimas, de forma a proporcionar comparações entre os méritos e deméritos de supostas concepções rivais e escolha pelos alunos das mais adequadas. Segundo Rowell, essa seqüência foi influenciada pela filosofia da ciência pós-positivista, à medida que “*não há nenhuma falsificação antes do aparecimento de uma teoria melhor*” (ibid.).

Nessa comunicação apresentamos dados do estudo que estamos desenvolvendo que se inspira na epistemologia e reconstrução racional de Lakatos (1978) e nos trabalhos acima citados. Trata-se da estruturação de uma estratégia de ensino que segue as orientações de Niaz (1998) e também em uma seqüência de passos semelhante à de Rowell (1989). O estudo atende à recomendação de Niaz (1998, p. 123) de proporcionar mais reflexões a partir de seus estudos, de forma a avançar e fortalecer estratégias dessa natureza antes de disponibilizá-las como uma metodologia alternativa de ensino.

Entendemos que o principal detalhe do presente estudo está em trabalhar a racionalidadeⁱ com os alunos que, para Matthews (1994, p. 93), é um tópico central em filosofia da ciência, importante de ser considerado no ensino de ciências. Embora as estratégias de Niaz (1998) e Rowell (1989) busquem uma racionalidade nas discussões sobre os méritos e deméritos de concepções rivais (alternativas e científicas) em sala de aula para que haja a escolha da melhor, alguns autores como Villani et al. (1997, p. 41) ressaltam que é ingenuidade supor algum modelo racional muito enraizado nos estudantes. Sem uma preparação, discussões racionais mais diretas para a escolha entre teorias, com inspiração filosófica implícita ou não, podem não alcançar êxito, conforme assinala Matthews (1994, p. 86), através da seguinte analogia: “*Estudantes sem uma exposição anterior para tal debate é semelhante a uma criança da zona rural em sua primeira visita à cidade grande*”. Quer dizer, se uma criança encontra-se perdida numa cidade grande por mal conhecê-la e saber o caminho de casa, semelhantemente, um estudante encontra-se perdido em seu primeiro debate racional por mal perceber o rumo que uma conclusão tenha tomado. No ensino de Física, situações em sala de aula, que partem de pontos de vista conceituais diferentes para estabelecer um debate racional ou uma conclusão (ou julgamento), somente são alcançadas, por consenso, pela predominância de um critério pertinente. Critérios racionais para avaliação de concepções ou teorias científicas relacionam-se a sistemas de conhecimento específicos que são analisados filosoficamente, mais especificamente, pela filosofia da ciência. De acordo com Chalmers (2000, p. 137), uma posição filosófica na ciência é racionalista por estabelecer um critério universal e atemporal, com referência ao qual se podem avaliar os méritos relativos de teorias rivais. Assim, não

são critérios que os estudantes naturalmente carregam. Para que um estudante avalie concepções por um critério racional desejado no processo de ensino/aprendizagem, é preciso primeiramente que ele o conheça.

Para tanto, neste estudo elaboramos uma estratégia que inclui uma forma de exemplificar uma discussão racional por meio de uma reconstrução didática da história da ciência. Tal estratégia visa conduzir os alunos à inicialmente entenderem um determinado critério para que, posteriormente, eles o usem e também melhor acompanhem os caminhos que conduzem a uma decisão nesse sentido. Preocupação não abordada por Niaz (1998) e Rowell (1989), essa preparação parte da pressuposição de que as discussões iniciais que objetivam influenciar o aluno com certa racionalidade possam ajudar um posterior debate racional entre as concepções rivais em classe e, desse modo, auxiliar a aprendizagem de conceitos científicos.

Uma preparação para auxiliar estudantes em debates racionais entre concepções alternativas e científicas: a reconstrução racional didática inspirada na reconstrução racional de Lakatos

Antes de apresentar a reconstrução racional didática é preciso discutir alguns detalhes das idéias deste autor sobre a reconstrução racional (Lakatos, 1978). Em relação à sua epistemologia (Lakatos, 1978), alguns detalhes sinteticamente elaborados acerca da metodologia dos programas de pesquisa científica podem ser encontrados em Laburú et al. (1998).

Lakatos procurou mostrar como a historiografia da ciência deveria aprender com a filosofia da ciência e vice-versa, e até parafraseou Kant nesse sentido: “*A filosofia da ciência sem a história da ciência é vazia; a história da ciência sem a filosofia da ciência é cega*” (Lakatos, 1978, p. 102). Segundo ele, a filosofia da ciência oferece metodologias normativas, nas quais o historiador reconstrói a “história interna”ⁱⁱ, de modo a dar uma explicação racional do desenvolvimento do conhecimento científicoⁱⁱⁱ. O indutivismo, por exemplo, é uma das mais influentes metodologias da ciência. O indutivismo só admite, como pertencentes ao corpo da ciência, as proposições que ou descrevem fatos sólidos ou são generalizações indutivas infalíveis a partir destes. Por essa metodologia, um enunciado científico somente é aceito por demonstrações convincentes e indiscutíveis, do contrário, o indutivista o rejeita. Desse modo, um historiador indutivista não admite mais que dois tipos de descobrimentos científicos genuínos: os enunciados fáticos puros e as generalizações indutivas. Apenas estes dois tipos constituem a coluna vertebral de sua história interna. Quando escreve a história, o historiador indutivista busca por esses tipos de descobrimentos científicos; encontrá-los, é outra questão. De outro modo, um historiador popperiano buscaria grandes e “arriscadas” teorias falseáveis e importantes experimentos cruciais negativos. Já pela metodologia dos programas de pesquisa científica de Lakatos, um historiador buscaria por programas de pesquisa que podem ser avaliados em termos de mudanças progressivas e degenerativas de problemas, em que as revoluções científicas consistem em um programa de pesquisa que passa a suceder um outro (superando-o em progresso). Conseqüentemente, cada reconstrução racional revela seu modelo característico de desenvolvimento racional do conhecimento científico (ibid., 118).

É sempre possível mostrar como uma metodologia pode influenciar a seleção de determinados fatos em lugar de outros e que a interpretação desses fatos não ocorre sem alguma inclinação teórica. Sabe-se que a objetividade em história é, em certo nível, impossível. A História não se apresenta simplesmente aos olhos do espectador. Ela tem que ser fabricada. Há uma seleção de fontes e materiais, construção de perguntas, e a tomada de decisões sobre a relevância das contribuições de fatores internos e externos para a mudança científica. Todas essas questões sofrem influência das visões sociais, nacionais, psicológicas e religiosas do historiador e que, num grau ainda maior, são influenciadas por uma Teoria da Ciência ou Filosofia da Ciência que o historiador

acredita, determinando uma metodologia normativa à qual o historiador se apóia para a elaboração da história interna.

Assim, Lakatos entende que todo estudo histórico deve ser precedido de um estudo heurístico e resume seu procedimento para redigir um estudo de um caso histórico adotando as seguintes condições: 1) faz-se uma reconstrução racional; 2) tenta-se cotejar essa reconstrução racional com a história real e criticar tanto a reconstrução racional por falta de historicidade quanto a história real por falta de racionalidade (ibid., p. 53).

Essas condições talvez sejam o aspecto mais controverso das idéias de Lakatos devido à conseqüente “liberdade” com que muitos enunciados podem ser adaptados numa reconstrução racional de um episódio histórico. Um exemplo refere-se à sua reconstrução racional do programa de Bohr. Nela, Lakatos sugere que se pode atribuir a idéia de giro do elétron corretamente a Bohr em 1913. O interessante é que, mesmo pelo fato de seguramente saber que Bohr era bastante céptico da idéia de giro ainda em 1925, Lakatos afirma que essa idéia era compatível com o programa de pesquisa implicado pelo átomo de Bohr. Apesar de Bohr não ter pensado nisto (ou ao menos deixado explícito), Lakatos destaca que esta é uma reconstrução racional e que, nesse sentido, “*alguns enunciados não devem ser tomados com uma pitada, senão com toneladas de sal*” (ibid., p. 55).

Ao construir a história interna, portanto, o historiador pode ser altamente seletivo por “*omitir tudo o que é irracional a luz de sua teoria da racionalidade*” (ibid., p. 119). Porém, a história interna não é somente uma seleção de fatos interpretados metodologicamente. Segundo Lakatos (ibid.), “*também há ocasiões em que pode ser uma versão radicalmente melhorada destes*”, como é o caso do programa de Bohr acima discutido.

A Reconstrução Racional Didática (RRD)

Denomina-se aqui de reconstrução racional didática (RRD) o uso da HFC como um ponto de partida para desenvolver e projetar soluções didáticas satisfatórias (Mäntylä e Koponen, 2007) que podem se entendidas como reconstruções didáticas para auxiliar o ensino de conceitos científicos (Izquierdo-Aymerich e Adúriz-Bravo, 2003). Embora a RRD baseia-se na história e filosofia da ciência ao ser elaborada, é preciso dizer que essas bases são usadas como recursos, pois a intenção não é obter reconstruções históricas completamente autênticas. Ao invés disso, de acordo com Mäntylä e Koponen (2007, p. 292), “*a história é interpretada do ponto de vista de concepções modernas, porque a meta, afinal de contas, é ensinar física, não a história da física*”. O pensamento de que o conhecimento científico escolarizado atual deve ser a meta do processo de ensino e de aprendizagem, estando acima do ponto de vista de um ensino historicamente autêntico, tem sido defendido no ensino de ciências (Mäntylä e Koponen, 2007, p. 297-298; Valente, 2005, p. 4; Izquierdo-Aymerich e Adúriz-Bravo, 2003, p. 29). No entanto, é preciso dizer que a RRD procura manter a integridade histórica, ou seja, as concepções dominantes, as atividades experimentais, os principais protagonistas, enfim, detalhes da época que se encontram divulgados na literatura. De acordo com Lakatos (1978), a reconstrução de um episódio histórico por inspiração numa filosofia da ciência deve obedecer a certas metodologias normativas pelas quais é possível oferecer uma explicação racional do desenvolvimento do conhecimento científico. Na elaboração de uma RRD, portanto, é necessário omitir tudo o que é irracional diante da teoria da racionalidade adotada, selecionando fatos que metodologicamente são interpretados. Mais ainda, é possível adaptar comentários compatíveis com os programas científicos rivais nessa elaboração, como a ‘pitada de sal’ no sentido lakatosiano que se exemplificou no caso do programa de Bohr. Assim, a RRD que aqui se propõe elaborar com fins instrucionais obedece aos seguintes aspectos:

- A presença de duas ou mais teorias num mesmo campo científico é, em geral, a situação que antecede e desencadeia as mudanças científicas. Perante isso, à medida que os cientistas se vêem diante de um novo sistema teórico alternativo e, em grande parte incompatível com o primeiro, a partir do qual num passado mais ou menos remoto seus campos de pesquisa fundamentaram e desenvolveram-se, é certo que a escolha por algum destes sistemas sempre ocorre por uma avaliação mediante determinados critérios. Desse entendimento, a História da Ciência deve conter pelo menos, ou apenas, duas posições teóricas rivais e sucessivas, caracterizando os critérios que influenciaram a aceitação da sucessora (inspirados na epistemologia de Lakatos);
- Os postulados que constituem o núcleo de uma teoria devem ser apresentados como tendo dificuldades de serem refutados, nos quais os cientistas depositam a maior confiança (inspiradas na heurística negativa);
- Estabelecer contra-exemplos que caracterizem as dificuldades teóricas. Por tais dificuldades, apresentar o surgimento de hipóteses auxiliares que devem ser entendidas como tentativas para se obter sucesso, mantendo as concepções nucleares intactas (inspiradas na heurística positiva);
- A avaliação teórica não ocorre entre a teoria e a experiência, sendo esta última juíza para a primeira, mas com testes entre pelo menos duas teorias e a experiência. Assim, somente após o surgimento de uma teoria rival sucessora que explique o êxito de sua rival e a suplanta por uma demonstração adicional de força heurística que se verifica a superação de uma teoria por outra (inspiração no falseamento metodológico sofisticado).

É possível dizer que a RRD mostra-se coerente com uma tendência de inserções de reconstruções de episódios históricos no ensino de ciências. Niaz e Rodrigues (2002) mostram que *“a história da Física possui vários episódios que podem ser ‘reconstruídos’ para prover um ambiente de debates em sala de aula, estimulando controvérsias para compreender o que está sendo ensinado”*. Dobson (2000, p. 1) resgata alguns dos requisitos do novo Currículo Nacional Inglês, em que um destes destaca a importância dos alunos serem ensinados, aprendendo como controvérsias científicas surgem a partir de diferentes formas de interpretar uma evidência empírica. Perante isso, este autor levanta algumas questões: *“A história da Física pode prover tal relevância? Ela pode fornecer controvérsias interessantes que poderiam tentar/convidar o adolescente a pensar?”* Discutindo positivamente, esse autor afirma:

nós poderíamos possibilitar que algumas histórias fossem contadas com algum nível de drama, porém, é difícil para os professores produzirem muito entusiasmo em estudantes com idade entre quatorze e dezesseis anos por controvérsias entre Newton e Hooke, ou Newton e Leibnitz (ou entre Newton e a maioria de seus contemporâneos).

Pereira e Amador (2007, p. 193) afirmam que um exemplo de valorização da História da Ciência nesse sentido, em termos didáticos, pode ser recolhido numa das últimas obras do filósofo Paul Feyerabend na qual afirma que, em suas aulas de Filosofia da Ciência, contava ‘estórias/contos’, que não eram mais do que episódios de História da Ciência que procuravam dar ‘alma’ ao conhecimento científico.

Como as estratégias de Niaz (1998) e Rowell (1989) valorizam a aprendizagem racional dos conceitos científicos, é importante ressaltar que a RRD deste estudo é incorporada como um passo específico de uma estratégia de ensino inspirada em Lakatos (1978)^{iv}, em que uma racionalidade esteja presente. Dessa forma, uma primeira discussão racional pela RRD, fundamentada na racionalidade deste modelo de reconstrução racional, pode vir a auxiliar o estudante a melhor acompanhar um posterior debate igualmente racional entre concepções alternativas e científicas (Niaz, 1998 e Rowell, 1989), facilitando o ensino e a aprendizagem destas últimas.

A Estratégia de Ensino de Física estruturada neste estudo

Lakatos (1978) estabelece critérios para analisar e concluir quando um programa de pesquisa se torna progressivo ou degenerativo em comparação com um rival. Uma vez compreendido o arcabouço teórico e empírico de ambos os programas, ao julgar seus méritos relativos, é comum que tais critérios de escolha façam com que o programa degenerativo ceda seu espaço para um rival mais progressivo. Por analogia, essa estratégia baseia-se na transposição do critério de escolha racional lakatosiano para o ambiente de sala de aula em momentos de instrução dos conceitos científicos. Ou seja, sempre que se crie uma dinâmica de discussões sobre as explicações e previsão das teorias, acredita-se que isso possa ser uma ferramenta que auxilie a aceitação dos novos conceitos pelos alunos (como em Niaz 1998 e Rowell 1989). Outras pesquisas (Laburú et al. 1998; Laburú e Niaz 2002;) já apontavam para essa direção ao afirmarem a possibilidade das concepções alternativas serem classificadas em programas alternativos que competem em termos explicativos com as rivais que o professor pretende ensinar, definida como programas científicos. Nesses últimos casos, um paralelismo foi estruturado a partir das heurísticas negativa (núcleo do programa) e positiva (cinturão de hipóteses auxiliares). Uma aproximação mais completa sugere a estratégia seguir o critério de eliminação de teorias proposta por Lakatos, que diz que uma razão objetiva para uma escolha entre programas de pesquisa é proporcionada por um programa que explica o êxito anterior de seu concorrente e o suplanta por uma demonstração adicional de força heurística^v (Lakatos 1978, p. 69). Lakatos (ibid., p. 77) comenta que um sinal típico de degeneração de um programa é a proliferação de ‘fatos contraditórios’ que podem ser alcançados em resultados experimentais incongruentes por entendimentos de proposições fatuais contraditórias^{vi}. Assim, a presente proposta admite, juntamente com as orientações de Niaz (1998), uma analogia geral entre a metodologia dos programas de pesquisa científica de Lakatos e uma metodologia das concepções alternativas dos alunos diante das científicas.

De maneira mais objetiva do que faz Niaz (ibid.) e com a inserção da RRD, apresenta-se abaixo a seqüência de passos da presente estratégia de ensino:

Passo 1: Revelar as concepções alternativas dos alunos em determinado conteúdo para encará-las como se fossem “programas”. Isso pode ser feito de várias maneiras, como avaliações usando questionários, questões orais e discussões em grupo, dentre outras. Essas concepções devem ser registradas pelo professor e serem somente usadas no passo 5;

Passo 2: Apresentar duas teorias científicas rivais, preferivelmente que uma delas seja a atual que se pretende ensinar. Discutir com os alunos os postulados (núcleo) de cada teoria e analisar as diferenças explicativas para certos fenômenos. Neste passo, é interessante que o professor escolha os fenômenos que ambas as teorias explicam, para que inicialmente os alunos as vejam igualmente fortalecidas. O objetivo aqui é tornar inteligível tanto a teoria científica atual como a teoria científica antecessora;

Passo 3: Avaliar as inteligibilidades alcançadas no passo anterior. Isso pode ser feito por meio de uma folha com questões relativas ao assunto entregue ao aluno. Obviamente que o passo 2 deve ser bem trabalhado com os alunos para que um nível satisfatório das inteligibilidades seja alcançado para dar continuidade aos próximos passos;

Passo 4: Apresentar a RRD para os alunos. Nessas discussões também é possível reforçar as inteligibilidades das teorias científicas, mas o principal interesse é que as discussões de superação de uma teoria frente uma rival sejam direcionadas pela racionalidade inspirada nos critérios do falseacionismo lakatosiano, intencionadas em influenciar o estudante por tal racionalidade. Nesse sentido, ao realizar previsões de fenômenos com ambas teorias, o estudo deve alcançar uma interpretação da proliferação de fatos contraditórios à teoria científica antecessora. Isso por estabelecer fenômenos cujas interpretações permitem contradições com aquelas em que essa teoria foi vista fortalecida no passo 2. Já para a teoria científica atual não há essa proliferação. Logo,

analogamente, procura-se provocar um entendimento de degeneração (enfraquecimento) de uma teoria frente uma rival, fundamentando-se no critério do grau de explicações sem contradição. Uma maneira prática é estabelecer leituras da RRD para discussão;

Passo 5: Da mesma forma como se conduziu racionalmente a discussão pela RRD, agora se inicia a discussão racional entre concepções alternativas e a teoria científica que foi vencedora no passo anterior. Essa racionalidade tem a pretensão de orientar a aceitação de novas concepções. Para isso, neste passo o professor apenas resgata e apresenta aos alunos quais concepções alternativas foram encontradas no passo 1 e as compara com a teoria científica, então inteligível. Realizam-se confrontos entre as explicações e previsões que as concepções alternativas e a teoria científica fazem sobre os fenômenos, buscando clarear as interpretações de ambas;

Passo 6: Em consequência do passo 5, aqui é importante estabelecer uma insatisfação com o programa alternativo da mesma forma como se tentou com o programa degenerativo da RRD no passo 4. A anomalia emerge quando, na resolução de um determinado problema científico através da teoria aceita, surge uma dificuldade conceitual ou empírica que outra teoria não manifesta. Esta última então, torna-se candidata natural à aceitação pela comunidade científica. Segundo Villani et al. (1997, p. 40), na aprendizagem, a anomalia real gera insatisfação em relação ao senso comum, e se manifesta quando tais concepções não conseguem dar conta do objetivo do estudante, mas as do conhecimento científico conseguem. Para que as comparações entre as teorias, então esclarecidas, continuem sendo realizadas, pode existir uma alternância entre momentos de dialógicos e outros de transmissão direta do conhecimento. Como as experiências são cruciais para provocar conflitos cognitivos e controvérsias e que, dependendo da intervenção racional do educador e estando uma vez inteligível o programa científico, é possível favorecer o convencimento e a tomada de decisão nos aprendizes para a escolha da melhor teoria (Rowell, 1989). É a partir de então que o professor, após ter fortalecido seus argumentos pelos resultados experimentais, procura enfraquecer o núcleo do programa alternativo ao seguir a analogia com o critério de eliminação de teorias. Lembrando a principal recomendação de Niaz (1998) nesse sentido: *“a complexidade cognitiva das convicções nucleares pode ser quebrada por uma série de questionamentos. Isso pode ser facilitado quando são distinguidas as concepções nucleares, que são mais resistentes a mudanças, de suas explicações auxiliares”*. Assim, com maior força heurística e se tornar teoricamente e empiricamente progressivo, o programa científico deve ter prestígio para ser aceito com maior facilidade pelos estudantes de forma objetiva e racional;

Passo 7: Uma segunda avaliação é feita. Esse passo serve para verificar se os aprendizes realmente adquiriram o novo compromisso epistemológico racionalmente, isto é, se assimilaram a nova concepção. O que pode ser verificado através da frutificação de explicações compatíveis com a teoria científica.

Contudo, é necessário afirmar que o processo de ensino assim estruturado a partir de detalhes específicos da epistemologia de Lakatos limita-se a uma analogia que precisa ser mais bem discutida. Em Laburú & Silva (2001) há a insistência de que não é possível defender uma transferência automática da dinâmica dos programas de pesquisa das ciências empíricas para a dinâmica do pensamento dos alunos em ambiente de aprendizagem, pois este é um ambiente totalmente diferente do científico. Laburú & Silva (ibid.) citam vários autores que apóiam esse raciocínio, pois, segundo estes, não existe uma necessária conexão funcional epistemológica entre fazer ciência e os métodos pelos quais ela é aprendida e, principalmente, ensinada para os não-cientistas^{vii}. Essa estratégia de ensino inspirada em Lakatos (1978) permanece, novamente insistindo, uma analogia que também apresenta pontos fracos. As experiências realizadas em classe podem se aproximar muito mais de experiências cruciais em que Lakatos especifica modelos monotéticos (Lakatos 1978, p. 44) do que o que ele propõe como modelos pluralísticos de teste, em

que várias teorias, mais ou menos dedutivamente organizadas, estão soldadas uma nas outras^{viii}. Deve-se entender, portanto, que não é mais do que uma analogia, ou aproximação, categorizar as concepções alternativas dos alunos em programas. Mais ainda, se as experiências realizadas em classe tendem a se tornar cruciais, há, então, uma incompatibilidade com as reflexões de Lakatos, pois, sua interpretação da história da ciência revela que é somente por meio de uma longa visão retrospectiva que se denomina uma experiência de “crucial”. É somente quando um programa de pesquisa, assim chamado progressivo, ao possuir um excesso de conteúdo empírico comparativamente com outro (assim degenerativo), possui uma corroboração de seu conteúdo empírico adicional. Em situação real de sala de aula procura-se encurtar (muito) esse processo. Além do mais, Lakatos (apud Niaz 1998, p. 123) enfatizou que, na ciência, o núcleo de um programa se desenvolve lentamente por um processo preliminar longo de tentativa e erro e não emerge completamente armado como ‘Atenas na cabeça de Zeus’. Contrariamente, no processo de ensino, o professor é o possuidor do conhecimento científico, assim como os livros. Por isso, as novas concepções estão disponíveis e podem ser apresentadas para os alunos, surgindo muito mais rápidas do que na atividade científica.

A aplicação da proposta em sala de aula

É importante frisar que o elemento inovador desta estratégia está na inclusão de episódios históricos reconstruídos racionalmente (RRDs) por inspiração na racionalidade de Lakatos (1978) para exemplificar comparações e escolhas racionais de teorias na intenção de auxiliar os alunos a melhor acompanharem posteriores discussões igualmente racionais entre concepções científicas e concepções alternativas, passos 5 e 6 acima, que as estratégias Niaz (1998) e Rowell (1989) realizam de maneira mais direta. Logo, de uma aplicação desta estratégia no processo de ensino e de aprendizagem dos conceitos de calor e temperatura, procura-se apresentar nesta ocasião alguns resultados relativos à preparação racional que a RRD objetivou, pois, resultados relativos aos outros passos, embora noutros conteúdos, já foram expressos em outros trabalhos.

A aplicação foi desenvolvida ao longo de três semanas, num total de aproximadamente cinco aulas de 50 minutos, a partir da primeira aula do ano letivo de 2006, numa turma do segundo ano do ensino médio, período diurno, de uma escola pública.

A RRD elaborada constituiu-se de um texto de aproximadamente três páginas, na qual se procurou confrontar as explicações e hipóteses auxiliares dos programas rivais “calórico” e “cinético-molecular” em fenômenos de aquecimento, em que havia transferências e transformações de energia. Durante o estudo da RRD, o professor realizou reflexões com os alunos de exemplos de critérios utilizados no cotidiano para decidir o que considerar numa situação, que serviram para auxiliar o entendimento de como avaliar programas rivais por um determinado critério racional que estava na RRD. Também houve necessidade de discutir com os alunos as funções que uma teoria apresenta de explicar e prever os fenômenos.

Nesta metodologia, optou-se aplicar, após o quarto passo, um questionário aos alunos para avaliar seus desempenhos pelo estudo da RRD. A amostra constituiu-se de treze alunos especificados por uma numeração, que foram selecionados de um total de 31 matriculados. A dimensão desta amostra foi pensada de forma a facilitar a análise de dados, com a rejeição de alunos que faltaram em um dos passos da estratégia, salvos aqueles alunos (alunos 10 e 11) que somente faltaram do quarto passo e da posterior avaliação que se mencionou acima, situação esta que permitiu analisar também os resultados obtidos com a ausência da RRD no processo.

Alguns dados do estudo

Partindo da situação de condição de satisfação explicativa e inteligibilidade de ambos os modelos teóricos geradas até o terceiro passo, pôde-se afirmar, por meio da analogia estabelecida com a degeneração de um programa pela proliferação de fatos contraditórios, que a RRD proporcionou êxito em promover um entendimento nos estudantes. Ou seja, percebeu-se que ocorreu o enfraquecimento, ou melhor, a degeneração do programa calórico frente ao rival cinético-molecular, pela interpretação de proposições factuais contraditórias.

Abaixo são discutidos os efeitos que a RRD gerou nas interpretações realizadas das hipóteses auxiliares do programa calórico em argumentos contrários aos seus postulados e aos fatos inicialmente interpretados em fenômenos de equilíbrio térmico como compatíveis com tais postulados.

Para os fenômenos de equilíbrio térmico, mostrou-se que os alunos admitiram que o calórico não era criado, mas transitava de um corpo a outro, sendo que no processo de aquecimento por atrito, mostrou-se que vários deles (alunos 1, 3, 4, 5, 6, 8, 9, 12 e 13) reconheciam que o fato parecia produzir calórico. Para esses alunos, mostrou-se que a RRD auxiliou no entendimento de que a proposição factual ‘calórico é criado no processo de aquecimento por atrito’, que eles assim reconheceram interpretar, não podia ser admitida pelo modelo correspondente. O que significa que houve, por parte desses alunos, certa compreensão de que uma explicação deveria manter coerência com os postulados de uma teoria. Entendimento este que a RRD provocou por analogia às heurísticas negativa e positiva da metodologia dos programas de pesquisa de Lakatos.

O ensino da racionalidade caminhou também em discussões sobre aparentes hipóteses incoerentes que foram trabalhadas, como a hipótese da concentração de calórico nas superfícies em atrito ser descartada pelo argumento de que a quantidade de calórico que surgia no processo parecia não cessar. Essa discussão mostrou-se de considerável compreensão em alguns resultados (alunos 1, 4 e 6).

Para a discussão da suposição de que todo aquele calórico que se acreditava perceber no processo já estivesse nas peças, por não se permitir sua criação, estivesse inválida com o argumento de que estas deveriam encontrar-se derretidas antes mesmo do atrito, mostrou-se compreensões nesse sentido em vários resultados (alunos 1, 3, 4, 5, e 6).

Uma previsão, que se buscou gerar nos alunos como incompatível com a Teoria Calórica, foi a do gelo derreter pelo atrito num ambiente de temperatura menor que a de sua fusão. Nesse caso, discutiu-se que esse mesmo derretimento fora possível em tal ambiente, buscando gerar interpretações de contradição com o sentido do fluxo do calórico, além de inviabilizar tal previsão. Mostrou-se que essa discussão foi interessante por alcançar vários entendimentos nesse sentido, a exemplo dos alunos 2, 4, 5, 7, 9 e 13; mesmo o aluno 6 tendo inviabilizado a hipótese do meio ambiente fornecer calórico, por entender que se criava calórico no processo de derretimento dos gelos pelo atrito naquele ambiente de temperatura negativa.

Por essa apresentação dos resultados, é possível dizer que os alunos responderam o que lembraram conforme seus entendimentos individuais da RRD. Nota-se, ainda, que cada um desses resultados individuais fortalece a afirmação de que a RRD provocou um entendimento semelhante ao do enfraquecimento do cinturão protetor de hipóteses auxiliares. Enfraquecimento que foi reconhecido pelos alunos (alunos 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 12 e 13) por entenderem uma inferioridade explicativa, ou uma análoga degeneração, do programa calórico frente ao programa cinético-molecular. Assim, a RRD gerou uma condição de insatisfação com o programa calórico nos estudantes.

A respeito do critério racional que a RRD visou instruir, as respostas individuais encontradas apresentaram os seguintes entendimentos nesse sentido: o aluno 1 mencionou o “*critério do grau de explicações sem contradição*”; o aluno 2 mencionou “*o critério do grau de explicações*”

satisfatórias”; o aluno 3 mencionou “*o critério do grau de explicações coerentes*”; o aluno 4 mencionou “*o critério do grau de explicações convincentes*”, entendimento ora mencionado pelo “*grau de explicações mais claras*”, ora pelo “*grau de explicações lógicas*”; o aluno 5 mencionou “*o critério do grau de explicações satisfatórias*”, ora mencionado também pelo “*grau de explicações mais convincentes*” e ora pelo “*grau de boas explicações*”; o aluno 6 mencionou “*o critério do grau de explicações sem contradição*”, ora mencionado também como critério do “*grau de explicações mais claras*”; o aluno 7 mencionou “*o critério do grau de explicações eficientes, ou satisfatórias*”, que significam sem contradições; o aluno 8 mencionou “*o critério do grau de explicações sem contradição*”; o aluno 9 mencionou “*o critério do grau de explicações satisfatórias*”, entendidas por não contradizer postulados; o aluno 12 mencionou “*o critério do grau de explicações que são coerentes com os postulados da teoria*”; o aluno 13 mencionou “*o critério do grau de explicações sem falhas (sem contradição)*” com a possibilidade de se analisar também o “*grau de previsões confirmadas*”, em que se discutiu ser um entendimento compatível com a linguagem lakatosiana de força heurística para avaliar teorias rivais. Embora esses alunos tenham se expressado de maneira particular conforme seus entendimentos individuais, comprovou-se em cada análise de um mencionado critério que neste havia um entendimento semelhante ao seguinte: se uma hipótese, ou tentativa de explicação por eles entendida, sofresse a interferência de um argumento válido em que ela fosse reinterpretada como discordante de um pensamento básico de uma teoria correspondente (um postulado), essa explicação poderia ser rejeitada. Conseqüentemente nas análises, mostrou-se que os julgamentos desses alunos foram justificados racionalmente, por coerência com os critérios pertinentes^{IX} que mencionaram, ao indicarem a Teoria Cinético-Molecular como superior à sua rival Calórica, segundo a influência da RRD.

Avaliando os resultados do sétimo passo, foi possível afirmar que, além do ensino tradicional dos conceitos de calor e de temperatura dos modelos teóricos estudados, a RRD foi importante para instruir um critério racional nos estudantes juntamente com um aprendizado de se realizar comparações entre teorias rivais conforme esse critério. Aprendizado este que caminhou a favor de um entendimento racional da preferência dos conceitos científicos frente aos do senso comum pela última avaliação. Pôde-se também notar a respeito dos alunos 10 e 11 ausentes das discussões da RRD que, em comparação com os resultados dos demais alunos, a RRD mostrou-se como uma ferramenta importante à uma preparação racional nesse tipo de estratégia. Isso porque, embora os alunos 10 e 11 tivessem mostrado condições de inteligibilidade com ambos os modelos teóricos no terceiro passo, as análises do sétimo passo mostraram que não bastou apenas que os estudantes compreendessem as teorias rivais para julgá-las racionalmente conforme o critério desta estratégia. Nestes casos, os resultados confirmaram que, na carência de uma racionalidade, assim como de uma filosofia, há uma racionalidade imatura e mal controlada pelos estudantes em momentos de decisão. O que fortalece a necessidade de uma preparação racional para que um estudante melhor acompanhe discussões de escolha de teorias por essa direção, assim como em momentos em que ele seja cobrado, de maneira individual, a justificar racionalmente um julgamento que realize.

Algumas conclusões

A não inserção de uma avaliação após o quarto passo (para avaliar os resultados pela RRD, ausente na estratégia proposta), avaliação que se adaptou nesta metodologia de acordo com o objetivo da pesquisa, não altera os resultados do processo educacional da presente estratégia; avaliação esta que pode ou não ser adaptada por um educador conforme o tempo disponível ou número de aulas que vê determinado a trabalhar com seus alunos. Diante das evidências deste estudo e da única diferença que se mencionou agora, entre o que foi feito nesta aplicação e a seqüência de passos proposta, conclui-se que, por esta última alternativa, o professor parte da

pressuposição de que é melhor usar a RRD antes dos debates racionais sugeridos em Rowell (1989) e Niaz (1998) do que não usá-la. É possível dizer que este estudo contribuiu ao apresentar uma nova estratégia de ensino de Física inspirada em Lakatos (1978).

Referências

- ASSIS, Jesus de Paula. Kuhn e as ciências sociais. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 7, n. 19, 1993. Available from: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttextepid=S0103-40141993000300004&lng=en&nm=iso>. Access on: 17 Oct 2006. doi: 10.1590/S0103-40141993000300004.
- BROWN, H. I. Judgment and Reason: responses to Healy and Reiner and beyond, **The Electronic Journal of Analytic Philosophy** 2:5, 1994.
- BROWN, H. I. More about Judgment and Reason. **Metaphilosophy**, vol. 37, no. 5, ps. 646-651, October 2006.
- CHALMERS, A. F. **O que é ciência afinal?** São Paulo: Editora brasiliense, 2000.
- DOBSON K. Is physics debatable? **Physics Education**. 35 1 (2000).
- IZQUIERIDO-AYMERICH, M.; ADÚRIZ-BRAVO, A. Epistemological Foundations of School Science. **Science & Education** 12, 27-43 (2003).
- LABURÚ, C. E.; ARRUDA, S. M.; NARDI, R. Os programas de Lakatos: uma leitura para o entendimento da construção do conhecimento em sala de aula em situações de contradição e controvérsia. **Ciência e Educação**, 5, 2, 23-38, 1998.
- LABURÚ, C. E.; NIAZ, M. A Lakatosian framework to analyze situations of cognitive conflict and controversy in students' understanding of heat energy and temperature. **Journal of Science Education and Technology**, vol. 11, no 3, September, 2002.
- LABURÚ, C. E.; SILVA, O. H. M. Uma leitura lakatiana para a análise de situações de controvérsias e conflitos cognitivos (uma aplicação durante a aprendizagem de cinemática angular). In: **Atas...** Simpósio Nacional de Ensino de Física, XIV, Natal, Rio Grande do Norte, 2001.
- LAKATOS, I. **The methodology of scientific research programmes**. Philosophical Papers Volume 1. Cambridge: Cambridge University Press (1978).
- MÄNTYLÄ, T.; KOPONEN, I. T. Understanding the Role of Measurements in Creating Physical Quantities: A Case Study of Learning to Quantify Temperature in Physics Teacher Education. **Science & Education** 16, 291-311 (2007).
- MATTHEWS, M. R. Science Teaching – **The role of history and philosophy of science**. New York: Routledge (1994).
- NIAZ, M. A Lakatosian Conceptual Change Teaching Strategy Based on Student Ability to Build Models with Varying Degrees of Conceptual Understanding of Chemical Equilibrium. **Science & Education** 7: 107-127, 1998.
- NIAZ, M.; RODRÍGUEZ, M. A. Improving learning by discussing controversies in 20th century physics. **Physics Education**, 59-63, jan. 2002.
- PEREIRA, A. I.; AMADOR, F. A história da ciência em manuais escolares de ciências da natureza. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias** Vol. 6 Nº 1 (2007).
- REINER, R. "The Rationality of Authority: Healy and Brown on Expertise". **The Electronic Journal of Analytic Philosophy** 2:3, 1994.
- ROWELL, J. A. Piagetian Epistemology: Equilibration and the Teaching of Science. **Synthese** 80, p. 141-162, 1989. **Catarinense de Ensino de Física**, v. 14, n. 1: 37-55, abr. 1997.
- SIEGEL, H. Rationality and Judgment. **Metaphilosophy**, v. 35, n. 5: 597-613, october, 2004.
- VALENTE, M. Contributo da história e filosofia das ciências para o desenvolvimento do gosto pelo conhecimento científico. **Enseñanza de las ciencias**, número extra, VII Congresso (2005). Site:

http://ensciencias.uab.es/webblues/www/congres2005/material/comuni_orales/1_ense_ciencias/1_3/Valente_865.pdf. Último acesso em 9 de agosto de 2007.

VILLANI, A.; BAROLLI, E.; CABRAL, T. C. B.; FAGUNDES, M.; YAMAZAKI, S. C. Filosofia da ciência, história da ciência e psicanálise: analogias para o ensino de ciências. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 14, n. 1: 37-55, abr. 1997.

ⁱ As teorias filosófico/epistemológicas acerca da racionalidade diferem no papel do julgamento em argumentação racional, em que a noção de regras tem sido um assunto de intenso escrutínio filosófico. Brown (1994, 2006) vem defendendo o modelo de julgamento de racionalidade de críticos como Reiner (1994) e Siegel (2004), ao passo que Siegel (ibid.) propõe seu modelo híbrido de racionalidade. Não se pretende aqui aprofundar discussões teóricas nesse sentido, mas, ao se inspirar no critério racional (universal e atemporal – como o que será explicitado na seção da apresentação desta estratégia) lakatosiano de avaliação e escolha entre programas de pesquisa rivais para auxiliar a educação racional de conceitos científicos, pode-se dizer que a presente estratégia tende para o modelo clássico de racionalidade. Por modelos clássicos de racionalidade entende-se o modelo adotado pelos neopositivistas e por Popper, em que a razão se apóia em regras atemporais e, em última instância, explicitáveis (Assis, 1993). É preciso dizer que, embora o modelo clássico de racionalidade tenha sido altamente criticado por desconsiderar o papel do julgamento na argumentação racional, a necessidade da conformidade com regras daquele modelo é resgatada no recente modelo híbrido de Siegel (2004). Este conclui que “a racionalidade é satisfazer critério(s), é normativa pelo menos em certa extensão, e mostra o que é merecedor de convicção, ou decisão, ou ação”, e defende que a racionalidade é uma “função de razões, critérios, consistência e (assim) regras” (p. 609). Esse modelo de Siegel (ibid.) é discordante àqueles de teóricos como Govier (apud Siegel 2004) que, na defesa do modelo de julgamento de Brown (1994), entende que “somente cumprir regras universais não é a racionalidade”. Desse impasse teórico, portanto, nada impede o entendimento de que o ensino racional seja aquele em que se estabeleça um aprimoramento do conhecimento de lógica (em que haja a conformidade com critérios e regras) nos alunos para auxiliá-los na maneira como eles aprendem os conteúdos científicos estudados.

ⁱⁱ A história interna ou reconstrução racional prevalece sobre a história externa porque a maioria dos problemas importantes da história externa se define mediante a história interna.

ⁱⁱⁱ Lakatos afirma que um dos mais interessantes problemas da história externa é especificar as condições psicológicas e, certamente, sociais que são necessárias para tornar possível o progresso científico. No entanto, ele critica que elas nunca são suficientes, pelo fato de que na simples formulação do problema “externo” é preciso que se inclua alguma teoria metodológica, alguma definição de ciência. Assim, a história da ciência é uma história de acontecimentos que são selecionados e interpretados de uma maneira normativa.

^{iv} Apresentada em seguida.

^v Capacidade de um programa de pesquisa em antecipar teoricamente fatos novos, como, também, recém interpretados em seu crescimento. É interessante dizer que um fato novo pode ser um fato improvável, ou mesmo proibido por outra teoria rival (Lakatos 1978, p. 32).

^{vi} A exemplo ele (ibid.) cita que Michelson, mantendo-se fiel ao éter até o fim, viu-se principalmente frustrado pela incompatibilidade dos fatos que obteve por intermédio das suas mensurações ultraprecisas. Sua experiência de 1887 ‘mostrou’ que não havia vento de éter sobre a superfície da terra. Mas a aberração ‘mostrou’ que havia.

^{vii} Visto que nesta ocasião não se propõe a apresentação explícita da Filosofia de Lakatos em sala de aula. A inclusão filosófica ocorre em limites e, acima de tudo, implícita nas discussões.

^{viii} Mais especificamente, uma série de teorias, ou, na maior definição, um autêntico programa de pesquisa.

^{ix} De acordo com o modelo de racionalidade de Siegel (2004, p. 609): “Nós não precisamos conscientemente seguir regras para sermos racionais, mas nossos julgamentos devem seguir critérios para serem certificados como racionais”.