

**UM ESTUDO DA PREPARAÇÃO DOS ESTUDANTES PARA DEBATES
RACIONAIS ENTRE TEORIAS E/OU CONCEPÇÕES RIVAIS NUMA
ESTRATÉGIA DE ENSINO DE FÍSICA INSPIRADA EM LAKATOS**

**A STUDY OF STUDENTS' PREPARATION FOR RATIONAL DEBATES OF
RIVAL THEORIES AND/OR CONCEPTIONS IN A PHYSICS TEACHING
STRATEGY INSPIRED BY LAKATOS**

Osmar Henrique Moura da Silva ♦

Roberto Nardi ♣

Carlos Eduardo Laburú ♠

♦ Físico do Laboratório de Instrumentação em Ensino de Física, Departamento de Física, Universidade Estadual de Londrina, CEP 6001, 86051-970, Londrina, PR, Brasil; email: osmarh@uel.br.

♣ Docente do Departamento de Educação, Faculdade de Ciências, Universidade Estadual Paulista, Campus de Bauru. email: nardi@fc.unesp.br.

♠ Docente do Departamento de Física, Universidade Estadual de Londrina, CEP 6001, 86051-970, Londrina, PR, Brasil; email: laburu@uel.br.

Resumo

Um trabalho anterior justificou a necessidade de preparar os estudantes para debates racionais entre concepções e/ou teorias rivais e propôs a Reconstrução Racional Didática (RRD) como uma alternativa nesse sentido, seguindo uma estratégia de ensino inspirada em Lakatos. O presente estudo apresenta análises de alguns resultados obtidos a partir de uma aplicação dessa estratégia no ensino formal dos conceitos de calor e temperatura em alunos do ensino médio.

Palavras-chave: Estratégia de Ensino, Reconstrução Racional Didática, História e Filosofia da Ciência no Ensino, Ensino de Calor e Temperatura.

Abstract

In a previous paper we justified the possibility of preparing students for rational debates of rival theories and/or conceptions and proposed an alternative teaching strategy based on Didactic Rational Reconstruction (DRR). This paper presents an analysis of some outcomes resulting from the application of that strategy in the teaching of heat and temperature concepts to High School students.

Keywords: Physics Teaching; Heat and Temperature Concepts Teaching; History and Philosophy of Science in Science Education; Didactic Rational Reconstruction.

Introdução

Um trabalho anterior (Silva et al., 2008) justificou a necessidade de preparar os estudantes para debates racionais entre concepções e/ou teorias rivais e propôs a Reconstrução Racional Didática (RRD) como uma alternativa nesse sentido, seguindo uma estratégia de ensino inspirada em Lakatos. O presente estudo objetiva investigar os resultados obtidos dessa preparação a partir de uma aplicação dessa estratégia no ensino formal dos conceitos de calor e temperatura. Estudo realizado com alunos do ensino médio.

Racionalidade, Filosofia da Ciência e Ensino de Ciências

A racionalidade é um tópico central em filosofia da ciência, sendo importante para o ensino de ciências (Mathews, 1994, p. 93). Conforme Lakatos (1978, p. 169), o problema da racionalidade da ciência relaciona-se ao problema da demarcação generalizada e “*sua solução devia proporcionar-nos orientação relativa a saber quando é que a aceitação de uma teoria científica é racional ou irracional*”. Mas o que vem a ser a racionalidade? A racionalidade é um assunto complexo e as teorias filosóficas/epistemológicas que a definem diferem sobre o papel do julgamento em uma argumentação racional. Além disso, a noção de regras tem sido um assunto de intenso escrutínio filosófico. Para o modelo clássico¹ de racionalidade, a justificação racional de uma decisão ou escolha é uma questão de conformidade com regras explícitas ou princípios em que o julgamento não representa papel algum (Siegel, 2004). É possível dizer que o modelo clássico de racionalidade tenha provocado essas discussões atuais. Isso porque ele conduz a dificuldades então insuperáveis de se escapar de um infinito regresso da justificação racional do uso de uma regra ao se evitar uma decisão arbitrária. Diante disso, Brown (1994 e 2006) vem defendendo o modelo de julgamento² de racionalidade de Reiner (1994) e Siegel (2004), ao passo

¹ Por modelos clássicos de racionalidade entende-se o modelo adotado pelos neo-positivistas e por Popper, em que a razão se apóia em regras atemporais e, em última instância, explicitáveis (Assis, 1993).

² Em que o julgamento refere-se a uma habilidade que se exercita, resultando em decisões razoáveis sem seguir regras.

que Siegel (ibid.) propõe um modelo híbrido de racionalidade que envolve julgamento³ e a conformidade com regras.

Não se pretende aqui aprofundar discussões teóricas nesse sentido, mas pode-se dizer que o presente estudo apresenta uma tendência ao modelo híbrido de racionalidade. Essa tendência ocorre pela inspiração no critério racional⁴ (universal e atemporal) lakatosiano de avaliação e escolha entre programas de pesquisa rivais para auxiliar a educação racional de conceitos científicos. E, nesse sentido, quando uma escolha for realizada, esse julgamento é racional por satisfazer a tal critério, conforme o modelo híbrido (Siegel, 2004, p. 609). Neste modelo, Siegel (ibid.) admite 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 “*função de razões, critérios, consistência e (assim) regras*”. Esse modelo híbrido é discordante daquele proposto por Govier (apud Siegel, 2004) que, ao encontro do modelo de julgamento de Brown (1994), entende que “*somente cumprir regras universais não é a racionalidade*”. Desse impasse teórico, entretanto, 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) em alunos para auxiliá-los na aprendizagem de conteúdos científicos.

A filosofia da ciência tem sido base para a estruturação de estratégias de ensino que propõem um aprendizado constituído por uma atividade racional. Posner et.al. (1982) apresentaram um modelo de mudança conceitual de maneira que as novas concepções sejam aceitas de maneira inteligível e racional. Segundo estes autores (ibid.), “*ensinar ciências proporciona uma base racional para uma mudança conceitual*” e os mesmos sugerem o grau de anomalias como o critério para que um estudante mostre-se insatisfeito com uma teoria e aceite uma rival com satisfação, desde que ela se faça inteligível. Rowell (1989) publicou uma estratégia de ensino racional fundamentada no uso de conflitos cognitivos cujas interpretações permitiriam avaliar a escolha entre as teorias científicas e as concepções alternativas pelo critério do grau de méritos que elas obtinham em suas explicações. Sabe-se, já não é de hoje, que a aprendizagem de conceitos científicos tem sido justificada pela importância dada em se conhecer aquilo que o homem, mais recentemente, tem validado como o

³ Julgamento que pode ser entendido como um processo, no qual uma habilidade é exercitada, ou como, em sentido ordinário, o resultado desse processo (decisões ou escolhas).

⁴ Que será explicitado na seção da aplicação da estratégia de ensino.

conhecimento mais adequado na busca da compreensão dos fenômenos naturais. Julgar que um conhecimento é mais adequado, é uma questão de satisfazer critérios. Isso porque “*a racionalidade está vitalmente preocupada com o estado racional dos produtos/resultados/conclusões*” (Siegel, 2004, p. 611) e também porque “*nós não precisamos conscientemente seguir regras para sermos racionais, mas nossos julgamentos devem seguir critérios para serem certificados como racionais*” (ibid., p. 609). Na filosofia da ciência contemporânea, Lakatos (1978) apresenta critérios para avaliar quando um programa de pesquisa supera um rival e Niaz (1998) elaborou uma estratégia pedagógica inspirada em Lakatos (1978) para o processo racional de ensino/aprendizagem de conceitos científicos.

No presente estudo, a principal contribuição parte de uma avaliação das orientações das estratégias acima, pelas quais se persegue o objetivo de se estabelecer uma aprendizagem racional de conceitos científicos. Embora elas busquem uma racionalidade nas discussões sobre os méritos e deméritos de concepções rivais em sala de aula para que haja a escolha da mais adequada, 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 de teorias, com inspiração filosófica implícita ou não, podem não alcançar êxito. Matthews (1994, p. 86) usa da seguinte analogia para exemplificar isto: “*Um estudante sem uma exposição anterior para tal debate é semelhante a uma criança da zona rural em sua primeira visita à cidade grande*”. No ensino de Física, de discussões em sala de aula que partem de pontos de vista conceituais diferentes para estabelecer um debate racional, uma conclusão (ou julgamento) somente é viável 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. Conforme Chalmers (2000, p. 137), uma posição filosófica na ciência é racionalista por estabelecer um critério universal e atemporal, com o qual se pode 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 isso, um estudo anterior (Silva et al., 2008) propôs uma estratégia que, num passo específico, exemplifica uma discussão racional

através da Reconstrução Racional Didática (RRD) na qual o professor orienta os alunos a, inicialmente, entenderem um certo critério, para que, posteriormente, eles o usem e assim percebam os caminhos que conduzem a uma conclusão. Preocupação não abordada pelas outras estratégias mencionadas, essa preparação parte da pressuposição de que discussões iniciais que objetivam influenciar o aluno com certa racionalidade possam ajudar o processo de ensino/aprendizagem das concepções científicas em um posterior debate racional entre estas últimas e as concepções alternativas que os estudantes normalmente apresentam. Isto justifica a inserção da RRD como um passo específico desta estratégia na intenção de preparar o aluno para análises racionais entre concepções rivais, diferenciando-se da estratégia pedagógica lakatosiana divulgada por Niaz (1998).

A Reconstrução Racional Didática proposta por Silva et al. (2008)

Silva et al. (2008) denominaram de Reconstrução Racional Didática (RRD) uma estrutura pedagógica embasada no uso da História e Filosofia da Ciência 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). Nesse sentido, embora essa RRD possa ser orientada pela HFC 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/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, a RRD pode manter um compromisso com alguns detalhes históricos que se encontram divulgados na literatura como, por exemplo, as concepções dominantes, as atividades experimentais e os principais protagonistas.

De acordo com Lakatos (1978)⁵, 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 são metodologicamente interpretados. Assim, a RRD⁶ divulgada em Silva et al. (2008) com fins instrucionais deve obedecer 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, duas posições teóricas rivais e sucessivas, caracterizando os critérios que influenciaram a aceitação da sucessora;
- Os postulados que constituem o núcleo [duro] de uma teoria devem ser apresentados como difíceis de serem refutados, pois neles os cientistas depositam grande confiança;
- Deve-se estabelecer contra-exemplos que caracterizem as dificuldades teóricas. Por meio de tais dificuldades, apresentar o surgimento de hipóteses auxiliares que devem ser entendidas como tentativas para se obter sucesso, mantendo as concepções nucleares intactas;
- 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 suplante por uma demonstração adicional de força heurística é que se verifica a superação de uma teoria por outra.

⁵ Para os detalhes sinteticamente organizados de sua epistemologia e reconstrução racional, ver Silva et al. (2008).

⁶ A favor da RRD, para mais justificativas do pensamento de que o conhecimento científico escolarizado deve ser a meta do processo de ensino e de aprendizagem, estando acima do ponto de vista de um ensino historicamente autêntico, ver os argumentos das seguintes referências apresentadas em Silva et al. (2008): Mäntylä e Koponen (2007, p. 297-298); Feyerabend (apud Pereira e Amador, 2007, p. 193); Valente (2005, p. 4); Izquierdo-Aymerich e Adúriz-Bravode (2003, p. 29); Niaz e Rodriguez (2002, p. 62); Dobson (2000, p. 1).

Pelo fato das estratégias de ensino, mencionadas na seção anterior, valorizarem a aprendizagem racional de conceitos científicos, é importante ressaltar que a RRD (Silva et al., 2008) é incorporada como um passo específico da estratégia de ensino inspirada em Lakatos (ibid.), na qual discussões racionais entre teorias rivais estejam presentes. 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 (ibid.).

Aplicando a Estratégia de Ensino Lakatosiana (Silva et al., 2008) em sala de aula

O elemento inovador dessa estratégia (Silva et al., 2008) está na inclusão da RRD por inspiração no racionalismo de Lakatos (1978) para exemplificar comparações e escolhas racionais de teorias rivais na intenção de auxiliar os alunos a melhor acompanharem posteriores discussões, igualmente racionais, entre concepções científicas e alternativas⁷. Assim sendo, de uma aplicação desta estratégia no processo de ensino/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 pelas estratégias de Niaz (1998) e Rowell (1989).

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 da região central da cidade de Londrina-PR. A amostra constituiu-se de treze alunos especificados por uma numeração⁸, que foram selecionados de um total de 31 matriculados. Essa dimensão da amostra está em razão de se rejeitar os alunos que faltaram em um dos passos da estratégia, salvos aqueles alunos (alunos 10 e 11) que somente faltaram do quarto passo (inserção da RRD) e da posterior avaliação dos resultados deste, situação que permitiu analisar também os resultados obtidos com a ausência da RRD no processo.

Seguindo os sete passos da estratégia (Silva et al., 2008), primeiramente foram levantadas as concepções alternativas dos estudantes de calor e temperatura, por meio de um questionário com cinco questões. No segundo passo, o professor apresentou

⁷ Discussões que as estratégias de Niaz (1998) e Rowell (1989) realizam de maneira mais direta.

⁸ Tal procedimento objetiva manter a integridade dos alunos envolvidos.

discussões sobre os postulados (núcleos) das teorias rivais do calórico e do modelo cinético-molecular, analisando as diferenças explicativas em fenômenos de equilíbrio térmico. Foram utilizados experimentos e um filme⁹, de aproximadamente dez minutos, para o alcance das condições de inteligibilidade (Posner et al., 1982) de ambas as teorias. No terceiro passo, a análise de tais condições ocorreu por meio de um questionário respondido individualmente pelos alunos. Caracterizado o alcance satisfatório dessas condições de inteligibilidade dos modelos teóricos num nível qualitativo, iniciou-se o quarto passo (inserção da RRD). A RRD elaborada constituiu-se de um texto de aproximadamente três páginas, no qual se procurou confrontar as explicações e hipóteses auxiliares dos programas rivais calórico e cinético-molecular em fenômenos de aquecimento¹⁰, 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, exemplos estes que serviram para auxiliar o entendimento de como avaliar programas rivais por um determinado critério racional que estava na RRD¹¹. Também houve necessidade de discutir com os alunos as funções que uma teoria apresenta de explicar e prever os fenômenos.

A RRD elaborada seguiu uma analogia ao “*sinal típico de degeneração de um programa, que é a proliferação de ‘fatos’ contraditórios*” (Lakatos, 1978, p. 77). Conforme este autor (ibid.): “*Usando uma teoria falsa como teoria interpretativa, podem conseguir-se – sem cometer nenhum ‘equivoco experimental’ – proposições fatuais contraditórias, resultados experimentais incongruentes*”¹². Nessa analogia, o

⁹ CALOR – uma viagem ao mundo das moléculas. Produtores: **Jorge Teixeira e Rosa Ramos**. Direção e Produção: **George Jonas**. Roteiro: **Prof. Dr. Klaus S. Tausk**. Instituto Nacional do Cinema (I. N. C.), Departamento do Filme Educativo. **Uma realização de Unifilm Cinematográfica** – São Paulo. Assessoria: FUNBEC (Fundação Brasileira para o Desenvolvimento do Ensino de Ciências S. A. Videocassete (11min.): VHS, Ntsc, son, color, sem legendas, Port.

¹⁰ Por trocas de calor e por atrito.

¹¹ Vale ressaltar que o que se estabelece na proposta (Silva et al., 2008) é uma analogia entre alguns aspectos do “fazer ciência”, inspirado em Lakatos (1978), e os de ensinar ciência. Para Lakatos (1978, p. 32), a força heurística refere-se à capacidade de um programa em antecipar teoricamente fatos novos, como, também, recém interpretados em seu crescimento. Mas ele (ibid.) ressalta que um fato novo pode ser um fato improvável, ou mesmo proibido por outra teoria rival. É com esta última caracterização de um fato novo (explicar um fato proibido por uma teoria rival) que a analogia com o critério de força heurística se torna mais forte para avaliar como progresso ou degeneração.

¹² Lakatos (ibid.) comenta que Michelson, que se manteve 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 (vento de éter)*”. Ademais, Lakatos (ibid.) ainda comenta que “*sua própria experiência (de Michelson) de 1925 (ou nunca mencionada ou, como no trabalho de Jaffe de 1960, ‘Michelson and the Speed of Light’, apresentada incorretamente) também ‘provou’ que havia*”.

estudo da RRD confrontou as explicações/previsões das ‘hipóteses auxiliares’ dos programas rivais calórico e cinético-molecular em fenômenos de aquecimento por trocas de calor e por atrito, buscando alcançar uma interpretação da proliferação de fatos contraditórios à teoria científica antecessora (teoria calórica). Isso por estabelecer fenômenos cujas interpretações permitem contradições com aquelas em que a teoria calórica foi vista fortalecida no segundo passo em fenômenos de trocas de calor (portanto, por diferença de temperatura). Já com a rival cinético-molecular não se estabeleceu a interpretação de tal proliferação. Logo, analogamente, procurou-se provocar um entendimento de degeneração (enfraquecimento) de uma teoria frente uma rival, em que a lição implícita¹³ que a RRD objetiva fornecer fundamentou-se no critério do grau de explicações sem contradição. Nesta metodologia, após o quarto passo, um questionário foi aplicado visando avaliar os efeitos do uso da RRD neste processo. Isso conforme o objetivo deste estudo, pois na proposta de Silva et al. (2008) não há essa recomendação.

No quinto passo, o professor foi à lousa e discutiu com os alunos as suas noções intuitivas (ou concepções alternativas) sobre calor e temperatura, encontradas no primeiro passo, permitindo-lhes o acesso ao questionário individual que inicialmente haviam respondido naquela ocasião. Discussões teóricas qualitativas sobre o modelo cinético-molecular foram encaminhadas, como a organização das partículas nos três estados da matéria e mudanças de fase. Realizaram-se discussões das previsões possíveis com as noções intuitivas e os modelos teóricos estudados em fenômenos de aquecimento em regiões que sofreram choques, regiões flexionadas de varetas metálicas, regiões atritadas e trocas de calor, tanto em variações de temperatura como em mudanças de fase (água em ebulição). O sexto passo constituiu-se em discutir os méritos e deméritos das explicações/previsões. Depois, como passo final, aplicou-se uma avaliação para analisar se as reflexões racionais presentes na RRD foram importantes para que os estudantes julgassem de forma igualmente racional, naquela ocasião, uma teoria/concepção como mais abrangente (melhor).

Alguns resultados obtidos relacionados à preparação racional pela RRD

Pela viabilidade e continuidade da estratégia de ensino, a partir da constatação da condição de inteligibilidade de ambos os modelos teóricos por análise dos

¹³ Pois “*sempre que uma ciência é ensinada, uma filosofia, até certo ponto, também é ensinada*” (Mathews, 1994, p. 83). E, em ressonância com a afirmação de Allchin (2004, p. 188): “*Toda história da ciência ensina uma natureza da ciência*”.

resultados do terceiro passo, os resultados do quarto passo (aplicação da RRD) revelaram que, ao seguir a analogia com a degeneração de um programa pela proliferação de fatos contraditórios, a RRD alcançou êxito em promover um entendimento nesse sentido nos estudantes. A maioria dos alunos mostrou aceitar a ocorrência de um enfraquecimento, ou melhor, da degeneração do programa calórico frente ao rival cinético-molecular pela interpretação de proposições factuais contraditórias.

Abaixo são discutidos os efeitos da RRD em gerar, nas interpretações realizadas das hipóteses auxiliares do programa calórico, argumentos contrários aos postulados deste programa, juntamente com os fatos inicialmente favoráveis (estudados no segundo passo), interpretados em fenômenos de equilíbrio térmico como compatíveis com tais postulados.

Para os fenômenos de equilíbrio térmico, constatou-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 processo parecia produzir calórico. Para esses alunos, constatou-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 em analogia às heurísticas¹⁴ 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 propositadamente trabalhadas, como a hipótese da concentração do calórico das peças em suas superfícies aquecidas pelo atrito¹⁵ 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).

Com a teoria calórica, houve na RRD uma discussão sobre a suposição de que todo aquele calórico que se acreditava perceber no processo de aquecimento por atrito

¹⁴ Discutidas em Silva et al. (2008).

¹⁵ O desenvolvimento de calor pelo atrito, por exemplo, era explicado pelos adeptos da teoria do calórico, de modo que o calor era, por assim dizer, espremido da substância, revelando-se no processo (Dampier, 1945, p. 294).

já estivesse na peças¹⁶ ser inválido com o argumento de que estas deveriam, então, encontrar-se derretidas antes mesmo do atrito. Pôde-se verificar compreensões nesse sentido em vários resultados (alunos 1, 3, 4, 5 e 6), que permitiram indicar condições de insatisfação com o programa calórico.

Uma previsão com a teoria calórica foi a do gelo não derreter por atrito num ambiente de temperatura menor que a de seu ponto de fusão, pois, em temperaturas maiores o gelo derreteria em razão da diferença de temperatura entre ele e o ambiente, que transferiria calórico. Nesse caso, discutiu-se que o derretimento fora possível pelo atrito em ambientes de temperaturas inferiores às de seu ponto de fusão, buscando gerar interpretações de contradição com explicações pelo sentido do fluxo do calórico, além de inviabilizar aquela 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; ainda que o aluno 6 tenha descaracterizado a hipótese do meio ambiente fornecer calórico por interpretar que se criava calórico no processo de derretimento dos gelos pelo atrito naquele ambiente de temperatura negativa, porém, manifestando sentir um enfraquecimento desse programa com essa interpretação.

Como foram onze alunos analisados nessa etapa¹⁷, é possível dizer que, a partir das respostas individuais que representaram seus entendimentos particulares da RRD, cada um desses resultados 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 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: 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*

¹⁶ Em razão do postulado de sua proibida criação.

¹⁷ Lembrando que os alunos 10 e 11 não participaram.

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 constatou 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, observou-se que os julgamentos desses alunos foram justificados racionalmente, por coerência com os critérios pertinentes¹⁸ 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 a uma preparação racional nesse tipo de estratégia. Isso porque, embora os alunos 10 e 11 tivessem mostrado condições

¹⁸ 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*”.

de inteligibilidade com ambos os modelos teóricos no terceiro passo, a análise do sétimo passo mostrou 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 racionalidade¹⁹, assim como de uma filosofia, há uma racionalidade imatura e mal controlada pelos estudantes em momentos de decisão. Esta observação 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 e comentários

A não inserção de uma avaliação após o quarto passo²⁰, avaliação que se adaptou nesta metodologia de acordo com o objetivo da pesquisa, não altera os resultados do processo educacional da presente estratégia. Por essa razão, julga-se aqui que essa avaliação pode ou não ser utilizada por um educador conforme o tempo disponível para trabalhar um determinado tema da física escolar 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 em Silva et al. (2008), conclui-se que, por esta última alternativa (ibid.), 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.

A respeito da racionalidade, os filósofos iluministas, bem como os clássicos gregos, já privilegiavam os princípios matemáticos e lógicos como qualidades fundamentais e definidoras de uma razão bem formada. Para ser racional era preciso possuir uma habilidade para seguir regras lógicas e precisas, de modo consistente e coerente. As dificuldades exibidas por muitas pessoas quando enfrentam as exigências formais sempre foram relacionadas à ignorância, cujo melhor remédio esteve em alcançar reflexões por meio da lógica. Fatores relacionados com o conteúdo do raciocínio, tais como contexto vivido, familiaridade com o assunto, sentimentos e

¹⁹ O entendimento aí é o da carência de um discurso cuja decisão é fruto de uma preparação racional conforme um modelo de racionalidade. Não se quer aqui dizer que uma pessoa é irracional, mas que uma decisão pode ser classificada como irracional conforme um entendimento de racionalidade (Siegel, 2004). É importante ressaltar que não se está promovendo o estabelecimento de que quaisquer atitudes (decisão, ação, medo, voto, crença, etc) classificadas como irracionais (ou não razoáveis) permitem classificar um indivíduo como irracional.

²⁰ Para avaliar os resultados pela RRD, ausente na proposta de Silva et al. (2008).

emoções eram deixados de lado do processo cognitivo para proporcionar uma generalização capaz de apontar a verdade universal das inferências lógicas.

Embora este estudo tenha caracterizado uma orientação favorável à aprendizagem como constituída de uma atividade racional no entendimento de que aprender é, fundamentalmente, chegar a compreender e aceitar as idéias, sendo estas inteligíveis e racionais, não se quer assim restringir a aprendizagem a aspectos racionais. É natural que os estudantes devam organizar seus valores a partir das evidências dispostas e não se quer dizer aqui que variáveis afetivas ou motivacionais não influenciem, de alguma forma, o processo de aprendizagem. Aliás, muitos problemas cotidianos, quem sabe a maioria deles, são resolvidos por grande parte da população sem o recurso de uma formulação rígida, por vezes incompreensível pela lógica. Alguns estudiosos (Brown, 1994 e 2006; Govier, apud Siegel, 2004) ainda defendem que, por mais paradoxais que sejam as decisões humanas, elas decorrem de uma cadeia de pensamentos que não seria necessariamente aquela imaginada pelos especialistas em regras e que, nem por isso, descaracterizam uma certa racionalidade ao manter sua espécie até então bem sucedida na luta pela sobrevivência. Todavia, mesmo se assim for, o presente estudo apontou que um aprimoramento de lógica²¹ (na qual podem estar envolvidos regras metodológicas e critérios) nos alunos pode vir a auxiliá-los na maneira como eles aprendem os conteúdos científicos estudados por uma estratégia de ensino lakatosiana (Silva et al., 2008). A saber: 1º- a lógica inspirada nas heurísticas de Lakatos (1978), na qual a criação das hipóteses auxiliares obedece à regra de compatibilidade com hipóteses nucleares (ou postulados de um programa); 2º- a regra de selecionar teorias rivais pelo critério do número de explicações validadas que cada uma teoria apresenta²².

Enfim, este trabalho forneceu uma reflexão sobre uma alternativa (Silva et al., 2008) para o educador que leva em consideração as concepções alternativas dos estudantes e que se inspira na orientação lakatosiana de comparação de teorias rivais, preocupando-se com as diferentes concepções que concorrem em termos explicativos no ambiente de sala de aula, ao procurar uma estratégia de ensino.

²¹ Admitindo a acepção da palavra lógica como o “*encadeamento coerente de alguma coisa que obedece a certas convenções ou regras*” (Houaiss e Villar, 2001).

²² Inspiração no critério de Lakatos para falsear uma teoria científica: Uma teoria só será falseada se outra tiver sido proposta com excesso de conteúdo empírico em relação à primeira (contendo como fatos novos, fatos improváveis ou proibidos pela rival), em que a teoria vencedora (ou mais progressiva) é assim justificada por explicar o êxito da rival e apresentar um excesso de conteúdo corroborado (Lakatos, 1978, p. 32)

Referências bibliográficas

- ALLCHIN, D. Pseudohistory and pseudoscience. *Science & Education*, v.13, p- 179-195, 2004.
- ASSIS, Jesus de Paula. Kuhn e as ciências sociais. *Estudos Avançados*, São Paulo, v. 7, n. 19, 1993. Disponível em:
<http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-40141993000300004&lng=en&nrm=iso>. Último acesso em 08 de outubro de 2007.
- BROWN, H. I. Judgment and Reason: Responses to Healy and Reiner and Beyond, *The Electronic Journal of Analytic Philosophy* v. 2. n.5, 1994.
- BROWN, H. I. More about Judgment and Reason. *Metaphilosophy*, v. 37, n. 5, ps. 646-651, October 2006.
- CHALMERS, A. F. *O que é ciência afinal?* Editora Brasiliense, São Paulo-SP, 2000.
- DAMPIER, W. C. *História da Ciência – e das suas relações com a filosofia e a religião*. 2ª edição. Editorial Inquérito Limitada – Lisboa (1945).
- DOBSON K. Is physics debatable? *Physics Education*, v.35, n.1 (2000).
- HOUAISS, A.; VILLAR, M. S. *Dicionário Houaiss da Língua Portuguesa*, Rio de Janeiro: Objetiva, 2001.
- IZQUIERIDO-AYMERICH, M.; ADÚRIZ-BRAVO, A. Epistemological Foundations of School Science. *Science & Education* 12, ps. 27-43 (2003).
- 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, ps.291-311 (2007).
- MATHEWS, 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, ps. 107-127, 1998.

NIAZ, M. & RODRÍGUEZ, M. A. Improving learning by discussing controversials in 20th century physics. *Physics Education*, ps. 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*, v. 6, n.1 (2007).

POSNER, G., STRIKE, K., HEWSON, P., & GERTZOG, W. 'Accommodation of a Scientific Conception: Toward a Theory of Conceptual Change', *Science Education* 66, ps. 211-227, 1982.

REINER, R. "The Rationality of Authority: Healy and Brown on Expertise". *The Electronic Journal of Analytic Philosophy*, v.2, n.3, 1994.

ROWELL, J. A. Piagetian Epistemology: Equilibration and the Teaching of Science. *Synthese*, 80, ps. 141-162, 1989.

SIEGEL, H. Rationality and Judgment. *Metaphilosophy*, v.35, n.5, ps. 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://enciencias.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: ps. 37-55, abr. 1997.

SILVA, O. H. M.; NARDI, R.; LABURÚ, C. E. Uma Estratégia de Ensino inspirada em Lakatos com Instrução de Racionalidade por uma Reconstrução Racional Didática. *Ensaio*, v.10, n.1, (2008).