

TEORIAS DA LUZ E NATUREZA DA CIÊNCIA: ELABORAÇÃO E ANÁLISE DE CURSO APLICADO NO ENSINO MÉDIO

THE THEORIES OF LIGHT AND THE NATURE OF SCIENCE: DEVELOPMENT AND ANALYSIS OF A HIGH SCHOOL COURSE

*Thaís Cyrino de Mello Forato¹, Roberto de Andrade Martins², Maurício Pietrocola³.

1 USP / Faculdade de Educação, thaiscmf@usp.br

2 UNICAMP/ Instituto de Física Gleb Wataghin, rmartins@ifi.unicamp.br

3 USP / Faculdade de Educação, mpietro@usp.br

Resumo

Foi realizada uma pesquisa empírica que compreendeu a elaboração, aplicação e análise de um curso que introduzia conhecimentos de história e filosofia da ciência no ensino médio. Utilizando três episódios da história da óptica, enfocando teorias da luz, foram discutidos aspectos da natureza da ciência. O curso foi aplicado em uma escola pública de São Paulo, e foram coletados dados a partir de três fontes distintas, visando sua triangulação: (i) a gravação das aulas em vídeo; (ii) as respostas dos alunos aos questionários e à prova escrita individual; (iii) anotações de campo da pesquisadora durante as aulas. Os dados apontam para aspectos bem sucedidos das estratégias utilizadas, bem como evidenciam as dificuldades do processo. Apesar da vasta literatura nas pesquisas educacionais que recomendam o uso da história e filosofia da ciência no ensino percebeu-se que isso não é tarefa trivial, sendo necessárias pesquisas empíricas que possam auxiliar o processo de transposição do saber sábio para a sala de aula.

Palavras-chave: ensino de física, natureza da ciência, história da ciência.

Abstract

This paper describes an empirical research including elaboration, application and analysis of a high-school course introducing topics of history and philosophy of science. The subject studied was history of optics, focusing upon three episodes concerning theories of light to discuss the nature of science. The course was tried at a public school in São Paulo. Data were collected from three different sources, for triangulation: (i) video recording of the classes; (ii) written answers of the students to questionnaires and individual exam; (iii) field notes taken by the researcher during classes. The analysis of this information shows that there were some successful strategies used in the classroom to introduce concepts about the nature of science, and also reveals difficulties of the process. Despite the vast educational literature recommending the use of history and philosophy of science in schools for an education stressing citizenship, it became clear that the task is not trivial. There is a strong need for empirical researches to guide the transposition from academic knowledge to the classroom.

Keywords: physics teaching, nature of science, history of science.

Introdução

A compreensão da ciência como uma atividade humana tem sido um objetivo amplamente tratado nas pesquisas em ensino de ciências. Tais estudos a enfocam não como um dogma inquestionável, mas como a elaboração de um conhecimento historicamente construído.¹ Abordagens histórico-epistemológicas vêm sendo apontadas como estratégia pedagógica que permite desenvolver uma visão crítica do fazer científico, mostrando que a ciência não é uma construção puramente racional, desenvolvida por um suposto “método científico” a partir de observações, experimentos, deduções e induções logicamente fundados (GIL ET AL., 1998; MCCOMAS, ET AL. 1998; PIETROCOLA-OLIVEIRA, 2003; PUMFREY, 1991). A inclusão de conhecimentos sobre a natureza da ciência (NDC) como conteúdo curricular, contextualizando historicamente a elaboração de certos conceitos científicos, permite ao aluno conhecer alguns pressupostos aceitos no fazer científico, e a existência de seus limites de validade, dentre outros benefícios (EL HANI, 2006; GIL PEREZ *et al.*, 1998; MEDEIROS; BEZERRA, 2000; MCCOMAS, *et al.* 1998; PIETROCOLA-OLIVEIRA, 2003; PUMFREY, 1991, por exemplo).²

Entretanto, viabilizar a utilização da história e da epistemologia da ciência no ambiente escolar não é tarefa elementar. Requer abordagem adequada para evitar construir histórias factuais, anacrônicas, ou distorcidas, como as presentes em vários livros didáticos (ALLCHIN, 2004; L. MARTINS, 1998, 2005; MEDEIROS; BEZERRA, 2000). O maior prejuízo que tais versões deturpadas da história da ciência podem trazer ao ensino é transmitir aos estudantes uma visão igualmente distorcida sobre a NDC (ALLCHIN, 2004, 2006; KUHN, 1987; R. MARTINS, 2001; PIETROCOLA-OLIVEIRA, 2003; WHITAKER, 1979). Lidar com os dilemas da transposição de conteúdos históricos e epistemológicos ao ambiente escolar significa pensar dificuldades que vão além da preparação de materiais de boa qualidade (A. MARTINS, 2007).

Em face de tal desafio, estamos desenvolvendo uma pesquisa em que se objetiva contribuir para a introdução da história da ciência na sala de aula com o propósito de discutir aspectos da NDC. A parte empírica da pesquisa consiste na elaboração, aplicação e análise de um mini-curso para o Ensino Médio, que utiliza três episódios da história da óptica para propiciar reflexões histórico-epistemológicas. Esse trabalho apresenta o processo de elaboração de um mini-curso, destacando seus objetivos epistemológicos, as estratégias pedagógicas para o desenvolvimento do conteúdo, e a análise de uma amostra dos dados obtidos.

Os propósitos pedagógicos almejados

Não é possível pensar o Ensino de Ciências sem considerar seus propósitos formativos mais amplos, por exemplo, preparar o aluno para interagir criticamente com conhecimentos acerca da Ciência e da Tecnologia (GIL ET AL., 2001; MCCOMAS, 1998; PUMFREY, 1991). A introdução da história da ciência para discutir conteúdos

¹ Apenas para citar alguns exemplos: Abd-El-Khalick e Lederman (2000); Allchin (2006; 2004); Batista, 2007; Brush (1989); Carvalho; Castro (1992); Chen (2006); Cupani; Pietrocola (2002); El Hani (2006); Hanuscin et al. (2006); Holton (2003); Martins (2006; 1990); Matthews (1989; 1995; 1997); McComas et al. (1998); Medeiros; Bezerra, (2000); Niaz (2001); Pietrocola-Oliveira (2003); Peduzzi (2001); Whitaker (1979).

² Este enfoque pressupõe a abordagem empírica dos aspectos da natureza da ciência, tratada pela história e sociologia da ciência. Não serão discutidos aspectos axiológicos ou normativos, que competem à filosofia, e configuram-se também como potenciais contribuições para a educação científica. Veja em Martins (1999).

sobre a NDC no ensino tem sido apontada por especialistas como estratégia adequada para tal propósito pedagógico.³

A seleção dos conteúdos sobre a NDC a se trabalhar deve considerar que não há uma concepção única para todos os seus aspectos entre os filósofos da ciência, mas há pontos de concordância apontados por pesquisas educacionais. Dentro de tal confluência, especialistas selecionam os aspectos epistemológicos que deveriam permear o ensino de ciências e serem debatidos em ambiente escolar (McCOMAS, 1998; EL HANI, 2006; GIL PEREZ *et al.*, 2001; PUMFREY, 1991). Entender a ciência se desenvolvendo em um contexto cultural, de relações humanas, dilemas profissionais e necessidades econômicas é, segundo Pumfrey (1991), um dos propósitos pedagógicos da utilização de conhecimentos histórico - epistemológicos no ensino. A compreensão da ciência como uma construção cultural permite refletir sobre as relações e diferenças entre observação e hipóteses, leis e explicações e, principalmente, resultados experimentais e explicação teórica. Tais conhecimentos permitem preparar o aluno para compreender os termos que envolvem o debate científico e a ciência como parte de sua cultura (PUMFREY, 1991).

Nessa investigação empírica que analisa o processo de transposição dos conhecimentos de história e filosofia da ciência (HFC) para o ambiente escolar buscou-se “*problematizar a ciência como uma construção puramente racional, desenvolvida por um suposto método científico a partir de observações, experimentos e induções logicamente fundados*” (PUMFREY, 1991). Tendo em vista tal propósito pedagógico, selecionamos dois aspectos da NDC, para serem abordados em um mini-curso para o ensino médio: (i) uma observação significativa não é possível sem uma expectativa preexistente; (ii) a natureza não fornece evidências suficientemente simples que permitam interpretações sem ambigüidades. (PUMFREY, 1991).

A transposição do saber sábio para a sala de aula

A utilização da HFC em ambiente escolar impõe considerar as especificidades de saberes e fazeres de distintos campos do conhecimento. É preciso enfrentar os dilemas na busca da harmonização entre as necessidades dos campos didático-pedagógico e histórico-epistemológico, o que significa pensar a reelaboração didática da HFC produzida pelas comunidades acadêmicas. Essa transformação reconhece um distanciamento obrigatório entre esses diferentes saberes tratados tanto pela nova sociologia do currículo como pelos autores que trabalham a partir do enfoque da epistemologia escolar (GABRIEL, 2001). Nesse sentido, a transposição didática (TD) (CHEVALLARD, 1991) permite pensar a reelaboração dos saberes, atentando para os riscos de sua banalização, exercendo constante vigilância epistemológica indispensável a esse tipo de reflexão. Considerar as necessidades didáticas de cada disciplina significa respeitar a autonomia epistemológica atribuída ao saber escolar (GABRIEL, 2001).

O mini-curso foi concebido considerando o saber escolar como sendo historicamente construído, a partir de sua relação com outros saberes, incluindo o acadêmico. A seleção dos conteúdos e as estratégias pedagógicas para abordá-los

³ Há vasta literatura nacional e internacional, por exemplo: A. Martins, 2007; Allchin, 2006; Batista, 2007; Carvalho; Castro, 1992; Chen, 2006; Cupani; Pietrocola, 2002; El Hani, 2006; McComas *et al.*, 1998; Matthews, 1995; Medeiros; Bezerra, 2000; Niaz, 2006; Peduzzi, 2001; Pietrocola-Oliveira, 2003; Pumfrey, 1991.

aditem a construção de um novo saber influenciado tanto por fatores sociais e culturais, como pelas especificidades didáticas de cada disciplina. O conceito de TD torna-se útil ao admitirmos a não neutralidade dos saberes e a necessidade de sua contextualização, tratados pela nova sociologia do currículo (GABRIEL, 2001).⁴ Tal concepção ampara a negociação entre os dilemas advindos das diferentes necessidades educacional e historiográfica. Mais do que respeitar um preciosismo na área histórica, nossa preocupação é que a distorção da história da ciência pode fornecer ao aluno uma imagem distorcida da própria NDC. Essa é uma das principais razões que geram tantos debates e controvérsias entre educadores, historiadores e filósofos da ciência (ALLCHIN, 2004; HOLTON, 2003; KUHN, 1987; MARTINS, 2001; MCCOMAS, 1998; PUMFREY, 1991; WHITAKER, 1979).

Compreender a necessidade da elaboração de novos saberes amparou o processo de construção da seqüência de atividades didáticas aplicada no ensino médio. Sua estruturação, aplicação e análise compreenderam as seguintes etapas:

- selecionar o conteúdo da história da ciência adequado a tratar aspectos pretendidos sobre a NDC;
- desenvolver o material para os alunos utilizado nas aulas;
- desenvolver, na medida do possível, o material de apoio ao professor;
- desenvolver as atividades da seqüência aplicada em sala de aula;
- contatar e apresentar a proposta do mini-curso ao professor de física do ensino médio, dando suporte para a sua aplicação;
- visitar a escola para planejar a tomada de dados e cuidar dos aspectos éticos da pesquisa;
- acompanhar a aplicação do mini-curso;
- analisar os dados obtidos.⁵

A temática, os aspectos epistemológicos e as atividades desenvolvidas

Para criticar a tradição indutivista ingênua que tem prevalecido no ensino das ciências (MEDEIROS; BEZERRA; 2000; PIETROCOLA-OLIVEIRA, 2003) escolhemos como tema para este mini-curso o estudo da relação entre um conceito de éter luminífero e as teorias da luz no início do século XIX. Tal questão possui características que permitem abordar os aspectos da NDC propostos para essa investigação empírica. Entretanto, não se pode pressupor que o aluno do ensino médio possua os pré-requisitos necessários para discutir um assunto tão complexo. Tampouco se podem ignorar as dificuldades de se abordar a complexa e sutil relação entre teoria e experimento na construção da ciência, quando se pretende criticar a idéia de um método empírico universal, especialmente, que toda observação tem certa carga teórica que a influencia (MEDEIROS; BEZERRA; 2000).

Adotou-se como hipótese (que seria analisada depois da aplicação do mini-curso) que informações sobre a teoria corpuscular atribuída a Isaac Newton e sobre a teoria de tipo ondulatória de Christiaan Huygens são úteis para preparar o aluno para a compreensão dos pontos favoráveis e problemáticos em ambas as teorias. A

⁴ A despeito das críticas à transposição didática presentes na literatura educacional, acreditamos que sua apropriação crítica é adequada ao nosso problema de pesquisa. Tal argumentação será exposta em outro trabalho, devido ao recorte imposto pelos objetivos desse trabalho. Um exemplo da adequação da transposição didática aos saberes históricos pode ser encontrada em Gabriel (2001).

⁵ A tomada e a análise dos dados adotam metodologia descrita em Carvalho (2006).

relação entre a natureza da luz e a visão foi admitida como adequada para introduzir o tema em sala de aula. As teorias elaboradas por alguns filósofos gregos pareceram atender a esse propósito. Além disso, seria uma oportunidade para mostrar como o homem utilizou diferentes métodos na tentativa de explicar a natureza ao longo de sua história. Os episódios históricos abordados no curso foram assim organizados:⁶

Episódio I: Um pouco sobre a luz na Antigüidade grega

a) O que é a luz? Como vemos o mundo? b) Explicações muito antigas: mitos e filosofia. c) A luz para os atomistas. d) Empédocles e o raio visual. e) Aristóteles e a qualidade dos corpos transparentes. f) Pensando sobre a diversidade de teorias.

Nesse primeiro episódio, buscou-se mostrar que não havia um consenso entre os filósofos, pois a observação dos fenômenos não oferecia informações que permitissem uma única interpretação. As diferentes concepções para explicar a luz eram baseadas em hipóteses vinculadas ao modo como cada escola de pensamento entendia o funcionamento do Universo. Nesse momento a maior dificuldade encontrada foi cuidar para não fomentar uma visão relativista extrema da elaboração de teorias explicativas para os fenômenos naturais.

Episódio II: A natureza da luz para alguns pensadores do século XVII

a) Revisão de fenômenos ópticos: reflexão, refração e dispersão. b) Huygens e o movimento no éter. c) Newton e a possibilidade corpuscular para a luz. d) O fenômeno das cores (prismas). e) A imagem da ciência no século XVIII.

O episódio II permitiu mostrar que havia bons argumentos favoráveis, bem como limitações, em ambas as teorias abordadas. A discussão do fenômeno das cores também contribuiu para mostrar que a “formulação de hipóteses e a construção de modelos admitem pressupostos que influenciam na observação dos experimentos” (MARTINS; SILVA, 2001; PUMFREY, 1991).

Episódio III: As teorias da luz e o éter luminífero no início do século XIX

a) Revisão de alguns fenômenos ópticos: sombras e difração; sobreposição e interferência. b) A importância do éter na teoria ondulatória. c) Rompendo com a tradição corpuscular. d) Os corpuscularistas e o prêmio de Fresnel. e) A teoria de Fresnel e a aceitação da teoria ondulatória.

No episódio III mostrou-se que, no século XIX, aceitar a teoria ondulatória significava admitir a existência do éter, e foram discutidas algumas premissas para a aceitação de entes inobserváveis na construção de modelos científicos. Procurou-se ressaltar que NÃO é possível tirar conclusões apenas a partir dos experimentos, mas eles são muito importantes para a elaboração das teorias científicas. Ao longo de todo o mini-curso foi possível criticar a visão de leis como propriedades da natureza, previamente existentes, cabendo aos homens descobri-las.

Os conteúdos desses episódios foram desenvolvidos em oito pequenos textos e um roteiro para uma peça de teatro.⁷ Buscou-se contemplar a metodologia

⁶ A seleção de episódios da história da óptica é uma opção entre inúmeras possibilidades. A análise do processo apontou os pontos favoráveis e as dificuldades dessas escolhas.

⁷ A peça e outros sete pequenos textos foram desenvolvidos por nós. Inserimos um texto de Breno Arsioli Moura sobre a teoria de Isaac Newton para a luz, no intuito de fornecer mais elementos aos alunos. Tais textos ainda não publicados devem ser disponibilizados durante 2008 no site: <http://nupic.incubadora.fapesp.br/portal>.

prescrita pela nova historiografia da ciência (L. MARTINS, 2005) no intuito de produzir textos de boa qualidade, sem, entretanto perder de vista que se trata da elaboração de um novo saber escolar, e não de uma produção em história da ciência. Porém, conforme já apontou André Martins (2007), não basta materiais didáticos de boa qualidade para se pensar as dificuldades na inserção de elementos da HFC no ensino de ciências. Desse modo, uma seqüência de atividades foi desenvolvida para analisar a utilização desse material na sala de aula.

No desenvolvimento de tais atividades buscou-se promover o contato do aluno com os dois objetivos epistemológicos selecionados nos três episódios históricos, e por meio de diferentes estratégias pedagógicas.⁸ Utilizamos a leitura e discussão de textos, resolução em grupo de questões abertas que não eram meramente interpretativas, mas pretendiam ser provocativas, criar conflitos, levantar polêmicas, envolvendo os sujeitos na reflexão de modo a se apropriarem do problema. A realização de um debate entre dois grupos, contextualizado no início do século XVIII, confrontou as teorias ondulatória e corpuscular para a natureza da luz. Cada grupo deveria argumentar com exemplos que sua teoria explicava melhor e apontar limitações na teoria rival.

As aulas utilizaram ainda recursos multimídia para apresentação do conteúdo das aulas; demonstração de alguns fenômenos ópticos – como dispersão da luz em um prisma, formação de sombras e difração –, e, a leitura e reconstrução de dois textos entregues recortados em parágrafos. Utilizamos também uma animação que ilustra o experimento da dupla fenda exibindo o trecho inicial de um vídeo disponível no Youtube, que compara os fenômenos da difração e interferência luminosa, mediante concepções ondulatória e corpuscular para a luz.⁹

Alguns alunos encenaram uma peça de teatro inspirada nos episódios estudados enfatizando aspectos da NDC. O curso foi finalizado com um festival cultural, em que alguns alunos escreveram paródias, uma história e uma poesia abordando o conteúdo do curso. Uma linha cronológica de 1300 a.C. até 2000 foi representada em uma faixa (6m de comprimento) com imagens de pensadores ligados à história da ciência. As imagens de alguns filmes épicos foram utilizadas apenas para oferecer uma visão panorâmica da localização histórica dos três episódios. A avaliação final foi realizada individualmente com consulta e inspirada na prova operatória, concebida como mais um recurso que favorece o aprendizado (Ronca; Terzi, 1993). Buscou-se que a avaliação fosse coerente com as estratégias de ensino utilizadas.

Análise dos dados

O mini-curso foi aplicado no terceiro ano do ensino médio (38 estudantes) em uma escola pública da periferia de São Paulo, totalizando 20 horas-aula de 50 minutos, distribuídas em 10 dias úteis consecutivos de aulas duplas. Os dados foram obtidos a partir de três fontes distintas: (i) gravação das aulas em vídeo; (ii)

⁸ As premissas adotadas para a seleção de estratégias pedagógicas, visando favorecer a aprendizagem dos alunos, serão desenvolvidas em outro trabalho, com outro recorte. Os principais referenciais teóricos para esse estudo são Chevallard, 1991; Brousseau, 1986 e o Conhecimento Pedagógico do Conteúdo (CPC). Sobre esse último, veja, por exemplo, Resende; Rubino; Queiroz, 2006.

⁹ Tradução para o português: “Dr Quantun – Fenda Dupla” utilizamos apenas os primeiros 1 min 45 s, disponível em: <http://br.youtube.com/watch?v=lytd7B0WRM8>.

respostas escritas pelos alunos aos questionários e avaliação final; (iii) anotações de campo efetuadas pela pesquisadora. Tal investigação empírica; que focaliza o processo e não o produto; possui caráter qualitativo e adota metodologia sintetizada em Carvalho (2006). A análise dos dados voltou-se para a interação “aluno – professor - saber a ensinar”, na perspectiva dos aspectos de NDC pretendidos. De um modo geral, percebe-se que o processo favoreceu as problematizações pretendidas e apontam para possíveis ações pedagógicas na utilização da HFC em ambiente escolar. Os episódios da história da óptica selecionados mostraram-se adequados no sentido de contribuir para discutir os objetivos epistemológicos propostos. Os dados indicaram também a necessidade de controlar certas variáveis na estratégia de ensino adotada. Nesse sentido, selecionamos uma amostra da análise do debate para apresentar alguns resultados.

O debate entre as teorias utilizava conhecimentos transpostos da história da ciência visando os seguintes objetivos epistemológicos: i) perceber que havia bons argumentos, bem como limitações, em ambas as teorias; ii) a observação dos fenômenos não permite uma única interpretação; iii) a construção de teorias admite pressupostos que influenciam a observação dos experimentos; iv) teorias não podem ser provadas e não são elaboradas unicamente a partir da experiência.

A preparação para essa atividade incluiu uma apresentação em multimídia tratando das teorias de Huygens e Newton para a natureza da luz, e como cada uma explicava alguns fenômenos ópticos, por exemplo, a reflexão e a refração. Os pontos favoráveis e contrários a cada teoria foram discutidos utilizando imagens (PowerPoint) e simulações com lanternas e bolas de gude. A demonstração da dispersão da luz branca em um prisma permitiu abordar aspectos controversos sobre o “fenômeno das cores”. Os alunos receberam três textos tratando desses conteúdos, que foram lidos e discutidos com a professora, e retomados na correção das questões abertas e na sistematização do episódio II. Essa preparação ocorreu em dois dias consecutivos, utilizando quatro horas-aula. Mais duas horas-aula foram necessárias para o debate, a reunião do júri e a apresentação do veredicto.

As regras do debate e os textos pertinentes foram entregues aos dez alunos, que se ofereceram para participar, no primeiro dia de aula para que houvesse tempo de preparação. As orientações eram basicamente: “Imagine que estamos no início do século XVIII. Vamos simular um debate que poderia ter ocorrido entre dois grupos. Um deles acredita na teoria sobre a natureza da luz de Huygens. O outro defende a teoria corpuscular atribuída a Newton. O restante da classe será o “júri” dessa disputa e devem preparar-se para formular questões a ambos os grupos. [...] Os grupos podem utilizar o texto 4, o conteúdo da aula passada e os textos 5 e 6 a seguir para construir sua argumentação. Lembrem-se: as teorias que aceitamos atualmente e os recursos atuais não podem ser usados como argumento. O júri só poderá considerar os recursos que eram utilizados no período. Vamos levar em conta aqui apenas algumas questões relativas à natureza da luz [...]”

As anotações de campo feitas durante o debate enfatizam o clima hostil de disputa entre os grupos, e demonstram a apropriação do problema pela ampla maioria da sala, inclusive pelos alunos menos atuantes nas primeiras aulas. O “grupo da corpuscular” levou um cartaz com os dizeres: “Newton é o cara”. As anotações destacam bons argumentos, e também a utilização de algumas informações que não estão nos textos levando os alunos a cometerem alguns erros. Foram também utilizados argumentos inválidos no período, como comparar

propriedades de ondas mecânicas e eletromagnéticas para justificar a teoria ondulatória, bem como cruzamentos de feixes de luz no palco.

Na observação dos dados gravados nota-se a motivação dos alunos com a atividade. Foi interessante o impasse surgido no sorteio para decidir quem iniciaria o debate. O grupo da teoria ondulatória argumentou que todos preferiam a corpuscular, e eles mereciam algum privilégio por estarem defendendo uma causa aparentemente “perdida”. A professora discordou, pois nenhuma teoria poderia ser considerada melhor antes do debate. O grupo da corpuscular inicia:

Aluno T: *Vamos falar sobre a corpuscular, de Newton por acaso (sorrindo com expressão confiante). É... Newton dizia que a luz era feita de pequenos corpos, corpúsculos que emanavam dos objetos luminosos. Esses objetos é... esses pequenos corpúsculos eles incidiam sobre os objetos e... eles refletem, causando o efeito da visão, proporcionando a visão... pra nós.*

Aluna C: *É... uma das, assim, uma das coisas que enfatizam também é que apesar de serem minúsculos corpúsculos, eles têm o poder de se atrair e de se repelir, portanto não são todas as vezes que ele bate e reflete, ele bate assim... (gesto com as mãos indicando colisão)... (pausa, **aluna D** faz comentário em voz baixa sugerindo à colega outros argumentos, risos, a **aluna C** continua:) é... Newton foi um dos caras que ficou conhecido, assim, por estar é... estudando mais a fundo a luz, ele estudou as cores... ele estudou muito sobre óptica... (**aluno T** faz rápido comentário sobre o prisma e a **aluna C** continua:) estudou muito sobre o prisma também... ele foi um dos primeiros assim, a tá colocando toda essa teoria no papel, ... prá tá assim colocando tudo isso para a sociedade, não simplesmente falando... ele foi um físico assim... [inaudível].*

Aluna D: *com vários experimentos...*

Percebe-se a cooperação entre os membros do grupo nas “dicas” trocadas, especialmente nas imagens coletadas. Os alunos param de argumentar e a professora pergunta se há mais alguma coisa que eles queiram colocar para mostrar o que seria a luz.

Aluna C: *uma das principais seria que ele realmente provou, ele não supôs a existência de nada pra tá falando sobre a luz. Ele colocou toda essa teoria no papel, ele falou, mostrou que realmente tem como, ele não supôs a existência de nada pra aquilo tá ocorrendo...*

As falas, os gestos e as expressões captadas sugerem que eles tentam conferir confiabilidade à teoria corpuscular atribuindo sua autoria a Newton, lembrando seu prestígio, e sua grande dedicação. Depois de longa pausa, um dos alunos do júri sugeriu que o outro grupo começasse a expor. A professora interferiu e perguntou se eles não teriam argumentos para refutar a teoria ondulatória

Aluno T: *é... a gente não aceita... ah... a ondulatória por vários motivos. Assim... na teoria ondulatória ... eles dizem que a luz é um movimento numa espécie de matéria muito sutil. Quando ele fala assim matéria muito sutil, eu entendo como se fosse corpúsculos, então ele estaria se referindo também a uma parte da teoria de Newton, e a teoria ondulatória... no caso, não sei falar, Huygens... Huygens... ele... ele rebate essa teoria de corpúsculos. Então, ele fez uma teoria onde citava os corpúsculos de matéria sutil ...*

Aluna C: *ou é matéria ou não é. a gente não entende..., ou não aceita o fato de falar que matéria sutil é uma coisa que não dá pra ver.*

Aluno T: *se é sutil, não importa, é sutil, mas é matéria do mesmo jeito. Se a... se a luz fosse onda ela não produziria... sombra... ela ... faria igual ao som mesmo, ela contornaria objetos, poderia ver através de objetos, ela contornaria, ela não produziria sombra. E se ela fosse som, se ela agisse*

mesmo como som, como eles falam, ela não poderia produzir o calor, como o calor do Sol, o som não produz calor.

Aluna C: *A luz ela meio que [inaudível] como fogo, então como vocês me explicam o fato da luz esquentar, mas o som, não? Eles comparam a luz com o som.*

Aluno T: *Ele diz que a luz... ela age como o som (pausa). Vamos citar o exemplo aqui, se você pegar uma lanterna e você ligar, ela não vai agir como ondas, por causa que a onda se propaga, ela se espalha é... em pontos na mesma velocidade e com a forma circular. Se você ligar a lanterna, ela não vai fazer isso. na lanterna é um feixe reto, ela não vai se comportar como onda. (pausa) é... (pausa) é só isso.*

O grupo da ondulatória permaneceu atento enquanto o outro expunha, depois, seus membros trocaram informações entre si, de modo a sugerir que combinavam uma estratégia de argumentação.

Aluna G: *Huygens né propôs uma teoria bem diferente da de Newton. Ele achava que a luz se deslocava no espaço sob a forma de ondas e não na de partículas. Os raios de luz, eles provinham de uma infinidade de lugares e se cruzavam sem atrapalhar um com o outro, coisa que provavelmente não acontecia com as partículas. É... então, por exemplo, ela vai citar um exemplo aqui bem interessante...*

Aluna Ta: *[inaudível] esta figura aqui (aluna mostra figura). É... se uma pessoa estivesse num palco com... é... feixes de luz vindo de lugares diferentes eles iriam se, eles iriam passar sem se bater, iriam cruzar sem se bater.. iriam continuar exercendo sua função individual, independente da outra luz, que estivesse vindo de outro lugar.*

Aluna Fa: *Ó, o Newton, ele foi infeliz, no modo que ele deu esse comunicado que a luz não poderia ser uma onda no éter, pois se ela fosse, os obstáculos... é...se... se... se contornariam..*

Aluna G: *ele foi infeliz nessa... nessa resposta aí, porque primeiro: apesar de ambos as luzes e o som se propagarem na forma de onda, eles se diferem em três propriedades fundamentais, sua origem, seu meio de propagação e o modo de propagação. Ou seja, a luz, ela não vai agir que nem o som, porque cada um tem uma função diferente... entendeu? E segundo, o som se propaga pelo ar, mas a luz é propagada pelo éter, que penetra toda matéria livremente. Finalmente, o som é propagado através do ar, que consiste de partículas que não estão em contato, exceto durante a colisão, enquanto a luz é propagada através do éter que consiste de partículas em contato.*

A aluna G lia essa argumentação de algumas anotações, mas permanecia bastante tempo “encarando” os membros do júri, e gesticulando com confiança. Apesar de alguns argumentos inválidos para a época, de haver limitações na sua articulação com as informações do curso, os alunos jurados permaneceram atentos, com expressão de estarem diante de informações bastante consistentes.

Aluno R: *Bom, o éter é aquilo que eles falaram que era uma suposição. Até onde sabemos ninguém prova se existe ou não o éter. Pode ser uma suposição sim, porém como você não prova que existe, você não prova que não existe.*

O aluno R tentou explicar o que é o éter, justificar sua existência, buscando responder aos questionamentos feitos pelo outro grupo. Como os demais, ele cometeu alguns erros conceituais, mas utilizou bons argumentos para o contexto da atividade ao criticar a teoria corpuscular, por exemplo:

Aluno R: *Fica um pouco difícil acreditar que a luz realmente seja um corpo. Há algumas hipóteses como, por exemplo, dois corpos não ocupam o mesmo*

espaço, o que faz com que ela divida o espaço com o ar, ou seja, onde há luz não tem ar? Que que eu to respirando? Esse, eu acredito que seja o maior problema da teoria corpuscular.

Outros argumentos para defender a teoria ondulatória e refutar a corpuscular foram apresentados. As discussões ficaram, por muito tempo, voltadas a questionar a existência do éter, inclusive por membros do júri, e o aluno R foi bastante “pressionado”. Ele não tinha, é claro, informações para rebater todas as críticas. A professora tentou reconduzir a discussão para a natureza da luz, mas volta e meia os alunos tornavam a questionar a existência do éter. Na tentativa de ampliar a argumentação, eles cometeram alguns erros conceituais ao utilizar informações não abordadas pelo curso, como a figura do palco, a relação da luz com o calor, e as diferenças entre ondas mecânicas e eletromagnéticas. Ainda assim, considerando que é a primeira vez que eles têm esse tipo de um curso, que são chamados a argumentar, a defender um ponto de vista, é possível perceber várias contribuições dessa atividade. As anotações de campo, as imagens gravadas e as respostas dadas na avaliação final, mostram que eles se apropriaram da problemática e conseguiram articular novas informações e incorporá-las no debate de idéias. O debate foi realizado no quinto dia de curso, portanto, eles tiveram pouco tempo para internalizar o conteúdo. É compreensível que eles não dominem completamente informações tão complexas.

Ao final, o júri se reuniu para decidir qual teoria deveria ser aceita pela comunidade por possuir melhor fundamentação. A teoria ondulatória foi vencedora do debate, mesmo com a maioria dos alunos “preferindo” a sua rival. Na colocação do veredicto, o júri enfatizou que, embora preferissem a corpuscular, a argumentação do grupo da teoria ondulatória estava melhor.

Algumas considerações

Além das anotações de campo e das gravações, as respostas às questões abertas e na avaliação final sugerem que os aspectos pretendidos sobre a NDC foram compreendidos pela ampla maioria da sala.¹⁰ O debate possibilitou aos alunos vivenciar uma das características da prática científica, buscando argumentos que corroborem suas hipóteses e refutem as rivais. Os dados sugerem que essa seja uma estratégia adequada para inserir elementos de HFC no ensino médio, a despeito da necessidade de alguns ajustes. A recomendação dada aos alunos, sobre ficarem limitados aos materiais fornecidos no curso, por exemplo, precisa ser ênfaticada, inclusive no material que serve de apoio ao professor.

A análise permitiu-nos repensar os dilemas na seleção de conteúdos, no recorte a adotar, em quais informações omitir e no nível de profundidade a tratar. Optamos por abordar apenas conceitos ligados à natureza da luz, excluindo, por exemplo, assuntos relacionados à questão levantada pelos alunos: “*se ela agisse mesmo como som, como eles falam, ela não poderia produzir o calor, como o calor do Sol, o som não produz calor*”. Entretanto, fazer escolhas significa prescindir de outros caminhos possíveis.

Há muitos pontos dessa atividade não contemplados aqui, por requererem maior detalhamento. O debate representou um marco no curso, pois a partir dele, os alunos que “dormiam” nas primeiras aulas passaram a participar ativamente do

¹⁰ Devido às limitações de espaço não foi possível reproduzimos as respostas escritas pelos alunos.

curso. Diversos aspectos formativos foram também contemplados, como a articulação de um novo conhecimento teórico para compor uma argumentação; o trabalho em equipe requerendo a colaboração entre os alunos; a compreensão de idéias rivais e a rápida seleção de concepções e exemplos que poderiam refutá-las, dentre muitos outros.

Referências

ABD-EL-KHALICK, Fouad; LEDERMAN, Norman G. The influence of History of Science Courses on Students' Views of Nature of Science. *Journal of Research in Science Teaching* **37** (10): 1057-1095, 2000.

ALLCHIN, Douglas. Pseudohistory and Pseudoscience. *Science & Education* **13**: 179-195, 2004.

_____. "Why Respect for History – and Historical Error – Matters". *Science and Education* **15** (1): 91-111, 2006.

BATISTA, Irinéia. L. Reconstruções histórico-filosóficas e a pesquisa em educação científica e matemática. In NARDI, Roberto. (org.) *A pesquisa em ensino de ciências no Brasil: alguns recortes*. São Paulo: Escrituras Editora, 2007, p. 257-272.

BROUSSEAU, G. *Fondements et méthodes en didactique des mathématiques, Recherches en didactique des mathématiques*, Grenoble, **7** (2): 35-115, 1986.

CARVALHO, Anna. M. P. Uma metodologia de pesquisa para estudar os processos de ensino e aprendizagem em salas de aula. In, SANTOS, F.M.T.; GRECA, I.M. (orgs.) *A pesquisa em ensino de ciências no Brasil e suas metodologias*. Unijuí, Ed. Unijuí, 2006, pp.13-48.

_____; CASTRO, R. S. de. La Historia de la Ciencia como herramienta para la enseñanza de física secundaria: un ejemplo en calor y temperatura. *Enseñanza de las Ciencias* **10** (3): 289-294, 1992.

CHEN, Sufen. Development of an instrument to assess views on nature of science and attitudes toward teaching science. *Science Education* **90**: 803-819, 2006.

CHEVALLARD, Yves. *La Transposición Didáctica: Del saber sabio al saber enseñado*. Buenos Aires: Aique, 1991.

EL HANI, Charbel N. Notas sobre o ensino de história e filosofia da ciência na educação científica de nível superior. In SILVA, Cibelle C. (Org.) *Estudos de história e filosofia das ciências. Subsídios para aplicação no Ensino*. São Paulo, Ed. Livraria da Física, 2006, p. 3-21.

GABRIEL, Carmen T. A. Usos e abusos do conceito de transposição didática - considerações a partir do campo disciplinar de História. *Anais do IV Seminário Perspectivas do Ensino de História*, Ouro Preto, 2001.

GIL PÉREZ, D.; MONTORO, I. F.; ALIS, J. C.; CACHAPUZ, A.; PRAIA, J. Para uma imagem não deformada do trabalho científico. *Ciência & Educação* **7** (2): 125-153, 2001.

HOLTON, Gerald. What historians of science and science educators can do for one another? *Science Education* **12** (7): 603-616, oct. 2003.

KUHN, Thomas. S. *A estrutura das revoluções científicas*. 5ª. Ed. São Paulo: Editora Perspectiva, 1997.

MARTINS, André F. P. História e filosofia da ciência no ensino: há muitas pedras nesse caminho. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física* **24** (1): 112-131, 2007.

MARTINS, Lilian A.-C. P. A história da ciência e o ensino de biologia. *Ciência & Educação* **5**: 18-21, dez. 1998.

_____. História da ciência: objetos, métodos e problemas. *Ciência & Educação* **11** (2), 2005.

MARTINS, Roberto de A. Sobre o Papel da História da Ciência no Ensino. *Boletim SBHC* **9**: 3-5, 1990.

_____. O que é a ciência do ponto de vista da epistemologia? *Caderno de Metodologia e Técnica de Pesquisa* **9**: 5-20, 1999.

_____. Como não escrever sobre história da física – um manifesto historiográfico. *Revista Brasileira de Ensino de Física* **23** (1): 113-129, 2001.

_____; SILVA, Cibelle. C. Newton and color: the complex interplay of theory and experiment. *Science & Education* **10** (3): 287-305, 2001.

MATTHEWS, M. R. A Role for History and Philosophy in Science Teaching. *Interchange* **20** (2): 3-15, 1989.

_____. História, Filosofia e Ensino de Ciências: a Tendência Atual de Reaproximação. *Cadernos Catarinenses de Ensino de Física* **12** (3): 164-214, 1995.

McCOMAS, W.; ALMAZROA, H.; CLOUGH, M. P. The nature of science in science education: an introduction. *Science & Education* **7**: 511-532, 1998.

MEDEIROS; A.; BEZERRA FILHO, S. A natureza da ciência e a instrumentação para o ensino da física. *Ciência & Educação* **6** (2): 107-117, 2000.

NIAZ, M. Understanding Nature of Science as Progressive Transitions in Heuristic Principles. *Science Education* **85**: 684-690, 2001.

PIETROCOLA-OLIVEIRA, Maurício A história e a epistemologia no ensino de ciências: Dos processos aos modelos de realidade na educação científica. In ANDRADE, A. M. R. (Org.) *Ciência em Perspectiva. Estudos, Ensaios e Debates*. Rio de Janeiro: MAST/SBHC, 2003. p. 133-149.

PEDUZZI, Luiz Sobre a utilização didática da história da ciência. In PIETROCOLA-OLIVEIRA, Maurício (org.) *Ensino de Física – conteúdo, metodologia e epistemologia numa concepção integradora*. Florianópolis: Editora UFSC, 2001.

PUMFREY, S. History of science in the National Science Curriculum: A critical review of resources and their aims. *British Journal of History of Science* **24**: 61-78, 1991.

REZENDE, F.; RUBINO, L.; QUEIROZ, G. R. P. C. Planejamentos de aulas de Física: uma análise do conhecimento pedagógico do conteúdo. In: *X Encontro de Pesquisa em Ensino de Física*. Londrina. Atas do X EPEF, 2006.

RONCA, Paulo A. C.; TERZI, C. do A. *A prova operatória. Contribuições da psicologia do desenvolvimento*. 5ª. Ed. São Paulo: Dag Gráfica e Editorial Ltda, 1993.

SILVA, Cibelle C. (Org.). *Estudos de História e Filosofia das Ciências: Subsídios para Aplicação no Ensino*. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2006.

WHITAKER, M. A. B. History and quasi-history in physics education – part 1. *Physics Education* **14**: 108-112, 1979.