

A NATUREZA DA LUZ E O ENSINO DA ÓPTICA: UMA EXPERIÊNCIA DIDÁTICA ENVOLVENDO O USO DA HISTÓRIA E DA FILOSOFIA DA CIÊNCIA NO ENSINO MÉDIO

(The nature of light and the teaching of optics: a didactic experience involving the use of history and philosophy of science at high school)

Boniek Venceslau da Cruz Silva [boniekvenc@yahoo.com.br]

André Ferrer Pinto Martins [aferrer34@yahoo.com.br]

Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Ciências Sociais Aplicadas
Campus Universitário, BR 101, Lagoa Nova, 59072-970 - Natal/RN

Resumo

Este trabalho apresenta uma experiência que compreendeu a elaboração, aplicação e análise de uma unidade didática que propõe a introdução de elementos da História e da Filosofia da Ciência no ensino médio como subsídios à aprendizagem de conceitos da óptica, de forma geral, e de aspectos relativos à natureza da ciência, de forma específica. Valendo-nos de episódios históricos sobre a controvérsia existente acerca da natureza da luz, principalmente nos séculos XVII e XVIII, como também de recortes da história da óptica no que diz respeito ao desenvolvimento de modelos explicativos do processo da visão, elaboramos e aplicamos uma unidade didática a duas turmas do ensino médio noturno de uma escola da rede pública estadual da cidade de Parnamirim (RN). A análise dos dados apontou para aspectos favoráveis das estratégias idealizadas, bem como mostrou indícios de dificuldades inerentes ao processo. Apesar disso, entendemos que a unidade didática logrou êxitos no que diz respeito à aprendizagem da maioria dos alunos, tanto em relação a uma melhor compreensão da ciência como também de conceitos da óptica.

Palavras-chave: História da Ciência; Óptica; Natureza da Ciência; Ensino de Ciências.

Abstract

This paper presents an experience including elaboration, application and analysis of a teaching unit that proposes the introduction of elements of History and Philosophy of Science at high school as an aid to learning the concepts of optics, in general, and of aspects concerning the nature of science, specifically. Making use of historical episodes regarding the controversy on the nature of light, specially during the seventeenth and eighteenth centuries, as well as clippings of the history of optics in relation to the development of models that explain the process of vision, we formulated a teaching unit and implemented it on two night high school classes of a public school in the city of Parnamirim (RN). The analysis of the data revealed favorable aspects of the strategies devised and showed evidence of difficulties inherent to the process. Nevertheless, we believe that the teaching unit has succeeded in relation to improve the learning of most students, both in relation to a better understanding of science as well as concepts of optics.

Keywords: History of Science; Optics; Nature of Science; Science Education.

Introdução

Este trabalho descreve parte de uma experiência didática que culminou na elaboração da dissertação de mestrado de um dos autores (Autor X1, 2010). A ideia de que boa parte dos alunos do ensino médio, em geral, não compreendiam o aparato geométrico utilizado para explicar fenômenos ópticos básicos (por exemplo, a reflexão e a refração) e também não percebiam o uso daquele formalismo no seu dia-a-dia, ao longo de alguns anos de docência, motivou o estudo realizado.

O ensino da Óptica nas escolas de nível médio normalmente se restringe ao conteúdo da chamada óptica geométrica. Nesse contexto, as leis da reflexão e da refração, bem como o formalismo a elas associado, são aplicados para a solução de problemas-padrão. Além disso, a “demonstração” dos fenômenos ópticos costuma ser feita sem nenhuma preocupação em dar significado desse estudo aos alunos. Os estudantes, contudo, têm, em geral, um modelo de luz e visão diferente do modelo científico.

O ensino da Óptica baseado estritamente em formalismo ópticos - uso de raios e ângulos, por si só -, ainda carece de referências a aspectos históricos, políticos e sociais da ciência. Acredita-se que as inserções desses aspectos podem dar outro direcionamento ao estudo da Óptica, fornecendo um maior sentido ao seu estudo. Como exemplo, pode-se mencionar a necessidade que outras sociedades mais antigas tiveram de aperfeiçoar seus estudos em lentes, espelhos, lunetas, telescópios ou, até mesmo, aperfeiçoar as próprias explicações que regem esses equipamentos, fossem eles para fins científicos, econômicos ou mesmo militares. Todavia, não se deve esquecer que essas explicações, em muitos casos, foram dadas com base no formalismo geométrico.

Portanto, não se nega aqui a utilidade desse formalismo no ensino da Óptica, mas se critica a forma como ele vem sendo utilizado. Acredita-se que a inserção, por exemplo, de aspectos históricos e filosóficos pode não só creditar uma (re)elaboração de um conceito de ciência mais estruturado, mas justificar a utilização desse próprio formalismo geométrico, contextualizando-o.

Manuais que apenas trazem raios e ângulos nas suas explicações de fenômenos, como a reflexão e a refração, podem reforçar inúmeras concepções alternativas apresentadas pelos alunos e discutidas pela literatura especializada da área¹, como exemplifica Dedes (2005). O autor lista algumas das concepções alternativas ligadas à visão:

- (a) *Emissão simples da imagem*: o olho possui uma luminosidade independente da luz, fazendo a presença de uma fonte luminosa desnecessária;
- (b) *Emissão cooperativa*: o objeto constitui o epicentro do processo de visão, uma vez que é simultaneamente iluminado tanto pela fonte como pelo olho do observador;
- (c) *Emissão estimulada*: esse sistema exige a passagem de luz direta desde o objeto até o olho;
- (d) *Emissão estimulada com reflexão*: decorrente do modelo anterior, nele a luz é refletida na superfície do objeto e volta para o olho, transportando a imagem²;
- (e) *Dupla iluminação*: a fonte ilumina simultaneamente os olhos e o objeto. O olho mira o objeto, não existindo conexão com raios luminosos nem com a fonte luminosa. Diferente do modelo (a), nesse caso, o olho não possui luz própria.

Essas e outras concepções alternativas podem fornecer dados relevantes sobre as formas de explicação utilizadas pelos alunos, dando, igualmente, possíveis sinais das origens dessas explicações, muitas vezes ignoradas pelos docentes (Autor X2, 2009) Além disso, elas ajudam a identificar quais são os pontos que provocam maiores dificuldades no entendimento dos conceitos científicos. Diante desses dados, torna-se possível a elaboração de currículos mais adequados e estratégias de ensino que tornem o aprendizado mais significativo e interessante. Daí a importância

¹ Como exemplo de alguns trabalhos que se preocupam com essa temática, citemos: Goldberg; Mcdermott, 1986; Goldberg; Mcdermott, 1987; Osborne; Black, 1993; Harres, 1993; Gircoreano; Pacca, 2001.

² Vale ressaltar que, nos modelos (c) e (d), não se faz necessário o uso de uma fonte luminosa no processo de visão, posto que o objeto é detentor de luz própria. Portanto, mesmo parecido com a explicação científica, segundo a qual o olho recebe luz advinda também do objeto, o modelo científico necessita de uma fonte luminosa que lance um raio em direção ao objeto, diferente dos modelos (c) e (d).

de uma melhor discussão, nos livros didáticos, sobre as concepções alternativas relacionadas à visão e o seu papel na relação ensino-aprendizagem.

Há algum tempo, a literatura especializada (Zanetic, 1989; Matthews, 1995; Vannucchi, 1996; Martins, 2007; entre outros) já sinaliza que uma educação científica de qualidade deve abordar tanto os conceitos científicos quanto um estudo *sobre* a ciência. Nessa direção, uma das possibilidades reconhecidas pela área como relevante é a utilização da História e da Filosofia da Ciência (HFC) no ensino de ciências, em geral, e de Física, em particular (ver, p.ex.: Matthews, 1995; Peduzzi, 2001; Silva, 2006; Forato, 2009, entre outros). A HFC pode contribuir para uma melhor caracterização de aspectos relativos à natureza da ciência, tais como: a relação entre ciência, tecnologia e sociedade; a percepção da ciência como atividade humana; e a falibilidade dos cientistas. Somado ao que já foi dito, a utilização da HFC pode propiciar um melhor aprendizado dos próprios conceitos científicos, por meio da elaboração de unidades didáticas e dinâmicas de grupo que permitam, por exemplo, identificar certos paralelos entre concepções dos estudantes e visões históricas e/ou estudar a construção histórica dos conceitos. Documentos oficiais, como os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN), abordam a perspectiva de utilização da HFC no ensino de ciências, apontando como um dos seus eixos de competências a contextualização sócio-cultural do conhecimento (Brasil, 2002).

Partindo desse pressuposto, consideramos oportuna uma nova abordagem para o estudo da Óptica, que fosse diferente da forma algorítmica baseada somente em desenhos de raios e ângulos, e que propiciasse a problematização das concepções alternativas sobre luz e visão. Nossa intenção era a de resgatar alguns fatores que serviriam como elemento motivador para discussões referentes à própria fenomenologia da óptica (reflexão, refração, difração e interferência) e também para inserir em sala de aula discussões relacionadas à natureza do conhecimento científico.

Dentre outras possibilidades apontadas pela literatura especializada da área como elemento norteador de criação de novas metodologias de ensino, encontramos na História e na Filosofia da Ciência (HFC) elementos viabilizadores da abordagem que tencionávamos. A pouca disponibilidade de materiais nessa perspectiva motivou-nos ainda mais no desenvolvimento dessa experiência.

Inicialmente, realizou-se um estudo histórico³ sobre as principais controvérsias existentes em relação à natureza da luz, desde a Antiguidade Clássica até as primeiras décadas do século XIX, dando ênfase aos diferentes modelos elaborados na Antiguidade que tentavam explicar o mecanismo da visão.

Nesse estudo histórico, foi feita uma pesquisa bibliográfica sobre as diferentes tentativas de se explicar o que era a luz, baseadas tanto em modelos vibracionais-ondulatórios quanto corpusculares. Neste trabalho, deu-se destaque aos modelos desenvolvidas por Isaac Newton, Christiaan Huygens e Thomas Young.

O estudo histórico teve a finalidade de fundamentar os contextos nos quais os fenômenos ópticos, como o mecanismo da visão, a reflexão, a refração, a difração e a interferência, foram discutidos e modelados, possibilitando a elaboração das estratégias de ensino que são apresentadas nesse trabalho.

Objetivos

O estudo mais geral, do qual esse trabalho se origina, teve como objetivo elaborar, aplicar e avaliar uma estratégia de ensino da Óptica em turmas de 2º ano do nível médio, embasada pela História e Filosofia da Ciência.

³ Devido ao limite de tamanho deste artigo, o estudo histórico não será apresentado.

A finalidade deste artigo é apresentar os principais resultados dessa experiência, identificando seus aspectos positivos e negativos no que diz respeito à compreensão de conceitos da Óptica, principalmente os de reflexão, refração, difração e interferência.

Além disso, pretende-se oferecer aos docentes *uma* possibilidade de se trabalhar a Óptica, por meio de uma estratégia didática baseada na História e na Filosofia da Ciência, cuja estrutura contém etapas/atividades que podem ser aplicadas a outros temas e contextos.

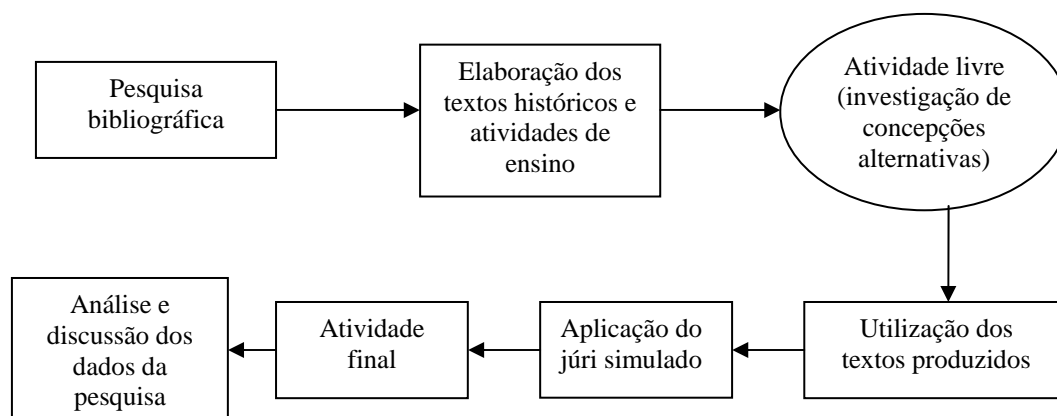
A seguir, será destacada a metodologia utilizada neste trabalho. Discutiremos o processo de elaboração e aplicação da unidade didática referida acima.

Desenho do estudo: materiais, métodos e estratégias didáticas.

A pesquisa em questão utilizou uma abordagem qualitativa, como caracteriza Marconi (2003):

- Ocorre uma preocupação com o processo desenvolvido, e não simplesmente com o produto final;
- Deverá ocorrer o contato direto do pesquisador com o local que está sendo investigado;
- Os dados coletados são, quase exclusivamente, descritivos: gravações, entrevistas, entre outros;
- Deve-se levar em consideração a variedade de pontos de vista.

Abaixo mostramos um quadro resumo do estudo:



Quadro 1: Resumo da pesquisa.

Vale salientar, de início, que a abordagem histórica esteve inserida dentro de um planejamento maior, que continha aulas experimentais e discussão de filmes sobre a Óptica, por exemplo.

Uma primeira etapa da intervenção em sala de aula foi uma “atividade livre”, na qual os alunos responderam às seguintes questões: *Como enxergamos um objeto? Como você define o que é luz?* Solicitava-se ao estudante que, se preferisse, fizesse também um desenho representativo de suas ideias.

A literatura especializada (Harres, 1993; Gircoreano; Pacca, 2001) comumente se vale de atividades similares a essa para detecção de concepções alternativas dos alunos. Como comenta Harres (1993), o uso de testes de lápis e papel para tal propósito é bastante utilizado no ensino de Ciências, e, em particular, no ensino da Física.

Essa atividade, além de dinamizar o tempo de ação do pesquisador, caracteriza-se como uma boa ferramenta de início de trabalho, pois delimita e aponta ao docente várias informações relevantes sobre o que pensam os alunos em relação aos assuntos que serão abordados em sala de aula.

Uma próxima etapa de aplicação da estratégia de ensino foi o trabalho com as leituras, no qual os alunos tiveram contato direto com os textos históricos construídos nesta pesquisa. A literatura especializada (Vannucchi, 1996; Souza, 2008; Forato, 2009) discutem e apontam o uso de textos e leituras como uma possibilidade viável para a inserção da HFC no ensino. Partindo desse pressuposto, nesta pesquisa, construímos três textos históricos assim organizados.

Texto I: Antecedentes: a natureza da luz antes do Século XVII

(a) Modelos de Visão. (b) A luz para os atomistas. (c) As contribuições de Aristóteles. (d) As contribuições dos estudiosos árabes da Idade Média. (e) O que é a luz?

Texto II: Mudanças de cenário: revoluções e mais controvérsias

(a) O que é luz? (b) Refração e reflexão. (c) Alguns modelos explicativos da luz. (d) A popularização da ciência no século XVIII. (e) A aceitação do livro *Óptica* de Isaac Newton.

Texto III: Difração e Interferência: o ressurgimento da teoria ondulatória

(a) O que é luz? (b) Difração e Interferência. (c) Ressurgimento da teoria ondulatória. (d) A influência newtoniana na questão. (e) Os estudos de Thomas Young sobre a interferência da luz.

Para cada um dos textos havia um conjunto de questões relativas à leitura. Para os três textos foi seguida a seguinte metodologia de aplicação:

- Pré-Leitura;
- Leitura em Grupo;
- Resolução das questões referentes ao texto histórico estudado;
- Discussão do episódio e das questões.

A leitura inicial dos textos foi motivada pela atividade realizada antes de os alunos tomarem contato com o texto: a atividade livre, que tinha justamente a finalidade de despertar a curiosidade do aluno sobre o que seria a luz e também sobre a explicação científica do por que enxergamos um objeto.

A pré-leitura ocorreu da seguinte forma: os alunos levavam o texto para as suas casas, onde realizavam uma leitura inicial, produzindo um resumo do que foi lido. Este resumo continha alguns questionamentos e dúvidas apontados pelos alunos, e era entregue ao docente na aula seguinte.

A próxima etapa foi a leitura em grupo do texto. Os alunos se reuniam em grupos de até 3 (três) pessoas. Nesse processo, o docente assumiu o papel de observador, cabendo a ele direcionar os alunos na discussão do texto. Cabe salientar que o papel do docente foi o de sistematizar somente a leitura do texto, uma vez que as questões acerca da leitura ainda não haviam sido entregues. Este momento se mostrou importante, pois foi a ocasião em que os alunos puderam trocar algumas ideias sobre o texto lido. Após esse momento, foi solicitado um segundo resumo do texto, feito em grupo.

A etapa seguinte foi a resolução das questões relativas ao texto, que foram respondidas de forma individual. Os textos possuem discussões relacionadas à evolução de conceitos básicos da Óptica, como os de reflexão e refração. Em segundo plano, os textos oferecem a possibilidade de discussões relacionadas à natureza da luz, tomando como pano de fundo a controvérsia histórica a esse respeito.

Na tabela abaixo é apresentado um resumo dos conceitos e argumentos relacionados à Natureza da Ciência que podem ser abordados nos textos:

Tabela 1: Relação dos conteúdos físicos abordados nos textos e das possibilidades de discussões relacionadas à Natureza da Ciência.

TEXTO	CONTEÚDOS FÍSICOS ABORDADOS	ASPECTOS RELATIVOS À NATUREZA DA CIÊNCIA
Texto 1	Explicação do por que se enxerga um objeto/ Introdução à discussão relacionada à natureza da luz.	O conhecimento científico é dinâmico/ A ciência é uma tentativa de explicar fenômenos naturais/ Pessoas de todas as culturas contribuem para a ciência/ A ciência é parte de tradições sociais e culturais/ Ideias científicas são afetadas pelo meio social e histórico no qual são construídas/ Há controvérsias relacionadas aos modelos que pretendiam explicar a visão, mostrando, muitas vezes, a falta de um consenso.
Texto 2	Velocidade da luz/ Reflexão / Refração/ Discussão sobre a natureza da luz.	O conhecimento científico é dinâmico/ A ciência é uma tentativa de explicar fenômenos naturais/ A ciência é parte de tradições sociais e culturais/ Ideias científicas são afetadas pelo meio social e histórico no qual são construídas/ Existência de modelos teóricos mais diversos na formação de uma teoria/ Há controvérsias relacionadas aos modelos que pretendiam explicar a luz, mostrando, muitas vezes, a falta de um consenso.
Texto 3	Velocidade da Luz/ Difração/ Interferência/ Discussão sobre a natureza da luz.	O conhecimento científico depende fortemente, mas não inteiramente, da observação e da evidência experimental/ A ciência é uma tentativa de explicar fenômenos naturais/ A ciência é parte de tradições sociais e culturais/ Ideias científicas são afetadas pelo meio social e histórico no qual são construídas/ Existência de modelos teóricos mais diversos na formação de uma teoria/ Novos conhecimentos devem ser relatados de forma aberta e clara/ A construção do conhecimento científico requer registros de dados acurados, crítica constante das evidências, dos modelos, dos argumentos pelas comunidades de pesquisadores e requer também replicação dos estudos realizados/ Há controvérsias relacionadas aos modelos que pretendiam explicar a visão, mostrando, muitas vezes, a falta de um consenso.

Por fim, para finalizar o processo de aplicação dos textos, foram realizados momentos de fechamento, onde o docente coordenava uma discussão coletiva sobre o episódio histórico estudado, bem como tirava as dúvidas relacionadas à resolução das questões do texto. Tratando-se de uma abordagem histórica, foram traçados paralelos entre as principais respostas dos alunos (na atividade livre e nas questões dos textos) e as respostas encontradas no decorrer da História da Ciência. Abaixo, apresentamos uma tabela sobre a estimativa de tempo gasto nesta etapa da unidade didática.

Tabela 2: Estimativa de tempo para aplicação dos textos históricos.

ETAPAS	AULAS (60 min)
Leitura em grupo	½
Elaboração do resumo do grupo	½
Resolução das questões dos textos	1
Discussão das respostas pelo professor	1 ou 1 + ½

A pré-leitura e o seu resumo não são contabilizados como hora-aula, pois essa etapa da atividade é de caráter extraclasse.

A próxima etapa da unidade didática consistia de uma dinâmica de grupo chamada de “júri simulado”. Ela se insere no contexto de outras possibilidades, além do uso de textos históricos, para se trabalhar a HFC no ensino de ciências, como a encenação teatral, as feiras de ciência, debates, entre outras.

Essa dinâmica adequa-se, preferencialmente, à abordagem de temas potencialmente geradores de polêmicas. Em particular, as controvérsias geradas em torno da natureza da luz (onda ou partícula?), na História da Óptica, tornam a elaboração do júri simulado uma ótima estratégia didática para investigar a pertinência e as contribuições de uma abordagem que priorize as dimensões históricas e filosóficas da ciência. Essa prática também pretende ser de fundamental importância para a construção de conceitos científicos da Óptica (reflexão, refração, difração e interferência) por parte dos alunos em sala de aula.

Embora, neste estudo, a prática do júri simulado tenha sido desenvolvida no ensino médio, ela pode ser realizada nos mais diversos graus de ensino.

Enfim, como se estrutura a prática do júri simulado?

A prática simula um júri, como os júris dos tribunais de justiça encontrados em todo mundo, onde os participantes tem funções determinadas no transcorrer da prática.

Os Participantes

Os participantes da prática são divididos em três grupos: dois grupos de debatedores e uma equipe responsável pelo veredicto (o júri popular).

É aconselhável que cada grupo de debatedores possua a mesma quantidade de pessoas. O grupo do júri popular deve conter um número menor de componentes (3, 5 ou 7 alunos, para uma sala com 30, por exemplo). O papel do professor é o de coordenar a prática, delimitando o tempo para cada grupo defender sua tese e atacar a tese defendida pelo grupo oponente.

No caso desta pesquisa, participaram da prática 18 alunos do 2º ano A e 22 alunos no 2º ano C. O júri popular foi formado por dois⁴ alunos em cada grupo. Em razão de algumas afinidades em sala de aula, permitiu-se que os próprios alunos formassem seus grupos de debatedores. No 2º ano A, o grupo que defendia a luz como onda continha 7 alunos e o grupo opositor (defensor da luz como partícula) tinha 9 alunos. Já no 2º ano C, o grupo que defendia a luz como onda era formado por 12 alunos e o seu opositor, por 8 alunos.

Objetivos

- Humanizar o ambiente escolar;
- Favorecer o trabalho em grupo e o diálogo entre os estudantes;
- Socializar as concepções apresentadas pelos estudantes, identificando semelhanças com visões históricas;
- Problematizar questões relativas à Natureza da Ciência;
- Favorecer a argumentação, o trabalho com hipóteses e a comunicação em Física;
- Aprender conceitos e temas científicos.

⁴ Inicialmente, pensamos no júri popular com três alunos. Entretanto, devido à ausência do terceiro componente no dia marcado para o debate (nas duas turmas!), o grupo do júri popular foi composto somente pelos dois alunos presentes. Embora não seja o ideal, foi possível que as duplas chegassem a um “consenso”.

Desenvolvendo o júri simulado: da teoria à prática

Antes de qualquer júri simulado, é indispensável que o professor já tenha desenvolvido o tema de outra forma. É papel do professor explicitar para seus alunos, em atividades anteriores, os pontos conflitantes do assunto que será debatido, com o máximo cuidado em não direcionar os alunos para esse ou aquele ponto de vista. No nosso caso, o trabalho com os textos históricos forneceu os subsídios necessários ao júri.

Tudo é iniciado com o lançamento do tema proposto pelo professor, por exemplo: a luz é onda ou partícula? A preparação prévia dos alunos deve propiciar que eles cheguem à atividade em condições de desenvolver argumentos em favor das teses opostas. É preciso, no entanto, dar um tempo inicial para que os alunos socializem suas informações no grupo, antes do início do debate.

A partir daí, cada grupo lança a sua tese inicial, defendendo seu ponto de vista à medida que surjam *réplicas* e *tréplicas*. O professor, como coordenador da atividade, também pode lançar perguntas que motivem o debate, evitando fornecer respostas ou apoiar alguma das posições.

Por fim, cada grupo tem um tempo para suas considerações finais. O júri popular, então, reúne-se para socializar seus apontamentos, feitos ao longo da atividade, e decretar o veredicto. O quadro a seguir sistematiza as etapas do júri simulado, sugerindo a duração (aproximada) de cada uma delas:

Tabela 3: Etapas e tempo do júri simulado (sugestão).

Etapas	Tempo (aula de 60 min)
Socializar as ideias nos grupos	15 min
Defesa da tese inicial	10 min (5 min para cada grupo)
Debate entre grupos	20 min
Considerações finais	10 min (5 min para cada grupo)
Veredicto	5 min

Essa atividade permitiu averiguar a recepção dos alunos diante da estratégia de ensino desenvolvida em sala, capturar se houve melhorias em relação a alguns aspectos relacionados à natureza da luz, bem como verificar a aprendizagem de alguns conteúdos relacionados à Óptica.

Depois do júri simulado, ocorreu a aplicação da “atividade final”. Tratava-se de um questionário que serviu, também, como o júri simulado, para mapear algumas ideias sobre a ciência mostradas pelos alunos durante o processo e para medir o nível de aprendizagem dos alunos sobre os conceitos físicos estudados e os modelos de visão, assim como avaliar o interesse, por parte dos alunos, na nova metodologia. Alguns desses resultados são encontrados no próximo tópico.

Resultados e discussão

A unidade didática foi aplicada a duas turmas do segundo ano do ensino médio em escola pública de Parnamirim (RN). Participaram, inicialmente, 38 alunos no 2º ano A e 40 alunos no 2º ano C, totalizando aproximadamente 22 horas-aulas distribuídas no decorrer do terceiro bimestre letivo de 2009. Os dados da pesquisa foram obtidos a partir: (a) questionários passados aos alunos (atividade livre, questões no fim dos textos históricos e atividade final), (b) gravação do júri simulado, em vídeo, (c) anotações de campo do professor-pesquisador.

O teste diagnóstico (atividade inicial) permitiu ao aluno ter um momento próprio para elaborar suas ideias sobre o tema que iria ser estudado. Suas repostas, na maioria dos casos, não estavam consoantes à concepção científica atual. Abaixo, mostramos os principais resultados desse teste diagnóstico⁵.

Dessa atividade inicial, fizeram-se presentes e participaram quarenta e quatro (44) estudantes das turmas de 2º ano. Verificou-se que as repostas encontradas entre os estudantes das duas turmas não apresentaram diferenças significativas. Em razão disso, não se percebeu a necessidade de realizar a análise por turmas. Vamos à primeira questão do instrumento: *como você enxerga um objeto?*

Tabela 04: Modelos de visão apresentados pelos alunos.

Modelo Explicativo	Quantidade de Alunos
Para enxergar, miramos o objeto (com ou sem a presença de uma fonte)	20 (45%)
O olho emite algo: um raio de luz, um feixe luminoso ou um raio visual (com ou sem a presença de uma fonte)	14 (31%)
O olho recebe um feixe luminoso vindo direto do objeto a ser visto (sem a presença de uma fonte luminosa)	5 (12%)
O olho recebe e emite luz	5 (12%)
Modelo científico atual (a luz sai da fonte, reflete no objeto e chega aos olhos)	0 (0%)
Total	44 (100%)

A tabela mostra, de forma sucinta, a quantidade de repostas dadas à questão inicial. Como se observa, a maioria dos alunos, quando indagados sobre como se enxerga, apresenta somente a necessidade da focalização do objeto que se deseja ver. Em segundo lugar, para os alunos (totalizando 31% das repostas), enxerga-se, pois se emite um tipo de raio visual que atinge o objeto a ser visto. Já em menor porcentagem (5% cada), mas de grande relevância, há outras duas categorias: o olho recebe um feixe luminoso vindo direto do objeto, mas sem a presença de uma fonte luminosa; e, por fim, o olho recebe e emite luz. Um dado que chama a atenção é que nenhum dos quarenta e quatro alunos possuía ou apresentou a explicação científica para a pergunta lançada a eles.

Tomando como referencial a tabela acima, aprofundemos a análise das duas categorias mais referendadas pelos estudantes: “para enxergar, miramos o objeto” (45%) e “o olho emite um raio visual” (31%). Abaixo, será feita a reconstituição dos desenhos representativos dessas duas categorias. Para a primeira delas:

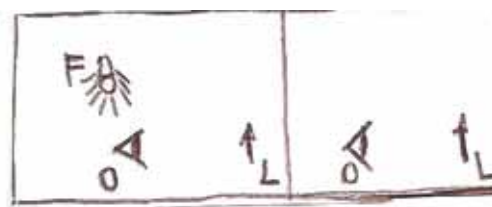


Figura 1: Desenhos representativos da categoria “para enxergar, miramos o objeto”, feitos pelos alunos C-15 e A-22.

⁵ Devido ao limite deste artigo, não faremos uma análise mais alongada do teste diagnóstico.

No desenho acima, *F* é a fonte luminosa, em alguns casos, citada como o sol, uma lâmpada ou uma vela. A letra *O* representa o observador, já a letra *L* representa um lápis a ser visto pelo observador *O*.

Pode-se perceber que, para alguns alunos, o uso de fonte não se faz necessária. Esse fato é relatado também por outros pesquisadores. Como relatam Goldberg e Mcdermott (1986) e Gircoreano e Pacca (2001), não é incomum, quando indagado sobre como se enxerga, o aluno não citar a necessidade de uma fonte luminosa.

Abaixo, serão mostrados desenhos representativos da 2ª categoria. Novamente, em alguns casos, o uso de uma fonte luminosa não se faz necessária.

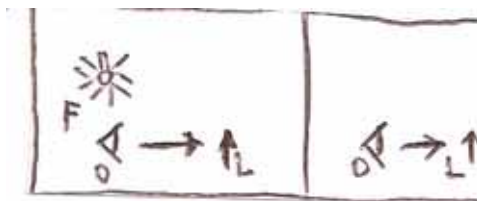


Figura 2: Desenhos representativos da categoria “o olho emite um raio visual”, feitos pelos alunos C-18 e A-33.

Dessa categoria, é possível abstrair que, para os alunos, enxerga-se porque sai dos olhos *algo* que vai de encontro ao objeto que se deseja enxergar.

Em relação à presença ou não da fonte luminosa, podemos subdividir essas categorias:

Tabela 5: Necessidade ou não de luz para se enxergar um objeto.

Miramos o objeto		O olho emite um raio visual	
Não se necessita de fonte	Necessita-se de fonte	Não se necessita de fonte	Necessita-se de fonte
13 (65%)	7 (35%)	11 (79%)	3 (21%)

Como observado na tabela acima, o número de estudantes que descaracteriza a necessidade de uma fonte luminosa é bastante elevado, chegando a 24 alunos, de um total de 34 alunos das duas categorias, logo, representa cerca de 70% dos alunos desse conjunto.

Abaixo, teceremos alguns comentários sobre a segunda questão da nossa atividade de diagnóstico (“*Como você define o que é luz?*”). Os resultados estão na Tabela 6, a seguir:

Tabela 6: Respostas à questão 2 do teste diagnóstico.

Modelo Explicativo	Quantidade de alunos
Luz é algo presente em todo ambiente	26 (60%)
A luz como energia	7 (16%)
Luz como uma entidade física	4 (8%)
Outras explicações	7 (16%)
Total	44 (100%)

Abaixo, serão transcritas algumas frases utilizadas pelos alunos. Essa questão difere da primeira, pois não possibilitava ao aluno responder por intermédio de um desenho.

A categoria mais citada pelos alunos faz referência à luz como uma propriedade do ambiente, como é explicitado pelos alunos abaixo:

A-03: Luz seria tudo o que vemos claro em qualquer ambiente.

A-04: Luz é tudo que ilumina, por exemplo, a sala que estamos.

C-24: Luz é a claridão que está presente aqui neste momento.

Observando as explicações dos alunos citados abaixo, percebe-se que eles já tiveram contato com alguns conceitos da Física e, especialmente, de elementos constituintes da Óptica, a exemplo do comprimento de onda. Vale salientar que, antes dessa atividade, nenhum aluno tinha passado por procedimentos formais na escola, como aulas expositivas, aulas experimentais ou filmes educativos.

A-29: Um objeto eletromagnético que nos ajuda a enxergar melhor outros objetos e paisagens.

A-45: A luz na forma que a conhecemos é uma gama de comprimentos de onda a que o olho humano é sensível l...]

C-36: Luz é como uma espécie de onda magnética que se propaga no ar.

Entretanto, em conversa⁶ com o discente A-45, houve o esclarecimento de que o aluno já tinha ouvido falar do assunto em filmes e revistas que ele possuía. Dessa forma, pode-se concluir, que, em alguns casos, em virtude do convívio sócio-cultural, os alunos trazem para a sala de aula informações relevantes sobre o assunto que será estudado.

Outra categoria é expressa pelos alunos citados abaixo. Para esses alunos, a luz é um tipo de energia que, em alguns casos, pode iluminar o ambiente ou, em outros, aquecê-lo.

C-04: Luz seria toda energia que ilumina.

C-17: Uma força, uma energia...

A-34: Em minha opinião, luz seria tudo que tem energia.

Uma última categoria, que diverge das explicações acima, é mostrada pelas citações a seguir:

A-42: Definição da luz pra mim seria uma coisa muito importante, porque sem a luz a gente ia viver na escuridão.

C-01: A luz são imagens refletidas com clareza.

Para eles, a luz seria algo importante, de que se necessita para viver, ou ainda, de forma mais filosófica, a luz se tornaria um caminho a ser trilhado para se ter sucesso na vida.

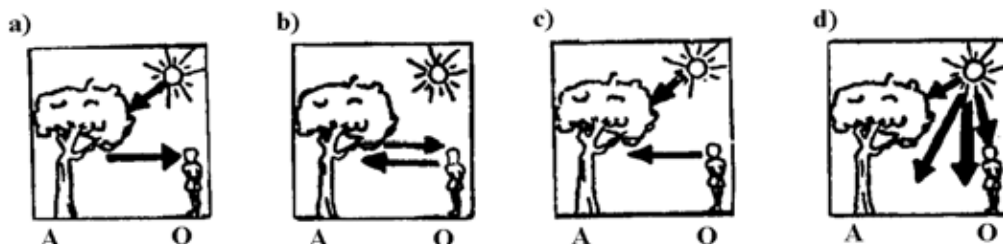
Depois desse teste diagnóstico, iniciamos o contato com os textos. O primeiro texto, em especial, trabalhava os modelos de visão. A segunda questão do texto tinha por objetivo verificar se a leitura do episódio histórico poderia acarretar em mudanças significativas ou não sobre a explicação do processo da visão, pelos alunos. Abaixo mostramos a questão retirada do texto lido pelos alunos.

⁶ Essas informações foram recolhidas pelo professor-pesquisador em momento posterior à aplicação do instrumento e armazenadas no diário de campo do mesmo.

Questão 2 - As figuras abaixo nos mostram quatro maneiras diferentes para representar o modo como se pode enxergar um objeto.

a) Qual das opções se assemelha com o seu modelo de explicação? Explique.

b) Você vê semelhanças com os modelos apresentados no texto?



Em linhas gerais, o resultado foi satisfatório, como verificamos na tabela abaixo. Isso pode apontar a potencialidade do texto histórico em trabalhar a evolução de conceitos científicos com os alunos. Vale ressaltar que o professor não interferiu diretamente nem na leitura dos alunos nem nas respostas às questões do texto.

Tabela 7: Repostas dos estudantes à questão 2 do Texto 1

Opções	Quantidade de alunos
A (Modelo científico)	16 (48%)
C (Objeto como epicentro, recebe luz da fonte e do observador)	7 (20%)
D (Banho de luz)	6 (18%)
B (O objeto e o observador emitem algo (luz, raios visuais e feixes luminosos))	4 (14%)
Total (nesta atividade, o número de participantes foi reduzido)	33 (100%)

A questão 2 tratava da explicação do “como” se enxerga um objeto. Ela faz referência direta à atividade de diagnóstico, em que também era proposta uma pergunta nessa direção (“*Como você enxerga um objeto?*”). Na primeira ocasião, percebe-se que nenhum aluno apontou a resposta científica nas suas discussões. Entretanto, com o auxílio do texto, na questão 2, verifica-se que houve um aumento significativo de alunos que apontaram o modelo científico como a resposta correta.

Embora não represente a completude dos alunos, esse fato pode indicar que o uso somente do texto histórico, sem nenhuma explicação do docente, surtiu resultados. Mesmo que esse aumento não reflita, fielmente, a aprendizagem dos alunos ao problema solicitado, pois, em alguns casos, somente foi assinalada a questão correta sem uma maior justificação, esse aumento significativo pode reforçar a ideia do uso de textos históricos como *uma* das possibilidades, encontradas nas pesquisas em ensino de ciências, de se trabalhar as concepções alternativas em sala de aula.

Vale ressaltar que não se trabalhou na perspectiva de mudança conceitual estrita, conforme sugerida na década de 80 do século passado por pesquisadores que apresentavam essa perspectiva para o ensino de ciências. A verdadeira intenção foi a de mostrar a funcionalidade do texto histórico trabalhado em sala, que, por si só, teve a capacidade de fomentar uma reflexão da questão pelos alunos. Houve um aumento de 0 para 16 alunos apresentando a explicação científica.

Neste momento, apresentaremos alguns resultados referentes ao segundo objetivo deste estudo: desenvolver uma ideia mais elaborada nos alunos sobre a natureza do conhecimento científico. Para tanto, iremos nos referendar, devido ao limite de espaço, a algumas questões selecionados nos textos históricos e em trechos do júri simulado.

Iniciaremos a nossa discussão pela questão 3 do Texto 2: “O início do século XVIII foi marcado pela superioridade da teoria corpuscular (partículas). A teoria corpuscular foi realmente superior à ondulatória, no que diz respeito as suas explicações teóricas? Ou outros fatores foram importantes para a aceitação da teoria corpuscular? Explique”.

O objetivo da questão era discutir a inserção de fatores não estritamente racionais (extra-científicos) na formulação de uma teoria. Nessa questão, esperava-se que os alunos observassem a existência de fatores sociais, políticos e econômicos na formação de uma teoria. De forma geral, esse objetivo foi alcançado. A maior parte das respostas apresentavam argumentos de natureza não estritamente racional na formulação e aceitação da teoria corpuscular. Nessa questão, foram elaboradas várias categorias, apresentadas em forma de tabela:

Tabela 8: Respostas à questão 3 da atividade 2.

Categoria	Quantidade de alunos
Influência de outras obras de Newton	11 (32%)
Uma melhor fundamentação teórica dos modelos corpusculares	9 (26%)
Influências das aulas populares	6 (15%)
A morte de Huygens	4 (12%)
Influência de aspectos políticos (nomeação de Newton como presidente da Royal Society)	2 (6%)
Em branco	2 (6%)
Não teve influências	1 (3%)
Total (Observe que o número de participantes nas etapas de aplicação da unidade didática não foi constante)	35 (100%)

Abaixo, são destacadas algumas falas dos alunos que são representativas das categorias apresentadas na tabela acima. Nessas falas, percebe-se a influência de outros argumentos, como sociais, políticos, culturais e econômicos, na aceitação da teoria corpuscular.

Um dos fatores que mais chamou a atenção dos alunos foi a influência, sobre a Óptica, de outros estudos de Newton. Pode-se observar que esse foi o fator mais citado. Lê-se em seguida o que dizem dois alunos:

A-08: Newton fez uma ótima teoria corpuscular, mas não foi só isso que foi tão importante no seu conhecimento. Teve também a mecânica, alquimia, gravitação e a teologia.

A-24: Eu acho que os estudos de Newton em outras disciplinas, como a Mecânica, ajudaram muito a sua teoria corpuscular, pois eles ficaram bem conhecidos e famosos.

Conforme observado pelo aluno, os estudos anteriores de Newton, como, por exemplo, os estudos sobre a mecânica, favoreceram e ajudaram muito a aceitação de seu segundo livro, que continha seus estudos sobre a luz e, posteriormente, colaboraram para uma melhor recepção à sua teoria de cunho corpuscular para a luz.

Abaixo, outras respostas dadas pelos alunos, as quais remetem à categoria “uma melhor fundamentação teórica dos modelos corpusculares”:

C-36: Newton provou que a velocidade deveria ser maior no meio mais denso e isso ocorria devido a uma força sobre os corpúsculos, acelerando-os.

A-43: Foi essa teoria criada por Newton, pois, que era superior a ondulatória.

C-15: Sim, pelo fato de que a teoria corpuscular tem sido muito melhor na explicação do que é a luz. O fato é que Newton foi um dos primeiros a dar uma resposta concreta sobre o assunto. Sua teoria não deixava muitas dúvidas, conquistando outras mentes.

Para esse grupo de alunos, o modelo corpuscular, associado a Newton, por si só, já teria totais condições de explicar o que seria a luz, sobressaindo-se, dessa forma, face o modelo ondulatório, ganhando novos adeptos. Esse grupo foi o único a considerar o modelo corpuscular realmente superior ao ondulatório, não atribuindo parte de seu sucesso a outros fatores.

Esse fato, realmente, condiz com o episódio histórico estudado, pois alguns dos seguidores de Newton acreditavam nas suas ideias como verdades absolutas, que não precisavam de maiores esclarecimentos.

Outro argumento que foi relatado pelos aprendizes está relacionado às aulas populares ministradas, em muitos casos, pelos discípulos ou seguidores de Newton. Dessas aulas, participavam não só cientistas, mas também membros da nobreza, do clero e da população menos favorecida. A seguir, algumas respostas dadas pelos alunos:

A-05: Naquela época muitas demonstrações populares não apenas enalteciam a teoria corpuscular como também evidenciavam os pontos fracos da teoria ondulatória da luz.

A-29: Houve tentativa de se popularizar a ciência.

C-45: Eu acho que foi envolvida, porque naquela época ele apresentou várias demonstrações populares que enalteciam a teoria corpuscular.

Nessas aulas, costumeiramente, eram apresentados os pontos em que a teoria corpuscular era superior à ondulatória e também escondidos os pontos fracos das ideias corpusculares.

Um próximo argumento, apontado pelos alunos, foi a morte de Huygens – um dos defensores do modelo vibracional para a luz – como fator determinante para a maior aceitação de sua teoria rival: a corpuscular. Leia-se o que dizem os alunos:

C-11: A morte de Huygens colaborava para que a teoria corpuscular de Newton prevalecesse frente à ondulatória, que, logo após, foi quase completamente esquecida.

C-16: Sim, porque a teoria ondulatória foi esquecida após a morte de Huygens e, com isso, a teoria corpuscular se prevaleceu à frente da ondulatória, após a morte de seu defensor.

Esse fato mostra que ideias científicas são afetadas pelo meio social e histórico no qual são construídas. A morte de Huygens acarretaria a interrupção, mesmo que não total, de estudos mais detalhados sobre a teoria ondulatória. Atrelado a outros fatores, que aconteciam naquela época, o modelo corpuscular viria a ganhar mais espaço no cenário científico daquela sociedade.

Outro fato destacado pelos alunos, e que também foi usado por Newton, foi a sua influência como presidente da Royal Society. Veja a resposta da aluna C-17:

C-17: Sim. O fato de Newton ter sido presidente da Royal Society, apadrinhado pelo rei James II, ele exercia forte influência sobre a população.

Esse cargo daria a Newton possibilidades de despedir os professores escolásticos-aristotélicos, contratando professores que se valiam de suas próprias ideias. Dessa forma, esse cargo poderia oferecer ferramentas para modificar os estudos daquela época. Por fim, esse argumento remete-nos à conclusão de que a ciência é parte de tradições sociais, políticas e culturais.

A próxima questão que selecionamos é a quinta questão do Texto 3: “Neste estudo histórico sobre a história da óptica evidenciamos em vários momentos que mentes como a de Isaac Newton tiveram sérias complicações na explicação de muitos fenômenos, ou ainda, deram explicações não tão convincentes para outros. Que importância você credita à questão do erro na

História da Óptica? Os erros foram importantes para o desenvolvimento da ciência ou são equívocos para serem esquecidos e lamentados pelos futuros cientistas? Explique”.

Tabela 9: Respostas referentes à questão 5 do texto 3

Categoria	Número de alunos
Os erros são essenciais	15 (76%)
Os erros não são importantes	5 (23%)
Uns são importantes e outros não	2 (1%)
TOTAL	22 (100%)

Nessa questão, esperava-se discutir o papel do erro na ciência, em uma perspectiva próxima à que é apresentada por Bachelard (1996). Para o autor, o erro faz parte da prática da ciência. Entretanto, a epistemologia mais tradicional trata o erro científico como algo a ser evitado e o erro escolar como uma etapa pernicioso no desenvolvimento da aprendizagem dos alunos, desvinculando-os, assim, de qualquer processo de evolução.

Bachelard, por outro lado, considera o erro como inevitável e como parte integrante das etapas a serem superadas. É o afastamento gradativo dos erros que permite o avanço do conhecimento, sejam eles na ciência ou na escola. Abaixo, mostram-se algumas respostas dadas pelos alunos a essa questão.

A-08: Sim, houve muitos erros na ciência, mas esses erros geraram descobrimentos e acertos na ciência dos grandes cientistas, e isso é normal ter erros, só assim pode corrigi-los por acertos.

A-35: A importância que eu credito à questão do erro na história da Óptica é que foram através desses erros que hoje temos algo para estudar sobre os fenômenos luminosos. Os erros, certamente, foram importantes para a ciência, pois foi através desses erros que novos cientistas, acredito assim, consertaram aquilo que era errado.

A-03: A importância é que com esses erros, eles conseguiram aprender mais com a ciência. Alguns erros foram importantes para a ciência, mas outros não, uns só foram equívocos dos cientistas.

É interessante notar a resposta do aluno A-03. Para ele, os erros, dependendo da situação, podem ou não ser considerados equívocos. Já para os alunos A-08 e A-35, esses erros favoreceram o descobrimento de novos fatos, que se mostraram de suma importância no desenvolvimento da ciência.

Para outras discussões relacionadas à unidade didática, no que diz respeito à natureza da ciência, vamos selecionar alguns trechos do júri simulado⁷, onde podemos mapear o posicionamento dos alunos diante dessa questão. Observem os dois trechos selecionados abaixo (falas 8 a 13 e 22 a 29):

8. [O] A-27: Por que Newton não defendia sua opinião abertamente?

9. [P] A-11: Não estou entendendo. [ar de dúvida]

10. [O] A-12: Por que Newton não defendia sua opinião abertamente?

11. [P] A-11: Ele defendia, sim!

12. [O] A-27: Não, não defendia, não!

13. [O] A-27: Ele tinha muitas dúvidas. Ele respondia em forma de perguntas.

⁷ O caractere [O] indica o grupo que defende a luz como onda, e o [P], o grupo opositor, defensor da luz como partícula. Os dois primeiros blocos de falas são referentes ao júri simulado efetuado no 2º ano A, já o terceiro se refere ao 2º ano C.

22. [O] A-35: Se a teoria newtoniana fosse tão completa, por que precisou que a teoria ondulatória surgisse?
23. [P] A-11: Porque os cientistas queriam alguma coisa a mais...
24. [P] A-08: É só para se amostrarem mesmo... [risos]
25. [O] A-35: É porque a teoria de Newton mostrava alguns problemas...
26. [P] A-11: É porque estava faltando alguma coisa e eles estavam tentando achar. Tentaram até achar.
27. [O] A-35: Mas tem alguma coisa errada nisso!
28. [P] A-08: É porque eles têm que pesquisar até achar o que falta.
29. [P] A-23: Concordo.

Nesses blocos iniciais, podemos mapear algumas concepções referentes à natureza da ciência apresentadas pelos alunos, são elas:

1. *A ciência é uma tentativa de explicar fenômenos naturais.* Na fala 23, a aluna A-11 apresenta a tentativa dos cientistas em explicar e buscar o novo. No episódio estudado, a busca por definir o que era a luz determinou o norte das pesquisas, fazendo avançar o estudo da Óptica daquele período.
2. *Novos conhecimentos devem ser relatados abertamente e claramente.* Na fala 8, a aluna A-27 contesta por que Newton não defendia abertamente suas idéias. A aluna A-35, na fala 25, levanta a possibilidade de existirem erros nas argumentações e modelos de Newton.
3. *A ciência é detentora de uma verdade objetiva, última e cabe ao cientista achá-la.* Observem as fala aluna A-11: *É porque estava faltando alguma coisa e eles estavam tentando achar. Tentaram até achar.* Nota-se que, para os alunos, os cientistas devem procurar e pesquisar até achar o que falta, um tipo de verdade última.

Abaixo mostramos nosso terceiro bloco de falas selecionado para a análise:

34. [O] A-35: Por que Newton não aceitava ter um embate científico com os outros?
35. [P] A-11: Porque Huygens não queria.
36. [O] A-35: É porque até ele mesmo tinha dúvidas.
37. [P] A-11: É porque os argumentos de Newton ficavam para ele.
38. [O] A-35: Até no livro que ele lança, tem uma questão que ele faz em forma de pergunta. Porque nem ele mesmo sabia.
39. [P] A-11: Mas, ele fazia experiências...
40. [O] A-12: Não, porque simplesmente só as experiências não valem para a ciência. Tinha que ter os cálculos. Fresnel matematizou a teoria ondulatória, fazendo que a corpuscular perdesse espaços e a teoria ondulatória ressurgisse com mais força. Eles fizeram as experiências e os cálculos.

Nesse outro bloco, é possível perceber mais algumas concepções de ciência mostradas pelos alunos, que são:

4. *A desmistificação do mito do gênio.* Na fala 36, a aluna A-35 levanta a possibilidade de Newton ter dúvidas sobre as suas argumentações, fato que explicava a sua rejeição por embates científicos. Continuando, a mesma aluna, na fala 38, retorna a argumentar em relação à insegurança de Newton sobre as suas ideias em relação à luz.
5. *O conhecimento científico depende fortemente, mas não inteiramente, da observação, da evidência experimental, de argumentos racionais.* Na fala 40, a aluna A-12 argumenta que a experiência não pode ser o caráter único para a plena aceitação ou não de uma teoria.

Embora nem todos os alunos manifestem concepções que estejam de acordo com visões contemporâneas do fazer científico, vemos como os textos históricos e o debate estimularam discussões que propiciaram a reflexão acerca da natureza do conhecimento científico.

Por fim, para encerrarmos a apresentação dos resultados da aplicação dessa unidade didática, teceremos comentários sobre a Atividade Final, que constou de cinco questões. Devido a limitações de espaço, discutiremos três delas. A primeira dizia respeito aos modelos de visão:

Questão 1 - Como enxergamos um objeto? O que é necessário para que possamos ver uma caixa, por exemplo? Faça um desenho que ilustre a sua opinião. Em seguida explique, com suas palavras, o que você desenhou.

Essa questão, novamente, retomava uma das perguntas iniciais (“Como você enxerga um objeto?”). Apesar de toda a discussão realizada em sala de aula, alguns alunos se mostraram resistentes à mudança nas suas explicações, fundamentadas em determinadas concepções alternativas. A tabela 10, abaixo, sintetiza as categorias elaboradas, tomando como base a similaridades das respostas dos alunos:

Tabela 10: Modelos de visão apresentados pelos alunos na Atividade Final.

Modelos de visão	Quantidade de alunos
Modelo científico	7 (28%)
Olho emite um raio visual	7 (28%)
Miro ou fixo o olhar no objeto	7 (28%)
Modelo de Platão	2 (8%)
Banho de luz	1 (4%)
Em branco	1 (4%)
Total	25 (100%)

Abaixo mostramos um desenho, feito por uma aluna, que condiz com o modelo científico atual no que diz respeito à explicação do modelo de visão:



Figura 3: Desenho extraído da resposta à questão 1 (aluna A-35).

Como se pode observar no desenho acima, a aluna A-35 aponta a necessidade da fonte, fazendo valer o binômio visão-luz, descaracterizado em algumas respostas e desenhos, como se verá a seguir. Abaixo, transcreve-se a justificativa dada pela aluna à questão.

A-35: O que eu desenhei é bem simples, eu mostrei que através da luz iluminadora, a qual ilumina o ambiente, quando olho para uma caixa, ela reflete a luz para o olho, com isso podemos enxergar o objeto.

Entretanto, outras justificativas, que não remetem à explicação científica, descaracterizam a necessidade de uma fonte de luz para que se possa enxergar um objeto. Os desenhos abaixo são representativos da categoria “olho emite um raio visual”:

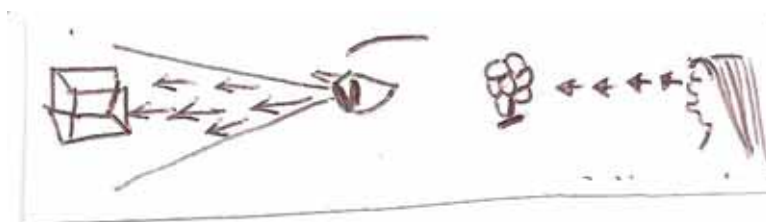


Figura 4: Desenhos extraídos das respostas à questão 1 da atividade final dos alunos C-10 e A-08.

Observe que mesmo após a intervenção em sala de aula as concepções alternativas referentes à visão ainda resistem. O uso do texto histórico havia feito aumentar de 0% a 48% o número de alunos que apontaram o modelo científico como o correto, quando lhes eram mostradas várias alternativas. Já na atividade final, houve um decréscimo na percentagem de acertos (28%). Embora o número de alunos participantes da atividade final fosse menor (25 alunos), o que pode ter influenciado os resultados finais, acreditamos que houve uma melhora neste quesito, mostrando uma direção para futuras intervenções.

A questão 3 da atividade final dizia respeito a controvérsia histórica discutida na unidade didática (a luz é onda ou partícula?) Abaixo, teceremos alguns comentários sobre os principais resultados referentes a essa questão:

Questão 3 - Na história da óptica percebemos o duelo entre dois modelos que tinham por pretensão explicar o que era a luz (modelo corpuscular e modelo vibracional-ondulatório). Você é capaz de dar argumentos em defesa de um ou de outro? Você acredita que algum dos modelos é mais correto do que o outro?

Um dos objetivos da unidade didática foi apresentar aos alunos, em sala de aula, o embate científico existente entre dois modelos, principalmente nos séculos XVII e XVIII: um corpuscular e outro vibracional-ondulatório. Em especial, nessa questão, esperávamos que os alunos se posicionassem perante este ou aquele modelo, haja vista não desenvolvermos em sala de aula, por exemplo, a Física do século XX e os novos debates nesta área.

Entretanto, um fato inesperado que chamou nossa atenção foi a conclusão dos alunos de que a luz pode se comportar tanto como partícula quanto como onda, “antecipando” o princípio da dualidade onda-partícula. Vale ressaltar que o professor não chegou a essa conclusão, nem mesmo fez discussões neste sentido em sala de aula.

Na tabela que se segue, encontram-se os resultados:

Tabela 11: Respostas à questão 3 da atividade final.

Categoria	Número de alunos
Ambos os modelos	15 (60%)
Modelo vibracional-ondulatório	5 (32%)
Em branco	3 (8%)
Modelo corpuscular	2 (8%)
Total	25 (100%)

Abaixo, mostram-se algumas das justificativas dadas pelos alunos a essa questão. A primeira citação remete ao grupo que acha o modelo vibracional-ondulatório é mais correto. Já a fala seguinte, do aluno A-23, remete ao grupo dos que acham que ambos os modelos são corretos.

C-32: Acho que a mais correta era a teoria ondulatória, pois se fosse partícula quando se bate em algum obstáculo, depois de algum tempo, haveria acumulação de algum resíduo luminoso.

A-23: Eu seria capaz de argumentar em defesa de um. Mas dizer qual é o mais correto fica difícil, porque as duas estão corretas. A luz se transporta como uma onda, mas reage como partícula. A verdade é que todas as partículas têm propriedades de onda.

O aluno A-23 trouxe contribuições que não eram esperadas, pois foi solicitado - mas não exigido - aos alunos que se detivessem aos materiais distribuídos em sala e às discussões realizadas para responder às questões das atividades. Entretanto, as atividades não traziam enunciados como “as partículas têm propriedades de onda” nem discussões sobre o que eram fótons. Mas esse fato pode evidenciar tanto o interesse dos alunos pela nova metodologia quanto a influência do contexto extra-escolar⁸.

Todavia, uma visão não muito adequada pode haver ficado no imaginário dos alunos: a de que as duas teorias, em suas formulações dos séculos XVII e XVIII, estão corretas, o que é diferente do princípio da dualidade onda-partícula que surgirá no século XX. Isso levou o professor, mesmo que não previsto no seu planejamento, a preparar uma nova intervenção (em forma de exposição), mostrando os limites de cada modelo, desmistificando a ideia de que todos os modelos estão igualmente corretos.

Na 5ª questão, os alunos ficaram livres para se posicionarem diante da nova metodologia que lhes foi apresentada, mostrando onde, para eles, ela logrou êxitos e onde deixou a desejar:

Questão 5 - Nas aulas de física desse bimestre, realizamos estudos sobre a história da óptica. Em sua opinião, quais foram os aspectos positivos e negativos dessa abordagem?

Abaixo, transcrevemos algumas das respostas dos alunos a essa questão.

A-23: O debate foi muito positivo, porque a gente discutiu e chegou a uma conclusão, e nos divertimos muito, foi um máximo. Gostei também de ler os textos, só assim, a gente aprendeu um pouco sobre as teorias da luz. Não gostei dos resumos.

C-16: Positivos: conhecemos várias coisas sobre a luz e a visão, como é a nossa visão, enxergar um objeto. Negativo: eu acho que foi a má participação de alguns alunos durante a aula.

A-03: Teve vários aspectos positivos, um deles é que nós podemos aprender que a luz é uma onda e também uma partícula. Em minha opinião, não teve nem um aspecto negativo.

C-17: Esclarecimentos mais compatíveis com a nossa linguagem e o nosso dia-a-dia.

A principal forma de se utilizar a HFC no ensino de ciências, nos dias de hoje, é por meio de textos (p.ex: Vannucchi, 1996; Souza, 2008; Forato, 2009, entre outros). Entretanto, em alguns casos, os alunos do ensino médio, em especial, não apresentam uma predisposição ao trabalho com textos, com leituras e resumos. Embora uma das críticas seja direcionada à solicitação de resumos das leituras, entendemos que os resumos ajudaram os alunos na organização de suas próprias ideias sobre cada texto, facilitando a compreensão e a resolução das questões.

De maneira geral, os argumentos a favor e contra a metodologia aplicada mostraram-se de forma bem sucinta, não tendo os alunos se posicionado de forma detalhada sobre o que acharam do curso. É possível que a posição do pesquisador, ao mesmo tempo como professor da sala, possa ter inibido os alunos a avaliar a prática desenvolvida com eles ou, pelo menos, ter-lhes causado receio em fazê-lo.

⁸ O professor, em um momento posterior, abordou as alunas e elas justificaram que fizeram outras leituras em livros e sites da internet sobre o assunto.

Na próxima seção daremos o nosso olhar final sobre a unidade didática, refletindo sobre sua aplicação. Apontaremos também alguns entraves operacionais percebidos no percurso.

Conclusões

A unidade didática possibilitou aos alunos vivenciar tanto aspectos da natureza da ciência como conceitos científicos ligados à ciência óptica. A análise de dados nos sugere que essa seja uma abordagem conveniente para inserir discussões relacionadas à HFC no ensino. A análise possibilitou uma reflexão sobre os conteúdos a serem abordados, mostrando que temas polêmicos e controvérsias históricas são mais propícios para a elaboração de trabalhos desta natureza.

Embora não tenha sido objeto deste relato, a pesquisa mais ampla também evidenciou que uma abordagem histórica pode ser complementada por atividades de outra natureza, por exemplo: vídeos e atividades experimentais.

Especificamente em relação ao aprendizado conceitual e de questões relativas à natureza da ciência, a aplicação da unidade didática apontou para um sucesso parcial. De um lado, houve uma melhoria das concepções dos alunos acerca do processo de visão, ainda que a atividade final mostre, em alguns casos, um retorno às concepções iniciais. Por outro lado, vimos como os textos históricos e o júri simulado permitiram uma reflexão e um melhor entendimento de questões relativas ao desenvolvimento da ciência.

Por fim, cabe apontar que a unidade didática logrou êxito em outros sentidos: os alunos se tornaram mais participativos, principalmente os que se mostravam mais avessos às ciências; as leituras em grupo tornaram o ambiente escolar mais propício a discussões; o júri simulado, além de ser uma atividade motivadora, mostrou-se uma ferramenta de maior integração entre os alunos. Nesse sentido, esta pesquisa conclui que o curso conseguiu mostrar uma nova forma de se aprender *ciência e sobre a ciência*, às vezes de forma lúdica, engraçada e contestadora.

Referências

- Bachelard, G. A. (1996). *A formação do espírito científico: contribuição para uma psicanálise do conhecimento*. Tradução de Estela dos Santos Abreu. Rio de Janeiro: Contraponto.
- Brasil (2002). Ministério da Educação – MEC, Secretaria de Educação Média e Tecnológica – Semtec. *PCN + Ensino Médio: orientações educacionais complementares aos parâmetros Curriculares Nacionais – Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias*. Brasília: MEC/Semtec.
- Dedes, C. (2005). The Mechanism of vision: conceptual similarities between historical models and Children's representations. *Science & Education*, 14 (2), 699-712.
- Forato, T.C.M. (2009). *A Natureza da Ciência como saber escolar: um estudo de caso a partir da história da luz*. Tese de doutorado apresentada à Faculdade de Educação da USP, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Gircoreano, J.P., & Pacca, J. L. A. (2001). O ensino da óptica na perspectiva de compreender a luz e a visão. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, 18 (1), 26-40.
- Goldberg, F. M., & Mcdermott, L. C. (1986). Student Difficulties in Understanding Image Formation by a Plane Mirror, *The Physics Teacher*, 472-480.

_____, & _____. (1987). An investigation of student understanding of the real image formed by a converging lens or concave mirror. *American Journal of Physics*, 55 (2), 108-119.

Harres, B. S. (1993). Um teste para detectar concepções alternativas sobre tópicos introdutórios de óptica geométrica, *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, 10 (3), 220-234.

Marconi, M.A. (2003). *Fundamentos de metodologia científica*. São Paulo: Atlas.

Martins, A. F. P. (2007). História e Filosofia da Ciência no ensino: há muitas pedras nesse caminho... *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 24 (1), 112-131.

Matthews, M. R. (1995). História, Filosofia e Ensino de Ciências: a tendência atual de reaproximação. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, 12 (3), 164-214.

Osborne, J. F., & Black, P. (1993). Young children's (7-11) ideas about light and their development, *International Journal of Science Education*, 15 (1), 83-93.

Peduzzi, L. O. Q. (2001). Sobre a utilização didática da História da Ciência. In: Pietrocola, M. (org.). *Ensino de física: conteúdo, metodologia e epistemologia numa concepção integradora*. Florianópolis: Ed. da UFSC.

Silva, C. C. (2006). *Estudos de história e filosofia das ciências: subsídios para aplicação no ensino*. São Paulo: Editora Livraria da Física.

Souza, J. A. (2008). *Uma abordagem histórica para o ensino do princípio da inércia*. Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências Naturais e Matemática, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.

Vannucchi, A. I. (1996). *História e Filosofia da Ciência: da teoria para a sala de aula*. Dissertação de Mestrado apresentada ao Instituto de Física e à Faculdade de Educação da USP, Universidade de São Paulo, São Paulo.

Zanetic, J. (1989). *Física também é cultura*. Tese de doutorado apresentada ao Instituto de Física e à Faculdade de Educação da USP, Universidade de São Paulo, São Paulo.

Recebido em: 29.04.2010

Aceito em: 31.08.2010