

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE EDUCAÇÃO

THAÍS CYRINO DE MELLO FORATO

**A NATUREZA DA CIÊNCIA COMO SABER ESCOLAR:
UM ESTUDO DE CASO A PARTIR DA HISTÓRIA DA LUZ**

VOLUME 1

SÃO PAULO

2009

THAÍS CYRINO DE MELLO FORATO

**A NATUREZA DA CIÊNCIA COMO SABER ESCOLAR:
UM ESTUDO DE CASO A PARTIR DA HISTÓRIA DA LUZ**

VOLUME 1

Tese de Doutorado apresentada à Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo para banca examinadora para obtenção do título de Doutor em Educação.

Área de Concentração: Ensino de Ciências e Matemática

Orientador: Prof. Dr. Maurício Pietrocola

Coorientador: Prof. Dr. Roberto de Andrade Martins

SÃO PAULO

2009

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Catálogo na Publicação
Serviço de Biblioteca e Documentação
Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo

375.2 Forato, Thaís Cyrino de Mello
F692n A natureza da ciência como saber escolar: um estudo de caso a partir da
v. 1-2 história da luz / Thaís Cyrino de Mello Forato ; orientação Maurício
Pietrocola, coorientação Roberto de Andrade Martins. São Paulo : s.n.,
2009.
2 v. : il. + anexos

Tese (Doutorado – Programa de Pós-Graduação em Educação. Área de Concentração : Ensino de Ciências e Matemática) – Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo.

1. Ciências – Estudo e ensino 2. História da ciência – Filosofia 3. Óptica – História 4. Epistemologia 5. Didática I. Pietrocola, Maurício, orient. II. Martins, Roberto de Andrade, coorient.

Thaís Cyrino de Mello Forato
*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 Universidade de São Paulo para banca examinadora
para obtenção do título de Doutor em Educação.
Área de Concentração: Ensino de Ciências e Matemática.

Aprovada em ____ / ____ / ____

Banca Examinadora

Prof. Dr. Maurício Pietrocola
(FEUSP)

Prof. Dr. Roberto de Andrade Martins
(IFUunicamp)

Prof.^a Dr.^a Anna Maria Pessoa de Carvalho
(FEUSP) – Membro Titular

Prof. Dr. Manoel Roberto Robilotta (IFUSP)
Membro Titular

Prof. Dr. Luiz Peduzzi (UFSC)
Membro Titular

Prof. Dr. Olival Freire (UFBA)
Membro Titular

Prof. Dr. Elio Carlos Ricardo (FEUSP)
Membro Suplente

Prof. Dr. Alberto Villani (IFUSP)
Membro Suplente

Prof.^a Dr.^a Cibelle Celestino Silva (IFSC-USP)
Membro Suplente

Prof. Dr. Charbel N. El-Hani (UFBA)
Membro Suplente

Para

René Mallet Cyrino

(Em memória)

AGRADECIMENTOS

*“A hora mais escura da noite é justamente aquela
que podemos ver melhor as estrelas.”*

Charles A. Beard

Viver uma tese. Sentir alegria, raiva, culpa e paixão. Deslumbrar-se, desencantar-se. Pessoas especiais compartilharam comigo esse caminho.

Antes de tudo, quero agradecer aos maestros que me colocavam no ritmo e na cadência desse caminhar: meus orientadores.

Ao orientador, Prof. Dr. Maurício Pietrocola, agradeço a recepção e o acolhimento no grupo de pesquisa cujos pressupostos contribuíram para meu crescimento. Obrigada, Maurício, pela interlocução instigadora, pelos estímulos oferecidos e por não ter cedido aos meus apelos de permanecer no terreno teórico. Agradeço as sábias provocações que me fizeram escalar a montanha. Obrigada pelo apoio, pela parceria e pelo comprometimento, sobretudo, na difícil reta final.

Ao coorientador, Prof. Dr. Roberto de Andrade Martins, agradeço os conhecimentos compartilhados, o apoio constante, a paciência e generosidade, por ouvir com interesse as incertezas que surgiam durante o processo de reflexão. Agradeço a compreensão silenciosa dos momentos difíceis que vivi. Agradeço o olhar crítico, inegociável, de precisão sempre cirúrgica. Obrigada, Roberto, pelas insubstituíveis viagens no tempo.

Maurício e Roberto, obrigada pelo respeito aos percalços nada fáceis da mudança de área. Só quem viveu esse desafio sabe como é dura a tarefa de conciliar expectativas.

Quero agradecer com admiração à Profa. Solange Fonseca, que compartilhou meu sonho e pelo seu empenho na tarefa de torná-lo realidade, e agradeço com saudades e carinho aos alunos que o materializaram. Agradeço o apoio dado pela direção e coordenação da Escola Estadual Prof. Dr. Laerte Ramos de Carvalho, fundamental para a realização desta pesquisa.

Agradeço à banca de qualificação, Profa. Dra. Anna Maria Pessoa de Carvalho e Prof. Dr. Luis Peduzzi, a leitura atenta e minuciosa, as sugestões e críticas que me

ajudaram a corrigir o mapa e consolidar trajetos. Anna, obrigada pelos preciosos “cafés com dicas e boas risadas” ao longo desses quatro anos.

Amiga querida Maria Luiza Ledesma Rodrigues, obrigada pelo apoio sempre, pelo encorajamento e pela ajuda na criação do roteiro para o teatro.

Obrigada, Breno Arsioli Moura, querido amigo, por acompanhar de perto os passos desta tese, encorajando-me. Obrigada pela ajuda sempre, por partilhar a história, pela parceria e pelo ombro amigo nos momentos de crise.

Ricardo Karam, obrigada pela interlocução multidisciplinar e pelo apoio virtual e real. Obrigada por compartilhar deslumbramentos e por toda a ajuda desde sua chegada em 2008.

Obrigada, Maicol Martins Lopes Coelho, Esdras Vigiano e Maria Inês Ribas Rodrigues, amigos especiais e queridos, que me ajudaram lendo, comentando, corrigindo, criticando, obrigada! Muito obrigada!

Maria Cristina P. Stella de Azevedo, obrigada pela ajuda nas incursões no universo dos alunos. Obrigada pela presença e por todo apoio nos momentos difíceis.

Agradeço aos amigos que me ajudaram de diferentes modos, Cibelle Celestino Silva, Ana Paula Bispo, Juliana Hidalgo Ferreira e Ricardo Ammar Barros.

Quem disse que fada madrinha não existe? Só eu tenho três: Renata de Andrade, Silvia Dotta e Roseline Strieder. Meninas, obrigada por toda ajuda nos momentos escuros da madrugada. Pela mão estendida quando sentia os parágrafos me sufocando.

Obrigada, Prof. Dr. Elio Ricardo, pela incansável ajuda com a transposição didática. Ofereço-lhe uma homenagem no pseudônimo do aluno que se destacou nas argumentações.

Ivã Gurgel e Waldmir Araujo Neto, obrigada, amigos, pelos diálogos instigadores, pelas alegrias e lágrimas partilhadas e pela ajuda prestada.

Guilherme Brockington, obrigada pelas longas e frutíferas discussões, porque é importante ter um amigo com quem brigar nas trilhas de um doutorado.

Aos queridos Talita Romero, Maxwell Siqueira, Lucia Sasseron, Viviane Bricia e Estevam Rouxinol, obrigada pela convivência alegre, pelas dicas e interlocução criativa.

Queridos do corredor de ensino do IFUSP, obrigada pela acolhida, pelo apoio e pelos momentos alegres, especialmente, Maria Regina Kawamura, Renata Ribeiro, Sônia Salém, Cristiano Mattos, Luciana Guimarães, Anne Scarinci, Cristina Leite, Gisele Watanabe, Marcília Barcelos, Frederico Ramos, Lígia Valente e Glauco dos Santos. Meu agradecimento especial aos membros da *Secret Society Table Fourteen*.

A todos os colegas do Lapef, agradeço o carinho e a colaboração. Especialmente, Ivani Lawall, Willie Douglas, Milton Schivanni e Nicolli Ferreira.

Agradeço ao Murici Polato a disponibilidade e a ajuda prestada na tomada dos dados.

Queridas tias: Leny Compagno Cyrino, obrigada pela ajuda com Joshua, Chevallard e outros franceses, e Célia Cyrino Pereira, obrigada por me ajudar com o mosaico das palavras.

Querida prima Carla Mello Moreira, obrigada pela ajuda enorme nos momentos finais, pelos estilos, formatos, modos e tons.

Fátima, Mônica, Silene, Andréia, Vanessa, Carla, Ana, Winston e a outra face da Luíza e do Maicol, amigas e amigos distantes da tese, mas próximos do coração, obrigada por me resgatarem para os momentos de pausa e vida social fora dos muros da academia.

Minha noninha querida, Octávia Compagno Cyrino, obrigada pelo exemplo de vida.

Tamyra, Mãe e Pai, obrigada por todo apoio, por toda ajuda, pelas viagens constantes, por compensarem minha ausência. Obrigada, obrigada!

Minhas filhas amadas, Manoela e Roberta, estrelas brilhantes da madrugada, obrigada pelos sorrisos, pela paciência e resignação. Perdoem-me pelas intermináveis horas roubadas pelo computador.

Ao meu amor Pedro, agradeço o apoio incondicional sempre. Obrigada pelo seu amor, pelo seu carinho, pela sua dedicação, pela sua compreensão. Obrigada por partilhar comigo essa jornada.

À Fapesp – Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – agradeço a concessão da bolsa de doutorado e o apoio financeiro para realização desta pesquisa no período de fevereiro de 2007 a junho de 2009.

“Isso é impossível, professora!”

“Professora, esse negócio tá me confundindo. Uma hora eu acredito que a luz é uma onda, outra hora eu acho que luz é um corpo. No final a gente vai chegar a uma conclusão do que é a luz?”

“Professora, esses corpúsculos são matéria? Mas essa matéria vem de onde, da luz? Por que a gente não sente?”

“A gente não entende como ou a gente não aceita o fato de falar que matéria sutil é uma coisa que não dá pra ver. Se é matéria é matéria.”

“Eu não acredito em vácuo. Pensa no nada, você consegue ver? Imagina ‘o nada’! Vai na sua cabeça ‘o nada’?”

“Como que você quer que nós acreditemos na teoria do éter se nós não sabemos o que seria o éter?”

Manifestações de alunos

RESUMO

A relevância de ensinar conteúdos sobre as ciências, e não apenas conteúdos científicos tradicionais, tem se intensificado nas pesquisas educacionais das últimas décadas. Nesse sentido, a história da ciência configura-se um recurso pedagógico interessante para tratar sobre a construção do conhecimento científico em ambiente escolar. Entretanto, a confluência das necessidades dos campos didático-pedagógico e histórico-epistemológico prevê alguns obstáculos por enfrentar para transformar a natureza da ciência em saber escolar no ensino médio. Assim, buscamos analisar tais desafios e aventar propostas para seu enfrentamento mediante os fundamentos dos quadros teóricos estudados e de uma investigação empírica. Adotamos como estratégia metodológica o confronto entre tais desafios previstos com as dificuldades vivenciadas na elaboração, no acompanhamento da aplicação e na análise de um curso piloto para o ensino médio, aplicado em uma escola pública da zona sul da cidade de São Paulo. Utilizamos três episódios da história da luz para tratar de alguns aspectos epistemológicos que problematizavam, principalmente, uma visão empírico-indutivista da ciência. Foi possível mapear uma série de obstáculos, propor estratégias para enfrentá-los, aplicar tais estratégias em sala de aula e analisar os dados obtidos. Como resultado dessas etapas, obtivemos bons prognósticos para algumas propostas averiguadas e percebemos que algumas soluções requerem aprimoramento. A metodologia qualitativa das pesquisas educacionais guiou o planejamento, a coleta e a análise dos dados. Os resultados obtidos indicaram possibilidades de generalização que podem ser entendidas como parâmetros iniciais para pesquisa com a história e filosofia da ciência na educação científica.

Palavras-chave: Ensino de ciências; Natureza da ciência; História da ciência; História da luz; Transposição didática.

ABSTRACT

The relevance of teaching *about* science, instead of teaching only the traditional and systematized scientific concepts, has been an important issue for educational researches over the last decades. In this new approach, the use of history of science is a promising pedagogical strategy to introduce the development of scientific knowledge in the context of education. However, when one tries to reconcile the demands of both didactic-pedagogical and historic-epistemological fields, many obstacles become evident. Accordingly, this thesis analyzes the challenges that are faced and the emerging solutions obtained from the combination of a theoretical framework and an empirical investigation. The methodological strategy that was employed confronts those challenges with the elaboration, application and analysis of a pilot course on the history of optics for secondary school students. Three historical episodes concerning the theory of light were chosen in order to challenge students' naïve inductive-empiricist conceptions of the nature of science. We were able to identify a set of obstacles, to propose strategies to face them, to apply those strategies in real classroom situations and to analyze the data gathered from the recordings of the classes. As a result, we have developed viable solutions and realized that some of them still need to be improved. A qualitative research methodology guided our process of elaboration, application and data analysis of the teaching-learning sequence that was implemented. The results point out possibilities of generalization which can be regarded as initial parameters for future researches that focus on the use of history and philosophy of science in scientific education.

Keywords: Science teaching, Nature of science, History of science, History of light, Didactic transposition.

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Título: Data da aula e número do arquivo _____	66
Quadro 2: Estimativa do tempo de leitura requerido do professor (em horas) _____	95
10/9/2007 – Aulas 3 e 4 – Arquivo I _____	126
10/9/2007 – Aulas 3 e 4 – Arquivo I _____	128
10/9/2007 – Aulas 3 e 4 – Arquivo I _____	129
10/9/2007 – Aulas 3 e 4 – Arquivo I _____	131
10/9/2007 – Aulas 3 e 4 – Arquivo I _____	133
10/9/2007 – Aulas 3 e 4 – Arquivo I _____	140
11/9/2007 – Aulas 5 e 6 – Arquivo I _____	141
11/9/2007 – Aulas 5 e 6 – Arquivo I _____	142
12/9/2007 – Aulas 7 e 8 – Arquivo II _____	145
12/9/2007 – Aulas 7 e 8 – Arquivo III _____	146
12/9/2007 – Aulas 7 e 8 – Arquivo III _____	147
13/9/2007 – Aulas 9 e 10 – Arquivo I _____	148
13/9/2007 – Aulas 9 e 10 – Arquivo I _____	149
13/9/2007 – Aulas 9 e 10 – Arquivo I _____	150
13/9/2007 – Aulas 9 e 10 – Arquivo I _____	150
13/9/2007 – Aulas 9 e 10 – Arquivo I _____	151
17/9/2007 – Aulas 13 e 14 – Arquivo I _____	158
17/9/2007 – Aulas 13 e 14 – Arquivo I _____	169
6/9/2007 – Aulas 1 e 2 – Arquivo I _____	174
13/9/2007 – Aulas 9 e 10 – Arquivo II _____	175
13/9/2008 – Aulas 9 e 10 – Arquivo II _____	176

SUMÁRIO DO VOLUME 1

<i>Apresentação</i>	<i>1</i>
1. O ensino, a história e a natureza da ciência	7
1.1. O saber historicamente construído	7
1.2. A natureza da ciência na educação científica	11
1.2.1. Abordagens possíveis acerca da natureza da ciência	11
1.2.2. Riscos inerentes à distorção histórico-epistemológica	13
1.2.3. Historiografia e ensino de ciências	16
1.2.4. Delimitando a concepção de natureza da ciência	23
1.3. Pressupostos e desafios	26
2. Saberes escolares	29
2.1. Os processos da construção do saber	31
2.1.1. A didática específica como ciência	33
2.1.2. Saberes acadêmicos no ensino de ciências	34
2.1.3. A sobrevivência de um saber	46
2.2. Desafios na transposição didática da história da ciência	47
2.2.1. Obstáculos estruturais da abordagem histórico-epistemológica na educação científica	50
2.2.2. Conflitos, dilemas e riscos	54
3. Desenvolvimento da pesquisa	57
3.1. O desenvolvimento da pesquisa	57
3.1.1. A estratégia adotada	58
3.1.2. A dimensão teórica da pesquisa	58
3.1.3. A dimensão empírica da pesquisa	59
3.1.4. Análise dos processos de interação na relação didática	59
3.1.5. Metodologia qualitativa de análise	60
3.1.6. Obtenção dos dados no contexto da análise qualitativa	65
3.2. A elaboração do curso piloto	67
3.2.1. A escolha do tema histórico	68
3.2.2. Os conteúdos selecionados	70
3.2.3. Pressupostos para a preparação do curso piloto	75
3.2.4. Desenvolvimento dos textos para os alunos	75
3.2.5. Desenvolvimento da seqüência de atividades didáticas	77
3.2.6. Material disponibilizado	85
3.2.7. Avaliação	87
3.3. O apoio ao professor na aplicação do curso	87
3.3.1. Bibliografia fornecida ao professor	88
3.3.2. As reuniões com a professora e o desenvolvimento do curso	90
3.3.3. Tempo exigido do professor na aplicação do curso piloto	93

4. Análise dos dados e resultados	97
4.1. Desafios vivenciados durante a elaboração do curso	97
4.1.1. Obstáculos superáveis: construindo propostas	99
4.1.2. Obstáculos a contornar: em busca de caminhos	109
4.2. Análise da aplicação do curso: a construção dos eventos de pesquisa	119
4.2.1. Evento Gregos	121
4.2.2. Evento Éter	138
4.2.3. Evento Young	162
4.3. Relatos e percepções: Um breve olhar para o processo	173
4.3.1. Recortes e descaminhos: a história da linha do tempo	173
4.3.2. A relação professora-alunos: afeto e valorização como diferencial	175
4.4. Destacando resultados	177
4.4.1. Muitos textos: um risco?	177
4.4.2. Compensar a omissão da matemática com recursos visuais?	177
4.4.3. Entes inobserváveis: complexas abordagens	179
4.4.4. Atuação da professora na transposição didática interna.	179
4.4.5. Aprofundamento de alguns aspectos epistemológicos	180
Intermezzo	182
Considerações finais	183
Referências bibliográficas	197

Apresentação

“[...] muitos orientam o ensino destacando o fazer matemático como um ato de gênio, reservado a poucos, que, como Newton, são vistos como privilegiados pelo toque divino. O resultado disso é uma educação de reprodução, formando indivíduos subordinados, passivos e acríticos.”

Ubiratan D’Ambrósio

A idéia da ciência como um conhecimento neutro, puramente racional, atingido indutivamente a partir de experimentos objetivos vem sendo criticada desde as primeiras décadas do século XX. Diversos filósofos, sociólogos e historiadores da ciência propuseram teorias concebendo a ciência como uma construção humana parcial e falível, contestável, uma construção cultural. Trabalhos de diversos pensadores, como Gaston Bachelard e Thomas Kuhn, por exemplo, foram contribuindo para que as ciências exatas e as humanidades fossem deixando de ser consideradas como duas áreas antagônicas.

Entretanto, ainda se percebe amplamente disseminada uma concepção da ciência como um conhecimento construído apenas por pessoas geniais que descobrem as eternas verdades universais por meio de um infalível método científico. Tal visão é constantemente reforçada pela mídia e pelo próprio ensino de ciências. Quem nunca ouviu um frutífero debate entre idéias ser tristemente finalizado pelo argumento “mas isso foi cientificamente comprovado”? Reforçando concepções desse tipo, vêm-se corriqueiramente manchetes em jornais, telejornais e revistas, cujo público-alvo é o mais variado possível, anunciando a mais recente “prova” científica. Professores e alunos, imersos nesse repertório cultural, interagem acriticamente com uma história distorcida da ciência presente na maioria dos materiais didáticos. Mas como poderia ser diferente? Enquanto não lhes for possível conhecer distintos pontos de vista, como esperar que concepções ingênuas sobre a natureza da ciência sejam identificadas e, ainda, problematizadas?

As pesquisas educacionais, como as empreendidas por Lederman (2007), vêm reforçando a importância de questionar a concepção de ciência como puramente empírico-indutivista na escola básica, contrapondo-a com uma reflexão contemporânea sobre o seu funcionamento. Isso implica transformar o conhecimento sobre a natureza da ciência em

saber escolar. Mas como viabilizar tais conteúdos? Inserir conhecimentos sobre as ciências nas aulas de ciências? Como os professores das disciplinas científicas poderiam lidar com conhecimentos de origem epistemológica?

A literatura especializada aponta a história da ciência como um recurso pedagógico apropriado para abordar a natureza da ciência na sala de aula. Contudo, almejar esses propósitos pedagógicos impõe lidar com diversas dificuldades. As versões distorcidas da história da ciência presentes em materiais didáticos, a falta de formação do professor e a ausência de materiais adequados para o ensino médio, por exemplo, têm sido apontados como alguns dos problemas existentes para o uso da história e filosofia da ciência na sala de aula.

Educadores e reformadores de currículos de vários países têm insistido no desenvolvimento de pesquisas e propostas educacionais que procurem introduzir discussões sobre a natureza do conhecimento científico nas aulas de ciências. As características da natureza da ciência recomendadas por tais estudos pretendem apresentar a ciência construída socioculturalmente, influenciada teoricamente, envolvendo a inferência humana, a imaginação e a criatividade.

Aderimos, assim, aos pressupostos das pesquisas em ensino de ciências voltadas para os benefícios pedagógicos proporcionados pelo uso da história da ciência para discutir a dinâmica do fazer científico do ponto de vista contemporâneo.

Desse modo, nossa pesquisa lida com uma questão fundamental na didática das ciências: é possível utilizar a história e a filosofia da ciência em sala de aula de modo a contemplar propósitos pedagógicos sem incorrer em erros ou simplificações excessivas? Quais e como são os desafios e como devem ser enfrentados? Quais as possibilidades de superá-los?

A possibilidade de investigar e detalhar alguns desses desafios permitiria vislumbrar possíveis soluções. Num segundo momento, tais propostas seriam aplicadas em ambiente escolar visando detectar caminhos factíveis, identificar soluções inadequadas e buscar modos de desenvolver soluções apropriadas. Assim, o plano da pesquisa aqui apresentado se assenta sobre dois pilares: o estudo do quadro teórico e uma investigação empírica.

No âmbito teórico lidamos com os referentes de diferentes campos do saber: a historiografia da história da ciência, a epistemologia da ciência vista sob uma perspectiva educacional e as necessidades didático-pedagógicas do ensino de ciências em nível médio de escolaridade. Apresentamos esse quadro teórico nos dois capítulos iniciais desta tese. Iniciamos com uma revisão bibliográfica sobre os usos da história da ciência na educação científica, pontuando limitações e destacando benefícios de utilizá-la para ensinar sobre a natureza da ciência. Esclarecemos, a seguir, que discutir certas características do fazer científico utilizando sua história implica adotar uma abordagem empírica para a natureza da ciência.

Entretanto, trabalhar com a história da ciência enfocando o caráter humano, social e histórico do conhecimento científico requer respeitar algumas diretrizes postas pela historiografia contemporânea. As reflexões ocorridas ao longo de todo o século XX no âmbito da filosofia, sociologia e história da ciências, e seus desdobramentos nas pesquisas em ensino de ciências, forjaram também as transformações historiográficas e o modo de compreender as ciências e sua história. Discutimos, assim, algumas perspectivas historiográficas e as distorções da história da ciência mais comuns no ensino e os problemas decorrentes na formação dos alunos. Ainda no primeiro capítulo definimos a concepção de natureza da ciência que adotamos e os aspectos selecionados e tratados pela pesquisa.

A sala de aula, por sua vez, impõe requisitos para viabilizar a interação dos alunos com os saberes escolares, almejando uma educação reflexiva, uma formação crítica e que, principalmente, permita ao aluno aprender a aprender. A transformação da natureza da ciência em saber escolar deve respeitar recomendações historiográficas, mas deve contemplar também as necessidades da sala de aula. Encontramos nos processos da *transposição didática* de Yves Chevallard (1991) um suporte teórico para pensarmos a construção dos saberes escolares, na perspectiva da didática da ciência. Ela nos **permitiu refletir sobre o percurso epistemológico dos saberes, desde sua origem no contexto de referência e até seu ingresso no ambiente escolar. O campo disciplinar da história da ciência, contudo, requereu um olhar diferenciado para a transposição.**

A especificidade do saber histórico já deixava clara a dificuldade da dessincretização, uma prescrição da transposição didática. A necessidade de transformar o saber histórico em objeto de Saber a Ensinar e Saber Ensinado requer apartar os saberes de

referência de seu contexto de produção, para ser posteriormente reconstruído de modo a tornar-se viável ao ambiente escolar. Entretanto, o risco de incorrer em anacronismos, quando se busca adaptar ou simplificar demasiadamente os saberes históricos, pode questionar a viabilidade de se falar em “aprendizagens históricas”.

A recontextualização da história da ciência ao nível de escolaridade focado buscou contemplar prescrições historiográficas, mas assumiu-se que os saberes voltados ao especialista e aqueles adequados ao ambiente escolar possuem funções sociais distintas. Desse modo, a busca pela harmonização das necessidades didático-pedagógicas e histórico-epistemológicas apontadas pelo quadro teórico prevê alguns desafios nas abordagens da história da ciência na educação científica. O estudo que trata da transposição didática da história da ciência foi o tema do segundo capítulo desta tese.

O trabalho empírico empreendido nesta pesquisa procurou investigar como os resultados do quadro teórico materializavam-se na elaboração de uma proposta piloto e na sua aplicação no ambiente escolar. A elaboração dessa proposta passou pela seleção dos conteúdos históricos, a produção de textos para o professor e para os alunos, e a construção de uma seqüência de atividades didáticas. O desenvolvimento de toda a parte empírica da pesquisa foi descrito no terceiro capítulo. Retomamos nossos objetivos e discutimos a adequação da metodologia qualitativa no planejamento, coleta e análise dos dados. Apresentamos a arquitetura da elaboração do curso piloto, os pressupostos adotados para a criação dos materiais didáticos, as conjecturas feitas para elaborar as atividades didáticas e a preparação da professora que o aplicou.

Essas etapas puderam ampliar, precisar e exemplificar os desafios previstos pela dimensão teórica. Vivenciá-los na construção do curso piloto permitiu-nos propor sua separação entre *obstáculos superáveis e contornáveis* em função das soluções possíveis para seu enfrentamento, no contexto do nosso trabalho. Essas propostas configuram-se como os primeiros resultados obtidos. A descrição dos obstáculos enfrentados e das soluções aventadas para cada um deles inicia o quarto capítulo.

As propostas conjecturadas na primeira etapa da investigação empírica foram confrontadas com a análise da aplicação do curso na sala de aula. A coleta dos dados deu-se mediante prescrições da metodologia qualitativa de análise a partir de fontes distintas: as respostas aos questionários escritas pelos alunos, as transcrições das aulas gravadas em vídeos e anotações de campo realizadas pela pesquisadora. A confluência entre os

resultados advindos da elaboração do curso piloto e a análise dos dados coletados em campo foram feitas no quarto capítulo.

Acompanhar a aplicação do curso piloto foi um processo rico sob vários aspectos. Pudemos perceber alguns momentos de conflito nos alunos entre as concepções ingênuas sobre a natureza da ciência e o novo enfoque apresentado. Foi uma satisfação compartilhar os momentos de estranhamento, descoberta e perceber indícios do contentamento gerado a cada novo entendimento. As provocações realizadas pelo conteúdo articulado em atividades didáticas obtiveram respostas surpreendentes e criativas por parte dos alunos. A presença próxima a todo o processo nos permitiu, também, detectar limitações nas soluções propostas e, algumas vezes, foi possível orientar a professora na retomada de pontos críticos ou relevantes nas aulas seguintes.

Selecionamos, para uma análise detalhada, três eventos (episódios de ensino) que confrontavam as soluções propostas para o enfrentamento dos obstáculos às relações estabelecidas entre alunos, professora e saber. Ainda no quarto capítulo, apresentamos alguns resultados e pontuamos aspectos relevantes para pensar o uso da história para discutir a construção da ciência.

Durante a análise dos dados detectamos limitações no planejamento do curso piloto, no material didático ou na preparação da professora que nos permitiram realizar pequenas modificações e apresentar uma versão já incorporando alguns redimensionamentos. Esse trabalho concomitante foi muito interessante, pois houve sinergia entre tais processos. Conforme percebíamos pontos do curso piloto que podiam ser mais bem explorados ou redimensionados, em decorrência do contato com os dados, fazíamos algumas adaptações nos textos dos alunos e no planejamento das atividades. Por outro lado, ao refletirmos sobre aspectos conceituais durante a revisão dos textos piloto, ou sobre possíveis alterações em algumas atividades, percebíamos certos detalhes interessantes a procurar nos dados. Pudemos realizar algumas alterações nos textos do curso piloto e apresentar uma versão preliminar do curso, a ser ainda aperfeiçoado. Ambas as versões podem ser encontradas nos apêndices desta tese, incluindo os *slides* preparados para as aulas e o material didático para algumas atividades.

O recorte estabelecido para nosso objeto de análise tangenciou e excluiu possibilidades frutíferas de investigação. Algumas delas estão pontuadas ao longo desta tese e são apresentadas na conclusão como desdobramentos almejados desta pesquisa.

As questões da pesquisa obtiveram perspectivas e possibilidades a partir da análise e da reflexão crítica do processo como um todo, apontando para algumas conclusões. Passíveis de generalização, algumas das propostas para superar e contornar os obstáculos enfrentados apontam para estratégias viáveis em contextos semelhantes ao focado por esta pesquisa. Buscamos organizá-las como possíveis guias para auxiliar pesquisas voltadas à utilização da história e filosofia da ciência na educação científica. Apresentadas na conclusão desta tese, tais etapas podem ser tomadas por parâmetros iniciais para nortear a transposição didática da história da ciência ao ensino médio na perspectiva de transformar a natureza da ciência em saber escolar.

1. O ensino, a história e a natureza da ciência

“Minhas idéias levaram as pessoas a reexaminar a física de Newton. Naturalmente alguém um dia irá reexaminar minhas próprias idéias. Se isto não acontecer haverá uma falha grosseira em algum lugar.”

Einstein

1.1. O saber historicamente construído

A compreensão da ciência como uma atividade humana tem sido um objetivo amplamente tratado nas pesquisas em educação científica. Tais estudos reconhecem a relevância de compreendê-la como um corpo de conhecimentos historicamente construído, imerso no contexto cultural de cada época e de cada povo. Conhecer sobre as ciências e não apenas os conteúdos científicos, mas também seus pressupostos, limites de validade e influências contextuais, permite criticar o dogmatismo geralmente presente no ensino de ciências, além de promover o pensamento reflexivo e crítico. Nesse sentido, aspectos sobre a construção do conhecimento científico podem ser revelados pelo contexto histórico no qual eles tenham sido desenvolvidos (MEDEIROS e BEZERRA FILHO, 2000).

A introdução da história da ciência tem sido recomendada na educação científica, pelo menos desde o início do século XX, como estratégia pedagógica que permite alcançar diversos propósitos formativos (LEDERMAN, 2007). Há ampla bibliografia que aponta vários objetivos educacionais propiciados pela interface gerada entre a ciência e sua história.¹ A história da ciência pode ampliar a cultura geral do aluno, admitindo-se que há valor intrínseco em compreender certos episódios fundamentais que ocorreram na história. Adequadamente contextualizada, a história da ciência permite uma reflexão crítica sobre a ciência como um produto dinâmico do conhecimento humano, criado por indivíduos em dado contexto cultural e histórico, revelando a face humana da ciência. Abordar a dimensão filosófica da história da ciência pode contribuir para a formação do professor de uma disciplina científica, pois sua prática educativa transmite os resultados de uma área

¹ Veja, por exemplo, Allchin (2006); Batista (2007); Bizzo (1991); Brush (1989); Carvalho e Castro (1992); Chen (2006); Cupani e Pietrocola (2002); El Hani (2006); Gagliardi (1988); Hanuscin *et al.* (2006); Holton (2003); Martins, A., (2007); Martins, R., (1990); Matthews (1997); McComas *et al.* (1998); Niaz (2001); Peduzzi (2001); Pietrocola (2003); Silva (2006); Vannucchi (1996); Whitaker (1979).

permeados por uma concepção sobre a natureza da ciência. As relações entre a história da ciência e a história, por exemplo, proporcionam uma compreensão das relações entre a ciência e o poder, estudando como os interesses políticos de cada governo afetam o fazer científico de sua época. Tal análise possibilita mostrar aos alunos que a ciência não é uma atividade neutra. Os autores apontam ainda que a história da ciência é um recurso que permite discutir criticamente a concepção de verdade absoluta na ciência, estabelecida pelo método empírico. Além disso, estudar a gênese de uma lei científica favorece seu aprendizado significativo, e não apenas entendê-la como mera ferramenta na resolução de problemas. Conhecer a evolução das idéias e os caminhos metodológicos da ciência facilita conhecer os processos interdisciplinares da construção de explicações.

Apesar de existirem vários aspectos positivos no uso da história da ciência no ensino de ciências, revisões bibliográficas recentes (BELL *et al.*, 2001; FORATO *et al.*, 2008) revelam que a sua utilização para discutir aspectos da natureza da ciência tem recebido grande ênfase nas pesquisas educacionais. Isso porque tratar esse aspecto é um componente central da educação científica e fundamental ao letramento científico² (BATISTA, 2007; LEDERMAN, 2007; EL HANI, 2006). 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. Basicamente, essa crítica traz implicitamente como contraponto a ciência como uma construção humana sujeita ao seu contexto sociocultural de desenvolvimento (GIL PEREZ *et al.*, 2001; MCCOMAS *et al.*, 1998; PIETROCOLA, 2003; PUMFREY, 1991).

Além dos Parâmetros Curriculares Nacionais (BRASIL, 2002), vários projetos e documentos internacionais de reforma educacional das últimas décadas (por exemplo, os citados por Pumfrey, 1991: AAAS, 1990; NCC, 1988; NRC, 1996) confirmam essa tendência, com a implantação da história da ciência no ensino de ciências, enfatizando a necessidade de uma abordagem contextual que visa envolver os estudantes na temática da natureza da ciência (LEDERMAN, 2007; PUMFREY, 1991). Pumfrey (1991) realizou uma análise da reforma britânica ocorrida no final da década de 1980 e mencionou projetos a

² No original: *scientific literacy* (LEDERMAN, 2007, p. 831).

esse respeito destacando países como EUA, Holanda, Países Escandinavos e Inglaterra. Lederman (2007) apontou a grande ênfase dada à necessidade de ensinar a natureza da ciência em pesquisas educacionais e reformas curriculares nacionais (Austrália, Canadá, África do Sul, Reino Unido e EUA). O autor discutiu projetos, tendências, problemáticas, desafios e confirmou a grande preocupação que diversas instâncias da educação em ciências têm dedicado ao ensino da natureza da ciência nas últimas décadas.

- Dentre as tendências, ele destaca alguns pontos:
- Entender a ciência se desenvolvendo em um contexto cultural, de relações humanas, dilemas profissionais e necessidades econômicas. Uma ciência parcial e falível, contestável, uma construção cultural.
- Possibilitar certo conhecimento metodológico como um antídoto à interpretação empírico-indutivista da ciência, permitindo refletir sobre as relações e diferenças entre observação e hipóteses, leis e explicações e, principalmente, resultados experimentais e explicação teórica.
- Ampliar o controle democrático da atividade científica, pois, em princípio, exercer a cidadania é decidir sobre o tipo de ciência a ser buscada. Preparar o aluno para compreender os termos que envolvem o debate científico e a ciência como parte de sua cultura envolvendo julgamentos de valor.

No Brasil a história da ciência é recomendada pelos *Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio – PCNEM* (BRASIL, 2002a), que permeiam o ensino da biologia, física, química e matemática, destacando a idéia da construção social da ciência, por exemplo:

A história da Química, como parte do conhecimento socialmente produzido, deve permear todo o ensino de Química, possibilitando ao aluno a compreensão do processo de elaboração desse conhecimento, com seus avanços, erros e conflitos. (BRASIL, 2002a, p. 240).

As *Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais* (BRASIL, 2002b) destacam a importância da contextualização histórica para o desenvolvimento das habilidades e competências nas aulas de física, química e biologia (BRASIL, 2002b, p. 14-32, 62, 67), além de enfatizar a abordagem histórica dos conhecimentos matemáticos (BRASIL, 2002b, p. 111, 117-118). De modo geral, a história

da ciência aparece nos temas estruturadores do trabalho pedagógico para o desenvolvimento das competências possibilitando ao aluno:

Compreender o conhecimento científico e o tecnológico como resultados de uma construção humana, inseridos em um processo histórico e social. (BRASIL, 2002b, p. 32).

A utilização da história da ciência surge, assim, da organização das atividades escolares, por exemplo, nos modelos de constituição da matéria em química (BRASIL, 2002b, p. 93-94, 96), na origem da vida em biologia (BRASIL, 2002b, p. 50-51) ou na origem do Universo em física (BRASIL, 2002b, p. 71, 78-79). Além disso, permite compreender a ciência como cultura, destacando as inúmeras interações entre conhecimento científico e vida social (BRASIL, 2002b, p. 85).

Além dos documentos governamentais de reforma educacional de vários países, há ampla bibliografia de pesquisas educacionais defendendo a pertinência e a importância de levar aos alunos conhecimentos sobre a natureza da ciência (BATISTA, 2007).

Lederman (2007, p. 872) considera que um argumento sempre válido (em diferentes períodos e contextos) para ensinarmos a natureza da ciência é permitir ao aluno conceber a ciência como um campo de estudo. Tal compreensão fornece um contexto significativo para a construção do conhecimento científico. Para ele o ensino da natureza da ciência é defensável na medida em que sua contribuição educacional não é ser apenas algo concreto de valor instrumental, mas algo inerente à própria ciência. Entendemos que para o complexo processo de construção da ciência concorrem diversos fatores de um intrincado ambiente cultural, e não apenas aqueles normalmente considerados científicos. Compreender o desenvolvimento da ciência em seu contexto permite entendê-la como um campo de estudos humanizado. A utilização de análises histórico-epistemológicas tratando de alguns aspectos da natureza da ciência na educação científica facilita essa compreensão.

Conforme Martins (2001) destaca, uma abordagem adequada e crítica da história da ciência requer um objeto de estudo delimitado, bem como os objetivos para os quais se destina. Desse modo, esta pesquisa selecionou como objetivo específico a utilização da história da ciência em ambiente escolar com a finalidade de discutir a natureza da ciência. Assim, dentre as possibilidades apontadas pela literatura educacional, e já mencionadas anteriormente, a opção dessa interface volta-se para: *a história da ciência é um recurso*

que permite discutir criticamente a concepção de verdade absoluta na ciência, estabelecida pelo método empírico. Entretanto, há que se explicitar que tipo de abordagem será dada para a natureza da ciência e qual sua relação com a história.

1.2. A natureza da ciência na educação científica

Entender a ciência como um saber historicamente construído implica certa concepção sobre o modo como ocorre a elaboração desse saber, ou seja, uma visão específica de aspectos epistemológicos do fazer científico. A opção desta pesquisa por discuti-los volta-se aos aspectos que permitem criticar a existência de um método empírico universal, ou, ainda, uma visão empírico-indutivista da ciência (PIETROCOLA, 2003). Entretanto, existe mais de um tipo de abordagem possível sobre a natureza da ciência, e cada um deles considera distintos aspectos do fazer científico (MARTINS, 1999). Faz-se necessário, portanto, esclarecer, dentre as diversas possibilidades, que enfoque será dado para a natureza da ciência e, além disso, quais aspectos serão privilegiados. Desse modo, serão apresentados a seguir: (i) abordagens possíveis acerca da natureza da ciência; (ii) a opção adotada neste trabalho; (iii) que visão de natureza da ciência os educadores defendem como pertinentes ao ensino; e (iv) os aspectos da natureza da ciência que foram selecionados para esta pesquisa.

1.2.1. Abordagens possíveis acerca da natureza da ciência

Segundo Martins (1999) a natureza da ciência pode ser enfocada sob diferentes perspectivas, tanto filosóficas como históricas ou sociológicas. Essa distinção pode ser estabelecida pensando nas questões que podem ser propostas e no tipo de respostas que elas receberão, ou seja, respostas com uma abordagem empírica, normativa (axiológica) ou analítica. As abordagens normativas e analíticas pertencem ao âmbito da filosofia, enquanto a abordagem empírica é tratada pela história e sociologia da ciência.

Uma resposta a uma questão de tipo empírico será fundamentada pela documentação histórica e buscará analisar o que tem sido historicamente a ciência. Martins (1999) considera que as práticas científicas mudam ao longo do tempo e diferem nas diversas disciplinas científicas. Portanto, essa abordagem é tratada por disciplinas metacientíficas, como a história da ciência ou a sociologia da ciência, que investigam, estudam e analisam os fatos, as descrições do que tem sido considerado ciência ao longo

dos tempos. Esse tipo de análise histórica trata de certas características da natureza da ciência enquanto fato histórico e social, e não sob o ponto de vista filosófico.

Um enfoque bastante diferente é o tratado na perspectiva da filosofia. Uma resposta de tipo normativa remete à avaliação dos procedimentos ou resultados da pesquisa científica. Tal enfoque, também conhecido como axiológico, pressupõe o julgamento de valores e busca avaliar o que é correto e o que é errado na prática científica. Essa resposta pode focar aspectos internos ou externos à prática científica, mas não deve basear-se em fatos históricos. Por exemplo, utilizando um critério de valor social externo à ciência, buscaríamos responder a “como deveria ser a ciência para beneficiar a humanidade?”, enquanto uma questão metodológica interna à ciência perguntaria: “como a ciência deveria ser para permitir um melhor conhecimento da natureza”? (MARTINS, 1999, p. 7).

Ainda no campo da filosofia, temos a terceira resposta possível de *tipo analítico*, no sentido do que pode ou do que não pode ser a ciência. Tal abordagem ainda pressupõe uma subdivisão, que apresenta três questões: “Quais concepções de ciência já existiram? Quais concepções de ciência que se pode inventar? O que é filosoficamente possível na ciência, sob o ponto de vista da capacidade do conhecimento humano?” (MARTINS, 1999).

Embora tais análises, de tipo normativo/axiológico e analítico, ofereçam importantes contribuições, no sentido de orientar e avaliar pesquisas, aumentando o valor científico de cada estudo, elas não se configuram como abordagens adequadas aos propósitos educacionais desta pesquisa. Pretende-se tratar aqui os aspectos da natureza da ciência que permitem refletir sobre *o que tem sido a prática científica* e que favorecem discutir a dimensão cultural e temporal da ciência no ambiente escolar. Portanto, das abordagens sobre a natureza da ciência apresentadas por Martins (1999), aquela que atende aos propósitos educacionais do trabalho é a que faz a discussão de tipo empírico, baseada em análises históricas de episódios científicos.

Uma narrativa histórica diacrônica adequada permite problematizar a visão da ciência como uma construção puramente racional, desenvolvida por um suposto “método científico universal” a partir de observações, experimentos, deduções e induções logicamente fundados. Entendemos essa contribuição como bastante relevante, pois, em geral, no ensino de ciências tem prevalecido o domínio da concepção lógico-positivista da ciência, segundo a qual o conhecimento seria estabelecido pelo “supostamente infalível método empírico” (PIETROCOLA, 2003, p. 133).

Nas análises de ensino/aprendizagem, segundo Pietrocola (2003), é imprescindível refletir sobre o conhecimento que se espera levar aos alunos. Uma imagem distorcida e estereotipada do conhecimento científico permeia as ações no ensino, perpetuando assim uma visão também deturpada sobre a natureza da ciência. A ciência escolar tem, em geral, apresentado os conceitos científicos como partes inerentes à realidade, desconsiderando os complexos processos históricos envolvidos na tarefa do cientista em buscar interpretar e descrever o mundo natural (PIETROCOLA, 2003, p. 134-135).

Nossa pesquisa volta-se, portanto, para aspectos histórico-epistemológicos da ciência, respaldados pela abordagem empírica da natureza da ciência, ou seja, valendo-se da documentação histórica. Entretanto, viabilizar tal interface buscando conciliar aspectos de diferentes campos do saber implica enfrentar inúmeros desafios.

1.2.2. Riscos inerentes à distorção histórico-epistemológica

A utilização da história da ciência como conteúdo escolar, embora considerada potencialmente formativa para a educação científica básica, não está livre de críticas quanto aos riscos de distorção quando aplicada em sala de aula. Inúmeros educadores, filósofos e historiadores da ciência apontam problemas e riscos dessa interface (ALLCHIN, 2006, 2004; HOLTON, 2003; MARTINS, A., 2007; MARTINS, R., 2001, 1990; MATTHEWS, 1995; MEDEIROS e BEZERRA, 2000; PEDUZZI, 2001; PIETROCOLA, 2003; VANUCCHI, 1996).

Thomas Kuhn (1997) adverte sobre o tipo de história da ciência normalmente presente nos manuais científicos e outros tipos de literatura deles derivada, que são utilizados no ensino de ciências e objetivam perpetuar a ciência normal.³

[Tais veículos] referem-se a um corpo já articulado de problemas, dados e teorias e muito freqüentemente ao conjunto particular de paradigmas aceitos pela comunidade científica na época em que esses textos foram escritos. [...] Para preencher sua função não é necessário que proporcionem informações autênticas a respeito do modo pelo qual essas bases foram inicialmente reconhecidas e posteriormente adotadas pela profissão. Pelo menos no caso dos manuais, existem até mesmo boas

³ Kuhn (1997, p. 173-181). Este capítulo do livro de Kuhn traz a argumentação das razões que contribuem para a visão linear e acumulativa da história da ciência e alguns problemas dela decorrentes.

razões para que sejam sistematicamente enganadores nesses assuntos. (KUHN, 1997, p. 174).

Para Kuhn, a ciência amadurecida retratada nos manuais não contempla a relação da pesquisa científica com seu contexto histórico e omite o processo complexo dos episódios mais significativos do desenvolvimento científico.

Os manuais começam truncando a compreensão do cientista a respeito da história de sua própria disciplina e, em seguida, fornecem um substituto para aquilo que eliminaram. [...] Através dessas referências, tanto estudantes como profissionais sentem-se participando de uma longa tradição histórica. Contudo, a tradição derivada dos manuais, da qual os cientistas sentem-se participantes, jamais existiu. (KUHN, 1997, p. 175).

Os fatos selecionados e distorcidos do passado sugerem que aqueles cientistas estavam trabalhando no mesmo conjunto de problemas mediante o mesmo conjunto de cânones estáveis. Essa articulação reforça a visão de uma ciência cumulativa. Ao tornarem o desenvolvimento da ciência linear, esses relatos escondem o processo “que está na raiz dos episódios mais significativos do desenvolvimento científico” (KUHN, 1997, p. 178).

Os manuais, por visarem familiarizar rapidamente o estudante com o que a comunidade científica contemporânea julga conhecer, examinam as várias experiências, conceitos, leis e teorias da ciência normal em vigor tão isolada e sucessivamente quanto possível. Enquanto pedagogia, essa técnica de apresentação está acima de qualquer crítica. [...] Mas não é assim que a ciência se desenvolve. (KUHN, 1997, p. 178).

Embora Kuhn reconheça o valor pedagógico da reconstrução histórica de episódios da pesquisa científica, ele enfatiza que “o erro histórico faz com que especialistas e leigos se iludam a respeito da natureza do empreendimento científico” (KUHN, 1997, p. 180). A consequência imediata desse tipo de distorção histórica no ensino de ciências é a imagem da ciência fomentada na visão dos estudantes.

O que não é trivial é a imagem de ciência fomentada quando esse tipo de erro é articulado e então integrado na estrutura técnica do texto. (KUHN, 1997, p. 180).

As ponderações de Kuhn apontam para a complexidade da dicotomia entre a ciência “normal” ensinada pela reconstrução histórica e as distorções ocasionadas acerca da natureza da ciência (BIZZO, 1991, p. 149-151; MATTHEWS, 1989, p. 7; PEDUZZI, 2001, p. 152-157).

Parece-nos possível apreender, a partir das considerações de Kuhn, que ele não se opõe à utilização da história da ciência no ensino, mas condena a visão distorcida acerca da natureza da ciência que uma reconstrução malfeita do processo histórico fatalmente traz.

Existe, no entanto, um conjunto de pensadores que defende o uso das reconstruções racionais da história da ciência no ensino, argumentando que ela tanto favorece a compreensão de conceitos, como perpetua a visão robusta da ciência. Segundo Allechin (2004, p. 183), tais autores defendem que retratar os erros e as interpretações alternativas poderia ameaçar a legitimidade do resultado final e conseqüentemente a autoridade última da ciência.

Em oposição a uma reconstrução racional, Whitaker (1979) critica as distorções presentes nos materiais didáticos, denominando-as *quasi-history*, em que seções históricas incluem erros sobre fatos científicos. Algumas vezes, os episódios históricos são reconstruídos em um encadeamento lógico de como teriam sido elaborados ou descobertos alguns conceitos científicos. Tais reconstruções acabam fornecendo simples moldura histórica, em que realizações científicas ganham sentido e são facilmente lembradas. A construção desse tipo de narrativa da história da ciência poderia ser decorrente do uso da história com o objetivo de ensinar conceitos das ciências e traz implícita a ideologia científica dos autores de livros didáticos e sua visão sobre a natureza da ciência. Essa posição é endossada por Allchin (2004, 2006) e Martins (2001), que apontam como um problema, decorrente desse tipo de reconstrução histórica, o fato de se transmitir a falsa impressão de que as idéias emergem do mesmo modo logicamente encadeado no contexto científico.

A preocupação apontada pela literatura que critica as distorções da história presentes nos materiais didáticos vai muito além de simplesmente obedecer a um preciosismo histórico em si. É bem verdade que as narrativas históricas adequadas ao ensino não se configuram em pesquisas voltadas à comunidade de historiadores da ciência. Entretanto, considerar as necessárias adaptações ao ambiente escolar não significa aceitar a construção de narrativas distorcidas dos fatos. *A distorção da história não é inócua como*

pode parecer, pois sua conseqüência imediata permeia a concepção de ciência presente na formação dos alunos e professores de ciência. Apresentamos a seguir alguns tipos de narrativas consideradas atualmente problemáticas e as visões que permeiam cada uma delas.

1.2.3. Historiografia e ensino de ciências

1.2.3.1. Diferentes perspectivas e transformações historiográficas

A historiografia pode ser considerada uma arte: a arte de utilizar com destreza os instrumentos metodológicos apropriados para escrever sobre a história (da ciência).

Pode-se chamar de “historiografia” a produção dos historiadores, para diferenciá-la da “história” – entendida como um conjunto de situações e acontecimentos pertencentes a uma época e a uma região –, que é o objeto de estudo dos historiadores. Temos assim dois níveis distintos. Pode-se considerar que a história existe independentemente da existência dos historiadores (a menos que se adote uma postura filosófica idealista). (MARTINS, 2004, p. 115)

A reflexão sobre a atividade dos historiadores também é usualmente denominada de historiografia, mas, por tratar-se de um terceiro nível, pode ser chamada de “meta-historiografia” (MARTINS, 2004, p. 116). Interessa-nos tratar aqui de certas características de diferentes narrativas da história da ciência, e como isso pode interessar ao ensino de ciências. Discutiremos alguns aspectos do que descrevemos acima como historiografia no segundo e terceiro níveis, mas, para os objetivos aqui pretendidos, não é necessário diferenciar cada detalhe da historiografia e da meta-historiografia que analisaremos. Assim, adotaremos a classificação “historiografia” tanto para as narrativas da história da ciência produzida pelos historiadores, como para as reflexões que faremos a respeito dessa produção.⁴

Como todo campo de conhecimento humano, a historiografia da história da ciência desenvolve-se em contextos culturais, sofrendo influência de aspectos diversos que

⁴ De fato, tal discussão é complexa e foge ao escopo de nossa discussão e pode ser encontrada em Martins (2004).

permeiam o mundo do especialista. Sendo uma construção humana, portanto dinâmica e complexa, ela muda com o tempo e com as transformações culturais.

O modo de escrever sobre a história da ciência passou por grandes transformações ao longo do século XX. Decorrente de um “processo gradual de amadurecimento, de sofisticação, de críticas e contracríticas, a história da ciência deixou de ser uma atividade amadora (no mau sentido) e se tornou um trabalho especializado” (MARTINS, 2001, p. 114). Fundamentais para esse processo foram as reflexões e questionamentos que se intensificaram nas áreas da filosofia e sociologia da ciência, no campo da história e da própria ciência, modificando a maneira de entender a construção do conhecimento científico, e estruturando as diferentes perspectivas historiográficas que surgiam no século XX (CANGUILHEM, 1977; DEBUS, 1991; KRAGH, 1987; KOYRÉ, 1982; MARTINS, 2004; ROSSI, 2000).

Nas décadas de 1930 e 1940, intensificaram-se as mudanças na compreensão sobre a ciência feita no Renascimento e nos séculos seguintes, inclusive sobre a influência que o humanismo renascentista teve na medicina e nas demais ciências, incluindo considerar uma concepção mística da natureza. A descoberta de inúmeros manuscritos, que ligavam o estudo da natureza ao neoplatonismo presente no pensamento de diversos filósofos, provocou um novo olhar sobre o nascimento da ciência moderna (DEBUS, 1996; MCGUIRE e RATTANSI, 1966; ROSSI, 2000).

Grande quantidade de manuscritos newtonianos foi encontrada na década de 1930 versando sobre alquimia, hermetismo, teologia e doutrinas místicas. Tais abordagens não apenas exigiram, mas também possibilitaram uma releitura do legado de Isaac Newton (1642-1727). Diferentes interpretações que surgiram sobre suas realizações passaram a considerar a influência de elementos culturais de sua época em suas investigações em filosofia natural (DEBUS, 1996; FORATO, 2006). Esse novo olhar sobre a doutrina newtoniana foi outro fator que contribuiu para as transformações na historiografia da história da ciência (KOYRÉ, 1982).

Além dos trabalhos que discutiam influências místicas renascentistas na filosofia natural, surgiram abordagens como a de Boris Hessen (1985, 1992), apresentada durante o *Segundo Congresso Internacional de História da Ciência* (Londres, 1931), que trazia uma interpretação marxista para o “fazer científico”, ou seja, a ciência sendo produzida e

conduzida por fatores sociais.⁵ Hessen propôs uma leitura em que a ciência de Newton teria sido influenciada por elementos socioeconômicos de sua época. A influência de Hessen, e de outros historiadores marxistas, contribuiu para abordagens sociológicas da construção da ciência presentes nas transformações historiográficas (BOSS, 1972; RATTANSI, 1988).

Esse complexo processo reforçava a necessidade de um estudo contextualizado da documentação histórica e considerava rupturas na “evolução” da ciência, a influência de fatores sociais, a interferência de valores pessoais dos homens da ciência, e a contribuição dada por antigas tradições – por exemplo, pela alquimia e por certas filosofias místicas –, além de debates entre filósofos da ciência que foram modificando o modo de construir as narrativas históricas (DEBUS, 1996; DOBBS, 1991; FIELD e JAMES, 1993; FLAUVEL *et al.*, 1988; ROSSI, 1992, 2000). Importantes reflexões sobre a influência de outras culturas no pensamento ocidental – por exemplo, da cultura chinesa, indiana, babilônica e árabe – deram significativas contribuições ao processo, questionando o surgimento da filosofia ocidental unicamente como uma contribuição grega e a construção da ciência como exclusivamente eurocêntrica (LLOYD, 1992; NEEDHAM, 1978; ROCHBERG *et al.*, 1992). A diferente perspectiva que se estruturava enfatizava a necessidade de os documentos serem analisados à luz de sua própria cultura e, na medida do possível, valendo-se de campos correlatos, como a sociologia, a antropologia, a psicologia e a filosofia da ciência (DEBUS, 1991).

1.2.3.2. Narrativas históricas no ambiente escolar

Essas transformações na historiografia da história da ciência deram-se ao longo de quase um século. Entretanto, ainda hoje é muito comum encontrarmos narrativas da história da ciência condizentes com a metodologia historiográfica do início do século XX. Não apenas em materiais de divulgação científica, mas na maioria dos livros didáticos, encontramos abordagens superadas sobre a história da ciência. Segundo as pesquisas em ensino de ciências, o problema decorrente dessas versões distorcidas é o impacto que isso fatalmente tem na formação dos alunos. Ainda que não intencionalmente, uma falsa história transmite uma falsa visão sobre a natureza da ciência (ALLCHIN, 2004; 2006;

⁵ Existe uma versão em português desse texto: HESSEN, Boris. “As raízes socioeconômicas dos *Principia* de Newton”. In: GAMA, Ruy. *Ciência e técnica: antologia de textos históricos*. São Paulo: T. A. Queiroz, 1992.

HOLTON, 2003; MARTINS, A., 2007; MARTINS, R., 1990; 2001; 2006; MATTHEWS, 1995; MEDEIROS e BEZERRA, 2000; PAGLIARINI, 2007; PIETROCOLA, 2003; SILVA, 2006; WHITAKER, 1979).

Mas como o educador pode lidar com tal desafio? Não se pode esperar que o educador, ou o pesquisador, ou ainda o professor, se transformem em historiadores e filósofos da ciência. Diversas pesquisas educacionais, inclusive, enfatizam que a ampla maioria dos professores não está preparada para lidar com as versões problemáticas da história da ciência (ABD-EL-KHALICK; GIL PEREZ *et al.*, 2001; HOLTON, 2003; LEDERMAN, 2000; MARTINS, A., 2007; MCCOMAS *et al.*, 1998; SILVA, 2006).

Entretanto, acreditamos que é possível e desejável desenvolver ações que possam apoiá-los em suas pesquisas e em sua prática docente. Holton (2003) e Allchin (2004) enfatizam e recomendam tais iniciativas, não com vistas a formar especialistas nas diversas áreas, mas em fornecer subsídios que possam contribuir para a identificação de distintas narrativas da história da ciência, buscando preparar o não-especialista para interagir de modo crítico com elas.

Gerald Holton (2003) comenta a disparidade entre os trabalhos atuais produzidos pelo historiador da ciência e os relatos presentes na educação científica e enfatiza a necessidade de produzir livros, publicações suplementares, filmes e *sites* com o objetivo de unir as duas culturas. Allchin (2004) defende que o educador deveria entender as distorções mais comuns, pelo menos por meio de alguns exemplos, para poder reconhecer os sinais de alerta em um texto histórico problemático, que ele denominou *Pseudohistory* (pseudo-história).

Tomando-se como referência a historiografia atual, alguns aspectos metodológicos consensuais na construção das narrativas da história da ciência, vamos apresentar alguns problemas apontados pelos especialistas que podem auxiliar na identificação dessas abordagens ultrapassadas da história da ciência. É claro que em um período de poucas décadas ocorrem mudanças nas abordagens historiográficas, porém há certos aspectos metodológicos que têm sobrevivido a modismos e radicalismos e desrespeitá-los gera os erros historiográficos mais comuns (MARTINS, 2004).

1.2.3.3. Reconhecendo as distorções históricas

Há muitos adjetivos para as narrativas que distorcem a história. Do nosso ponto de vista, é possível perceber que há diferenças sutis entre várias dessas denominações, mas, na ampla maioria das vezes, alguns termos costumam ser utilizados como sinônimos. Em geral, uma interpretação de um episódio histórico que apresenta uma abordagem problemática traz vários enfoques que são considerados pela nova historiografia distorções na interpretação dos documentos.

O anacronismo é erro mais comum. O princípio essencial para historiadores é o respeito pelo contexto histórico. Desrespeitá-lo é interpretar o passado anacronicamente, ou seja, nos termos de normas ou de padrões atuais (ALLCHIN, 2004). Pontos de vista anacrônicos de qualquer fato ou de episódios da história da ciência interpretam e julgam os acontecimentos históricos de um período com valores, idéias e crenças de outra época, ou seja, avaliam o passado de modo preconceituoso, selecionando e enaltecendo conceitos e teorias “similares” aos aceitos no presente. Olhar para o passado com os olhos do presente pode vir tanto de ações ingênuas decorrentes de desconhecimento historiográfico ou de ações que buscam atingir determinados propósitos. Parece-nos mais provável que a grande maioria das versões distorcidas da história da ciência deve-se ao não conhecimento de versões consideradas adequadas pelos especialistas.

Um tipo especial de anacronismo é o whigguismo, que narra os acontecimentos com o propósito de afirmar a autoridade de grandes pensadores. Tal denominação foi inspirada na prática de um partido político na Grã-Bretanha, que moldava a história com a finalidade de substanciar o próprio poder. A história funcionava como um recurso político para legitimar a autoridade. Apagava-se a contingência histórica e a ação das personagens do passado era reconstruída de modo a atingir os propósitos de determinados grupos (ALLCHIN, 2004). O termo *whig* já era usado por historiadores no início do século XX para caracterizar essa heroificação das instituições inglesas. Na história da ciência ele designa um tipo de história anacrônica que glorifica a genialidade de algumas personagens, em geral, batizadas de pais de inventos e campos de estudo. Tal reconstrução desconsidera a complexidade do fazer científico, como a contribuição dos debates, de erros, de teorias superadas e mesmo de fatores extracientíficos no desenvolvimento da ciência (JARDINE, 2003). A incerteza histórica é suprimida e a narrativa construída anacronicamente apresenta uma teoria tida como predecessora de idéias atuais de modo a glorificar seu

autor. As versões da história da ciência que buscam atribuir a paternidade a alguns campos de estudo, ou a descobertas, ou a invenções são conhecidas também como história *pedigree* (ALFONSO-GOLDFARB, 1994).

Allchin (2004) classifica como hagiografia um tipo específico de whiggismo que romantiza certos pensadores da ciência do passado como “heróis”, sobrevalorizando aspectos específicos de suas contribuições. A construção do romance que os transforma em heróis santificados enfatiza os aspectos favoráveis da vida deles e suas descobertas e, muitas vezes, descreve seus adversários como vilões. Em sentido amplo, a hagiografia é geralmente definida como a biografia dos santos e mártires, ou de qualquer pessoa idealizada, de modo parcial a favor do biografado. Allchin utiliza esse termo para enfatizar as versões da história da ciência que não apenas “santificam” um pensador “genial”, como omite seus erros, desconsidera as contribuições anteriores ou de seus pares e apresenta suas conjecturas como um modelo idealizado de pensamento científico. Naturalmente, o problema não está em admirar pessoas brilhantes, mas fomentar a visão de que a construção da ciência ocorre segundo tais romances.

Outro exemplo de anacronismo é a reconstrução racional de episódios da história da ciência. Embora defendida por alguns pensadores como útil para ensinar conceitos científicos e “necessária” para evitar conflitos com o paradigma vigente, constitui outra distorção da história (ALLCHIN, 2004; WHITAKER, 1979). Em geral, seu autor seleciona em períodos anteriores apenas os fatores que contribuem para uma reconstrução racional das etapas da criação de teorias e conceitos científicos aceitos pela ciência contemporânea. As idéias e os acontecimentos do passado são organizados como se a elaboração de conceitos e teorias seguisse etapas encadeadas logicamente, cujo resultado final seria fatalmente encontrado. Geralmente, esse tipo de anacronismo faz parecer que existe uma receita infalível para produzir a ciência: basta que um infalível gênio excepcional siga consistentemente as etapas de um infalível e único método científico universal.

Em geral, esses problemas são muito comuns em narrativas históricas que tentam descrever um período muito longo ou, ainda, generalizar o ponto de vista de pensadores radicais atribuindo concepções individuais a um período, ou escola de pensamento (MARTINS, 2001). Esses relatos destacam, em geral, fatos encadeados linearmente, desconsiderando rupturas, debates, controvérsias, idéias alternativas e qualquer elemento do contexto cultural que não reforce as idéias que se pretende enfatizar. Tais abordagens

ignoram a influência de fatores considerados como não científicos pela ciência atual, ainda que certos elementos tenham sido fundamentais em outros períodos. O problema com as narrativas linearizadas é que levam o aluno a crer numa ciência que evolui infalivelmente, guiada por um método universal e descolada de qualquer influência social ou humana.

Essas não são, certamente, versões da história da ciência apropriadas para ensinar sobre a natureza da ciência (ALLCHIN, 2004). As distorções na concepção da construção da ciência podem ser decorrentes de inúmeros fatores presentes em tais versões anacrônicas da história da ciência, em geral repletas de juízos de valor. Whitaker (1979) discutiu vários exemplos e denominou tais narrativas de *quasi-history*. Allchin (2004) exemplifica também diversos desses problemas e classifica essas interpretações distorcidas de pseudo-história. Ele considera que é importante o pesquisador/educador poder reconhecer a pseudo-história e estar alerta para os seus principais indícios:

- relatos romantizados;
- personagens perfeitas;
- descobertas monumentais e individuais;
- *insight* tipo eureka;
- apenas experimentos cruciais;
- senso do inevitável, trajetória óbvia;
- retórica da verdade *versus* ignorância;
- ausência de qualquer erro;
- interpretação aproblemática de evidências;
- simplificação generalizada das evidências;
- conclusões sem influências ideológicas.

Em geral, tais descrições não fazem uma abordagem contextualizada e deixam de mencionar aspectos relevantes, como:

- ambiente cultural ou social;
- contingências humanas;
- idéias antecedentes;
- idéias alternativas;
- aceitação acrítica de novos conceitos.

Segundo Allchin (2004), esses sinais não são indicativos absolutos, mas alertas para o leitor confrontar interpretações históricas com fontes confiáveis.

Os diferentes tipos de anacronismo, ou a presença de uma interpretação distorcida dos documentos históricos, trazem prejuízos à visão de ciência que tem sido recomendada para a educação científica. Um dos prejuízos dessa concepção é o desestímulo ao pensamento crítico. Aceita-se uma idéia como valorosa, por exemplo, simplesmente por ter sido proposta por uma autoridade genial ou infalível. O propósito de compreender a dimensão humana da ciência como uma construção cultural, apontado pelas inúmeras pesquisas educacionais já discutidas, naturalmente fica comprometido.

1.2.4. Delimitando a concepção de natureza da ciência

As visões sobre a natureza da ciência que têm prevalecido na educação científica são concepções distorcidas que transmitem uma imagem empírico-indutivista da ciência, entretanto consolidada e aceita socialmente, que a própria educação científica reforça e ajuda a propagar (PIETROCOLA, 2003).

Gil Perez e colaboradores (2001) realizaram uma análise das opiniões dos professores sobre o trabalho científico, eles as relacionaram e caracterizaram sete visões deformadas da natureza da ciência. Tais visões decorrentes de uma educação científica de mera transmissão de conhecimentos são abundantemente referidas na literatura educacional. A seguir apresentamos breve descrição dessas concepções que Gil Perez e colaboradores (2001) consideram uma imagem ingênua da construção do conhecimento científico, consolidada socialmente, que a própria educação científica propaga ativa ou passivamente:

- concepção empírico-indutivista e atórica: atribui um papel “neutro” para a observação e a experimentação, não influenciadas por idéias apriorísticas. Desconsidera o papel essencial das hipóteses como orientadoras da investigação, e dos referentes teóricos;
- visão rígida, algorítmica, exata e infalível: defende a existência de um “método científico” como um conjunto de etapas a seguir mecanicamente, mediante um tratamento quantitativo e controle rigoroso, ignorando a criatividade, o caráter tentativo, e a incerteza;

- visões aproblemática e a-histórica (dogmática, fechada): transmite os conhecimentos já elaborados, sem mostrar os problemas que lhes deram origem, qual foi a sua evolução, as dificuldades encontradas, e omitem as limitações do conhecimento científico atual;
- visão exclusivamente analítica: visão compartimentada da ciência que desconsidera as relações entre diferentes campos do conhecimento;
- visão acumulativa de crescimento linear: a construção do conhecimento científico seria fruto de um crescimento linear, puramente acumulativo, em que não ocorrem crises nem revoluções;
- concepção individualista e elitista: os conhecimentos científicos aparecem como obras de gênios isolados, ignorando-se o papel do trabalho coletivo e cooperativo, e dos intercâmbios entre equipes (visão *whig*);
- visão socialmente neutra da ciência: desconsidera as complexas relações entre ciência, tecnologia e sociedade e proporciona uma imagem deformada dos cientistas como seres “acima do bem e do mal”, fechados em torres de marfim e alheios à necessidade de fazer opções.

Esses itens relacionados por Gil Perez e colaboradores (2001) mostram que a concepção da ciência predominante entre professores de ciência retratam a mesma visão historiográfica anacrônica e problemática transmitida pelas narrativas pseudo-históricas da ciência. Percebe-se, inclusive, que os indícios de uma pseudo-história propostos por Allchin (2004) também se aplicam à imagem sobre a ciência que a pesquisa de Gil Perez e colaboradores (2001) indicou.

É interessante notar que isso poderia nos ajudar a entender, de certo modo, por que é tão difícil para os professores detectar as visões distorcidas da história da ciência. Não é apenas pelo fato de que eles não são historiadores ou filósofos da ciência. Antes disso, as versões históricas introduzidas pelos diferentes materiais e fontes no ambiente escolar reforçam a imagem da ciência que têm prevalecido no ensino, tornando-as faces de uma mesma moeda.

Os estudos de Allchin (2004), Whitaker (1979), Gil Perez e colaboradores (2001) e Pietrocola (2003) mostram que tanto a visão de ciência como a concepção da história da ciência que predominam no ensino retratam os pressupostos teóricos do quadro historiográfico do início do século XX. Essa questão reforça a necessidade de ensinar sobre

a natureza da ciência. Entretanto, deve-se ter em mente que uma proposta desse tipo não se limita a inserir um novo conteúdo. O uso da história da ciência no ensino pretende transmitir uma concepção sobre a natureza da ciência que se oponha ao estereótipo presente no contexto educacional.

É necessário estabelecer o que se deve entender como uma visão adequada da natureza da ciência, pois não existe uma concepção única para ela entre os filósofos da ciência. Entretanto, há pontos de concordância entre as distintas visões, apontados por pesquisas educacionais (EL HANI, 2006; GIL PEREZ *et al.*, 2001; MCCOMAS *et al.*, 1998).

McComas *et al.* (1998), Gil Perez *et al.* (2001) e El Hani, (2006) reconhecem a existência de um consenso pragmático na literatura especializada com relação aos aspectos da natureza da ciência mais importantes para uma sociedade letrada cientificamente e, portanto, valiosos para constar nos currículos de ciências. Dentro dessa confluência, especialistas selecionam os aspectos epistemológicos que deveriam permear o ensino de ciências e serem debatidos em ambiente escolar (EL HANI, 2006; GIL PEREZ *et al.*, 2001; MCCOMAS *et al.*, 1998; PUMFREY, 1991). Os autores trazem uma síntese de uma visão adequada acerca da natureza da ciência que tem sido recomendada em parâmetros curriculares de diversos países. 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. Assim, discute-se na presente pesquisa como a história da ciência pode ser utilizada para fomentar uma concepção de ciência em acordo com esses pressupostos. Isso implica também criticar a concepção empírico-indutivista da ciência, que inclui a idéia de verdade absoluta estabelecida pelo método empírico. Dessa forma, busca-se promover uma visão sobre a construção do conhecimento científico como uma atividade humana.

Esta pesquisa enfoca os seguintes aspectos da natureza da ciência, buscando vê-los incorporados no ambiente escolar:

- a natureza não fornece dados suficientemente simples que permitam interpretações sem ambigüidades;
- uma observação significativa não é possível sem uma expectativa preexistente;
- a ciência é uma atividade humana influenciada pelo contexto sociocultural de cada época;

- teorias científicas não podem ser provadas e não são elaboradas unicamente a partir da experiência;
- o conhecimento científico baseia-se fortemente, mas não inteiramente, na observação, evidência experimental, argumentos racionais e ceticismo.

1.3. Pressupostos e desafios

A despeito de ser praticamente consenso na área de ensino de ciências a importância da utilização de conteúdos da história e filosofia da ciência para o ambiente escolar, ainda são muitos os desafios e poucas as propostas concretas (MARTINS, A., 2007). O produto do trabalho dos historiadores da ciência não é adequado para o ensino de ciência, requerendo adaptações. Segundo Gerald Holton (2003), a disparidade entre historiadores da ciência e os educadores em ciências conduz a dificuldades práticas e deve-se a diversos fatores: preparação profissional; diferentes preocupações e interesses; vários periódicos; diversas sociedades profissionais e os sistemas de premiação. A falta de material adequado também dificulta a interface, pois, em geral, os livros-textos não têm espaço para mais que anedotas históricas. Assim, Holton (2003) enfatiza a necessidade de investimentos em ações concretas para subsidiar o pesquisador/professor com objetivo de unir as duas culturas.

Quando nos voltamos à realidade brasileira, também encontramos educadores defendendo o uso da história da ciência e a necessidade de investimentos em ações concretas (MARTINS, A., 2007; SILVA, 2006). Uma das possibilidades propostas é voltada à produção de material didático, por exemplo:

- É importante produzir material que possa orientar o professor do ensino médio para o uso adequado do enfoque histórico no ensino da ciência como objeto de construção (CASTRO e CARVALHO, 1992, p. 117).
- A crítica geralmente feita ao uso da história da ciência no ensino, normalmente, baseia-se numa história anacrônica e *whig*, o que fortalece a necessidade de produzir material mediante critérios historiográficos diacrônicos (PIETROCOLA, 2003).

Quando partimos da teoria para a ação, de imediato surgem diversas questões: como adequar os conhecimentos de história e filosofia da ciência ao ambiente escolar?

Como saber identificar as informações relevantes sem distorcer os episódios? Como retratar com a melhor fidedignidade possível o debate entre teorias, a proposta de novas idéias, a realização de experimentos, para um público não especializado, não familiarizado com a metodologia da história da ciência? Quais aspectos de episódios históricos podem propiciar reflexões sobre a natureza da ciência? Quais tipos de distorção devem ser evitados? Como ser ao mesmo tempo adequado ao aluno e ao professor não-especialista e cuidar para não construir uma pseudo-história?

O desenvolvimento de nossa pesquisa tratou dessas questões buscando oferecer uma contribuição para a utilização da história e filosofia da ciência em ambiente escolar, tanto no âmbito da produção do conhecimento acadêmico, como oferecendo uma proposta de inserção para o ensino médio.

A problemática apresentada neste capítulo delineou o tema da presente pesquisa que adota como ponto de partida os seguintes pressupostos:

- pesquisas em ensino de ciências apontam a importância, a relevância e os propósitos pedagógicos objetivados na inclusão de conhecimentos sobre a natureza da ciência na educação científica;
- a história da ciência é reconhecida como um recurso pedagógico eficaz para realizar uma abordagem empírica da natureza da ciência, além disso, o seu estudo traz implícitos inúmeros benefícios educacionais;
- os materiais produzidos pelo historiador da ciência voltados à sua área especializada são inadequados ao ambiente escolar;
- as narrativas históricas predominantes da educação científica relatam pseudo-histórias cujo maior prejuízo é fornecer uma imagem equivocada da construção do conhecimento científico;
- pesquisas em educação científica indicam que a ampla maioria dos professores não está apta a lidar com os diversos tipos de distorções históricas;
- não é possível pretender que o professor se torne historiador ou filósofo da ciência, desse modo, especialistas recomendam a elaboração de materiais adequados ao professor e ao aluno e ações que possam auxiliar o professor a reconhecer e lidar com a pseudo-história.

Partindo de tais premissas, a presente pesquisa contemplou aspectos da didática das ciências e da historiografia da história das ciências tratando de aspectos epistemológicos. Ao buscar analisar e harmonizar as necessidades desses distintos campos do saber, o estudo desenvolveu-se em dois níveis distintos: no âmbito teórico e empírico. Essa parte empírica consistiu na elaboração, aplicação e análise de uma seqüência didática voltada para a escola básica.

Viabilizar a utilização da história e filosofia da ciência em ambiente escolar requereu lidar com desafios para harmonizar as diferentes necessidades e interesses desses campos do saber. Construir uma abordagem adequada do ponto de vista historiográfico deve levar em conta também as exigências da sala de aula. As reflexões sobre a didática da ciência que fundamentou a adequação dos conhecimentos históricos ao ambiente escolar serão apresentadas no capítulo a seguir.

2. Saberes escolares

“O rio atinge seus objetivos porque aprendeu a contornar obstáculos.”

Lao-Tsé

A produção dos saberes escolares para a educação científica envolve processos complexos. Sua organização em níveis de escolarização requer o enfrentamento de questões como seleção de conteúdos, processos de aprendizagem, materiais de ensino, avaliação etc. Tais questões são tratadas pela didática da ciência, que também se preocupa com toda a dimensão envolvida na adequação de conteúdos ao ambiente escolar (VALENTE, 2003). A seleção, escolha de abordagens e nível de aprofundamento e/ou abrangência a ser dado a cada tema específico pressupõe uma fundamentação no projeto pedagógico em que tais reflexões se inserem. No âmbito nacional, os órgãos governamentais propõem um currículo cujo delineamento do conteúdo traz implicitamente um posicionamento político. O mesmo acontece em instâncias regionais, nos níveis estadual, municipal e mesmo no contexto sociocultural mais específico do microambiente em que cada escola se insere.

O processo de adequação de um determinado saber aos condicionantes e possibilidades do sistema de ensino ao qual se destina se inicia já na sua seleção como conteúdo escolar, seja esse saber o conteúdo conceitual de cada disciplina científica, seja a história da construção desses conceitos, ou qualquer outro considerado pertinente ao ensino. Ingenuamente, poder-se-ia pensar em mera redução de dificuldades de saberes acadêmicos ou especializados. Entretanto, o trabalho envolvido na construção desse saber é muito mais complexo. Não se trata de apenas “traduzir” conteúdos ao vocabulário acessível a cada faixa etária, ou meramente produzir exercícios que interessem ao aluno e favoreçam os processos de avaliação. De fato, o processo é muito mais complexo, pois envolve a produção de conhecimentos de outra natureza.

Quando se considera o ensino de ciências, a preocupação é focada, de modo geral, tanto em aspectos conceituais específicos do campo original como na dimensão didático-pedagógica, no sentido de adequação ao ambiente escolar. A construção de um saber adequado ao ensino de ciências não se constitui em mera simplificação do trabalho de cientistas para não especialistas. Segundo Brockington e Pietrocola (2005), as motivações

e objetivos do ensino de ciências são muito diferentes daqueles presentes no fazer científico. Ocorre uma mudança do nicho epistemológico, da produção do conhecimento no âmbito da pesquisa científica para o ambiente escolar, o que implica uma inevitável transformação do conhecimento. Portanto, é necessário ocorrer a produção de um novo saber, com os riscos inerentes ao processo de criação. Existe um percurso epistemológico que começa na fonte do saber e termina na sala de aula.

A seleção e adequação dos conteúdos oriundos da história da ciência, objeto nesta pesquisa, requer critérios específicos na seleção dos saberes tendo em vista os propósitos pretendidos com o seu uso em ambiente escolar. A abordagem de conteúdos deve cuidar para evitar o risco da *pseudo-história* (ALLCHIN, 2004) e de outros problemas que fomentam uma visão distorcida da natureza da ciência apontados por especialistas como Kuhn (1997), Allchin (2006), Holton (2003), Pietrocola (2003), Martins (2001) e Whitaker (1979).

Quando se pretende discutir a natureza da ciência utilizando conteúdos históricos, há, ainda, que se considerar os complexos requisitos na abordagem dos aspectos epistemológicos, apresentados e selecionados no capítulo 1 (EL HANI, 2006; GIL PEREZ *et al.*, 2001; LEDERMAN, 2007, PUMFREY, 1991).

Portanto, a viabilização do uso da história da ciência na educação científica para discutir a natureza da ciência impõe considerar as especificidades de saberes e fazeres de distintos campos do conhecimento, buscando harmonizar as necessidades didático-pedagógicas e as histórico-epistemológicas. Desta forma, a problemática envolve compreender as condições da seleção dos saberes escolares, de sua produção e os pressupostos para sua transmissão (GABRIEL, 2001).

No universo das pesquisas no campo da didática das ciências, a Transposição Didática (CHEVALLARD, 1991) trata das transformações sofridas pelos saberes acadêmicos até chegarem ao ambiente escolar. 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. Nesse sentido, a transposição didática permite pensar a reelaboração dos saberes, atentando para os riscos de sua banalização e 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).

Desse modo, parece-nos que a Transposição Didática, enquanto abordagem teórica, fornece alguns subsídios para compreender as transformações no percurso epistemológico dos saberes especializados do ambiente de sua produção até sua adequação ao ensino de ciências. Esse conceito, nascido no campo da didática da matemática, tem sido utilizado em distintos campos disciplinares para se pensar a construção dos saberes escolares (GABRIEL, 2001; BROCKINGTON, 2005; RICARDO, 2005; SIQUEIRA, 2006; VALENTE, 2003).

Vamos apresentar a seguir uma síntese de alguns aspectos da Transposição Didática visando esclarecer em que medida ela nos ampara na elaboração de conteúdos da história da ciência para o ambiente escolar.

2.1. Os processos da construção do saber

A análise da transposição didática surgiu no início da década de 1980, dentro do campo da didática das disciplinas, mais especificamente no âmbito da didática da matemática. Esse conceito já estava presente na tese do sociólogo francês Michel Verret (1975),⁶ e foi desenvolvido por Chevallard (1991) no início da década de 1980. A transposição didática tornou-se conhecida inicialmente na área de ensino de matemática devido a um trabalho de Yves Chevallard e Marie-Alberte Johsua (1982, *Un exemple d'analyse de la transposition didactique – La notion de distance*). Voltado ao ambiente de escolas secundárias francesas, o trabalho analisava um exemplo, então recente e bem específico, do Movimento da Matemática Moderna: as diferenças entre o conceito matemático de “distância” no ambiente acadêmico, quando proposto pelo matemático francês Maurice Fréchet, em 1906, até a sua incorporação, em 1971, ao sistema de ensino fundamental francês (ALVES FILHO, 2000, p. 219). Em 1985, Chevallard publicou “*La Transposition Didactique*”, cujo conteúdo era basicamente composto pelas notas elaboradas em 1980 por ele para um curso de verão (CHEVALLARD, 1991, p. 11).

A idéia proposta por Chevallard demonstrou significativo poder de sedução; didatas da matemática e de outros campos disciplinares debruçaram-se sobre ela, tanto para louvá-la e dela se valer, como para criticá-la. Motivando exposições e seminários, que incluíam

⁶ Verret, M. *Le temps des études*. Paris: Honoré Champion, 1975.

debates sobre ambigüidades e ambivalências, a transposição didática ultrapassou os muros da matemática e se tornou referencial teórico para diversos campos educacionais (CHEVALLARD, 1991, p. 11; VALENTE, 2003, p. 67).

A idéia proposta por Chevallard demonstrou significativo poder de sedução; didatas da matemática e de outros campos disciplinares se debruçaram sobre ela, tanto para louvá-la e dela se valer, como para criticá-la. Motivando exposições e seminários, e debates sobre ambigüidades e ambivalências, a transposição didática ultrapassou os muros da matemática, tornando-se referencial teórico para diversos campos educacionais (CHEVALLARD, 1991, p. 11; VALENTE, 2003, p. 67).

A despeito do grande número de trabalhos que inspirou, não há, consenso sobre diversos aspectos dessa proposta, como por exemplo se ela pode realmente ser considerada uma teoria aplicável às diversas disciplinas escolares (CHEVALLARD, 1991, p. 11; RICARDO, 2005, p. 166; VALENTE, 2003, p. 63-66). Desse frutífero debate, ocorrido desde sua proposição, decorrem várias reflexões sobre a complexidade dos fatores participantes da elaboração dos saberes que permeiam o ensino. Em resposta às várias críticas e polêmicas recebidas, Chevallard adicionou um posfácio na segunda edição da transposição didática, em 1991.

Não se pretende aqui realizar um estudo amplo do tema. Serão tratados apenas os aspectos relacionados ao nosso problema de pesquisa: *a transposição de saberes de natureza epistemológica para o ensino de ciências utilizando a história da ciência como recurso pedagógico*. Para isso, deve-se ter em mente os diferentes contextos: a transposição didática foi proposta na década de 1980, a partir da análise de um exemplo específico do Movimento da Matemática Moderna, ambientado a certas escolas francesas “equivalentes” ao ensino fundamental brasileiro. Seria tal conceito aplicável, adequado e pertinente aos conteúdos histórico-filosóficos quase três décadas depois? Na literatura educacional há diferentes opiniões sobre isso. Diversos autores defendem a transposição didática estendida a outros campos disciplinares; há estudiosos que propõem uma apropriação com limitações para cada caso específico, bem como há muitos críticos que vêem nela mais restrições do que benefícios (BROCKINGTON, 2005; ANHORN, 2004; GABRIEL, 2001; LEITE, 2004; LIMA-TAVARES; EL-HANI, 2001; MARANDINO, 2004; RICARDO, 2005; SIQUEIRA, 2006; VALENTE, 2003).

Selecionamos certos aspectos da transposição didática que podem contribuir para entendermos alguns requisitos necessários à adaptação dos saberes da história e filosofia da ciência ao ambiente escolar. Passemos a eles.

2.1.1. A didática específica como ciência

A primeira edição da obra “*Transposição didática – do Saber Sábio ao Saber Ensinado*” (CHEVALLARD, 1991) foi publicada em 1985. Seu prefácio trazia o texto “*Por que a transposição didática?*” (1991, p. 11-44) escrito em 1982, e nele, encontramos elementos que nos permitem entender um pouco do contexto que permeou a elaboração da transposição didática.

O autor, que se inclui nas linhas de pesquisa de viés sociológico, desenvolve o conceito de transposição didática pressupondo que todo sistema de ensino tem seu funcionamento compatível com o ambiente social em que se insere (GABRIEL, 2001; VALENTE, 2003). Chevallard volta sua atenção ao sistema educacional, universo no qual o ensino da matemática está inserido, para ele “*o último refúgio dos sonhos, que suporta o peso das expectativas, dos fantasmas e das exigências de toda uma sociedade*” (1991, p. 13).

Chevallard (1991, p. 14-15) adota a “didática da matemática” como uma ciência, que possui um objeto real preexistente, independente de nossas intenções e dotado de necessidade e determinismo próprios. Segundo ele, é um objeto cognoscível no sentido em geral dado à atividade científica. Sendo um objeto *tecno-cultural*, inscrito, portanto, na história, possui um espírito próprio que dificulta a investigação-ação e requer esclarecimentos. Sob uma perspectiva sociológica (no sentido já proposto por Verret, 1975), ele define esse objeto real em relação direta com o *sistema didático*: um jogo estabelecido entre *um docente, os alunos e um saber matemático – a relação didática*. Incluindo esse terceiro elemento, o *saber* – segundo ele, negligenciado por muito tempo pelos estudos em ensino e aprendizagem –, emerge uma questão fundamental: *o que é que no sistema didático encontra-se sob o estandarte do Saber? Qual sua origem, filiação e legitimidade?* (CHEVALLARD, 1991, p. 15-16).

Surge assim, o que poderíamos chamar de “pedra fundamental” do conceito da transposição didática: a origem e a construção do saber, o objeto da investigação científica.

[...] O que é então aquele que, no sistema didático, se coloca sob o estandarte do Saber? O “saber ensinado” que concretamente encontra o observador [o didata que analisa o sistema didático], que relação estabelece com o que se proclama fora desse âmbito? E que relação estabelece com o “saber sábio”, o dos matemáticos? Que distâncias existem entre uns e outros? Estas perguntas mínimas, sem duvida, tocam um ponto sumamente importante: gênese, filiações, legitimidades, tudo isso mesclado e em forma de debate. Gênese míticas? Filiações negociadas? Legitimidades incertas? (CHEVALLARD, 1991, p. 15-16).

Nota-se, nesse ponto de partida, duas preocupações centrais:

- i) a origem do saber que chega ao ambiente escolar;
- ii) a legitimidade desse saber.

A perspectiva da transposição didática centra sua atenção nas modificações sofridas pelo saber até chegar no ambiente escolar. Entretanto, a pertinência dos saberes escolares, sua legitimidade cultural, também mereceu destaque no contexto de elaboração da transposição didática, conforme enfatiza Ricardo (2005, p. 160). Tal fato, parece-nos, corrobora o viés sociológico da transposição didática, entendendo seu objeto de estudo em seu contexto sociocultural.

2.1.2. Saberes acadêmicos no ensino de ciências

Entender o sistema didático como um sistema aberto, compatível com o meio no qual se insere, requer compreendê-lo respondendo às exigências que acompanham e justificam o projeto social estabelecido pelo seu contexto (CHEVALLARD, 1991, p. 17). A transposição didática foi pensada em um contexto específico, a partir de um exemplo bem específico, no caso o conceito de distância, tomado da didática da matemática. As questões que se buscou responder foram: Como esse conceito foi tratado durante esse período no ambiente acadêmico? Quais as diferenças entre eles? Quais transformações sofreu?

Neste quadro teórico definem-se três tipos diferentes de saber: o Saber Sábio (produzido nas esferas acadêmicas), o Saber a Ensinar (aquele que chega ao ambiente escolar nos materiais didáticos e programas) e o Saber Ensinado (aquele efetivamente trabalhado em sala de aula) (CHEVALLARD, 1991).

Chevallard (1991) adota como *Saber Sábio* aquele construído na esfera acadêmica, desenvolvido no interior das comunidades de pesquisa. No caso das ciências, por exemplo, pelos cientistas e pesquisadores de uma maneira geral.



Figura 1: Os tipos de saberes e o conceito de distância

A bem conhecida análise sobre o “contexto da descoberta” e o “contexto da justificação”, apresentada pelo filósofo da ciência alemão Hans Reichenbach (1891-1953), mostra o processo de transformação semelhante ocorrido durante a criação de um saber até a forma final como apresentado à comunidade científica (ALVES FILHO, 2000, p. 223). Durante sua elaboração, o “contexto da descoberta”, um saber passa por transformações e sofre influência de inúmeros fatores, até ser sistematizado racionalmente em linguagem adequada para ser apresentado à comunidade acadêmica. Nesse segundo momento, o “contexto da justificação”, todo o caminho percorrido no seu desenvolvimento é “reescrito” e reconstruído racionalmente seguindo os padrões estabelecidos pela comunidade científica. Todos os aspectos considerados irrelevantes nesse relato final são simplesmente ignorados, embora possam ter sido significativos no processo de elaboração do conhecimento (PIETROCOLA, 2006, p. 315-333; ALVES FILHO, 2000, p. 223). Esse saber acadêmico é considerado como o saber original, o conhecimento científico sistematizado, onde se inicia todo processo da Transposição Didática (SIQUEIRA, 2006, p. 69).

É interessante observar, que o Saber Sábio sofre transformações desde o âmbito de sua produção/sistematização/divulgação, visando sobretudo sua formulação discursiva e adequação aos condicionantes do sistema didático. Tais transformações objetivam adaptar a forma de apresentar conhecimento aos requisitos de cada uma dessas etapas. Para Chevallard (1991, p. 24) algumas exigências transformam o saber, entre elas a

despersonalização, que é o requisito para a *publicidade* do saber, ao ser compartilhado na comunidade acadêmica.

Outros tipos de saberes, produzidos fora da comunidade acadêmica, parecem não ter sido incluídos por Chevallard (1991) no contexto do desenvolvimento da transposição didática, tanto no trabalho de 1982 em conjunto com Joshua, como na primeira edição da sua obra em 1985. Segundo Gabriel (2001, p. 7), não há, nessa perspectiva, “*nenhum ou muito pouco espaço para se pensar outros saberes passíveis de se articularem nas diferentes práticas educativas*”. Ricardo (2005, p. 166) também aponta essa limitação, apresentando a crítica que Michel Caillot faz à transposição didática e discutindo algumas situações em que outros saberes, além do acadêmico, são selecionados para programas de ensino. Há, por exemplo, algumas disciplinas legitimando os saberes técnicos, artesanais e práticos como necessários à formação do aluno. Tais conhecimentos foram chamados por Martinand de práticas sociais de referência. Segundo Siqueira (2006, p. 76), tais práticas permitem uma relação dos conteúdos com a cultura e com o cotidiano dos alunos. Dentre elas estariam: práticas de técnicas do engenheiro ou do técnico, práticas domésticas (cozinha por exemplo), práticas sociais etc. Estas práticas dependem dos contexto cultural de uma sociedade, de como valores econômicos e políticos influenciam as escolhas didáticas. Caillot aponta, também, deliberações oficiais para os programas disciplinares incluindo competências exigíveis, além dos respectivos conteúdos, enfatizando o adjetivo “*exigíveis*” atribuído à palavra competências significando ser avaliável pela instituição.

Parece-nos nesse caso não haver uma rejeição, por parte de Chevallard, de outros saberes que não o acadêmico como válidos para serem incluídos no saber escolar. O fato de ter selecionado um conteúdo específico para sua análise não implica em excluir outros saberes. Isso não significa, a nosso ver, uma prescrição, nem uma restrição curricular, mas a opção por analisar conceitos específicos provenientes do saber acadêmico até o ambiente escolar.

O Saber a Ensinar constitui-se no patamar dos saberes já transformados, prontos para serem inseridos no sistema didático. Ele se materializa na produção de livros didáticos, manuais de ensino e de conteúdos curriculares. O processo de transformar o Saber Sábido em Saber a Ensinar corresponde à *Transposição Didática Externa* (CHEVALLARD, 1991).

Uma primeira interpretação prévia dessa noção poderia sugerir:

[...] uma mera simplificação ou trivialização formal dos objetos complexos que compõem o repertório do saber sábio. Esta interpretação é equivocada e geradora de interpretações ambíguas nas relações escolares, pois revela o desconhecimento de um processo complexo de transformação do saber. (ALVES FILHO, 2000, p. 225).

O Saber Sábido possui regras bem específicas ditadas pela comunidade acadêmica, tanto com relação à sua produção quanto à sua sistematização e comunicação, que o tornam inadequado ao sistema de ensino básico. Desse modo, é necessário ocorrer uma transformação desse conteúdo para adequá-lo ao ambiente escolar. “Assim como o Saber Sábido é submetido a regras e linguagem específicas, o Saber a Ensinar também tem suas regras próprias” (ALVES FILHO, 2000, p. 225).

Chevallard (1985) realizou uma análise epistemológica sobre as mudanças sofridas pelo Saber Sábido para tornar-se um Saber a Ensinar. Tais reflexões são voltadas à natureza e às condições impostas por requisitos sociais e pedagógicos ao elemento “saber escolar”. Essa análise, desenvolvida a partir as idéias de Verret, apontou não ocorrer apenas uma simplificação, mas que os saberes sábio e escolar possuem um estatuto epistemológico distinto. Para um determinado conteúdo ser passível de ser ensinado precisa sofrer modificações, atendendo às condições impostas pela prática pedagógica, tornando-se apto a ser ensinado (CHEVALLARD, 1991, p. 16).

É importante compreender a análise de Chevallard dentro desse quadro teórico articulando a reflexão epistemológica à reflexão pedagógica. Seus estudos mostraram que a noção de distância como Saber Ensinado nas escolas francesas passou por grandes transformações desde sua proposta no ambiente acadêmico das matemáticas, tornando-se acessível a não especialistas. (CHEVALLARD; JOSHUA, 1982).

Desse modo, o conceito de transposição didática implica no reconhecimento da diferenciação entre saberes específicos de natureza e funções sociais distintas, nem sempre evidente nas análises sobre a dimensão cognitiva do processo de ensino aprendizagem (GABRIEL, 2001). Para ocorrer essa transformação, o Saber Sábido sofre uma *descontextualização*, ou seja, ele é retirado do campo de problemas onde emergiu historicamente (CHEVALLARD; JOSHUA, 1982, p. 169).

O saber que a transposição didática produz será, portanto, um saber exilado de suas origens e separado de sua produção histórica na

esfera do saber Sábio, legitimando-se, tanto em saber ensinado, como algo que não é de nenhum tempo e nenhum lugar, e não legitimando-se à partir de um produtor, qualquer que seja ele. (CHEVALLARD, 1991, p. 18).

A construção de um saber adequado ao ambiente escolar é fruto de processos de didatização: a *dessincretização* do saber, a *despersonalização* do saber, a *programabilidade* da aquisição do saber, a *publicidade* do saber e o *controle social das aprendizagens* (CHEVALLARD, 1991, p. 69). Esses processos são coerentes com os interesses sociais, políticos e econômicos do projeto formativo em que se insere um sistema de ensino, manifestados no seu projeto educacional (ALVES FILHO, 2000, p. 225; RICARDO, 2005, p. 161).

O primeiro passo para a elaboração do Saber a Ensinar é o reconhecimento do processo necessário de *dessincretização*, uma separação entre as práticas referentes à criação teórica de um saber no âmbito acadêmico e as especializações pertinentes às práticas da aprendizagem. Isso decorre, primeiramente, da necessidade de uma explicitação discursiva, de uma textualização, conduzindo a uma independência dos saberes, cada qual com seu discurso autônomo. A consciência dessa delimitação de saberes parciais independentes está presente nos agentes da transposição didática, por exemplo, justificando as escolhas dos autores de materiais didáticos (CHEVALLARD, 1991, p. 69-70).

O Saber Sábio, resulta de saberes produzidos durante muitos anos, é dividido em partes, separado do contexto e do problema originais, para então ser reorganizado, reconstruído. Em tal processo de *dessincretização* o saber é desvinculado do ambiente epistemológico original para ser reconstituído em um novo contexto epistemológico.

Outro processo da elaboração do Saber a Ensinar é a *despersonalização*. Enquanto na comunidade acadêmica a *despersonalização* do saber visa sua difusão e a produção social do conhecimento, no funcionamento didático ela objetiva a reprodução e representação do saber, sem as exigências do contexto de sua produção (CHEVALLARD, 1991, p. 24-25). Desse modo, para a construção do Saber a Ensinar,

*Assiste-se a um fenômeno de deshistorização pelo qual o saber adquire o aspecto de uma realidade ahistórica, atemporal que se impõe por ela mesma e que, não tendo produtor, aparece livre em relação a todo processo de produção, não se podendo contestar sua origem, utilidade e pertinência. Saber anônimo, saber **descontextualizado** de sua*

*produção histórica, que toma o aspecto irrefutável de um conjunto de verdades naturais. Ali se encontra precisamente um dos mecanismos constitutivos do apego exagerado à regras própria do ensino que define um certo modo de relação ao saber, o qual se impõe como evidente, não por emanar de uma autoridade superior, de um mestre, cuja palavra é a verdade, mas ao contrario, porque é totalmente desvinculado de qualquer pessoa. A **despersonalização** do saber, própria da transposição didática, é tão evidente para nós que não a abandonamos mais (CHEVALLARD; JOSHUA, 1982, p. 169-170).*

O processo da *despersonalização* é uma conseqüência necessária do processo de preparação didática, para retirar os conhecimentos produzidos no âmbito acadêmico, no nicho interno da pesquisa, para poder ser compreendido no ambiente escolar básico (RICARDO 2005, p. 161). Passa-se assim, para a terceira etapa do processo de preparação didática, a textualização do Saber a Ensinar: a *publicidade*.

Para um determinado saber ser compreendido e apropriado pelos professores e alunos, ou seja, os que deverão transmiti-lo e recebê-lo, ele necessita possuir um certo grau de *publicidade* (RICARDO, 2005, p. 161). Na construção dos manuais didáticos e demais recursos que chegarão à sala de aula (o processo de textualização) busca-se uma explicitação discursiva objetiva, imprescindível para tornar os saberes ensináveis. A objetividade encontrada nesses textos do saber é a evidência da *publicidade* que ali se representa (CHEVALLARD, 1991, p.73).

Depois de passar pelos processos da *desincretização*, *despersonalização* e *publicidade*, o texto do Saber a Ensinar que foi elaborado demonstra uma *programabilidade* da aquisição do saber, expressão designada por Verret (CHEVALLARD, 1991, p. 73).

O texto é uma norma de progressão no conhecimento. Um texto tem um princípio e um fim (provisório) e opera por um encadeamento de razões. (CHEVALLARD, 1991, p. 73).

A organização do Saber a Ensinar encerra em si mesmo uma proposta de aprendizagem. Um determinado material didático, ou programa disciplinar, traz um seqüenciamento de conteúdos que busca viabilizar e favorecer a relação do sujeito com o

conhecimento. Tal organização evidencia a *programabilidade* da aquisição dos saberes, identificados e designados mediante um projeto social de ensino e aprendizagem.

Desses quatro processos da transposição didática, descritos acima, resulta um texto que pode ser considerado como um “instrumento de avaliação específico,” no sentido de exercer o *controle social da aprendizagem*. Ali se encontram os conteúdos selecionados para o Saber a Ensinar, dessincretizados, despersonalizados, publicizados em uma textualização que denota a programabilidade do saber:

Esta publicidade, por sua vez, possibilita o controle social da aprendizagem, em virtude de uma certa concepção do que significa saber, concepção fundada (ou legitimada, ao menos) pela textualização. [...] Ao se conceber a aprendizagem como equivalente ao progresso manifestado na própria estrutura do texto, este permite medir àquele e torna possível uma didática essencialmente “isomorfa” [...]. (CHEVALLARD, 1991, p. 73, grifo nosso).

O texto do Saber a Ensinar é, portanto, autorizado didaticamente, legitimado por “uma concepção de aprendizagem, cujo modelo ordenador é o texto do saber em sua dinâmica temporal” (CHEVALLARD, 1991, p. 73). Esse processo de elaboração dos saberes a ensinar levam em conta, segundo Ricardo (2005, p. 162), as etapas da aprendizagem e o tempo escolar disponível para isso. Chevallard (1991, p. 75) designou essa relação saber/duração como *tempo didático*. Sempre tendo em mente que a produção de um sistema didático leva em conta o projeto social de ensino, Chevallard propõe os quatro processos da transposição didática produzindo um texto de saber *que possibilita uma relação específica com o tempo didático*.

Assim, os saberes que integram o texto do Saber a Ensinar não são apresentados do mesmo modo que surgiram no Saber Sábio, nem no “contexto da descoberta”, tampouco no “contexto da justificação”. Há uma diferença marcante entre o tempo de produção do conhecimento e o tempo didático. A programabilidade dada a esse saber omite os processos envolvidos na sua elaboração, mas explicita o *tempo didático*. Até que ponto isso pode representar um problema? Essa questão será retomada e aprofundada mais adiante.⁷

⁷ Quando da aplicação desta teoria ao nosso objeto de pesquisa.

De qualquer modo, deve-se compreender que, ao se submeter ao processo de didatização, o Saber Sábido é transformado, resultando em um *novo saber*. Esse saber possui função social distinta daquele. Esse novo saber possui epistemologia própria. Reconhecer essa separação é fundamental. Porém, daí decorre uma importante questão: como conferir legitimidade a esse novo saber? Como e por quem será legitimado?

Admitir a separação entre Saber Sábido e Saber Escolar impõe aceitar que a legitimidade do primeiro não pode legitimar o segundo do ponto de vista epistemológico. Ricardo (2005, p. 160) coloca que a credibilidade assegurada pela legitimidade epistemológica atribuída à física pela comunidade científica em uma perspectiva kuhniana, por exemplo, não é garantia para a física ensinada na escola básica.

A legitimidade do Saber a Ensinar deve vir do entorno sociocultural em que um determinado sistema de ensino está inserido (RICARDO, 2005, p. 161). Segundo Ricardo (2005, p. 163), “*os saberes presentes na escola são colocados à prova e envolvem um conjunto de atores bem mais complexo que a comunidade científica, pois o jogo de interesses é maior*”. Desse modo, tornam-se pertinentes as questões: Quem são esses atores? Que papel representam nesse entorno sociocultural?

Na arte de ensinar, o novo saber entra em conflito léxico com o ambiente escolar, e esse conflito nos ajuda a entender a trajetória do saber sábio, do qual conhecemos a origem, e poderemos identificar o lugar de chegada no sistema de ensino. Entre a saída e a chegada verifica-se uma mudança de natureza do elemento (CHEVALLARD; JOSHUA, 1982, p. 167).

Na origem do processo de transposição está a seleção dos saberes que serão levados ao ambiente escolar, e os fatores que concorrerão para essa eleição estão imersos no ambiente sociocultural. Como se dá o processo de seleção? Quais os critérios para o processo de escolha e quem são os personagens que participam dessa eleição e da transformação do Saber Sábido em Saber a Ensinar?

No primeiro capítulo de seu livro, Chevallard (1991) apresenta a transposição didática e, deixando explícita sua perspectiva sociológica do processo, adota como pressuposto:

Todo projeto social de ensino e aprendizagem se constitui dialeticamente com a identificação e a designação de conteúdos de saberes como conteúdos a ensinar (CHEVALLARD, 1991, p. 45).

Portanto, a seleção dos conteúdos do Saber Sábido a serem transformados em Saber a Ensinar é orientada pelo projeto social de ensino e aprendizagem, no contexto sociocultural no qual o sistema educacional está inserido. Por meio de uma complexa rede de negociações entre diversos personagens, os conteúdos de saber serão selecionados, e pelo mesmo ambiente sociocultural serão também aceitos e legitimados.

Chevallard (1991, p. 28) propõe o nome *noosfera* para o espaço de interação entre o sistema de ensino *stricto sensu* e o seu entorno social.

*Ali se encontram todos aqueles que ocupam os postos principais do funcionamento didático, se enfrentam com os problemas que surgem de encontro com a sociedade e suas exigências; ali se desenvolvem os conflitos, ali se levam a cabo as negociações; ali se maturam soluções. [...] estamos aqui na esfera onde se pensa – segundo modalidades muito diferentes – o funcionamento didático. Para esta instância sugeri o nome paródico de **noosfera**. (CHEVALLARD, 1991, p. 28, grifo nosso).*

Na noosfera estão todas as pessoas e/ou instituições que influenciam o sistema educacional e as transformações sofridas pelo saber. Nesse espaço ocorrem as negociações que tentam delimitar as competências, as responsabilidades e as ações dos indivíduos envolvidos nesse processo: os autores de livros didáticos, os formuladores de políticas ligadas à educação, pesquisadores em educação, professores, representantes da sociedade, como os pais de alunos, especialistas das disciplinas e outros interessados no processo de ensino (CHEVALLARD, 1991, p. 27-28). Os cientistas também influenciam, de maneira indireta mas significativa, a seleção e a transformação do saber. Na noosfera se definem os currículos face às necessidades e aos anseios da sociedade selecionando-se o conteúdo do Saber Sábido e realizando-se as transformações, sempre guiadas pelo projeto educacional (ALVES FILHO, 2000, p. 231-232; SIQUEIRA, 2006, p. 67-68).

A construção dos saberes escolares deve reconhecer a diversidade de formas de racionalidade e validade de conhecimentos, pressupondo uma epistemologia plural, articuladora da razão pedagógica à sociológica, antropológica, política etc., e conferindo,

dessa forma, legitimidade cultural ao Saber a Ensinar (GABRIEL, 2001). Desse modo, a transposição didática representa o complexo processo de transformações adaptativas que produzem o objeto de ensino, legitimado tanto epistemologicamente, quanto culturalmente (CHEVALLARD, 1991, p. 45; RICARDO, 2005, p. 160-161).

Note-se que a noosfera, o sistema de ensino e a sala de aula não são instâncias autônomas. Imersas em um mesmo contexto social, elas se relacionam e se influenciam mutuamente. Nessa visão sociológica, o projeto político-pedagógico guia o processo da transposição, levando em conta uma epistemologia plural e as razões pedagógicas do ambiente escolar. Desse modo, a *noosfera*, compreendida em seu contexto, define e transforma, mas também legitima o Saber a Ensinar.

Os manuais e livros didáticos, assim como os documentos oficiais (por exemplo os PCNs no caso brasileiro) e os currículos e programas adotados pelo sistema de ensino são os produtos mais facilmente identificados com o Saber a Ensinar. Chega-se assim ao objeto da didática definido por Chevallard: o sistema didático, no qual ocorre a relação didática entre o saber, o professor e o aluno.

No interior do sistema didático, o Saber a Ensinar passará ainda por outra transposição, menos visível do que o trabalho realizado na noosfera, guiada pelo processo do ensino-aprendizagem (ANHORN, 2004).

Para tornar possível o ensino de um determinado elemento do saber, ele deve ter sofrido certas deformações. O Saber-tal-como-é-ensinado, o saber ensinado, é necessariamente distinto do saber-inicialmente-designado-como-o-que-deve-ser-ensinado, o saber a ensinar (CHEVALLARD, 1991, p. 16-17).

Isso significa que a transposição didática ocorre em dois níveis distintos:

a) Transposição didática externa: ocorrida na noosfera que transforma o Saber Sábio em Saber a Ensinar;

Neste nível, os agentes da noosfera, inseridos no contexto sociocultural de cada ambiente educacional, definem os saberes que devem ser ensinados antes mesmo que estes cheguem efetivamente ao ambiente escolar.

b) Transposição didática interna: ocorrida no interior do sistema didático que transforma o *Saber a Ensinar* em *Saber Ensinado*.

Neste nível, as ações do professor guiam a transformação que o Saber a Ensinar sofre até tornar-se o Saber Ensinado. Vale destacar que:

O saber ensinado supõe um processo de naturalização, que lhe confere a evidencia incontestável das coisas naturais; sobre essa natureza “dada”, a escola espera agora sua jurisdição, fundadora de valores que, daqui para frente, administram a ordem didática (CHEVALLARD, 1991, p. 18).

O professor trabalha na transposição didática interna mediando a interação entre ele, o aluno e o saber (CHEVALLARD, 1991, p. 20). Entretanto, ele não é um sistema fechado, pois as relações não são meramente objetivas. Lida-se com o entorno no qual esse microuniverso está imerso: seus valores, as expectativas de seu ambiente sociocultural e a história de vida dos sujeitos, o aluno e o professor.

A complexa e dinâmica relação entre as variáveis do sistema didático configura-se ímpar, singular e, em alguns momentos, imprevisível. Espera-se, é claro, que o professor esteja preparado para lidar com a singularidade das relações didáticas e demais anseios da esfera que envolve esse sistema, e que irão interferir nas escolhas didáticas (cf RICARDO, 2005, p. 160-162).

Chevallard define esses sistemas didáticos como formações que aparecem a cada ano, por ocasião do início do ano letivo, ao redor de um saber designado pelo programa disciplinar. O Saber a Ensinar torna-se objeto de um projeto de ensino e aprendizagem, que agrupa em um mesmo lugar professores e alunos, cujas relações são mediadas por um *contrato didático*.⁸ O sistema de ensino contempla um conjunto de sistemas didáticos e utiliza dispositivos estruturais para tornar seu funcionamento viável. No entorno do sistema de ensino está a sociedade laica, em contraste com a sociedade de especialistas que o compõem. Todo o entorno do sistema de ensino e do sistema didático irá influenciar as escolhas do professor ao atuar na didática interna. (CHEVALLARD, 1991, p. 26-27).

Outro fator que influencia o processo da transposição interna é o *tempo de aprendizagem* do aluno, uma das quatro concepções temporais da transposição didática (tempo real, tempo lógico, tempo didático e tempo de aprendizagem) (CHEVALLARD, 1991,

⁸ Chevallard refere-se aqui ao *contrato didático* proposto por Brousseau.

p. 75-80). Segundo Pietrocola (2008), o gerenciamento do tempo disponível para o ensino é um dos fatores que justifica a seleção e adaptação do saber. No caso da física, por exemplo, deve-se fazer caber quatro séculos de conhecimentos em três anos, com duas a três aulas semanais.

No caso da Física, tempo real está relacionado ao tempo histórico, no qual determinado saber se desenvolveu. [...] O tempo lógico relaciona-se à maneira de encadear a apresentação desse conhecimento para fins de ensino. Ao se organizar uma seqüência didática de atividades de ensino-aprendizagem, define-se um tempo específico para tratar esse conceito. Já o tempo didático vincula-se àquilo que poderá ser feito na sala de aula. [...] Finalmente o tempo de aprendizagem variará muito de aluno para aluno. Alguns aprendem durante a própria aula, nesse caso tempo didático e tempo de aprendizagem serão iguais. (PIETROCOLA, 2008)

O professor ao preparar sua aula deve considerar o tempo de interação necessário entre o aluno e o Saber a Ensinar, que varia de aluno para aluno, sendo em geral diferente do *tempo didático*. A complexidade temporal estabelecida no sistema didático requer a constante atuação do professor na transposição didática interna.

Segundo Anhorn (2004), todo o processo da transposição didática encontra seus maiores desafios no interior do sistema de ensino, cuja dinâmica de funcionamento busca assegurar a viabilidade do aprendizado de um determinado saber. Tais desafios devem ser vistos no âmbito disciplinar, isto é:

[...] deve ser compreendido na dinâmica específica dos saberes escolares, no decorrer do processo de ensino e aprendizagem. Dessa forma, o conhecimento do funcionamento didático de uma disciplina torna-se indispensável para a compreensão do processo de transposição na sua globalidade. (ANHORN, 2004)

Desse modo, quando o professor prepara sua variante local do texto do saber, ele não realiza uma seleção teórica, mas se depara com questões técnicas de extensão e segmentação do saber. O professor atua na transposição didática interna, imerso no entorno do sistema didático, e sendo por ele constantemente influenciado (CHEVALLARD, 1991, p. 20-21).

2.1.3. A sobrevivência de um saber

Analisar todo percurso de um saber, que passa pela transposição didática externa do *Saber Sábio* ao *Saber a Ensinar*, e posteriormente sofre a transposição didática interna que produz o *Saber Ensinado*, permite-nos compreender três instâncias dessa problemática (CHEVALLARD, 1991, p.16):

- A separação obrigatória entre o saber acadêmico e o escolar;
- O questionamento necessário sobre a origem e legitimidade cultural do *Saber a Ensinar*;
- A contribuição da transposição didática como ferramenta de análise, por meio do exercício da *vigilância epistemológica* nos saberes transpostos.

Tal ferramenta permite uma fundamentação teórica para uma prática pedagógica mais reflexiva, auxiliando o professor em sua ação educativa. Além disso, observar os saberes escolares, sob a lente da transposição didática, torna possível inferir algumas características que concorrem para tornar um saber “ensinável” (BROCKINGTON, 2005; PIETROCOLA, 2008; SIQUEIRA, 2006). Tais características buscam favorecer o processo de ensino-aprendizagem, além de atender a interesses sociopolíticos da *noosfera*. As características são discutidas por Chevallard (1991) em diversos pontos da obra e podem ser assim resumidas:

- Um conteúdo do Saber a Ensinar tem que ser consensual, possuindo um status de verdade contemporânea ou histórica. Todos os setores da sociedade relacionados ao sistema de ensino não podem ter dúvidas sobre seu valor.
- Um Saber a Ensinar deve ter atualidade moral: ser considerado importante e relevante pela sociedade em geral para integrar o currículo escolar.
- Um Saber a Ensinar não pode distanciar-se demasiadamente do saber acadêmico que lhe serviu de referência, demonstrando atualidade biológica, caso contrário torna-se defasado de sua ciência de referência e tem sua legitimidade questionada pelo entorno social.
- Operacionalidade significa que um Saber a Ensinar deve possibilitar a elaboração de atividades didáticas, exercícios e instrumentos de avaliação, pois os saberes que não permitem ter seu aprendizado avaliado fatalmente não permanecerão na escola.

- Um Saber a Ensinar deve favorecer a criatividade didática, na elaboração de atividades voltadas ao contexto escolar, ou seja, objetos de ensino que não possuem similares no Saber Sábido.
- Finalmente, o Saber a Ensinar será considerado viável quando apresentar terapêutica, isto é, tiver sido validado com os resultados obtidos pela aplicação em sala de aula, que fornecerá os limites e as possibilidades didático-pedagógicas.

É importante não se considerar essas características como regras prescritivas. Os requisitos descritos acima devem ser considerados como atributos inferidos da análise dos saberes escolares presentes no sistema didático. Dessa forma, eles materializam características dos saberes escolares que tendem a assegurar sua adequação ao sistema escolar, mas não garantir. Devem ser tomados como guias de análise, mais ou menos gerais.

Pietrocola (2008) enfatiza que os saberes presentes nos currículos e programas escolares são o resultado de um processo de validação coletiva de muitos anos. Aqueles conteúdos que permanecem estabilizados por longo tempo são os que atenderam em grande parte aos requisitos descritos acima, ou seja, incorporam essas seis características.

De tempos em tempos, vemos novos conteúdos sendo inseridos nos programas escolares. Nas últimas décadas, por exemplo, é possível citar a física moderna e contemporânea, mudanças no cenário político nacional e internacional, novos conhecimentos sobre biologia molecular e atualizações gramaticais e lingüísticas.

2.2. Desafios na transposição didática da história da ciência

Os conteúdos curriculares considerados como tradicionais no ensino de ciências, vêm sobrevivendo por algumas décadas nos planejamentos escolares, são explicitados nos livros didáticos e praticamente consolidados pelas avaliações em pequena e grande escala, como os vestibulares, o Enem, o Saresp etc. No caso da história da ciência, entretanto, raramente se encontram conteúdos explícitos nessas instâncias. Enquanto tópicos como as “Leis de Newton”, “Propagação do calor”, “Reflexão da Luz” e “Corrente Elétrica”, por exemplo, surgem descritos de modos similares na ampla maioria dos livros didáticos, normalmente não encontramos conteúdos históricos como “O papel das hipóteses na doutrina newtoniana”, “A problemática do uso de instrumentos para a observação da

natureza nos debates entre Galileu e a Igreja” ou “O papel do éter luminífero nas equações de Maxwell”. *Isso não significa, contudo, que tais conteúdos deveriam estar lá, ou ainda, que tais conteúdos não estejam lá.*

Pesquisas educacionais nesse âmbito têm constatado supostos conteúdos históricos “decorando” materiais escolares com imagens dos grandes personagens e narrativas distorcidas da história da ciência, que fomentam uma visão equivocada da natureza da ciência, como se estas fossem inócuas. Nos livros didáticos, predominam pequenos trechos de narrativas anacrônicas excessivamente simplificadas, carregadas de juízos de valor, transmitindo a visão linear, *whig*, algumas vezes até mesmo hagiográfica dos grandes pensadores e do modo como teriam construído a história da ciência (ALLCHIN, 2004; 2006; EL HANI, 2006; GIL PEREZ *et al.*, 2001; HOLTON, 2003; MARTINS, A., 2007; MEDEIROS; BEZERRA, 2000; MCCOMAS *et al.*, 1998; PUMFREY, 1991; PAGLIARINI, 2007).

Na ampla maioria dos casos, essas são as únicas versões conhecidas pelo professor, um dos tripés da relação didática, tornando difícil, ou mesmo impossível, que ele detecte problemas e saiba lidar com tais abordagens de maneira crítica. Conforme apontam Gil Perez e colaboradores (2001), predomina no ambiente escolar uma visão positivista da ciência, que reforça e é reforçada pelas narrativas históricas que transmitem o mesmo ponto de vista. Segundo Almeida (2006, p. 27), essa concepção positivista de ciência dominou o cenário educacional ao longo de todo o século XX, tanto na formação de professores como no ensino de um modo geral, pois a base epistemológica que sustenta tal concepção confere legitimidade a uma racionalidade técnica ou razão instrumental, direcionada para soluções de problemas científicos e técnicos. Todo esse quadro teórico difere fundamentalmente dos objetivos praticamente consensuais nas pesquisas em ensino de ciências que prescrevem a relevância de ensinar uma visão contemporânea sobre a natureza da ciência (LEDERMAN, 2007).

Isso significa que a transposição da história e filosofia da ciência para o ambiente escolar requer lidar com diversos desafios, por exemplo: a seleção dos conteúdos do Saber Sábido a serem transformados em Saber a Ensinar que atendam aos objetivos pedagógicos elencados; harmonizar a necessidade de descontextualização, dessincretização, despersonalização dos saberes acadêmicos com os cuidados para evitar a construção da pseudo-história; conciliar o nível de abstração requerido para se lidar com a complexidade

da dimensão histórico-epistemológica e respeitar a necessidade da publicidade do Saber a Ensinar.

Há também a questão do tempo didático levado em conta nos quatro processos da transposição didática para a produção de um texto de saber; por exemplo, tratar os saberes da física produzidos ao longo de três séculos em três anos da escola básica (PIETROCOLA, no prelo). Todavia, quando se pensa na abordagem história, é necessário considerar ainda outros requisitos. As próprias características do saber histórico e a necessidade intrínseca de tratar o passado em seus próprios termos são mais um desafio na construção do Saber a Ensinar. Monteiro aponta alguns problemas decorrentes de uma abordagem anacrônica da História:

Como já foi comentado, é muito freqüente o uso, pelos professores, de atividades onde são desenvolvidas analogias com situações similares à estudada, e encontradas na “realidade do aluno”, em situações do tempo presente. Muitas vezes estas analogias induzem a erros, pois operam numa dimensão comparativa muito simplificada, conduzindo os alunos a atribuir à situação do passado o mesmo significado encontrado na situação do presente. Além disso, tendem a levar o aluno a ignorar as diferenças no tempo, suprimindo um aspecto fundamental no ensino da história que é fazer perceber e compreender as diferenças entre temporalidades. O anacronismo representa uma ameaça, portanto, seja do ponto de vista do significado daquilo que é objeto de estudo, seja do ponto de vista da própria construção do raciocínio histórico. (MONTEIRO, 2005).

A transposição do Saber Sábido histórico em Saber a Ensinar é um aspecto delicado quando se pensa na dessincretização. Porém, tal especificidade não significa que o conteúdo histórico seja distorcido no percurso epistemológico da criação do seu “equivalente” Saber a Ensinar. É importante não perder de vista que a dessincretização afastará os sujeitos e sua ação no processo de construção e de publicização do Saber Sábido. Tais saberes serão apartados do seu contexto de criação, dos historiadores e dos processos envolvidos em sua elaboração, e do tempo requerido nesse preparo. Esse objeto de Saber a Ensinar, que nasce atemporal e desvinculado do seu contexto de criação não será, necessariamente, desvinculado dos fatos históricos que pretende narrar. Esse Saber a Ensinar histórico que ganha vida no ensino de ciências pode preservar os condicionantes

contextuais, tanto quanto foi possível enquanto Saber Sábio. Desse modo, ao se pensar no tempo didático da transposição de conteúdos históricos ao ensino de ciências, é necessário entender a dimensão temporal na perspectiva diacrônica da localização temporal dos fatos históricos transpostos.

Vários dos desafios que se enfrenta ao levar conteúdos históricos para a educação científica são os mesmos encontrados em outros conteúdos curriculares. Eles podem ser entendidos em termos de **dificuldades conjunturais** enfrentadas por todas as disciplinas. Muitos são bem conhecidos e amplamente tratados na literatura educacional; por exemplo, as salas de aulas com grande número de alunos, os baixos salários dos professores e o grande número de aulas que precisam assumir para melhorar sua renda, o que acaba dificultando os estudos e os investimentos em sua formação continuada. A carência de bibliotecas, de laboratórios, de material pedagógico adequado para um ensino que possa motivar o aluno são também dificuldades conjunturais que o professor não pode superar sozinho, e extrapolam os muros disciplinares. Embora tais dificuldades sejam de fato enfrentadas pelos diversos campos disciplinares, elas não são objeto de estudo de nossa pesquisa.

Por outro lado, há alguns desafios que são intrínsecos de campo disciplinar, e o uso da história e filosofia da ciência no ensino apresenta suas próprias dificuldades, além daquelas conjunturais. Há alguns obstáculos didático-pedagógicos próprios da utilização da história e filosofia da ciência na escola básica. Acreditamos que tais obstáculos podem ser superados ou compensados por meio da pesquisa educacional. Esses últimos serão nosso próximo objeto de análise, denominados *obstáculos estruturais*.

2.2.1. Obstáculos estruturais da abordagem histórico-epistemológica na educação científica

Quando se busca utilizar a história da ciência em ambiente escolar, é necessário, antes de tudo, ter claro o objetivo pedagógico que se pretende atingir. Nossa pesquisa volta-se ao uso da história para ensinar sobre o fazer científico, o que implica em uma abordagem empírica da natureza da ciência, conforme discutimos no capítulo 1 (MARTINS, 1993). O segundo passo, nesse caso, volta-se à seleção apresentada na seção 1.2.4 dos aspectos consensuais apresentados como pertinentes e necessários para o ensino de ciências (MCCOMAS *et al.*, 1998; EL HANI, 2006; GIL PEREZ *et al.*, 2001; PUMFREY, 1991), e são listados novamente abaixo:

- a natureza não fornece dados suficientemente simples que permitam interpretações sem ambigüidades;
- uma observação significativa não é possível sem uma expectativa preexistente;
- a ciência é uma atividade humana influenciada pelo contexto sociocultural de cada época;
- teorias científicas não podem ser provadas e não são elaboradas unicamente a partir da experiência;
- o conhecimento científico baseia-se fortemente, mas não inteiramente, na observação, evidência experimental, argumentos racionais e ceticismo.

Dessa forma temos definidos o propósito pedagógico e os aspectos epistemológicos a abordar. O próximo desafio a enfrentar na construção do Saber a Ensinar é a *seleção do conteúdo histórico*. É necessário avaliar quais tópicos extraídos da história da ciência possuem as características que permitam abordar, em sala de aula, as discussões em torno desses objetivos. Conforme discutimos no capítulo 1, há muitos aspectos da natureza da ciência que podem se prestar a propósitos pedagógicos, e há diversos conteúdos da história da ciência que podem exemplificá-los. Nesse sentido, é importante considerar parâmetros que permitam julgar o sucesso dos conteúdos em se adequar aos condicionantes do sistema de ensino, ao mesmo tempo em que satisfazem os propósitos pedagógicos de formação pretendidos, e também aqueles epistemológicos.

Um ponto a ser ponderado diz respeito ao *tempo didático*, ou seja, o tempo disponível para abordar o conteúdo histórico selecionado em sala de aula. Viabilizar o conteúdo histórico no tempo didático disponível em cada contexto caracteriza-se como um obstáculo específico, tanto do ponto de vista pedagógico quanto historiográfico. O *tempo didático* disponível varia de acordo com o ambiente educacional escolhido e em geral implicará em limitar a quantidade de conteúdo histórico possível de se abordar. Por outro lado, uma excessiva simplificação pode acarretar um grande risco em termos de distorção histórica (veja seção 1.2.3.). É necessário selecionar episódios históricos bem delimitados sem incorrer em narrativas históricas muito superficiais.

Outro ponto importante surge na determinação do nível de profundidade a ser dado aos conteúdos históricos selecionados. Quais aspectos são adequados ao ensino médio? Quais devem ser simplificados? Que detalhes devem ser omitidos sem comprometer a qualidade da narrativa histórica? Tais preocupações se justificam pelos riscos de se

construir uma pseudo-história. Relatos excessivamente superficiais não poderão contribuir para a compreensão do funcionamento da ciência. Lidar com o fazer científico sem distorcê-lo requer apresentar uma quantidade significativa de detalhes envolvidos na elaboração de teorias, na observação de fenômenos, levando em conta uma contextualização minimamente necessária. *Simplificação e omissão* é sem dúvida um desafio a enfrentar.

A construção da narrativa histórica apresenta outro desafio. Os aspectos que decidimos focar sobre a natureza da ciência buscam problematizar uma visão empírico-indutivista da ciência, normalmente perpetuada no ensino de ciências. De modo geral, quando se afirma os limites da observação na pesquisa científica dos fenômenos naturais corre-se o risco de sugerir ou fomentar a falta de parâmetros objetivos. Deve haver cuidado para não incorrer no *relativismo*. Desse modo, o conteúdo histórico e a forma de apresentá-lo deve permitir problematizar a observação neutra dos fenômenos e experimentos, sem entretanto desvalorizar a importância da observação, da evidência experimental, dos argumentos racionais e do ceticismo na construção do conhecimento científico.

Tal problema seria minimizado se os trabalhos de pesquisa publicados pelo historiador da ciência fossem adequados ao ensino de ciências. O resultado do trabalho do especialista, seguindo as prescrições historiográficas atuais, traria um recorte adequado, com um problema de pesquisa bem formulado. Tais trabalhos abordam os aspectos contextuais que têm impacto no objeto de análise, além dos conteúdos científicos e num nível de aprofundamento suficiente para tratar o problema levantado. Desse modo, os trabalhos produzidos pelo historiador da ciência poderiam ser úteis para discutir diferentes aspectos da natureza da ciência, vinculados ao recorte estabelecido em cada trabalho. Essa é uma das razões pelas quais Holton (2003) sugere a aproximação entre os especialistas de ambos os campos. Porém, a textualização, os pré-requisitos conceituais de campos normalmente envolvidos e o aprofundamento dado aos objetos históricos tornam os *trabalhos históricos especializados* inadequados ao ensino médio.

Outro desafio que se enfrenta nesse processo diz respeito à tradição existente no ensino de ciências com o *uso ingênuo da história* presente nos livros didáticos. Elas se configuram como pseudo-história com todos os problemas daí decorrentes. Assim, a visão-padrão da história da ciência que tem se perpetuado é justamente uma visão ultrapassada, e sustentada por esses valores ainda implícitos no ensino de ciências (GIL PEREZ *et al.*, 2001;

LEDERMAN, 2007). Essa problemática é reforçada pela crença que alguns educadores possuem sobre *supostos benefícios das reconstruções racionais*. Ainda que se apresentem bons argumentos voltados aos imaginados benefícios pedagógicos, acreditamos que os prejuízos trazidos por tais versões não podem ser negados. Não ensinamos pseudo-ciência no ensino de ciências (ALLCHIN, 2004). Por que deveríamos ensinar a pseudo-história da ciência?

A falta de *formação do professor* é um dos maiores desafios a se enfrentar. Todos os obstáculos seriam minimizados se o professor tivesse sido preparado para lidar de modo consciente e crítico com todos esses obstáculos (GIL PEREZ *et al.*, 2001). Já colocamos que não julgamos possível, nem necessário, transformar o professor em historiador ou epistemólogo da ciência (ver seção 1.2.3). No entanto, acreditamos ser possível desenvolver ações que busquem fornecer elementos ao professor para lidar com os desafios dos usos da história e filosofia da ciência em ambiente escolar (ALLCHIN, 2004; EL-HANI, 2006; HOLTON, 2003; MARTINS, A., 2007; LEDERMAN, 2007).

Esta primeira reflexão teórica nos permitiu identificar alguns *obstáculos estruturais* mais gerais. Podemos sintetizá-los da seguinte forma:

- seleção do conteúdo histórico;
- tempo didático disponível;
- simplificação e omissão;
- relativismo;
- inadequação dos trabalhos especializados da história da ciência para o ensino médio;
- narrativas históricas presentes nos livros didáticos;
- supostos “benefícios” das reconstruções racionais;
- formação do professor.

Os desafios que discutimos acima são específicos da transposição didática da história da ciência para a educação científica, diferentes das dificuldades conjunturais que afetam todas as disciplinas e fogem ao nosso alcance. Nós os classificamos como obstáculos estruturais, uma vez que é possível lidar com eles num nível diferente. Enquanto o elevado número de alunos nas salas de aula configura-se como obstáculo conjuntural, comuns a todas as disciplinas, os obstáculos estruturais acima mencionados

podem ser superados ou ao menos compensados por ações e iniciativas na construção do Saber a Ensinar e o Saber Ensinado.

2.2.2. Conflitos, dilemas e riscos

Alguns dos desafios impostos pela necessidade de conciliar distintos campos do conhecimento acabam configurando-se em escolhas difíceis ou mesmo dilemas no sentido de que algumas vezes, qualquer opção escolhida implicará em perdas inevitáveis. Há algumas situações em que se torna muito difícil harmonizar as prescrições historiográficas com requisitos pedagógicos. Entretanto, enfrentar conflitos e dilemas envolve escolhas e riscos.

As considerações teóricas apontam, por exemplo, para a necessidade de se estabelecer um recorte no uso da história da ciência (MARTINS, R., 2001). Em oposição aos relatos anacrônicos muito superficiais, às grandes sínteses e às reconstruções racionais, a metodologia para o estudo dos fatos históricos requer um objeto de pesquisa limitado tematicamente e temporalmente (MARTINS, L., 2005). Por outro lado, pode ser difícil, para o aluno do ensino médio, entender o papel de um determinado evento histórico “isolado” na construção da ciência. Ou ainda percebê-lo como apenas uma, entre várias perspectivas, de fatos que ocorreram no passado, relacionados a uma complexidade de fatores culturais. Seria possível apresentar um relato pontual de um episódio histórico sem que o aluno perca uma visão mais ampla daquele fato na história?

Tal desafio impõe difíceis escolhas: conciliar as prescrições para não se construir uma história da ciência distorcida e, ao mesmo tempo, favorecer uma compreensão contextualizada de conceitos em uma perspectiva histórica mais ampla da construção da ciência. Decidir entre o recorte ou uma abordagem mais ampla, ou seja, a escolha entre *extensão versus profundidade* pode configurar-se em um conflito. Mais uma vez, a opção por uma dessas abordagens acaba dependendo do contexto de utilização da história e das metas pedagógicas pretendidas no seu uso.

Outro conflito de difícil solução que pode incorrer em dilemas é com relação ao aprofundamento de um episódio histórico selecionado: quais os *aspectos a omitir*? Nesse caso também será necessário analisar o contexto de cada situação. Os objetivos pedagógicos pretendidos, o nível de escolarização envolvido, os pré-requisitos conceituais necessários ao aluno e ao professor, ou ainda abordagens que sinalizam para aspectos

especializados da história da ciência. Em que situação um determinado aspecto social, histórico ou científico pode ser considerado “desnecessário” mediante os objetivos pedagógicos almejados? Em que situação um detalhe especializado torna-se crucial para a compreensão de um objetivo pretendido? Esse pode ser o caso da abordagem matemática. Muitos episódios requerem conhecimentos matemáticos num nível de aprofundamento inacessível ao aluno do ensino médio. Por outro lado, tratar um conceito, ou um experimento, ou uma teoria *omitindo a matemática seria simplificação ou distorção?*

Um conflito que é praticamente um dilema a enfrentar refere-se à *textualização* da narrativa histórica. Se optamos por construir um texto histórico muito simplificado, de modo a dar publicidade ao Saber a Ensinar para o nível de escolaridade enfocado, corremos o risco de incorrer na pseudo-história. Por outro lado, um relato profundamente comprometido com a busca pela fidedignidade histórica pode tornar-se incompreensível para os alunos. Encontrar o caminho do meio exige persistência, uma dose de criatividade e disponibilidade para ceder, ora de um lado, ora de outro. Temos assim *compreensibilidade versus rigor histórico*.

Questionar a visão exclusivamente empírico-indutivista da ciência, discutindo os aspectos selecionados da história da ciência implica em riscos potenciais. Criticar uma visão exclusivamente empírica da ciência pode transmitir uma enganosa *desvalorização do papel da experimentação* na ciência. Além disso, quando se mostra uma ciência historicamente construída, teorias que não podem ser provadas, a existência de diferentes modelos explicativos para um fenômeno natural, e ainda, problemas e limitações nas teorias aceitas por significativos períodos de tempo pode-se sugerir, ou mesmo fomentar, o *subjetivismo*, que pode implicar numa perspectiva relativista. Temos assim o conflito/dilema *objetivismo versus subjetivismo*.

Os conflitos e obstáculos previstos pelo quadro teórico estudado apontam alguns desafios e riscos na abordagem histórico-epistemológica no ensino de ciências. Uma reflexão teórica preliminar apontou para alguns conflitos ou dilemas:

- extensão *versus* profundidade;
- simplificação *versus* distorção;
- compreensibilidade *versus* rigor histórico;
- objetivismo *versus* subjetivismo.

Uma análise teórica na construção do Saber a Ensinar pode apontar caminhos para lidar com os desafios em termos de obstáculos estruturais, conflitos e dilemas. No entanto, podem-se receber contribuições importantes de uma vivência prática no processo de ensino–aprendizagem dessas dificuldades. Desse modo, realizamos uma análise empírica para complementar a abordagem teórica no enfrentamento de nosso problema de pesquisa, com a implementação de um curso piloto no ensino médio. A parte empírica consistiu na elaboração, acompanhamento da aplicação e análise de uma seqüência de atividades didáticas que utilizam a história da ciência para discutir aspectos epistemológicos da construção do conhecimento científico.

As metodologias envolvidas no desenvolvimento das atividades e no material de um curso piloto, bem como na sua implementação, tomada e análise de dados serão descritas no próximo capítulo.

3. Desenvolvimento da pesquisa

Lá isso, gostamos, sim senhor, mas este é um falar dos dentes para fora, que o coração não entendeu, não chega a ser mentira o falar da boca, mas sim ausência.

Saramago, Memorial do Convento.

As intrincadas e complexas relações que caracterizam os fenômenos educacionais e suas diversas possibilidades de análise metodológica constituem um aspecto fundamental nas pesquisas em Ensino de Ciências. A busca pela coerência e consistência entre marcos teóricos, metodológicos e epistemológicos tem sido objeto de reflexão entre grupos de pesquisa, encontros e publicações internacionais (SANTOS e GRECA, 2006, p. 9-11).

A variedade dos referenciais teóricos utilizados e a conseqüente diversidade metodológica estão relacionadas à natureza das temáticas pesquisadas atualmente em relação ao Ensino de Ciências. (SANTOS e GRECA, 2006, p. 10).

É necessário que as perguntas de pesquisa, os referenciais teóricos e metodologias escolhidas estejam coerentemente relacionados. Desse modo, não é possível estabelecer uma metodologia sem considerar as hipóteses que alicerçam os problemas da pesquisa e seus objetivos (CARVALHO, 2006, p. 13).

Faremos a seguir uma rápida retomada dos objetivos desta pesquisa e apontaremos suas etapas de desenvolvimento, de modo a esclarecer e justificar a metodologia de análise selecionada, que será apresentada em seguida.

3.1. O desenvolvimento da pesquisa

O objetivo desta pesquisa é analisar a utilização da história da ciência na educação científica com o propósito de discutir aspectos empíricos da natureza da ciência (veja seção 1.2.1). Busca-se identificar desafios, obstáculos e conflitos na transposição de conteúdos histórico-epistemológicos para o ensino médio. Pretende-se que os resultados da análise dos dados coletados ao longo do processo possam contribuir em dois âmbitos: primeiro, para a produção do conhecimento acadêmico sobre o uso da história e filosofia da ciência em ambiente escolar. Segundo, espera-se que os resultados possam ser úteis para a elaboração de outras propostas práticas visando a objetivos pedagógicos

semelhantes. Assim, objetiva-se também contribuir para a melhoria dos processos de elaboração de materiais didáticos para os alunos, na forma de seqüências de atividades didáticas e textos de apoio para o professor.

3.1.1. A estratégia adotada

A estratégia metodológica adotada para desenvolver essa pesquisa foi confrontar os desafios previstos a partir dos quadros teóricos utilizados com as dificuldades vivenciadas na construção de um curso piloto e na sua aplicação em sala de aula. Desse modo, as questões metodológicas norteadoras da pesquisa foram desenvolvidas em dois níveis distintos, um teórico e outro empírico, a saber:

1. análise teórica comparativa das exigências didático-pedagógicas e histórico-epistemológicas;
2. desenvolvimento de uma parte empírica que compreende a elaboração, acompanhamento da aplicação e análise de um curso piloto para o ensino médio.

3.1.2. A dimensão teórica da pesquisa

A dimensão teórica da pesquisa contempla exigências de natureza didático-pedagógicas que tomam como pressuposto a necessidade de transformação dos saberes de referência, no caso sobre a ciência, para o ambiente escolar (CHEVALLARD, 1991; ver capítulo 2). Acrescentam-se a isso os requisitos historiográficos da história da ciência visando evitar distorções (ALLCHIN, 2004; KRAGH, 1987; MARTINS, L., 2005; MARTINS, R., 2001; WHITAKER, 1979), e as recomendações epistemológicas das pesquisas educacionais (GIL PEREZ *et al.*, 2001; LEDERMAN, 2007; MCCOMAS *et al.*, 1998; PUMFREY, 1991) apontando para propósitos pedagógicos na formação dos alunos, como tratado no capítulo 1.

A partir da confluência das necessidades desses diferentes campos do conhecimento, estabelecemos teoricamente alguns obstáculos a enfrentar, riscos potenciais a assumir na construção de uma proposta e os dilemas inerentes aos processos de escolha (ver capítulo 2). Esses obstáculos e riscos foram confrontados com os dados obtidos no desenvolvimento da parte empírica da pesquisa.

3.1.3. A dimensão empírica da pesquisa

A parte empírica do trabalho, apresentada neste capítulo, incluiu a elaboração de uma seqüência didática, que constituiu um curso piloto aplicado em uma escola básica. Buscava-se vivenciar as dificuldades e propor possíveis soluções para alguns dos problemas intrínsecos ao uso da história e filosofia da ciência no ambiente escolar. Esta parte empírica está dividida em etapas distintas (que serão apresentadas ao longo deste capítulo):

- selecionar o conteúdo da história da ciência que atenda aos propósitos da pesquisa;
- desenvolver o material para os alunos a ser utilizado nas aulas;
- desenvolver o material de apoio ao professor;
- desenvolver as atividades da seqüência didática que serão aplicadas em sala de aula;
- contatar e apresentar a proposta do curso ao professor de física do ensino médio;
- preparar o professor e dar suporte para a aplicação do curso;
- acompanhar a aplicação do curso e a gravação das aulas em vídeo e tomar notas de campo;
- analisar os dados obtidos.

3.1.4. Análise dos processos de interação na relação didática

Uma vez estabelecidos alguns obstáculos, riscos e conflitos ou dilemas a partir do quadro teórico (ver capítulos 1 e 2), partimos para investigar as dificuldades em situação real de sala de aula, constituindo a base empírica da pesquisa. O primeiro grupo de resultados foi estabelecido durante o desenvolvimento do curso piloto, em várias de suas etapas. Foi possível identificar obstáculos estruturais, que serão apresentados e discutidos no próximo capítulo.

Na análise dos dados obtidos na aplicação do curso piloto desejávamos investigar como se estabelecem as relações entre os sujeitos (incluindo-se aí professor e alunos) e o saber no uso da história e filosofia da ciência em ambiente escolar. Buscamos analisar alguns processos de interação alunos-professor-saber, mediados pelas estratégias pedagógicas propostas, visando entender se, e em que medida, elas contribuíram para atingir nossos propósitos pedagógicos. Além disso, buscamos identificar, ao longo dessas

análises, como as propostas enfrentavam os desafios identificados durante a elaboração do curso.

Acompanhar o comportamento dos alunos em situações de sala de aula permitiu-nos avaliar as escolhas feitas para lidar com os obstáculos enfrentados. Buscamos analisar como tais escolhas contribuíram para a “adequada” utilização da história da ciência na escola básica, visando nortear transposições futuras da discussão epistemológica para a sala de aula.

Buscamos avaliar o processo como um todo, porém selecionando situações do curso que esclarecessem ou exemplificassem as questões enfocadas nesta pesquisa. Interessava-nos particularmente entender como os alunos se envolveram com a problemática proposta e se as atividades motivaram a reflexão dos alunos, por exemplo. A questão da pesquisa volta-se, desse modo, ao processo tanto quanto ao produto (ERICSON, 1998).

Trata-se de uma análise voltada a uma situação específica, única, com as características e particularidades do seu contexto de aplicação. Nessa perspectiva, os dados produzidos propiciaram um estudo analítico-descritivo fundamentado por uma metodologia qualitativa de pesquisa. A metodologia escolhida contém traços de um estudo de caso, na perspectiva de que a aplicação do curso ocorreu em um contexto singular e idiossincrático, mas visando resultados capazes de aumentar o conhecimento sobre a questão enfocada e serem extrapolados para outros contextos educacionais.

Tanto os resultados almejados como os dados produzidos indicam a análise de tipo qualitativa como a mais adequada aos propósitos da pesquisa (CARVALHO, 2006, p. 24-9). Apresentaremos na próxima seção algumas considerações sobre a metodologia qualitativa de análise nas pesquisas educacionais.

3.1.5. Metodologia qualitativa de análise

A abordagem qualitativa em pesquisas educacionais, como nas demais atividades humanas, traz consigo uma carga de valores, interesses e princípios pessoais que orientam o trabalho do pesquisador, cuja visão de mundo norteia os pressupostos que conduzem sua abordagem investigativa.

Em educação as coisas acontecem de maneira tão inextricável que fica difícil isolar as variáveis envolvidas e mais ainda apontar claramente quais são as responsáveis por determinado efeito. (LÜDKE e ANDRÉ, 1986, p. 3).

Deve-se perseguir o rigor do trabalho científico recorrendo a critérios que conferem veracidade às informações construídas e permitem minimizar a influência de valores pessoais, seja utilizando as metodologias quantitativas mais tradicionais ou a metodologia qualitativa. Tais critérios são estabelecidos mediante as características de um problema de pesquisa e os objetivos pretendidos para a análise dos dados. Vejamos inicialmente alguns aspectos que caracterizam uma metodologia qualitativa de análise de dados (ERICSON, 1998).

A pesquisa educacional qualitativa supõe o contato direto do pesquisador com seu objeto de estudo, em um trabalho de campo que o coloque imerso no ambiente onde ocorre sua questão de pesquisa (ERICSON, 1998; LÜDKE e ANDRÉ, 1986). De modo geral, as principais características das pesquisas qualitativas são:

- Adotar o ambiente natural como fonte de dados e promover um contato mais direto do pesquisador com o mesmo.
- Utilizar uma diversidade de dados descritivos, como relatos de entrevistas, citações, condições do ambiente, fotografias, entre outros, com o objetivo de caracterizar a situação da maneira mais completa possível.
- Focalizar mais o processo do que o produto.
- Buscar compreender o ponto de vista dos participantes do estudo.
- Analisar e tirar conclusões a partir dos dados.

Além dos documentos extraídos das situações de análise, os dados coletados devem descrever o contexto em que ocorreram as relações interpessoais entre sujeitos e suas interações com o saber. Outros recursos, como transcrição de entrevistas e/ou gravações em vídeos, e as imagens produzidas por ocasião da interação entre pessoas e a questão da pesquisa, podem fornecer informações importantes para a análise. É importante que o pesquisador esteja atento ao maior número possível de elementos que possam interagir com a situação estudada, buscando registrá-los, pois uma variável que poderia mostrar-se trivial em um primeiro momento pode se revelar fundamental ao longo do processo de

análise. A descrição detalhada da situação investigada permite contribuir para a fidedignidade dos dados obtidos (ERICSON, 1998; LÜDKE e ANDRÉ, 1986, p. 11-12).

Não existe, contudo, uma única abordagem qualitativa para as pesquisas em ensino de ciências. Lüdke e André (1986) realizaram, na década de 1980, um estudo que revelava as principais tendências em metodologias qualitativas que vinham sendo estruturadas e adotadas pelas pesquisas educacionais. As autoras apresentam as características gerais de uma pesquisa qualitativa e depois especificam duas subdivisões: a pesquisa etnográfica e os estudos de caso. Cada uma delas possui os atributos gerais e mais algumas características específicas que as diferenciam.

Carvalho (2006) aponta alguns pontos de confluência e outros de divergência com a visão apresentada por Lüdke e André (1986). Carvalho (2006) relata o aprimoramento metodológico que os grupos atuais de pesquisa em ensino de ciências têm desenvolvido nas últimas décadas. Isso permitiu rever alguns aspectos gerais descritos pelas autoras na década de 1980 e agregar contribuições para esse universo metodológico qualitativo. Por exemplo, enquanto Lüdke e André (1986) apontam o pesquisador como principal instrumento de coleta dos dados, Carvalho (2006) lhe atribui um papel fundamental na seleção do que a câmera de vídeo registrará, pois, em seus estudos, esse é o principal instrumento de coleta. As informações videogravadas são os registros das imagens e das falas que serão posteriormente convertidas em dados e analisadas. Carvalho (2006) descreve benefícios de adotar as gravações em vídeo como dados de pesquisa, como a possibilidade de ver e rever as aulas inúmeras vezes. Essa repetição permite que se identifiquem aspectos que não foram possíveis durante uma observação de campo, dada a complexidade do fenômeno.

Os referenciais teóricos da pesquisa, conhecimentos prévios do pesquisador e sua visão de mundo definem, para Carvalho (2006), o que se quer e o que se pode observar. Para Lüdke e André (1986), os objetivos pretendidos com a análise de dados são estabelecidos pelo quadro teórico da pesquisa, mas é possível que algumas hipóteses a investigar surjam ao longo da análise.

O fato de não existirem hipóteses ou questões específicas formuladas a priori não implica a inexistência de um quadro teórico que oriente a coleta e a análise dos dados. O desenvolvimento do estudo aproxima-se a um funil: no início há questões ou focos de interesse muito

amplos, que no final se tornam mais diretos e específicos. O pesquisador vai precisando melhor esse foco à medida que o estudo se desenvolve. (LÜDKE e ANDRÉ, 1986, p. 13).

O contato direto do pesquisador com seu objeto de análise permite que ele atue na coleta de dados, identificando e registrando situações que se revelam cruciais para a compreensão do fenômeno educacional. Nesse sentido, ele não se limita a identificar momentos em que teria ocorrido a aprendizagem de certo conteúdo, mas a ele interessa o processo de interação entre sujeitos e saberes que concorreu para momentos de aprendizagem. Nesse momento de interação, o pesquisador pode identificar aspectos imprevistos, levantar hipóteses, questões e mesmo vislumbrar respostas ou soluções para algum problema da pesquisa.

Segundo Carvalho (2006, p. 13-14), estudar os processos de ensino e aprendizagem que ocorrem em sala de aula requer uma compatibilidade indissolúvel entre o problema, o referencial teórico sobre o qual esse problema é entendido e a metodologia utilizada para resolvê-lo. Tal metodologia orientará a coleta de dados de modo a cuidar para que estes respondam com a maior confiabilidade e precisão possível às questões levantadas. Deve-se realizar a descrição cuidadosa da metodologia, mostrando o processo detalhado de coleta e análise de dados, pois isso permitirá que o estudo seja replicado em situações semelhantes, requisito fundamental a um estudo científico.

Outro aspecto fundamental na metodologia qualitativa é a triangulação dos dados, que significa olhar para o mesmo fenômeno a partir de fontes distintas (ERICSON, 1998). Essas fontes podem incluir material escrito pelos alunos, entrevistas com professores e/ou alunos, notas de campo, dados videogravados etc. Comparar notas de campo com dados videogravados e uma análise documental das produções escritas pelos alunos, por exemplo, contribui para aumentar a credibilidade dos dados e da análise.

As situações de pesquisa que requerem uma abordagem qualitativa voltam-se para o processo de interação entre sujeitos e saberes, tanto quanto se preocupam com o produto final de dada situação a investigar. Nesse tipo de estudo procura-se identificar momentos reveladores de como conteúdos e estratégias propostas podem ter contribuído para os propósitos pedagógicos visados. Esses momentos, chamados de episódios de ensino, são então selecionados para um estudo mais detalhado.

Considera-se um episódio de ensino um momento que envolve a situação que queremos investigar. Pode ser a aprendizagem de um conceito, a situação dos alunos levantando hipóteses num problema aberto, as falas dos alunos após uma pergunta desestruturadora, etc. Ele é parte do ensino, um recorte feito na aula, uma seqüência selecionada que se caracteriza por processos de busca da resposta do problema em questão. A característica fundamental é que seja um ciclo completo, no processo de interação entre sujeitos, mediado pelo objeto do conhecimento. (CARVALHO e GONÇALVES, 2000, p. 73).

Tanto as questões de pesquisa previamente formuladas como as hipóteses que surgem no contato do pesquisador com o objeto de estudo, e também percepções do pesquisador durante a análise de dados, selecionarão e delimitarão os episódios de ensino para compor a análise.

Em análises qualitativas, é importante planejar detalhes da tomada de dados. A observação deve ser controlada e sistemática para que se torne um instrumento válido e fidedigno de investigação científica. No caso de dados videogravados, até a posição da câmara deve ser objeto de reflexão, pois ela deverá focalizar a sala de aula, ou um grupo de alunos, ou o professor, dependendo dos problemas da pesquisa em questão (ERICSON, 1998; CARVALHO e GONÇALVES, 2000). É necessário cuidar das questões éticas, solicitando autorização por escrito aos sujeitos envolvidos ou aos responsáveis legais (no caso de alunos menores de idade), pois os dados envolvem a imagem, a fala e os escritos de alunos e professores.

Quando se deseja avaliar o processo de inter-relação dos alunos, professor e determinado saber, é fundamental que as atividades em sala de aula possam favorecer a sua participação e o seu envolvimento. Desse modo, as aulas, cursos, atividades ou seqüência de atividades propostas devem ser elaboradas mediante os referenciais teóricos da pesquisa, o problema que se busca investigar e, também, visando promover a manifestação dos alunos em discussões, debates e trabalhos escritos.

Apresentamos nesta seção considerações sobre a metodologia qualitativa de pesquisa utilizada pelas pesquisas em ensino de ciências. Na próxima seção, faremos a descrição de como procedemos na coleta dos dados para esta pesquisa.

3.1.6. Obtenção dos dados no contexto da análise qualitativa

A criação, a aplicação e a análise do curso piloto configuraram-se como uma experiência que proporcionou a reflexão sobre a didatização dos conteúdos de história e filosofia da ciência ao ambiente escolar. Muitos pontos críticos dessa interface haviam sido apontados pela literatura pertinente e puderam ser explicitados na parte empírica da pesquisa.

Os dados advindos da parte empírica constituem as informações oriundas da aplicação do curso piloto na sala de aula. A análise desse material foi feita levando-se em consideração informações e resultados oriundos da fase de produção/elaboração dos recursos para o curso piloto, assim como da preparação da professora que o ministrou. A confluência dessas distintas informações foi determinante para a definição da problemática que serviria de ponto de partida para a análise dos dados.

Os desafios enfrentados no uso da história da ciência para tratar a natureza da ciência foram definidos na elaboração do curso piloto e contribuíram para orientar a busca e construção dos episódios a serem investigados. A descrição desses desafios são também dados qualitativos e teve o pesquisador como principal instrumento de coleta (ERICSON, 1998).

Os dados coletados nesta pesquisa vieram a partir de três fontes distintas, visando sua triangulação:

- a gravação das aulas em vídeo;
- as respostas escritas pelos alunos aos questionários e avaliações em sala de aula;
- as anotações de campo efetuadas pela pesquisadora durante as aulas.

O planejamento da coleta desses dados levou em conta as hipóteses que alicerçam os propósitos da pesquisa discutidos nos capítulos 1 e 2 e sintetizados na seção 3.1.1 (CARVALHO, 2006, p. 24-9). Buscamos selecionar situações que elucidaram quanto o curso favoreceu as discussões pretendidas sobre a natureza da ciência, tendo em vista o comportamento dos alunos em situações de sala de aula. Permeando tais discussões, pudemos avaliar como se materializaram algumas das propostas elaboradas para lidar com os desafios vivenciados na elaboração do curso.

Visitamos a escola antes do início da aplicação, para conhecer a direção, os alunos e verificar as instalações e demais recursos físicos necessários ao planejamento das gravações. Buscou-se posicionar a câmera para focalizar mais os alunos, mas foi possível em alguns momentos focalizarmos também a professora. Isso foi de extrema importância, pois, quando se olha o processo como um todo, importam as interações que ocorrem na sala de aula entre sujeitos e o saber, o modo como as questões foram colocadas, discutidas e problematizadas. Alguns dados foram perdidos durante as gravações devido ao barulho externo à sala de aula. Houve pequenas interrupções em função de falhas técnicas do equipamento, mas isso não prejudicou a qualidade nem a quantidade dos dados.

Utilizamos basicamente como dados as gravações em vídeo (e suas transcrições), mostrando o detalhamento de como o processo de ensino e aprendizagem se desenvolveu em ambiente escolar, as anotações de campo e o material escrito pelos alunos. Buscamos transcrever fielmente as respostas escritas pelos alunos e as suas falas gravadas, bem como as da professora. Não foi realizada nenhuma correção gramatical. Os nomes dos alunos foram substituídos por pseudônimos buscando preservar sua identidade. Os alunos que não conseguimos identificar por estarem fora do posicionamento da câmera, ou atrás de um colega, chamamos de aluno ou aluna ou simplesmente A, nas transcrições que não foram utilizadas para esta tese.

Os dados relativos às transcrições dos vídeos gravados estão organizados em quadros contendo quatro colunas, conforme esquema abaixo:

Quadro 1: Título: Data da aula e número do arquivo

(visando localizar os trechos selecionados nas gravações).

Turno	Tempo	Falas	Observações
As falas são divididas em turnos apresentados nesta coluna. Números são utilizados como referência para as falas que compõem a análise.	Tempo decorrido desde o início do arquivo transcrito. Possibilita termos idéia do tempo despendido nos diálogos.	Buscamos transcrever as falas fielmente. Aspectos que queremos destacar estão em negrito. As ocorrências não-verbais estão entre parênteses e em itálico.	Descrevemos as impressões e aspectos relevantes observados. Eventualmente registramos conclusões preliminares. Registros em itálico.

Os episódios de ensino selecionados para a análise foram denominados “eventos” com o objetivo de diferenciá-los dos episódios históricos, expressão utilizada amplamente ao longo do texto.

Buscamos registrar ao longo deste capítulo 3 a descrição de todas as etapas seguidas pela pesquisa, de modo a permitir sua réplica para outros contextos teóricos e aplicações empíricas (CARVALHO, 2006, p. 14). Uma vez esclarecidos os objetivos da pesquisa e a metodologia adotada para seu desenvolvimento, coleta e análise de dados, faremos agora a descrição das etapas de elaboração do curso piloto.

3.2. A elaboração do curso piloto

Como chegar ao coração dos alunos? Não seria um exagero dizer que esse é o sonho de todo educador. Os professores costumam sentir certo fascínio pelos conteúdos dos seus respectivos campos de especialidade, mas não é possível supor que tais conhecimentos provoquem o mesmo envolvimento nos alunos. Professores de física, de modo geral, ficam maravilhados ao tentar entender a luz, a matéria das estrelas, a imensidão vazia do ínfimo átomo... De que maneiras a humanidade vem tentando explicar o calor de uma vela, o gelo derretendo, as coisas caindo? “A natureza tem horror ao vazio, o homem é uma miniatura do universo, o éter atravessa os corpos transparentes, o átomo é um pudim de ameixas...”. Que incrível mergulhar nos mundos que davam sentido a essas idéias.

Mas e o outro? E o aluno? Como conquistá-lo para essas viagens no tempo? Que aspecto do conteúdo poderia motivá-lo? Como abordar esse conteúdo?

Os desafios enfrentados na criação do curso foram além da correta abordagem historiográfica no processo de descontextualização dos saberes de referência para a criação do Saber a Ensinar. Desejávamos envolver o aluno, despertar nele o fascínio pelos conteúdos, tornando sua a problemática pretendida. Naquele momento pareceu-nos que era possível recorrer a duas estratégias pedagógicas para isso, encontrar aspectos do conteúdo possivelmente interessantes para o estudante do ensino médio, e desenvolver atividades didáticas que pudessem ser “sedutoras” do ponto de vista dos alunos.

Depois de estabelecido o objetivo da parte empírica da pesquisa (ver seção 2.4), o quadro teórico ofereceu-nos o “mapa e a bússola” que guiariam nossa empreitada. Mas um caminho só se constrói percorrendo-o, abrindo trilhas na mata e vivenciando os desafios. Assim, temperando as ações com a utopia almejada e tecendo os fios do quadro teórico, fomos em busca de estratégias pedagógicas que materializassem um caminho possível.

As questões que nos guiaram naquele momento foram: que conteúdo da história da ciência seria adequado aos nossos propósitos pedagógicos? Que aspectos poderiam favorecer as discussões sobre natureza da ciência pretendidas? Que recursos didáticos poderiam conquistar os alunos?

O objetivo adotado para a elaboração do curso piloto era utilizar a história da ciência para promover a discussão e reflexão sobre alguns aspectos selecionados da natureza da ciência. Pretendia-se que ao final do curso o aluno tivesse refletido sobre algumas componentes da natureza da ciência indicadas na seção 1.2.4.

Tendo em vista tal objetivo, partimos para a seleção do tema histórico, dos conteúdos a enfatizar, da elaboração dos materiais e para a criação das atividades pedagógicas. Tais etapas serão descritas nas próximas seções.

3.2.1. A escolha do tema histórico

A substituição da teoria corpuscular da luz pela teoria ondulatória no início do século XIX tem sido tratada em diversas situações de ensino como um bom exemplo de revolução científica (LEVITT, 2000; KUHN, 1997). Entretanto, a importância que o conceito de éter luminífero desempenhou nessa disputa histórica nem sempre recebe destaque nas propostas de ensino. Em geral, quando são abordados aspectos históricos desse debate, salienta-se a importância que a matematização de experimentos físicos conferia à teoria ondulatória da luz (LEVITT, 2000, p. 50), e/ou o sucesso explicativo que a teoria ondulatória trazia para alguns experimentos que não eram interpretados satisfatoriamente pela teoria corpuscular (PIETROCOLA, 1993b).

Os complexos processos envolvidos nesse episódio são pouco explorados pela literatura educacional. Tanto entre os defensores da teoria ondulatória para a natureza da luz como entre os corpuscularistas. Havia controvérsias acerca de conceitos, idéias e prescrições metodológicas (CANTOR e HODGE, 1981).

Discutir certas características que permearam esse episódio histórico pareceu-nos um recurso interessante para promover uma reflexão no ambiente escolar sobre a natureza da ciência. Os conceitos de éter desempenhavam papéis explicativos nas teorias do período e possuíam também pressuposições metafísicas relevantes a considerar (CANTOR e HODGE, 1981; NERSESSIAN, 1984). Alguns aspectos da relação entre os conceitos de éter e as

teorias da luz pareceram-nos interessantes para serem discutidos pelos alunos e envolveriam vários aspectos da natureza da ciência, por exemplo:

- os critérios de cientificidade mudam ao longo da história da ciência;
- há premissas para a aceitação de entes inobserváveis na construção de modelos científicos;
- a observação dos fenômenos sozinha não era suficiente para decidir qual a melhor teoria;
- existe a influência de fatores não-científicos na construção do pensamento científico;
- a natureza não fornece dados suficientemente simples que permitam interpretações sem ambigüidades;
- uma observação significativa não é possível sem uma expectativa preexistente;
- a ciência é uma atividade humana influenciada pelo contexto sociocultural de cada época;
- teorias científicas não podem ser provadas e não são elaboradas unicamente a partir da experiência;
- o conhecimento científico baseia-se fortemente, mas não inteiramente, na observação, evidência experimental, argumentos racionais e ceticismo.

Os experimentos realizados na época motivavam debates sobre a explicação para a natureza da luz, em vez de permitir uma única explicação possível para os fenômenos (CANTOR e HODGE, 1981; MARTINS, no prelo; PIETROCOLA, 1993b). Havia praticamente um consenso entre os homens de ciência sobre os problemas de construir teorias baseadas em hipóteses e em entidades inobserváveis. Contudo, era impossível aceitar a teoria ondulatória naquela época sem admitir a existência do éter luminífero. Ainda que isso possa parecer “pouco científico” do ponto de vista atual, pareceu-nos educativo os alunos perceberem que os critérios que os homens de ciência adotam como válidos mudam de acordo com o contexto cultural amplo de cada época. Ademais, muitos especialistas enfatizam a importância do apoio político e material que Fresnel recebeu de Arago na elaboração e defesa de sua teoria ondulatória. Esse pode ser um exemplo da influência de fatores não-científicos na construção da ciência.

Desse modo, num primeiro momento, selecionamos como tema histórico para o curso certos aspectos do debate que envolveu a substituição da teoria corpuscular pela

ondulatória no início do século XIX. A contribuição de Fresnel nesse episódio e a relação entre o éter luminífero e as teorias da luz seriam pontos centrais a serem explorados.

Uma vez estabelecido o tema histórico a ser abordado, o próximo passo foi selecionar quais os conteúdos específicos que atenderiam aos objetivos pretendidos, sem desconsiderar as exigências didático-pedagógicas da sala de aula. Discutiremos a seguir como tentamos lidar com as seguintes questões: que aspectos deviam ser omitidos e quais seriam imprescindíveis de abordar? Qual o nível de profundidade adequado para a abordagem matemática? Seria possível tratar esse episódio tendo em vista os aspectos da natureza da ciência pretendidos omitindo a matemática? Isso seria uma simplificação ou uma distorção?

3.2.2. Os conteúdos selecionados

Iniciamos a elaboração do curso piloto com a preparação de um texto histórico voltado ao professor, tratando do conteúdo que daria embasamento ao curso. Nesse momento surgiu uma questão fundamental e que requereu a inclusão de novos conteúdos além dos pretendidos *a priori*. Inicialmente, a proposta de abordar os debates que envolveram o papel do éter luminífero na teoria ondulatória da luz no início do século XIX pareceu-nos adequada aos propósitos pedagógicos da pesquisa. Todavia, até que ponto os estudantes do ensino médio possuíam os pré-requisitos necessários para discutir um assunto tão complexo?

Não se deve assumir como pressuposto que o aluno conheça um pouco do processo envolvido na elaboração das teorias ondulatória e corpuscular ao longo da história, tampouco sobre a existência do éter luminífero e seu papel na construção de modelos científicos. Tornou-se imprescindível preparar o aluno para compreender os aspectos a serem problematizados, selecionando alguns momentos da história da óptica anteriores ao debate do século XIX que atenderiam a tal necessidade. O primeiro desafio a enfrentar foi selecionar conteúdos que poderiam preparar o aluno para entender os conceitos físicos envolvidos e as questões epistemológicas da época envolvidas na discussão.

Esse desenvolvimento valeu-se, naquele primeiro momento, de pressupostos teóricos da historiografia da história da ciência que sinalizavam os riscos da pseudo-história (ALLCHIN, 2004; MARTINS, 2004). Por outro lado, para atender as exigências educacionais, foi necessário levar em conta os processos de construção dos saberes

escolares, especialmente, o Saber a Ensinar (CHEVALLARD, 1991). Entretanto, foi bastante relevante a presença de critérios subjetivos, escolhas “intuitivas” de um conhecimento tácito adquirido ao longo dos anos de docência para lidar com certas questões. Nesse processo fomos guiados por dúvidas inerentes ao ofício do professor, tais como:

- Como abordar o conteúdo histórico-epistemológico buscando chegar ao coração do aluno?
- Como contribuir para que ele lide com a complexidade da discussão em torno do éter luminífero?
- Como capturá-lo para essa viagem no tempo?
- Como contribuir para que ele se aproprie da problemática?

Já que a opção pelo debate no início do século XIX envolvia entender a luz como partículas de matéria ou ondas em algum tipo de meio material, conhecer um pouco da teoria corpuscular de Isaac Newton e da teoria de tipo ondulatória de Christiaan Huygens poderia contribuir para isso. Seria interessante selecionar algumas informações sobre esse episódio histórico visando preparar o aluno quanto à compreensão dos pontos favoráveis e problemáticos em ambas as teorias. Pareceu-nos que tal episódio também permitiria introduzir a discussão sobre o éter luminífero de modo que pudesse ser compreensível ao aluno do ensino médio.

Certos aspectos dos dois episódios selecionados (elementos das teorias propostas no século XVII por Newton e Huygens para a natureza da luz e a aceitação da teoria ondulatória no início do século XIX) ainda pareciam complexos, exigindo a intermediação de instrumentos para discutir a natureza da luz, como o “famoso fenômeno das cores”, nome pelo qual a dispersão da luz branca pelo prisma era conhecida no século XVII. Pareceu-nos que seria interessante introduzir o tema recorrendo a algo que fosse próximo do universo cognitivo dos alunos, que os aproximasse da problemática e os envolvesse com o conteúdo. Surgiu a idéia de abordar a relação entre a natureza da luz e a visão, num contexto histórico em que houvesse o mínimo possível de interferência de equipamentos, instrumentos de medida e outros intermediários entre o homem e o fenômeno a ser observado. As teorias elaboradas por alguns filósofos gregos pareciam atender a esses propósitos. Entender um pouco das propostas dessas teorias não requer conhecer ferramentas matemáticas sofisticadas. Além disso, seria uma oportunidade para mostrar como o homem utilizou diferentes métodos na tentativa de explicar a natureza ao longo de

sua história. Um benefício adicional seria levar aos alunos algumas informações sobre as diferenças entre o pensamento mítico e o pensamento racional, buscando fugir das abordagens tradicionais e preconceituosas.

O conteúdo do curso piloto ficou estruturado em três episódios:

Episódio I: Um pouco sobre a luz na Antiguidade grega

1. O que é a luz? Como vemos o mundo?
2. Explicações muito antigas: mitos e filosofia.
3. A luz para os atomistas.
4. Empédocles e o raio visual.
5. Aristóteles e a qualidade dos corpos transparentes.
6. Pensando sobre a diversidade de teorias.

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

1. Revisão de fenômenos ópticos necessários à compreensão dos próximos assuntos tratados no curso: reflexão, refração e dispersão da luz.
2. O fenômeno das cores.
3. Huygens e o movimento no éter.
4. Newton e a possibilidade corpuscular para a luz.
5. A imagem da ciência no século XVIII.

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

1. Revisão de alguns fenômenos ópticos: sombras e difração; superposição e interferência.
2. O vazio e a importância do éter na teoria ondulatória.
3. Rompendo com a tradição corpuscular.
4. Os corpuscularistas e o prêmio de Fresnel.
5. O apoio de Arago.
6. A teoria de Fresnel e a aceitação da teoria ondulatória.

Apresentando as idéias de alguns filósofos gregos, enfocamos a relação “observação da natureza e a elaboração de hipóteses explicativas para os fenômenos”. Questionamos a observação neutra do mundo natural e enfatizamos como as concepções

das diferentes escolas de pensamento fundamentavam as explicações de seus filósofos sobre os fenômenos naturais (veja textos para os alunos no Apêndice C).

Os experimentos com prisma realizados por Newton permitiram refletir sobre a intermediação de instrumentos na observação dos fenômenos naturais, mostrando que não basta observá-los, mesmo com “recursos tecnológicos”, para elaborar teorias que sejam consensuais. Pudemos argumentar que os filósofos naturais admitiam pressupostos teóricos na elaboração de hipóteses explicativas. O debate entre a teoria de tipo ondulatória de Huygens e a teoria corpuscular de Newton mostrou que há pontos favoráveis e limitações nas teorias científicas.

Finalmente, no terceiro episódio, chegamos ao propósito inicial: rever os aspectos epistemológicos pretendidos, discutindo a problemática dos entes inobserváveis na elaboração de teorias científicas; mostrar que o modo de fazer ciência muda ao longo da história; ponderar que há a influência de fatores não-científicos na construção do conhecimento, além de outras contribuições, que podem ser percebidas quando se analisam o planejamento da seqüência didática (Apêndice C.1) e os textos para os alunos (Apêndice C.2).

Esses três episódios foram selecionados buscando atender aos nossos propósitos pedagógicos. Outros momentos da história da óptica poderiam ter sido selecionados? Claro que sim. A articulação que foi dada ao tema é apenas uma entre tantas possibilidades. Sabemos que nossa escolha excluiu momentos relevantes da história da óptica como a construção de instrumentos ópticos e as grandes contribuições dos árabes ocorridas durante a Idade Média, destacando Al-Hazen, por exemplo. Abordar esse período permitiria criticar a visão corrente de que a Idade Média teria sido a “idade das trevas”, além de destacar a participação de diversos povos na construção da ciência.

Optamos por estabelecer um recorte bem delimitado de cada um dos três episódios, mas utilizar algum recurso que permitisse apresentar uma visão panorâmica de sua localização ao longo da história. Desse modo, fizemos breve apresentação factual de alguns acontecimentos durante a Idade Média e ao longo do século XVIII. Essas duas pequenas sínteses tinham dois objetivos: mencionar algumas contribuições árabes para óptica durante o Medievo e relatar brevemente a relevância da metodologia newtoniana ao longo do século XVIII, preparando os estudantes para compreenderem alguns aspectos tratados no terceiro episódio.

Conforme discutimos no capítulo 1, adotamos a perspectiva historiográfica da história da ciência, que defende o severo recorte de seus episódios, seus temas e suas questões para a elaboração de narrativas. Tais recortes foram obedecidos na abordagem dos três episódios tratados, contudo, consideramos que os dois relatos factuais de certos fatos relevantes entre eles poderiam ser úteis para permitir melhor compreensão do tema por parte dos estudantes. Buscou-se mediar as duas exigências: as da historiografia da história da ciência, perseguindo uma abordagem crítica dos fatos, e as necessidades educacionais do nível de profundidade adequado ao ensino médio. Essas breves narrativas factuais da história da ciência ficaram restritas a duas “pontes” entre os períodos, deixando claro que era apenas uma visão superficial. Não se trata de uma reconstrução racional, mas apenas mencionar alguns fatos relevantes ligados ao tema estudado, ocorridos fora dos recortes históricos adotados.

É importante destacar que o resultado dessa versão histórica não pode ser considerado como um trabalho na área de história da ciência, nem é esse o objetivo desta pesquisa. Os textos para o professor (Apêndice A) e para os alunos (Apêndice C) configuram-se como Saber a Ensinar (CHEVALLARD, 1991). Eles pretendem trazer o conteúdo histórico selecionado para o ambiente educacional, colocando elementos que dão subsídios para a condução da seqüência didática.

O texto para o professor traz mais informações que os textos dos alunos. Incluímos, por exemplo, uma noção das idéias de Platão sobre a luz, aspectos do corpuscularismo de Gassendi e elementos da teoria cartesiana sobre a natureza da luz, que não foram abordados com os alunos. Além disso, o conteúdo apresentado ao aluno é tratado com mais profundidade no texto para o professor. Acreditamos que ele necessita saber de mais aspectos que influenciaram o desenvolvimento das teorias sobre a natureza da luz de Huygens e Newton, por exemplo, para poder apresentá-las aos alunos, além de entender que ocorreram outros importantes debates e desenvolvimentos na óptica do século XVII.

O texto histórico para o professor (Apêndice A) apresenta a linha condutora do curso e traz o conteúdo a ser tratado em cada bloco temático, ressaltando as questões acerca da natureza da ciência. Foi pensado para ser complementado pela bibliografia necessária elencada para cada tema abordado. Os alunos receberam uma versão mais sucinta, com menor número de informações e mais diretamente ligada às atividades desenvolvidas em sala de aula (Apêndice C).

3.2.3. Pressupostos para a preparação do curso piloto

Durante os quatro meses que antecederam o curso, tínhamos reuniões semanais com a professora que iria aplicá-lo, quando apresentamos a proposta, o conteúdo e os objetivos da pesquisa. Discutimos questões éticas e solicitamos a autorização da direção da escola e dos pais dos alunos para gravação e utilização das imagens na pesquisa. Além disso, a professora falou-nos um pouco da escola, dos alunos e alguns de seus hábitos. Perguntamos também sobre os conteúdos de física que os alunos haviam estudado, o que necessitaria de uma revisão e ainda conteúdos de óptica e ondas que eles não conheciam. Todas essas informações foram importantes na seleção de conteúdos, na elaboração dos textos e na construção das atividades, conforme será discutido nas próximas seções.

O curso piloto foi aplicado em uma turma do terceiro ano do ensino médio em uma escola pública na zona sul da cidade de São Paulo. Tal escola trabalha com o método modular de disciplinas, que consiste em organizar as disciplinas em períodos de dias subsequentes, colocando o total de aulas do bimestre de cada disciplina em um único bloco. Utilizamos 20 horas-aula, com duração de 50 minutos cada, constituindo um módulo de 10 dias úteis com aulas duplas, em setembro de 2007. Havia 43 alunos matriculados, mas apenas 38 assistiam às aulas e freqüentavam a escola.

As características da escola onde o curso foi aplicado e seu sistema modular de disciplinas influenciaram alguns pressupostos na elaboração do curso piloto. Por exemplo, não era possível planejar atividades que requisitassem certo tempo entre uma aula e outra, como, realizar pesquisas, preparar seminários etc. Outro dado relevante foi o fato de os alunos não terem o hábito de leitura e raramente fazerem lição de casa, portanto, não se poderia contar com leituras fora da classe. Tiveram um curso de física cujos únicos recursos didáticos eram: a lousa, o giz e a criatividade da professora. Eles nunca utilizaram materiais didáticos com ilustrações ou outros recursos visuais, e aprenderam rudimentos da óptica geométrica com o que a professora conseguia representar na lousa. Desse modo, incluímos algumas imagens e representações de alguns fenômenos ópticos nas apresentações em *slides* que antecederiam a leitura dos textos.

3.2.4. Desenvolvimento dos textos para os alunos

O conteúdo do curso piloto para os alunos foi desenvolvido em oito pequenos textos e um roteiro para uma peça de teatro. Buscou-se respeitar a metodologia prescrita

pela nova historiografia da ciência (MARTINS, L., 2005), sem perder de vista que se trata da elaboração de um saber escolar, e não de um estudo especializado voltado para os historiadores da ciência.

Os textos do curso piloto para os alunos foram os seguintes (Apêndice C):

Texto 1: A filosofia e as explicações para o funcionamento da natureza.

Texto 2: Um pouco sobre a luz na Antiguidade grega.

Texto 3: O frágil bebê que se tornou o grande filósofo natural.

Texto 4: Fim do século XVII: corpúsculos ou pulsos no éter?

Texto 5: Os pulsos no éter de Huygens.

Texto 6: A teoria corpuscular de Newton.

Texto 7: A luz e o Século das Luzes.

Texto 8: O éter e a natureza da luz (Roteiro para teatro).

Texto 9: As teorias da luz e o éter luminífero no início do século XIX.

A utilização desse material na sala de aula ocorreu junto com a seqüência de atividades didáticas apresentada na próxima seção. Os estudantes liam os textos junto com a professora (visando garantir que todos os lessem) somente depois de terem realizado algum tipo de interação com seu conteúdo. Desse modo, cada texto trazia uma sistematização das idéias que haviam sido problematizadas anteriormente por meio de diferentes estratégias pedagógicas.

Buscou-se promover o contato do aluno com o conteúdo selecionado da natureza da ciência tanto nos três episódios históricos como utilizando diversos recursos educacionais. Isso permitia ao aluno rever os conhecimentos sobre a ciência em distintos contextos históricos, refletindo sobre cada aspecto em diferentes perspectivas. Como as aulas da seqüência didática ocorreram em 10 dias subseqüentes, a quantidade de informação possível de ser trabalhada é limitada, pois é necessário dar certo tempo ao aluno para rever e amadurecer os conteúdos e discussões. Assim, buscamos desenvolver textos e atividades que propiciassem retomar certos problemas já levantados anteriormente para promover diversos momentos de interação entre o aluno e determinado conteúdo do Saber a Ensinar (Apêndice C). Tínhamos a intenção de favorecer o gradual amadurecimento dos estudantes

com relação aos conteúdos sobre a natureza da ciência, além de permitir uma revisão desses conceitos aos alunos que não os tivessem compreendido.

As questões colocadas ao final dos textos pretendiam ser provocativas, criando conflitos, levantando polêmicas e levando os alunos a refletir sobre os temas tratados (Apêndice C.1). Não são questões meramente interpretativas, ou seja, não se espera que os estudantes encontrem todas as respostas no texto, mas que reflitam, questionem, discordem e argumentem a partir dele, colocando o seu ponto de vista. As expectativas acerca da profundidade de tais reflexões, bem como o nível de argumentação esperado, eram adequadas ao contexto escolar do ensino médio e ao grau de escolaridade dos alunos.

Optamos por questionar um mesmo aspecto do conteúdo sobre a ciência de modos distintos em um mesmo texto. Colocamos duas questões diferentes sobre um mesmo aspecto buscando levar o aluno a repensar sua opinião, com o intuito de reforçar sua interação com cada problemática levantada. Tal estratégia mostrou-se produtiva com a maioria da sala, embora alguns alunos tenham percebido tratar-se da mesma questão.

3.2.5. Desenvolvimento da seqüência de atividades didáticas

Desenvolvemos diferentes atividades didáticas para o curso, buscando torná-lo interessante para o estudante do ensino médio. Nosso intuito era envolver o aluno com o conteúdo, provocando-o a tomar para si os problemas levantados, tornando-o partícipe do processo. Como dissemos anteriormente, levamos em consideração o contexto da escola que trabalha com o sistema modular, em que as aulas acontecem em dias consecutivos. Tais atividades estão descritas no planejamento do curso no Apêndice C e aqui serão apresentadas e comentadas sucintamente:

1. Colocando na linha do tempo.
2. Quebra-cabeça com o texto 1.
3. *Slides* com as teorias da luz na Antiguidade.
4. Texto 2 com discussão das questões em grupo.
5. Quebra-cabeça com o texto 3.
6. Imagens e representações de fenômenos ópticos em *slides*.
7. Demonstração experimental de fenômenos ópticos.
8. *Slides* com teorias para a natureza da luz no século XVII.
9. Texto 4 e resolução das questões.

- 10 Textos 5 e 6 para a preparação do debate.
11. Debate entre grupos defendendo teorias concorrentes.
12. Quebra-cabeça com texto 7.
13. Apresentação de teatro.
14. Demonstração experimental de fenômenos ópticos.
15. Animação *Dr. Quantum* – trecho inicial.
16. *Slides* com conteúdo do episódio III.
17. Texto 9 com discussão das questões em grupo.
18. Avaliação com consulta inspirada na “prova operatória”.
19. Festival cultural.

A seguir, explicitaremos cada uma dessas atividades:

1. A primeira atividade do curso foi a linha do tempo. Foram distribuídos 19 cartões aos alunos com eventos históricos bem conhecidos e a imagem de filósofos, filósofos naturais e cientistas, sendo bem poucos deles conhecidos dos alunos. Abaixo de cada ilustração havia o nome do pensador e uma “pista” da época em que viveu (Apêndice D). Os alunos foram organizados em grupos e deveriam colocar os 19 cartões em uma seqüência temporal. A professora confrontou as diferentes respostas e apresentou a linha do tempo aos estudantes.

Tal linha cronológica de 1300 a.C. até 2000 foi representada em uma faixa de seis metros, com imagens de filósofos, pensadores e cientistas ligados à história da ciência. Imagens de alguns filmes históricos foram utilizadas para ilustrar cada período, como *Tróia*, *Alexandre*, *O nome da Rosa*, *Carlota Joaquina*, entre outros. Esse recurso visual pretendeu oferecer ao aluno uma visão panorâmica da localização histórica dos episódios tratados ao longo do curso (veja reprodução da linha cronológica no Apêndice D). Ela foi utilizada como estratégia para lidar com o dilema da extensão *versus* profundidade: embora a abordagem adequada da história da ciência prescreva a necessidade do recorte para minimizar os riscos da pseudo-história, pareceu-nos não só importante, mas necessário tornar claro para o aluno a dimensão temporal que separava os três episódios. Abaixo da linha cronológica foi colocada uma faixa de papel em branco para que os alunos trouxessem contribuições durante o curso, com eventos históricos, obras literárias, compositores, pensadores de várias áreas etc. A professora de biologia utilizou alguns

dados contidos na faixa e incluiu outros personagens sobre os quais estava estudando com os alunos.

Em um curso de maior duração, os próprios alunos poderiam ir construindo a linha do tempo, mas, devido ao pouco tempo disponível para desenvolver o tema, optamos por realizar uma pequena atividade no início do curso e levá-la pronta. Uma das vantagens de construir a linha do tempo com os alunos é poder incluir outros temas de interesse do grupo, como pintores, músicos, poetas, eventos marcantes, além de propiciar um trabalho conjunto com outras disciplinas, como história, literatura ou filosofia, por exemplo.

2. A professora comentou sobre a linha do tempo com os alunos, enfatizando ao final o conteúdo do texto 1: “A filosofia e as explicações para o funcionamento da natureza” (Apêndice C). Ela distribuiu tal texto aos estudantes recortado em parágrafos para que estes o reconstruíssem. Depois disso, a professora realizou a leitura com toda a sala.

3 e 4. As teorias sobre a luz na Antiguidade foram apresentadas utilizando primeiramente os *slides*, para depois os alunos lerem o texto 2: “Um pouco sobre a luz na Antiguidade grega”, e responderem às questões.

5. Entre os episódios I e II os alunos receberam o texto 3: “O frágil bebê que se tornou o grande filósofo natural” recortado em parágrafos. Esse texto traz breve biografia de Isaac Newton e foi usado como lição de casa no intuito de ir ambientando o aluno ao século XVII. Tal texto menciona aspectos da vida de Isaac Newton que em geral despertam a curiosidade dos estudantes, como, por exemplo, a surra que deu em um colega maior e aparentemente mais forte e os seus trabalhos na universidade esvaziando urinóis em função da pouca ajuda financeira que recebia de sua mãe. O texto comenta também o grande empenho de Newton no estudo da alquimia, das profecias bíblicas e outros interesses pouco “científicos” do ponto de vista atual. A professora realizou a leitura com os estudantes em sala e respondeu a algumas questões, o que confirmou a curiosidade dos estudantes pelo conteúdo e acabou por levar os alunos a pensar no século XVII.

6 e 7. A revisão dos fenômenos reflexão e refração da luz foi feita utilizando imagens e representações em *slides*, enquanto a dispersão da luz foi também demonstrada experimentalmente utilizando um prisma e a luz do retroprojeter dimensionada adequadamente com auxílio de um feltro preto. A discussão sobre o fenômeno das cores

permitiu tratar da utilização de “instrumentos” no estudo dos fenômenos naturais e sobre as diferentes interpretações que os filósofos naturais elaboravam.

8. A apresentação das teorias corpuscular e de tipo ondulatória foi iniciada utilizando *slides*, e uma demonstração experimental usando bolas de gude e duas lanternas ilustrou o encontro dos raios luminosos em ambas as teorias. Os alunos “visualizaram” um dos argumentos utilizados no período para criticar a teoria corpuscular: como as partículas de luz passam umas pelas outras sem interagir entre si?

9. Depois da discussão de todo o conteúdo do episódio II, os alunos realizaram a leitura do texto 4: “Fim do século XVII: corpúsculos ou pulsos no éter?” e a resolução das suas questões.

10. A preparação para a atividade do debate incluiu a correção das questões do texto 4, a leitura dos textos 5: “Os pulsos no éter de Huygens” e 6: “A teoria corpuscular de Newton”, e uma parte de uma aula destinada aos grupos para se reunirem e prepararem suas argumentações.

11. Na atividade do debate cada grupo defendeu uma teoria para a natureza da luz: a teoria de tipo ondulatória de Huygens e a teoria corpuscular de Newton. Os grupos apresentaram seus pontos de vista, buscando argumentar com exemplos de fenômenos naturais o que cada teoria explicava melhor, além de apontar limitações na teoria rival. Tal atividade possibilitou aos alunos vivenciar uma disputa entre idéias, simulando uma das características da prática científica, em que cada grupo busca argumentos que corroborem suas idéias e refutem as teorias rivais.

12. O texto 7 sobre o século XVII: “A luz e o Século das Luzes” foi entregue recortado em parágrafos para que os alunos o reconstruíssem em casa. A professora comentou que seria importante a leitura, para compreender aspectos da peça de teatro que seria apresentada na aula seguinte.

13. A peça, *O éter e a natureza da luz*, foi encenada por um grupo de alunos da sala que receberam o texto com o roteiro cerca de um mês antes de o curso iniciar. Sua função no curso piloto era envolver os estudantes no tema a ser tratado no episódio III, principalmente com relação ao éter luminífero. Trata-se de um recurso didático inspirado nos episódios estudados enfatizando aspectos da natureza da ciência. Utilizamos alguns fatos históricos para criar uma ficção, visando rever e enfatizar o conteúdo tratado no curso

e discutir sobre o éter luminífero. A opção por essa atividade requereu tomar decisões e assumir alguns riscos. Como o curso ocorreria em dias consecutivos, o período era muito pequeno para os alunos estudarem o roteiro e ensaiarem a apresentação durante o próprio curso. No bimestre anterior ao módulo em que a seqüência didática seria aplicada, a professora apresentou a proposta do teatro para a classe e perguntou quais alunos estavam interessados em participar. Fizemos uma reunião com esses alunos explicando que nesse momento eles decorariam as falas, mesmo sem compreender os aspectos conceituais envolvidos no texto. Essa compreensão viria durante o curso. Tais alunos ensaiaram o texto e criaram os recursos sugeridos, como a abertura, o cenário e o figurino. Além disso, incluíram uma cena introdutória, que não estava prevista no roteiro, com a finalidade de mais alunos poderem participar, já que os interessados eram em maior número do que os personagens previstos. Após a apresentação, a professora reuniu toda a sala para uma discussão sobre os assuntos tratados na peça e perceber qual o impacto e possíveis resultados dessa estratégia utilizada.

14. Realizamos a demonstração experimental de fenômenos ópticos utilizando a luz do *datashow* e cartões opacos colocados entre ela e o anteparo (parede da sala). Utilizando um cartão com figuras geométricas recortadas, um cartão com pequena fenda no centro e outro cartão com fendas duplas. Revisamos os conceitos de sombra, difração e interferência da luz.

15. Utilizamos o trecho inicial da animação *Dr. Quantum* que ilustra o experimento da dupla fenda que compara os fenômenos da difração e interferência luminosa, mediante concepções ondulatória e corpuscular para a luz.⁹ A animação apresenta nos primeiros 1 minuto e 45 segundos uma situação em que um feixe de bolinhas atiradas por um canhão passa inicialmente por uma fenda, atingindo um anteparo do outro lado, desenhando nele uma barra vertical proporcional ao tamanho da fenda. Depois, as bolinhas passam por duas fendas paralelas e desenharam proporcionalmente as duas fendas paralelas no anteparo. Depois disso, é apresentada uma situação em que as bolinhas são substituídas por ondulações na água. A frente de ondas desloca-se na água e encontra primeiro o obstáculo com uma fenda onde ocorre a “difração”, que desenha determinado padrão no anteparo. Em seguida a frente de onda encontra a dupla fenda, e é possível acompanhar a “difração”

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

em cada uma das fendas. A animação destaca a superposição das frentes de onda que se espalham a partir dessas duas fendas no espaço entre elas e o anteparo, fazendo surgir regiões de interferência construtiva e destrutiva que “desenham” as franjas claras e escuras ao atingirem o anteparo. Por meio de analogias entre bolinhas e corpúsculos, e as ondas na água e na luz, o personagem da animação, Dr. Quantum, explica por que uma concepção corpuscular não explica a difração.

16. O conteúdo histórico do episódio III foi apresentado em *slides* incluindo também representações dos fenômenos físicos envolvidos, para auxiliar na compreensão das limitações da teoria corpuscular na explicação do fenômeno óptico da interferência luminosa. Optamos por não incluir aspectos matemáticos de ambas as teorias, buscando “compensar” essa deficiência com recursos visuais, como a animação da fenda dupla. Enfatizamos o papel do éter no período para a aceitação da teoria ondulatória e aspectos do apoio político de Arago a Fresnel.

17. Os alunos realizaram a leitura do texto 9: “As teorias da luz e o éter luminífero no século XIX”, e a discussão das questões abertas em grupo. A professora fez a correção dessas questões, a sistematização do episódio III e uma revisão do conteúdo do curso. Orientou os estudantes para que trouxessem todos os textos na aula seguinte, pois a avaliação final seria feita com consulta.

18. A avaliação final foi realizada individualmente com consulta e inspirada na prova operatória, concebida como mais um recurso que favorece o aprendizado (RONCA e TERZI, 1993). Buscou-se que a avaliação fosse coerente com as estratégias de ensino utilizadas até então, com questões abertas e, na medida do possível, com as respostas não explícitas no texto. O aluno teria a oportunidade de rever todo o conteúdo, refletir, elaborar seu ponto de vista e construir sua argumentação. Buscamos contribuir para o desenvolvimento dessa competência ao longo do curso nos três episódios trabalhados.

19. Quando elaboramos o planejamento pedagógico do curso, reservamos um dia útil (duas horas-aula) antes da avaliação final para uma revisão geral ou para atender a possíveis imprevistos. O curso transcorreu conforme o previsto, então surgiu a idéia de propor uma atividade diferente. A professora consultou a classe se preferiam realizar a aula de revisão, releitura dos textos, ou se gostariam de realizar um “concurso cultural”. Os alunos inscrever-se-iam voluntariamente para apresentar produções culturais voltadas, necessariamente, ao conteúdo do curso. As três melhores produções receberiam um prêmio

surpresa (que seriam caixas de bombons). Toda a sala optou pela atividade cultural. Antecipamos a avaliação final em um dia e reservamos a última aula do curso para o concurso. Os alunos cantaram paródias, contaram histórias e uma aluna recitou uma poesia. O resultado superou as expectativas com um clima de cooperação, motivação e alegria de toda a turma. Assim, optamos por distribuir os bombons para todos os alunos. Na ocasião em que apresentávamos esse curso piloto desenvolvido para esta pesquisa em um congresso internacional,¹⁰ uma pesquisadora comentou que a atividade configurou-se um “festival cultural” e não um concurso.¹¹ Ela inclusive apontou que os resultados educacionais pareciam ter sido mais produtivos tendo em vista o festival ocorrido do que a proposta do concurso. Decidimos incorporar essa correção, pois apontava para uma estratégia pedagógica menos competitiva e mais colaborativa entre os alunos.

O curso foi construído de modo que algumas idéias foram se estruturando e adquirindo aos poucos maior nível de complexidade. Por exemplo, a reflexão proposta no episódio I sobre observação e explicação dos fenômenos naturais, mais os conceitos científicos e o conteúdo histórico-filosófico abordados no episódio II, sobre o século XVII, foram indispensáveis para questionar: seriam argumentos puramente experimentais que tornaram a teoria corpuscular hegemônica durante o século XVIII? Essa idéia surgiu nas discussões iniciais sobre o episódio II, na apresentação em *slides*, foi sistematizada no texto 4, retomada nos textos 5 e 6, permeou implicitamente momentos do debate, e foi finalmente “esclarecida” no texto 7.

Buscamos criar essa seqüência didática de modo a favorecer repetidas vezes o contato entre o aluno e cada aspecto emblemático do conteúdo. Cada aspecto pretendido da natureza da ciência, por exemplo, foi problematizado nos três episódios e em estratégias pedagógicas distintas (Apêndice C). A relação entre a observação dos fenômenos naturais e a elaboração de hipóteses explicativas, por exemplo, surge de modo provocativo em três episódios:

- quando discutimos as teorias de Leucipo, Empédocles e Aristóteles para a visão;

¹⁰ FORATO, Thaís C. M.; MARTINS, R. A.; PIETROCOLA, M. The nature of science at physics teaching: a study of luminiferous ether on nineteenth century. In: Proceedings of International Conference on Physics Education, Marrakesh: El Watanya Marrakesh, 2007. v. único, p. 213-213.

¹¹ Profa. Dra. Glória Queiroz, da UFRJ-RJ-Brasil.

- no episódio do século XVII, quando os alunos observam a dispersão da luz em um prisma e apresentamos os debates entre Newton e seus contemporâneos sobre a explicação discordante para o fenômeno;
- no início do século XIX, ao apresentarmos os fenômenos da difração e interferência luminosa e as dificuldades de sua explicação utilizando a teoria corpuscular.

Além de buscarmos retomar a questão da observação *versus* hipóteses em diferentes episódios, ela foi também abordada durante distintas estratégias pedagógicas, por exemplo:

- na visualização das demonstrações experimentais dos fenômenos e sua discussão com apoio de apresentação em *slides*;
- nos textos para a sistematização de cada episódio (optamos por realizar a leitura da maioria dos textos durante a aula para garantir que os alunos os lessem);
- na evidente apropriação dessa questão no debate realizado pelos alunos;
- na abordagem no teatro;
- na pergunta recorrente nos questionários que os alunos respondiam em cada episódio;
- em sua problematização na avaliação final que, por ser realizada com consulta, é mais um recurso que permite ao aluno refletir e elaborar respostas aos problemas levantados (RONCA e TERZI, 1993).

Essa repetição pretendia propiciar o contato do aluno com a problemática em vários momentos, permitindo-lhe rever seu posicionamento anterior, acrescentando informações, reforçando os aspectos conceituais e amadurecendo sua visão sobre a construção histórica de algumas teorias da luz.

A elaboração dessas atividades levou em conta as limitações dos alunos quanto aos pré-requisitos conceituais da física, da história e da filosofia da ciência necessários para o desenvolvimento do conteúdo. Além disso, as características particulares daquele microambiente escolar, como o sistema modular com aulas em dias consecutivos, restringiu o tipo de recursos didático-pedagógicos que se podem propor. Isso limitou um pouco a diversidade das atividades, por exemplo, optamos por apenas demonstrar algumas experiências em vez de deixar que os alunos as executassem para que isso não tomasse

muito tempo das aulas; a linha do tempo foi levada pronta em vez de os alunos construírem-na. Nesse contexto, as atividades do debate e do teatro, por exemplo, requereram assumir certos riscos, pois foi necessário disponibilizar com antecedência certos textos para apenas um grupo de alunos.

A aplicação desse curso em outros contextos poderia incluir estratégias que exigem tempo de preparação por parte dos alunos, como a realização de pesquisas, elaboração de seminário etc.

3.2.6. Material disponibilizado

A escolha dos recursos materiais utilizados durante o curso também foi objeto de reflexão, já que devem estar adequados e serem acessíveis ao contexto educacional a que se destinam: o ensino médio de uma escola pública.

O grupo de pesquisa Nupic – Núcleo de Pesquisa em Inovações Curriculares¹² –, onde esta pesquisa se desenvolveu, é um núcleo de pesquisa em ensino de ciências e que realiza, também, a elaboração, aplicação, análise e disponibilização de atividades didáticas para o ensino de ciências. Vinculado ao Lapef – Laboratório de Pesquisa em Ensino de Física da Faculdade de Educação da USP¹³ –, é composto por professores e estudantes de graduação e pós-graduação e por professores da rede pública do Estado, desenvolvendo, inclusive, material didático e cursos de formação continuada para professores. Entre os recursos de ensino produzidos estão hipertextos, textos, vídeos, objetos de aprendizagem virtual, apresentações em *slides* e clipes de vídeo. Na época do desenvolvimento desta pesquisa, o Nupic contava com um projeto de inovação curricular da Fapesp (nº 2003/00146-3), que fornecia o material para ser usado nas escolas públicas, inclusive cópias dos textos para os alunos, recursos tecnológicos e demais demandas pertinentes à pesquisa.

Independentemente dos recursos disponíveis, o trabalho do Nupic inclui a orientação para utilização de inovações em atividades pedagógicas. Isso objetiva contribuir para a democratização do uso de estratégias e materiais na educação, bem como criar demandas para orientar a aplicação de verbas repassadas pelo governo do Estado às escolas

¹² Nupic: <http://nupic.incubadora.fapesp.br/portal>.

¹³ Lapef: <http://www.lapef.fe.usp.br/>.

públicas. Portanto, buscamos atender a ambas as exigências: utilizar, na medida do possível, inovações educacionais e, ao mesmo tempo, selecionar recursos que pudessem ser acessíveis a outras escolas públicas que forem aplicar esse curso e desenvolver novas propostas.

A seqüência didática que foi aplicada utilizou em algumas aulas a televisão e o retroprojetor que a escola possuía e o Lapef forneceu o *datashow* para facilitar o uso de apresentações em *slides*. Essas apresentações poderiam ter utilizado os computadores da sala de informática para a projeção dos *slides* ou o PCTV, que toda escola pública de São Paulo recebeu em época recente,¹⁴ além de um DVD *player*, que a maioria das escolas públicas de São Paulo já tem.¹⁵

Para as outras escolas públicas que não possuem nenhum desses equipamentos, a proposta do Nupic é originar e orientar a demanda por recursos tecnológicos. Busca-se criar a necessidade de investimentos, disponibilizando no *site* o material didático já elaborado, esclarecendo as atividades desenvolvidas e todo o planejamento que dá apoio ao professor na aplicação dos cursos, inclusive quanto à utilização de equipamentos.

Os equipamentos utilizados foram a televisão, o retroprojetor e o *datashow*. O material usado e fornecido para a aplicação do curso piloto (Apêndice C) vinculado a esta pesquisa compreende:

- textos da bibliografia para o professor;
- textos para o aluno;
- apresentação em *slides* para as aulas;
- o roteiro para o teatro envolvendo o tema histórico;
- linha cronológica de 1,0 m x 6,0 m a ser afixada na parede da sala;
- cartões com pensadores e eventos históricos;
- lanternas, bolas de gude e prisma acrílico.

¹⁴ O PCTV é uma ligação do computador com a televisão que permite que esta funcione como monitor de computador.

¹⁵ Veja descrição da utilização dos recursos nas aulas no Apêndice C.1.

3.2.7. Avaliação

A avaliação realizada durante o curso piloto teve duas finalidades: atender aos requisitos pedagógicos e administrativos da unidade de ensino e fornecer subsídios para a pesquisa acadêmica.

Os instrumentos de avaliação foram utilizados pelo professor para compor a média do bimestre no ano letivo, atendendo aos requisitos da legislação para o ensino médio. Pretendíamos que o tipo de avaliação proposta, o modo de correção e aferição de notas estivessem coerentes com a metodologia presente no desenvolvimento da seqüência didática. Desse modo, a avaliação considerou as questões respondidas em grupo ou individualmente durante as aulas, a participação dos alunos no debate e no festival cultural, e uma avaliação escrita com consulta ao final da seqüência de aulas, inspirada na proposta da prova operatória de Ronca e Terzi (1993).

Com relação aos interesses desta pesquisa, os questionários, a participação nas atividades e a avaliação final com consulta forneceram dados para a triangulação com os dados obtidos nas gravações em vídeo e as anotações de campo.

3.3. O apoio ao professor na aplicação do curso

O curso piloto foi aplicado por uma professora que participava de um projeto no Laboratório de Pesquisa em Ensino de Física (Lapef – FEUSP), financiado pela Fapesp (nº 2003/00146-3), sob a coordenação do prof. Dr. Maurício Pietrocola. Tal projeto previa a dedicação de 20 horas semanais pelos professores da rede pública, além de sua carga horária nas escolas. Nesse tempo estão incluídos o desenvolvimento das atividades em sala de aula (que fornecem os dados para as pesquisas acadêmicas realizadas pelo Lapef), as reuniões semanais com os pesquisadores e o tempo para estudo das atividades.

A professora não tinha formação em história e filosofia da ciência nem havia estudado o assunto, portanto, optamos por oferecer-lhe apoio na aplicação do curso, além de fornecer todo o material necessário. Ela recebeu o planejamento do curso (Apêndice C), os artigos mencionados na bibliografia necessária e complementar (seção 3.3.1), o texto que desenvolvemos para o professor, que apresenta o conteúdo histórico de toda a seqüência de aulas (Apêndice A), os textos para os alunos (Apêndice C), além do material necessário a todas as atividades propostas.

3.3.1. Bibliografia fornecida ao professor

Episódio I

FORATO, Thaís C. de M. *Um pouco sobre a luz na Antiguidade grega*. Texto não publicado, desenvolvido para o curso (Apêndice A).

MARTINS, Roberto de A. *O universo: teorias sobre sua origem e evolução*. São Paulo: Moderna, 1994. Capítulos 1 a 3. Disponível em: <<http://www.ifi.unicamp.br/~ghtc/Universo/>>. Acesso em: 2 fev. 2007.

Bibliografia básica para todo o curso

MARTINS, Roberto de A. A Torre de Babel científica. *Scientific American – Os Grandes Erros da Ciência*, Especial História, v. 6, p. 6-13, 2006.

_____. Do éter ao vácuo e de volta ao éter. *Scientific American – Os Grandes Erros da Ciência*, Especial História, v. 6, p. 92-98, 2006.

Episódio II

FORATO, Thaís C. de M. *A natureza da luz para alguns pensadores do século XVII*. Texto não publicado, desenvolvido para a sequência didática (Apêndice A).

SILVA, Cibelle C.; MARTINS, Roberto de A. A teoria das cores de Newton: um exemplo do uso da história da ciência em sala de aula. *Ciência & Educação*, v. 9, n. 1, p. 53-65, 2003.

Bibliografia complementar

MOURA, Breno A.; SILVA, Cibelle C.. A teoria dos estados da luz: considerações sobre alguns papéis das hipóteses na óptica newtoniana. In: MARTINS, Roberto A.; SILVA, Cibelle C.; FERREIRA, Juliana M.H. e MARTINS, Lilian A.C.P. (Org.). *Filosofia e história da ciência no Cone Sul. Seleção de trabalhos do 5º Encontro*. Campinas: Associação de Filosofia e História da Ciência do Cone Sul (AFHIC), 2008, p. 91-100.

SILVA, F. W. O. A evolução da teoria ondulatória da luz e os livros didáticos. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 29, n. 1, p. 149-159, 2007.

Episódio III

FORATO, Thaís C. de M. *As teorias da luz e o éter luminífero no início do século XIX*. Texto não publicado, desenvolvido para a seqüência didática (Apêndice A).

PIETROCOLA, M. Fresnel e o arrastamento parcial do éter: a influência do movimento da Terra sobre a propagação da luz. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, v. 10, n. 2, p. 157-172, 1993.

_____. O espaço pleno e a concepção do éter. *A Física na Escola*, v. 3, n. 2, p. 7-8, out. 2002.

Bibliografia complementar

MARTINS, R. de A. Em busca do nada: considerações sobre os argumentos a favor e contra o vácuo. *Trans/Form/Ação*, n. 16, p. 7-27, 1993.

_____. O retorno do éter. *Scientific American Brasil*, v. 2, p. 27, jul. 2002.

PIETROCOLA, M. O éter luminoso como espaço absoluto. *Cadernos de História e Filosofia da Ciência*, [série 3], v. 3, n. 1/2, p. 163-182, 1993.

Para a bibliografia de apoio ao professor, buscou-se, sempre que possível, utilizar artigos sobre história da óptica em português, publicados em periódicos nacionais, garantindo a autonomia do professor e favorecendo o acesso a todos que utilizarão futuramente a seqüência didática. O texto elaborado para o professor (Apêndice A) procurou dar suporte à articulação das idéias condutoras do curso, pois não localizamos publicações em português que atendessem a este objetivo: a articulação das teorias sobre a natureza da luz com o éter luminífero para discutir sobre a natureza da ciência no ambiente escolar.

Pudemos constatar ao longo das reuniões que tivemos com a professora que ela leu todos os textos da bibliografia básica e sugerida. Ela nunca havia trabalhado com história da ciência e estava habituada com cursos mais tradicionais, tanto na seleção de conteúdos voltados à resolução de problemas como com relação às estratégias didático-pedagógicas. Portanto, para ela, o curso foi totalmente inovador quanto ao assunto tratado e à metodologia de trabalho. Ela mostrou-se confiante e motivada com as mudanças e demonstrou empenho, envolvimento e satisfação na condução do curso.

3.3.2. As reuniões com a professora e o desenvolvimento do curso

Foram realizadas quatorze reuniões semanais com a professora antes do início do curso, entre 14 de maio de 2007 e 1º de setembro de 2007. Nessas reuniões discutíamos os textos da bibliografia, as apresentações em *slides* e os recursos materiais para todas as atividades, além de esclarecer as dúvidas que surgiam sobre os textos para os alunos. A ênfase foi dada ao material e nosso apoio foi mais intenso no sentido de esclarecer algumas dúvidas que surgiam com relação à parte histórico-epistemológica.

Grande parte do texto para o professor já estava pronta quando apresentamos a proposta ao professor. Entretanto, foram realizadas alterações em função das características da escola e dos alunos. A síntese das reuniões de trabalho com a professora, apresentada a seguir, permite-nos acompanhar o cronograma de desenvolvimento de algumas partes do curso:

14/5/07 – Apresentamos o projeto do curso piloto para a professora, a primeira versão do planejamento e os conteúdos pretendidos. Esclarecemos que o objetivo do curso seria usar a história da ciência para discutir a natureza da ciência.

21/5/07 – Esclarecemos como os conteúdos em história da ciência estavam sendo selecionados, quais fontes primárias e secundárias estávamos utilizando. Apresentamos os aspectos da natureza da ciência possíveis de ser discutidos por meio da história da ciência, segundo Pumfrey (1991). Discutimos a possibilidade de realizar o teatro. A primeira versão pensada naquele momento envolvia apenas o debate entre Fresnel e a banca do concurso (veja textos do episódio III). Apresentamos a proposta da linha do tempo, que agradou à professora. Ela comprometeu-se a tomar as medidas da sala de aula para definirmos o tamanho da faixa. Conversamos sobre alguns filmes e como eles poderiam ser usados para localizar o aluno na dimensão temporal, tendo uma noção da cronologia dos eventos a serem tratados no curso. Discutimos a possibilidade de trabalhar os filmes e a linha do tempo com outros professores: biologia; filosofia; história e literatura. Percebemos a necessidade de fornecer aos alunos alguns roteiros para observação do filme, no caso de serem utilizados por outras disciplinas, pois em nossa seqüência não haveria tempo para tais atividades. Tal interação multidisciplinar acabou não ocorrendo, pois não houve tempo disponível para preparar essas orientações ou planejar ações conjuntas com outras disciplinas. Fica como sugestão para outras aplicações do curso.

28/5/07 – A professora comentou que os alunos gostaram da idéia do teatro e já havia candidatos interessados em encenar a peça. Ela nos forneceu a medida da parede para a construção da linha do tempo: 6,0 m. Lemos juntas a introdução do texto histórico preparado para o professor e falamos sobre o debate Fresnel *versus* corpuscularistas.

4/6/07 – Apresentamos para a professora o primeiro esboço dos *slides* para o primeiro episódio. Iniciamos juntas a leitura dos três primeiros capítulos do livro *O Universo* (MARTINS, 1994), para ajudar no embasamento teórico da primeira aula. A professora ficou de ler o restante em casa para discutirmos na reunião seguinte.

11/6/07 – Comentamos sobre qual poderia ser uma lista mínima de filmes históricos acerca dos episódios que seriam tratados no curso e selecionamos alguns ela iria sugerir para os alunos assistirem nas férias. Comentamos sobre os capítulos 1 a 3 de Martins (1994). A professora leu o texto para o professor do episódio I, e discutimos suas dúvidas sobre o texto.

18/6/07 – Relemos o texto para o professor acerca do episódio I com algumas modificações e fizemos a leitura do episódio II.

25/6/07 – Discutimos o artigo da *Scientific American* (MARTINS, 2006a): “A torre de babel científica”, que enfatiza aspectos da natureza da ciência que seriam trabalhados no nosso curso.

30/7/07 – Apresentamos para a professora o planejamento que estava sendo desenvolvido para o curso e o texto definitivo para o teatro.

6/8/07 – Discutimos sobre a data para o teatro e o momento do curso que seria mais adequado para ocorrer. Falamos sobre a primeira atividade da linha do tempo e lemos os textos recomendados para o episódio III. Entreguamos para a professora o restante dos textos previstos na bibliografia para ela realizar a leitura em casa.

13/8/07 – Realizamos a primeira atividade que seria desenvolvida com os alunos. Apresentamos para a professora a faixa contendo linha do tempo e a esclarecemos sobre os pontos pretendidos para a aula. Discutimos a biografia de Newton que os alunos utilizariam na introdução do episódio II. Lemos e discutimos o texto “O éter como espaço absoluto” (PIETROCOLA, 1993). Rediscutimos o momento do teatro no curso e os possíveis problemas decorrentes de apenas um grupo de alunos terem acesso ao texto antes do início das aulas. Pretendíamos que o teatro fosse usado como estratégia pedagógica para motivar

o aluno com o tema do episódio III. Foi o risco necessário a assumir em função do contexto da escola.

15/8/07 – Reunião “extra” na escola com a professora e com os alunos: foi a ocasião de conhecer os alunos, o ambiente no qual o curso seria apresentado e verificamos as instalações para os equipamentos da gravação. Entregamos para a professora os quatro primeiros textos escritos para os alunos.

Nesse primeiro contato com todos os alunos da sala, a professora e a pesquisadora falaram sobre o curso e foi esclarecido como seria realizada a coleta de dados. Fizemos depois a primeira reunião com o grupo de teatro. Lemos o roteiro para a peça juntos e falamos sobre a criação do cenário, figurino e abertura do teatro. Os alunos mostraram-se bastante motivados com a atividade e aceitaram que seria preciso, naquele momento, decorar as falas mesmo sem entender os conceitos e teorias tratadas. A previsão para a apresentação era dia 14/9, portanto eles tinham cerca de um mês para os ensaios e a criação dos complementos necessários.

20/8/07 – Discutimos as dúvidas da professora a respeito dos textos 1 a 4 escritos para os alunos.

27/8/2007 – Lemos os textos para o debate (textos 5 e 6) e discutimos os planos para desenvolver a atividade.

1º/9/07 – Realizamos a segunda reunião com os alunos voluntários para o ensaio da peça teatral (sábado). Depois do ensaio, foi feita outra reunião extra com a professora. Apresentamos para ela os *slides* desenvolvidos para o episódio II e lhe entregamos a versão definitiva dos textos 7 e 9 para o curso piloto.

6/9/07 – Início do curso.

10/9/07 – Encontro “extra” com a professora: apresentamos para ela os *slides* desenvolvidos para o episódio III.

17/9/07 – Início da correção das questões do episódio I junto com a professora.

20/9/07 – Último dia de curso. Depois da aula, comentamos as impressões gerais e ficou claro que a professora estava satisfeita e havia considerado o curso um sucesso.

Entre 6/9 e 20/9, nós nos encontrávamos todos os dias na aula e depois comentávamos rapidamente o andamento do curso, questões a reforçar, pontos a

problematizar. Por exemplo, percebemos que durante o episódio II alguns alunos mantinham a visão de “provas” das teorias científicas. A questão foi retomada durante a sistematização do episódio II e ouvimos uma aluna comentando que “agora” havia entendido. Nas reuniões semanais que se seguiram ao curso corrigimos as atividades produzidas pelos alunos e a avaliação final.

3.3.3. Tempo exigido do professor na aplicação do curso piloto

Uma das preocupações que a aplicação do curso piloto suscitou foi com relação ao tempo requerido para a preparação da professora. Tal preocupação não se refere a esse curso piloto especificamente, pois a professora recebia uma bolsa do Estado que permitia sua dedicação ao projeto, mas, sim, com outros professores em distintos contextos de aplicação. Não pretendemos inviabilizar a utilização da história e filosofia da ciência no ensino, sugerindo uma demanda mínima de tempo de preparação que não condiz com a realidade dos professores das escolas públicas brasileiras. A grande quantidade de aulas que os professores assumem e a escassez de tempo para uma formação continuada, por exemplo, é a realidade que vem sendo apontada por inúmeras pesquisas educacionais (RODRIGUES, 2001). Desse modo, é necessário dimensionar o tempo requerido por esse caso específico e buscar realizar uma estimativa da demanda temporal necessária em outros contextos educacionais.

A professora desse curso compareceu a quatorze reuniões que duravam de duas a três horas, e parte desse tempo era utilizada para a leitura dos textos. Além disso, ela utilizava mais duas horas semanais em média para terminar a leitura em casa, e quando necessário, uma hora na preparação das aulas, no estudo dos *slides* ou outras atividades. Em nosso caso específico, estimamos que ela tenha utilizado em torno de cinco horas semanais. Entretanto, é preciso lembrar que nesse tempo foram desenvolvidas diferentes atividades:

1. Leitura de todos os textos dos alunos.
2. Leitura de ao menos duas versões do texto para o professor.
3. Leitura de todos os textos da bibliografia básica.
4. Leitura de todos os textos da bibliografia complementar.
5. Discussões com a pesquisadora sobre as eventuais dúvidas surgidas.

6. Assistir a apresentação dos *slides* que deveria apresentar aos alunos, realizada pela pesquisadora.
7. Apresentar os *slides* à pesquisadora.
8. Discutir a viabilidade das atividades didáticas propostas para o curso e recursos estruturais necessários para realizá-las.

A leitura dos textos escritos para os alunos que seriam trabalhados em sala e a preparação de recursos pedagógicos podem ser consideradas como atividades mínimas que todo professor realiza, ou deveria realizar, para preparar sua aula, qualquer que seja o seu tema. Essa atuação na transposição didática interna ocorre como parte das funções do professor no exercício de sua docência (CHEVALLARD, 1991). Portanto, o tempo dedicado a tais atividades será apenas um pouco maior do que ele dedicaria a conteúdos da ciência.

Os textos para os alunos do curso piloto têm em média três páginas, incluindo algumas imagens, e exigiram do professor poucos minutos de leitura semanal. A preparação das atividades também não demandou muito tempo, pois foram descritas no planejamento que acompanha o curso, de modo que o professor só necessitou adequá-las ao seu contexto de trabalho, quando necessário.

Um fator que deve ser lembrado é a formação anterior em história e filosofia da ciência que o professor tenha recebido ou não. Tomemos o caso de um professor que nunca tenha estudado ou trabalhado com o tema, que é o caso da professora em questão. Acreditamos ser indispensável a leitura de todos os textos da bibliografia básica e, dependendo de suas características pessoais e da sua compreensão do conteúdo, é necessário, também, ler os textos da bibliografia complementar.

Assim, para a aplicação desse curso, o tempo extra exigido foi o dedicado à leitura da bibliografia recomendada ao professor: a básica e a complementar.

Os dois textos que compõem a bibliografia básica para todo o curso devem ser lidos antes dos demais, e podem requerer até duas horas de leitura, dependendo da facilidade ou dificuldade que o leitor tenha desse tema.

No episódio I, há dois textos de bibliografia básica que requerem de uma a duas horas de leitura e fundamentam as 5 horas-aulas previstas.

No episódio II, são necessários dois textos básicos, que possivelmente demandam cerca de duas horas de estudo. Os outros dois textos da bibliografia complementar podem

requerer também até duas horas de leitura. Essas quatro horas fundamentam seis horas-aula do curso.

Para o episódio III, são necessários três textos básicos, que podem requerer até duas horas em sua leitura. Os três textos da bibliografia complementar provavelmente demandam cerca de duas horas de leitura. Tais textos fundamentam mais seis horas-aula do curso.

As demais quatro horas-aula do curso são voltadas à avaliação final e ao festival cultural e não requerem mais leituras.

Sintetizando as reflexões efetuadas acima, podemos estimar que um professor que não tenha estudado anteriormente o conteúdo do curso poderá necessitar de no mínimo cerca de nove horas de estudo, além daquelas normalmente dedicadas à preparação de aulas, para aplicar esse curso previsto para durar vinte horas-aula. Esse período é em geral quase a totalidade da carga horária destinada à física em um bimestre do ano letivo.

Para um professor que não tenha conhecimento algum do tema e não sentir segurança em aplicar o curso lendo apenas a bibliografia básica, poderá requerer cerca de quatro horas para a bibliografia complementar.

Quadro 2: Estimativa do tempo de leitura requerido do professor (em horas)

	Bibliografia básica	Bibliografia complementar
Introdução	2	–
Episódio I	2	–
Episódio II	2	2
Episódio III	3	2
Total	9	4

Naturalmente essa é apenas uma estimativa, pois o tempo de compreensão dos textos varia de acordo com características pessoais, tanto sendo menor como maior que o previsto. Nossa preocupação é ter uma idéia do investimento necessário em distintos contextos de aplicação.

Tomemos agora o caso de um professor que tenha estudado alguns tópicos da história da ciência em sua formação em disciplinas que apresentam uma visão panorâmica da evolução de alguns conceitos da física. Tais disciplinas costumam apresentar uma narrativa (veja capítulo 1, seção 1.2.3) de alguns fatos científicos considerados relevantes

para a compreensão da construção da ciência aceita atualmente. Conforme discutimos no capítulo 1, não nos parece haver problema em tais narrativas, desde que fique claro para o aluno tratar-se de uma seleção de fatos históricos eleitos mediante um objetivo específico e que a construção da ciência não se resume a isso.

Embora as teorias de Newton e Huygens sobre a natureza da luz possam ser tema corriqueiro em tais cursos, é pouco provável que sejam abordadas destacando os aspectos específicos da natureza da ciência selecionados para esse curso. Possivelmente, a leitura da bibliografia básica seja suficiente para o professor tratar do episódio II do curso piloto.

Uma situação parecida pode ocorrer com Thomas Young e a teoria ondulatória, e parece-nos pouco provável, também, que diversos aspectos enfatizados no curso com relação ao éter luminífero e os da natureza da ciência sejam normalmente tratados. Ainda assim, é indispensável a leitura da bibliografia básica, e a bibliografia complementar será necessária dependendo da facilidade que o professor tenha na compreensão do tema, tendo lido apenas os textos básicos, além, é claro, daqueles voltados aos estudantes.

Podemos imaginar uma variedade de situações, contudo, acreditamos que a ampla maioria esteja contemplada na estimativa de dez horas como o máximo tempo requerido para as leituras voltadas ao professor, em uma primeira vez que aplicaria esse curso.

Descrevemos neste capítulo os caminhos metodológicos desta pesquisa. Apresentamos nosso problema de pesquisa e a metodologia de análise qualitativa adequada a ela, e os condicionantes da tomada de dados. Descrevemos a construção do curso piloto, o apoio e o acompanhamento dado à professora. No próximo capítulo faremos a análise dos dados oriundos da parte empírica, tanto os desafios vivenciados na elaboração do curso, e as propostas para superá-los, como os dados advindos da aplicação do curso em ambiente escolar.

4. Análise dos dados e resultados

*“Se você me falar, provavelmente vou esquecer;
se você me mostrar, vou me lembrar;
mas, se você me envolver, eu vou entender”*

Confúcio

Neste capítulo apresentaremos a análise dos dados provenientes da parte empírica da pesquisa: a elaboração do curso piloto e sua aplicação em ambiente escolar.

Inicialmente, discutiremos os dados oriundos da elaboração do curso piloto, mais especificamente, os desafios vivenciados durante essa etapa e as soluções propostas para seu enfrentamento. Os dados são predominantemente descritivos e têm o pesquisador como seu agente de coleta (ERICSON, 1998). Tais relatos descrevem as dificuldades encontradas na relação interpessoal do sujeito-pesquisador com o saber na construção do Saber a Ensinar. Buscamos registrar da maneira mais fidedigna possível as dúvidas, as conjecturas feitas sobre os caminhos possíveis e as dificuldades em fazer escolhas.

Em seguida, apresentaremos a análise de três eventos específicos que permitem responder a algumas das questões da pesquisa (seções 1.2.1 e 3.1.1) e, ao mesmo tempo, fornecem uma amostra das possibilidades de abordagem que os dados permitem.

Faremos ainda uma breve descrição de dois pontos interessantes da parte empírica da pesquisa, mas que não se caracterizaram, nesse momento, como os eventos mais significativos a serem enfocados. Pretendemos analisá-los como um dos desdobramentos desta pesquisa.

Finalmente, discutiremos alguns resultados oriundos do contato com os dados.

4.1. Desafios vivenciados durante a elaboração do curso

Os requisitos da didática das ciências e as prescrições da dimensão teórica dos campos histórico e epistemológico apontam diferentes tipos de desafios na transposição didática desses conhecimentos para a educação científica (seções 1.2.3 e 2.3). Na criação do curso piloto, que descrevemos no capítulo anterior, buscamos harmonizar as exigências dos dois campos de conhecimento, prescritas pela dimensão teórica. Isso possibilitou materializar os desafios previstos pelo quadro teórico de modo mais detalhado e fundamentá-los por meio de exemplos concretos. Esses desafios manifestaram-se tanto na

seleção e transformação do Saber Sábido em Saber a Ensinar e, em particular, nos processos de descontextualização, despersonalização, dessincretização e na posterior recontextualização para o ambiente escolar, no nível de escolaridade enfocado (CHEVALLARD, 1991).

Organizamos os desafios em termos de obstáculos estruturais, pois eles se vinculam à própria essência do processo de didatização, que envolve a negociação entre os domínios epistemológicos, as exigências do projeto educacional e as possibilidades do campo de aplicação didática (a sala de aula). Além disso, tais obstáculos estruturais poderiam ser, numa primeira análise, avaliados como *superáveis* ou *contornáveis* em função dos contornos da negociação em jogo, isto é, das escolhas feitas mediante seu enfrentamento na elaboração do Saber a Ensinar.

Consideramos como *obstáculos estruturais superáveis* aqueles desafios que envolviam um conjunto de dificuldades para as quais julgamos possível obter uma solução ampla. Ou seja, neste caso, o Saber a Ensinar produzido incorpora ações ou estratégias que contribuem para a superação dos desafios considerados.

Os *obstáculos estruturais contornáveis* vinculam-se a desafios que envolvem um conjunto de dificuldades para os quais julgamos não ser possível uma solução ampla. Ou seja, nestes casos, ou se resolvem integralmente algumas das demandas da negociação em jogo, ou se atende parcialmente a todas elas. Isso pode ocorrer em função das especificidades do Saber Sábido, de limites do professor ou dos alunos, ou de condições disponíveis no sistema de ensino. A análise tornará mais claro que essas dificuldades envolviam elementos que extrapolavam os limites e possibilidades do curso em questão. O enfrentamento desses desafios requereu assumir riscos, fazer escolhas, adotar estratégias visando a contornar alguns obstáculos sobre os quais não poderíamos atuar, como a inevitável falta de formação do professor e a limitação do tempo, por exemplo.

Alguns desses desafios colocavam em conflito certas exigências teóricas dos campos didático, historiográfico e epistemológico, como extensão e profundidade do conhecimento, ou ainda de aprendizagem, como o domínio da leitura ou da matemática. Tais conflitos se configuravam como dilemas, pois requeriam decidir privilegiar um aspecto em detrimento do outro. Em geral, era necessário optar ou pelas prescrições historiográficas, correndo o risco de se afastar demais de um enfoque acessível ao aluno, ou omitir aspectos da história da ciência, assumindo o risco de incorrer em excessiva

simplificação. Em certos momentos, foi necessário escolher para qual dos dois lados a balança penderia mais. Tais escolhas foram feitas pontualmente em função dos objetivos visados em cada aspecto específico e mediante a avaliação de possíveis consequências.

Os graus de dificuldade para o enfrentamento desses desafios variou bastante. Conforme será discutido nas próximas seções, alguns obstáculos exigiram mais reflexão, empenho e assunção de riscos do que outros. Há alguns casos nos quais os desafios não eram exatamente dificuldades e sim, etapas que mereceram atenção e ponderação diferenciada. Há outros casos nos quais os desafios geravam conflitos ou mesmo dilemas como, por exemplo, optar por excluir ou não a matematização dos fenômenos ópticos tratados. De qualquer modo, tanto buscar *superar* como *contornar* os obstáculos envolveram fazer escolhas e assumir riscos.

Alguns dos desafios que discutiremos apresentam aspectos em comum, mas decidimos pontuar separadamente cada tipo de obstáculo enfrentado, buscando realizar a descrição mais fidedigna possível das dificuldades, incertezas e conflitos que vivenciamos na elaboração do curso.

As propostas e ações adotadas para lidar com os obstáculos, e que serão descritas abaixo, estão detalhadas no planejamento pedagógico (Apêndice C.1), na descrição da construção do curso piloto (seção 3.2), e nos textos para os alunos (Apêndice C.2) e para o professor (Apêndice A).

Buscando organizar os dados, estabelecemos o código “OS” para os obstáculos *superáveis* e, “OC” para os obstáculos *contornáveis*. Apresentaremos a relação desses obstáculos e, em seguida, explicaremos cada um deles.

4.1.1. Obstáculos superáveis: construindo propostas

OS1. Concepção de ciência a ser apresentada: seleção dos aspectos da natureza da ciência.

OS2. Seleção dos aspectos históricos a enfatizar em cada episódio.

OS3. Nível de aprofundamento de alguns aspectos históricos.

OS4. Nível de detalhamento do contexto não científico.

OS5. Nível de aprofundamento de alguns aspectos epistemológicos.

OS6. Se, quando, quanto e como utilizar trechos de fontes primárias para o professor e para o aluno.

OS7. Formulação discursiva adequada ao nível de escolaridade visado.

OS8. Tratar, diacronicamente, diferentes concepções de ciência e pensadores de distintas épocas e conteúdos da história da ciência de difícil compreensão na atualidade.

OS9. Construção de atividades de ensino adequadas sob o ponto de vista pedagógico.

Consideramos que esses obstáculos estruturais são tipos de desafios passíveis de serem superados por meio de ações ou estratégias planejadas, e foram enfrentados fazendo-se escolhas e assumindo-se riscos. Faremos a seguir a descrição de cada um deles.

OS1. Concepção de ciência a ser apresentada: seleção dos aspectos da natureza da ciência

Quando se opta pelo uso da história da ciência na educação científica, com a finalidade de discutir aspectos da natureza da ciência, é necessário escolher qual concepção de ciência pretende-se adotar, e quais aspectos dessa concepção serão trabalhados (seção 1.2.4). Atualmente, há certo consenso entre educadores de várias partes do mundo sobre uma concepção desejável de natureza da ciência para a formação do aluno, e ela vem sintetizada na literatura educacional (GIL PEREZ *et al.*, 2001; LEDERMAN, 2007; MCCOMAS *et al.*, 1998). Para selecionar os aspectos que iríamos abordar, levamos em conta vários fatores.

O primeiro deles foi o estabelecimento do propósito pedagógico que pretendíamos com o curso (seção 1.2.4). Depois disso, consideramos o tempo didático disponível, além dos pré-requisitos que os alunos possuíam, para determinar qual nível de aprofundamento seria possível e quais aspectos poderiam ser compreendidos por eles. Cada mensagem que se quer passar sobre a natureza da ciência requer algumas estratégias pedagógicas específicas, para que possa ser apreendida pelos alunos. Apenas apresentar informações, sem permitir aos alunos vivenciarem algum tipo de interação com o saber, não favorece um aprendizado significativo.

Esse primeiro desafio não é exatamente uma dificuldade, mas um primeiro passo necessário na elaboração de uma proposta de curso a ser implementado, e requer critérios e

reflexões. Buscando chamar a atenção para a sua importância, foram incluídos nos obstáculos estruturais superáveis, pois acreditamos que é possível lidar com os fatores envolvidos e elaborar uma proposta adequada.

OS2. Seleção dos aspectos históricos a enfatizar em cada episódio

Depois que estabelecemos o tema e os três episódios históricos do curso piloto, começamos as conjecturas acerca de cada aspecto do conteúdo que deveríamos abordar (seções 3.2.3 e 3.2.4). Por exemplo, No episódio I, que tratava das explicações dos filósofos gregos para a luz, por exemplo, tínhamos a possibilidade de tratar diversas teorias, como as explicações para a luz de Pitágoras, Leucipo, Empédocles, Platão, Aristóteles e Euclides. Nossas dúvidas iniciaram-se ao refletirmos sobre quais critérios deveríamos utilizar para decidir quantas teorias seriam suficientes para atingirmos o objetivo proposto, e quais dessas teorias poderiam trazer maiores contribuições para alcançá-lo. O primeiro critério foi considerar os propósitos do curso como um todo e os propósitos do episódio histórico em questão (seções 3.2 e 3.3). Como em nenhum momento pretendíamos fazer uma abordagem matemática ou geométrica da luz, a contribuição de Euclides foi a primeira a ser excluída. Em seguida, ocorreu-nos, como critério apropriado, abordar três teorias consideravelmente distintas, vinculadas às respectivas concepções de mundo de seus autores e, possivelmente, de fácil compreensão por parte dos alunos.

A escola atomista, por exemplo, além de abordar conceitos não raros no ambiente escolar, inclusive nas aulas de química, apresentou-se como uma opção interessante. Entre os atomistas, Leucipo trazia uma abordagem que nos pareceu mais passível de simplificação. Sua explicação para a luz envolvia algo que emanava dos corpos e chegava aos olhos. A explicação de Empédocles era um ótimo contraponto à escola atomista, já que se baseava no fogo visual que saía dos olhos. Com as duas teorias, tínhamos duas explicações bem distintas, que acabaram apontando para a terceira possibilidade: a explicação de Aristóteles, que destacava a importância e o papel do meio material entre o observador e o objeto, para explicar a natureza da luz e a visão. Levando em conta o tempo disponível para o episódio e seus propósitos pedagógicos, achamos desnecessário incluir mais informações.

Refletindo sobre as escolhas e conteúdos selecionados e/ou excluídos dos outros episódios – por exemplo, a omissão da óptica de Alhazen dos instrumentos ópticos no século XVII e da matematização das teorias no XIX, percebemos alguns indicativos dos critérios que utilizamos na elaboração da proposta de superação desse obstáculo da seleção dos conteúdos: (i) os propósitos do curso como um todo e os propósitos de cada episódio; (ii) um conteúdo que tenha algum vínculo com as necessidades dos próximos episódios, contudo, sem reduzi-lo a fins meramente propedêuticos; (iii) maior viabilidade de simplificação sem incorrer em pseudo-história e (iv) os pré-requisitos que os alunos necessitam possuir para compreender os conceitos envolvidos.

É importante lembrar que, quando se estabelece um conteúdo de Saber a Ensinar, é necessário levar em conta o projeto político-pedagógico da escola, por sua vez, inserido em um determinado contexto educacional. Não se deve esquecer que a seleção do Saber a Ensinar envolve várias instâncias da noosfera (CHEVALLARD, 1991). Embora tal conjectura não tenha interferido em nossas decisões para a seleção do tema a ser tratado, em função do contexto de aplicação explicitado anteriormente, ele deve ser levado em conta em outras pesquisas e/ou outras propostas de curso.

OS3. Nível de aprofundamento de alguns aspectos históricos

Depois de selecionados os conteúdos de cada episódio, foi necessário estabelecer o nível de aprofundamento a ser dado a cada um deles. As *eidola* da escola atomista, por exemplo, seriam tratadas como partículas, como películas ou como filmes? Optamos por adotar uma simplificação, tratando-as como corpúsculos, pois essa noção não traria problemas de natureza historiográfica nem entraria em conflito com os objetivos do episódio. No episódio II, que enfocou o século XVII, avaliamos os riscos e os benefícios de apresentar a teoria de Huygens como uma teoria de tipo ondulatória e não como uma teoria vibracional. Tendo em vista o nível de escolaridade focado, os propósitos do curso e os propósitos dessa teoria no episódio (seções 3.2.3 e 3.2.4), entendemos que tal simplificação não pode ser considerada como uma distorção histórica. Desconsiderar a diferença entre ambas não seria adequado em um trabalho voltado à comunidade da história da ciência. Entretanto, essa discussão não se mostrou relevante para o enfoque escolhido, no contexto de elaboração e aplicação do curso piloto. Nesse caso, os saberes voltados ao especialista e os saberes voltados ao estudante do ensino médio, possuem funções sociais distintas (seção 2.2).

As mesmas conjecturas valeram para a abordagem da teoria da natureza da luz de Newton. Enquanto um trabalho especializado em história da ciência, mereceria uma discussão das diferentes concepções de luz que aparecem na obra de Newton, ora apresentada como corpúsculos e ora como raios de luz, essa diferença não era significativa para o enfoque escolhido, pelo contrário, traria um nível de detalhamento inadequado ao ensino médio e aos propósitos do curso. A descrição do experimento com o prisma deveria ser muito mais detalhada, se o curso piloto fosse voltado à formação inicial de professores, mas no caso do nível de escolaridade focado pelo curso, optamos por uma simplificação.

Tendo em vista nossas reflexões, e outras conjecturas feitas em detalhes de cada conteúdo, podemos perceber que não são apenas prescrições historiográficas e didáticas que interferem no nível de aprofundamento dos conteúdos históricos. Definir esse nível depende também do contexto de aplicação e dos objetivos almejados com cada aspecto abordado. Um detalhe que pôde ser simplificado ou omitido no curso piloto, pode fazer toda diferença em outro contexto de aplicação ou mediante outros objetivos pedagógicos.

OS4. Nível de detalhamento do contexto não científico

Um dos aspectos da natureza da ciência que desejávamos discutir no curso era: “a ciência é uma atividade humana influenciada pelo contexto sociocultural de cada época”. Isso requeria apresentar exemplos históricos de fatores extra-científicos que teriam influenciado os conteúdos da ciência tratados pelo curso. Dois conteúdos do tema pareceram-nos adequados para chamar a atenção para isso: o prestígio de Newton contribuindo para a aceitação da teoria corpuscular e o apoio de Arago para que Fresnel desenvolvesse sua teoria. Havia, entretanto, a preocupação de não sobrevalorizá-los, sugerindo posições extremas.

Consideramos “definir nível de detalhamento do contexto não científico” como um obstáculo superável, pois parece-nos possível refletir e planejar a abordagem que permita mostrar a influência do contexto na construção da ciência, sem desvalorizar os outros aspectos. Com Newton,, por exemplo, enfatizamos sua extrema dedicação na realização de inúmeros experimentos e na abordagem matemática. No caso de Fresnel, buscamos ressaltar o apoio material de Arago para a realização de seus estudos, mas salientar a importância da matemática na elaboração de sua teoria.

OS5. Nível de aprofundamento de alguns aspectos epistemológicos

Durante a elaboração do Saber a Ensinar, percebemos que a abordagem dos aspectos da natureza da ciência que queríamos discutir requeria a utilização de alguns conceitos epistemológicos. Seria necessário utilizar idéias como a formulação de hipóteses e a elaboração de teorias, por exemplo, ou ainda a concepção de evidências experimentais ou argumentos racionais. Nosso pressuposto, que os alunos nunca haviam estudado tais conteúdos, foi confirmado durante as reuniões com a professora. Nesse momento deparamo-nos com a necessidade de optar por apresentar esses conceitos aos alunos ou assumir que sua compreensão poderia vir da sua própria utilização nas situações estudadas. Decidimos enfrentar esse obstáculo e construir os textos e as atividades de modo a utilizar tais conceitos, sem defini-los formalmente, mas construindo uma narrativa que promovesse a sua compreensão.

OS6. Se, quando, quanto e como utilizar trechos de fontes primárias para o professor e para o aluno

A interpretação de fontes primárias não é um aspecto trivial da metodologia de trabalho do historiador da ciência. Tomemos como exemplo o episódio dos gregos no contexto do trabalho. Compreender Aristóteles falando sobre a luz e seu sistema de mundo, certamente requereu muitos anos de dedicação dos especialistas. Tratar desse tema sem possuir conhecimentos mínimos sobre a obra de Aristóteles em seu contexto, requer o apoio de fontes secundárias e conhecer minimamente aspectos metodológicos e historiográficos da história da ciência.

Na elaboração dos textos do episódio I, que tratava da Antiguidade, foi necessário utilizar o apoio de várias fontes secundárias, na tentativa de minimizar uma compreensão equivocada dos trechos primários consultados (COHEN; DRABKIN, 1958; LINDBERG, 1976, 1992; PARK, 1997; MARTINS, 1996, 2001). Claro que, no processo de descontextualização do Saber Sábio e na sua recontextualização para a criação do Saber a Ensinar, levamos em conta que o resultado voltava-se aos objetivos do curso para o ensino médio e não para a comunidade de historiadores. Se, por um lado, isso minimiza certas exigências pertinentes à academia, por outro os cuidados com a mensagem que cada informação pode sugerir deve ser redobrado.

No primeiro episódio decidimos não utilizar trechos de fonte primária. Receamos que fosse muito difícil não reforçar possíveis concepções prévias e estereotipadas de um

contexto cultural tão distinto do nosso. Seria necessário investir mais tempo do que dispúnhamos, tentando conduzir a leitura na tentativa de minimizar interpretações anacrônicas.

No episódio II, o século XVII, consideramos que seria mais fácil construir uma narrativa no texto que pudesse auxiliar na leitura dos trechos primários. Muito provavelmente essa decisão deveu-se a uma situação pessoal de maior familiaridade com esse período.¹⁶ Pareceu-nos ser possível superar esse obstáculo estrutural auxiliando o leitor na interpretação dos trechos primários.

Essas duas situações extremas, apresentadas acima, para esse caso particular (a elaboração do curso piloto), sugerem que a opção pelas fontes primárias deve ser feita mediante alguns requisitos. As circunstâncias contextuais da produção de determinada fonte primária deve ser minimamente conhecida pelo professor que irá utilizá-la em aula ou pelo autor do material didático. Pensamos que estar seguro com relação à interpretação dos aspectos a serem discutidos é um requisito indispensável para o uso das fontes primárias. Além disso, é necessário selecionar um trecho que possa ser inteligível ao aluno, despertar nele algum interesse, e não ser demasiado longo do ponto de vista do nível de escolaridade enfocado.

Por mais interessante e instigadora que possa parecer a apresentação de fontes primárias aos alunos, seria desejável sua leitura ser acompanhada por alguém com um mínimo de conhecimento do período histórico, para conduzir uma interpretação diacrônica. Entretanto, isso provavelmente não ocorrerá na maioria das escolas. Dessa forma, é necessário bom senso para avaliar os riscos e benefícios para decidir quando utilizar trechos de fontes primárias em textos voltados ao estudante. Ainda assim, parece-nos importante que tais trechos venham entremeados por explicações e esclarecimentos para auxiliar sua interpretação.

Desse modo, julgamos que esse obstáculo estrutural pode ser superado, pois, para favorecer a interpretação de extratos de fonte primária, pode-se incluir explicações no material para o aluno e para o professor.

¹⁶ O século XVII foi o período enfocado em minha dissertação de mestrado (Forato, 2003) que tratou de alguns aspectos teológicos da obra de Newton.

OS7. Formulação discursiva adequada ao nível de escolaridade visado

Quando se descontextualiza o saber de referência, despersonalizando-o e dessincretizando-o para a criação do Saber a Ensinar, torna-se necessário que o processo de retextualização leve em conta o nível de escolaridade enfocado.

Nossa proposta para superar esse obstáculo estrutural envolveu aspectos formais do texto, de vocabulário e de conteúdo. Decidimos utilizar a norma culta na correção gramatical, mas adotar uma linguagem coloquial e despreziosa. Havia, é claro, muitos termos e expressões novas para os alunos, mas buscamos, sempre que possível, que o próprio texto permitisse a sua compreensão. Espera-se que o aluno adquira novos vocabulários e amplie seus conhecimentos, quaisquer que sejam os conteúdos trabalhados, mas um texto que permita autonomia na compreensão da maior parte das novas expressões parece-nos que tende a apresentar melhor aceitação entre os mesmos. Tentamos construir um texto de modo que o significado dos novos termos fosse tornando-se mais claro conforme o estudante compreendesse os exemplos históricos.

Com relação ao conteúdo, cada aspecto requereu reflexão sobre o que omitir, o que destacar e como abordar. Essas escolhas foram guiadas pelo papel que cada detalhe desempenharia no propósito do curso piloto. Apresentamos alguns exemplos mais específicos sobre essa questão nos outros desafios discutidos nessa seção.

OS8. Tratar diacronicamente diferentes concepções de ciência e pensadores de distintas épocas, e conteúdos da história da ciência de difícil compreensão na atualidade.

Levar em conta as diferenças entre a concepção de ciência em distintas épocas e nas diferentes ciências foi um obstáculo estrutural que motivou significativamente nossa reflexão. Como o aluno poderia interpretar as diferentes concepções de ciência, tanto entre os três episódios enfocados, quanto em relação à ciência atual? A interpretação anacrônica de que o fracasso das teorias do passado deve-se ao “atraso científico” de cada período é a concepção mais usual referida pela literatura especializada. Como buscávamos problematizar aspectos da natureza da ciência, os estudantes poderiam concluir que as diferentes interpretações para os fenômenos naturais só ocorriam no passado. Foi necessário lidar com as diferenças entre o que os alunos consideram como ciência atualmente e o que era considerado válido para a elaboração de explicações para os fenômenos naturais tratados no período da Antiguidade que enfocamos. A proposta para lidar com esse desafio foi insistir nesse aspecto na preparação da professora. Enfatizamos

essa preocupação, conversamos sobre possíveis momentos em que tal visão pudesse se manifestar, e como ela poderia posicionar-se diante dessas concepções para promover um entendimento adequado da questão.

Além das diferentes concepções de ciência, há conteúdos da história da ciência que requerem empenho e atenção para serem tratados diacronicamente. Muitos conceitos importantes em diversos momentos da história da ciência podem ser considerados “bizarros” pelos alunos, atualmente. Na elaboração do curso piloto, por exemplo, lidamos com o conceito do éter nos séculos XVII e XIX. Na preparação do material, ponderamos as dificuldades que os alunos teriam para compreender esse ente inobservável. Além dele, outros aspectos conceituais e filosóficos das explicações elaboradas nos três episódios históricos abordados, poderiam ser de difícil entendimento.

Para lidar com esse desafio, inicialmente tentamos selecionar apenas aspectos pontuais das teorias a serem tratadas, que permitissem atingir nossos objetivos. Depois disso, buscamos apresentá-los da maneira mais simplificada possível.

Enfatizamos, na preparação da professora, que o éter e idéias de substâncias e fluidos imponderáveis eram comuns na física dos séculos XVII, XVIII e parte do século XIX. Além disso, destacamos que o éter era utilizado para explicar outros fenômenos naturais e não apenas a natureza da luz.

O desafio de abordar conteúdos da história da ciência, de difícil compreensão na atualidade, configurou-se como um obstáculo superável, pois acreditamos que seria possível propor uma solução para seu enfrentamento. O caminho que adotamos para lidar com tal desafio foi simplificar a idéia de éter, omitindo aspectos dispensáveis para os objetivos do curso e enfatizando a adequação dessa concepção ao período. É importante o aluno compreender que as concepções de éter e de outros conceitos descartados pela ciência atual eram pertinentes aos seus respectivos períodos, caso contrário, tais conteúdos poderão soar ridículos e nada “científicos”. Ou seja, se o aluno não entender que idéias, conceitos e pressupostos da ciência eram pertinentes às práticas consideradas válidas em cada período, ele poderá imaginar que o “atraso do passado” justifica a aceitação de “coisas estranhas”. Tal concepção preconceituosa e anacrônica conflita diretamente com o propósito de ensinar uma “ciência se desenvolvendo em um contexto cultural, de relações humanas, dilemas profissionais e necessidades econômicas. Uma ciência parcial e falível, contestável, uma construção cultural” (PUMFREY, 1991).

Outro desafio enfrentado foi tratar diacronicamente pensadores de épocas e culturas diferentes das nossas. Como auxiliar o aluno a compreender, por exemplo, a concepção de mundo aristotélica ou de Empédocles? Como promover “rapidamente” o entendimento de seus critérios, crenças e valores? Uma vez que o curso é voltado para o ensino da natureza da ciência, não é possível dedicar muito tempo para abordar detalhes históricos do período no nível de profundidade que seria necessário para compreender a visão de mundo em diferentes períodos.

Uma das estratégias que utilizamos para lidar com esse desafio foi a atividade do debate. Quando os alunos assumissem o papel de “cientistas”¹⁷ do passado, tendo que justificar suas respectivas teorias utilizando somente os argumentos aceitos naquele período, eles vivenciariam uma dinâmica da defesa de suas idéias e teriam que construir argumentos para defendê-las.

Nesse obstáculo também recorreremos à preparação da professora para lidar com idéias que poderiam surgir ao longo das aulas. Nossa preocupação era evitar que os alunos imaginassem que o “atraso dos cientistas do passado” justificaria a sua aceitação de “coisas estranhas”. Desse modo, discutimos possíveis interpretações anacrônicas dos alunos e alguns modos para criticá-las.

No momento em que preparávamos o curso piloto, consideramos que seria muito produtivo um trabalho conjunto com outras disciplinas, por exemplo, história e filosofia. Se outros professores da turma conhecessem os textos e os propósitos do curso, poderiam discutir aspectos de suas áreas de especialidade para favorecer ao aluno um entendimento mais amplo do conteúdo. Porém, não seria possível contar com esse recurso naquele momento, e, mais do que isso, não seria apropriado para a pesquisa. Uma vez que pretendemos produzir conhecimento que possa ser replicado, o contexto de aplicação deveria ser o mais autônomo possível. Todavia, julgamos interessante registrar essa

¹⁷ No período retratado pelo debate protagonizado pelos alunos, as concepções de ciência, de seus métodos e de seus protagonistas eram diferentes das atuais. Sob o ponto de vista historiográfico, os homens da ciência do século XVII eram filósofos naturais. A partir do século XIX os homens que pesquisavam o mundo natural passaram a ser chamados de cientistas. As diferentes denominações pretendem contextualizar suas práticas a seus respectivos períodos, chamando a atenção para as mudanças na concepção de ciência que ocorreram ao longo da história da ciência.

possibilidade, pois acreditamos que um trabalho multidisciplinar poderia contribuir sobremaneira para a formação dos alunos.

OS9. Construção de atividades de ensino adequadas sob o ponto de vista pedagógico

Um desafio que enfrentamos na elaboração do curso foi “agregar situações fictícias aos episódios históricos” sem criar uma pseudo-história (ALLCHIN, 2004). Esse desafio manifestou-se na elaboração do roteiro para o teatro. Tínhamos a intenção de desenvolver uma atividade instigadora, envolvente do ponto de vista do aluno. Era necessário tratar aspectos do conteúdo, mas também tornar o curso dinâmico, interessante e desafiador. Pensamos que encenar uma peça teatral poderia atender a esses objetivos. Entretanto, reproduzir um episódio histórico “fidedignamente” em um roteiro de teatro exigiria muito mais tempo, estudo e experiência do que dispúnhamos no momento. Além do mais, nada garantiria que tal versão resultante seria atraente para os estudantes. Decidimos, assim, criar situações fictícias que pudessem focar os conteúdos históricos e epistemológicos, mas enfatizando que eram apenas uma invenção. Consideramos, naquele momento, que o importante seria produzir situações que não distorcessem os aspectos da natureza da ciência, ainda que nunca tivessem ocorrido na história da ciência.

4.1.2. Obstáculos a contornar: em busca de caminhos

OC1. Concepções ingênuas sobre história e epistemologia da ciência.

OC2. Falta de preparação do professor.

OC3. Inadequação de textos especializados de história da ciência ao ensino médio.

OC4. Falta de pré-requisitos dos alunos em relação ao conhecimento matemático, físico, histórico, epistemológico e filosófico.

OC5. Possível concepção prévia dos estudantes e professores sobrevalorizando a capacidade da ciência atual em resolver todos os problemas.

OC6. Enfatizar aspectos científicos ou enfatizar fatores externos à ciência.

OC7. Quantidade da informação na forma de textos.

OC8. Extensão x profundidade.

Os obstáculos estruturais **contornáveis** são os desafios cujo enfrentamento exigiu ações e recursos para compensar situações pré-existentes ao curso, como a falta de

preparação do professor, por exemplo. Essa dificuldade, bem como as outras que serão discutidas abaixo, necessitaram de estratégias para sua compensação, pois não era possível superá-las no nosso contexto de trabalho. Consideramos esses obstáculos como contornáveis, pois sua solução extrapolava os limites do curso piloto. Propusemos estratégias buscando compensar as dificuldades pontualmente, pois não foi possível propor uma solução ampla, conforme discutiremos abaixo.

OC1. Concepções ingênuas sobre história e epistemologia da ciência

Quando se propõe utilizar a história da ciência na educação científica, mediante as prescrições da historiografia atual, é necessário ter claro que se está apresentando um enfoque diferente da visão que os alunos e demais pessoas da sua convivência possuem (seção 1.2.3). Havíamos adotado como pressuposto que os alunos provavelmente iniciariam o curso piloto com uma visão excessivamente empirista da ciência e com a crença de que os cientistas *provam* suas teorias. De fato, essas características haviam sido apontadas pela dimensão teórica, pois, ao recomendar o ensino da natureza da ciência, os especialistas buscam, exatamente, modificar tais concepções (LEDERMAN, 2007).

Além disso, a concepção que se busca apresentar aos alunos é diferente daquela trazida pelos materiais didáticos. Isso significa que o curso deve lidar não apenas com concepções presentes fora do ambiente escolar, mas que a visão apresentada pelo professor irá conflitar com aquela trazida por uma “autoridade escolar”: os autores do material didático, que gozam de prestígio no ambiente escolar. Por que o aluno deveria considerar o ponto de vista do seu professor correto e o livro didático errado?

Pareceu-nos necessário que o curso antecipasse tais diferenças e preparasse os estudantes para lidar com essa mudança e com o confronto entre o novo enfoque e a visão ainda predominante na educação científica. Desse modo, essa nova concepção de natureza da ciência que buscávamos ensinar não poderia ser simplesmente dita, proclamada. Julgamos indispensável que os alunos tivessem um contato significativo com esses conteúdos, no sentido de vivenciar algum tipo de conflito ou problematização que os envolvesse.

Buscamos contornar esse obstáculo de duas formas. Primeiramente, fomos levantando dúvidas sobre a concepção a ser criticada ao longo da apresentação dos *slides* e nos textos, e, ao mesmo tempo, fazendo provocações que instigassem os alunos a

questioná-las (Apêndice C.2). Fomos introduzindo aos poucos os elementos que permitiriam propor uma visão alternativa, exemplificando o ponto de vista defendido.

O segundo recurso para contornar esse obstáculo foi enfatizá-lo na preparação da professora. Chamamos a atenção para o fato de que, além dos livros didáticos, a mídia, direta ou indiretamente, veicula uma concepção da natureza da ciência ultrapassada, justamente aquela que pretendíamos modificar. Orientamos a professora para discutir isso com os alunos, sempre que possível, alertando-os para as situações que comumente encontramos, como por exemplo, declarações de que “mais uma teoria científica havia sido comprovada”. Acreditamos que é possível ao professor identificar situações para discutir as diferentes visões da construção do conhecimento científico, quando tem consciência desse desafio.

A possibilidade de surgirem outras concepções prévias não previstas também existia. Nesse caso, conseguimos antever duas situações. Idealmente, a preparação do professor deveria ser suficiente para que ele lidasse com alguns aspectos inesperados, podendo conduzir habilmente a discussão em sala de aula. Uma outra possibilidade é a atitude normalmente adotada por educadores quando um aluno questiona um tema desconhecido por ele: propor como uma pesquisa para os estudantes, ou dizer que desconhece a questão específica, que irá investigá-la e trará esclarecimentos na próxima aula. No nosso curso piloto, não seria possível propor pesquisas aos estudantes, dado o sistema modular de aulas em dias consecutivos. Não nos pareceu apropriado contar com esse recurso. Dessa forma, para essa situação em particular, caberia ao pesquisador que iria acompanhar o curso, orientar a professora nas possíveis lacunas no material didático. Em outros casos de aplicação desse curso ou propostas similares, caberá ao professor informar-se das questões imprevistas.

OC2. Falta de preparação do professor

Preparar o professor das ciências para tratar aspectos filosóficos e históricos em sala de aula requer tempo, estratégias e material adequado. Na elaboração do curso sabíamos que a professora a aplica-lo não havia estudado tais conteúdos em sua formação. Desenvolver recursos que pudessem compensar a falta desse conhecimento específico suscitou muitas dúvidas: quais recursos seriam adequados? Quanto de aprofundamento adicional seria necessário apresentar no texto do professor em relação ao do aluno? Como

prever possíveis dúvidas dos alunos e fornecer subsídios para o professor lidar com elas? Alguns aspectos eram mais evidentes, como as interpretações anacrônicas sobre conceitos, pessoas, e a ciência do passado, conforme descrevemos em obstáculos anteriores. Mas poderia haver situações imprevistas, como dúvidas epistemológicas dos alunos não previstas no material.

Utilizamos três recursos para dar apoio à professora. O primeiro deles foi discutir nas reuniões todos os pontos previsíveis como mais críticos; outro recurso foi exemplificar no texto de apoio certos “detalhes” que pudessem esclarecer esses pontos críticos; e, finalmente, elaboramos apresentações em *slides* para auxiliá-la nas aulas. Esse último recurso foi o único para o qual consultamos a professora. Os textos para os alunos e o próprio texto para o professor foram elaborados sem consultá-la, porque era parte da proposta da pesquisa vivenciar as dificuldades desse momento. Além disso, esse procedimento deveria ser autônomo e genérico, na medida do possível, para permitir que os resultados obtidos fossem replicados em outras situações. Os *slides*, todavia, consideramos como necessários para apoiá-la nas aulas. Apresentávamos a aula para a professora, e quando havia algum detalhe que poderia deixá-la mais insegura, ela pedia a inclusão de informações pontuais, para lembrá-la.

É importante destacar que nosso recorte para essa pesquisa não inclui a formação do professor. Tal linha de pesquisa possui referenciais teóricos próprios e esta tese teria outro encaminhamento se o objetivo fosse analisar a formação da professora. Portanto, nesse primeiro momento, as considerações sobre o professor configuram-se como dados descritivos realizados pelo pesquisador, que buscam registrar as dificuldades vivenciadas e soluções propostas, de modo a contribuir para a análise de dados dessa pesquisa. Estamos também buscando registrar esse processo de interação com a professora do modo mais detalhado possível para que, futuramente, possa ser analisado em desdobramentos desta pesquisa.

OC3. Inadequação de textos especializados de história da ciência ao ensino médio

Não é possível esperar que o aluno do ensino médio compreenda o trabalho que o historiador da ciência escreve voltado para seus pares. Na elaboração do curso piloto utilizamos esses trabalhos como saber de referência, entretanto, selecionar os aspectos fundamentais e descrevê-los de modo acessível aos alunos não foi elementar. Conforme

havíamos apontado na dimensão teórica, a transposição didática dos saberes de referência para o Saber a Ensinar prevê os complexos processos de descontextualização (seção 2.3). Esses textos especializados são coerentes em si mesmos, possuindo uma estrutura argumentativa a explorar os detalhes históricos e científicos que permitam apresentar uma hipótese de trabalho e defendê-la, ou colocar uma questão e respondê-la. Tornar esse texto adequado ao estudante do ensino médio é bem mais do que meramente simplificar sua linguagem e omitir as informações “mais complicadas”.

A vivência desse desafio permitiu-nos perceber aspectos que não devem ser abordados, enquanto outros não podem ser omitidos. O objetivo visado com o uso daquele conteúdo seria definir “o quê” e “como” deveria ser abordado, e não meramente excluir aspectos mais “difíceis” para o aluno entender. Um exemplo para esclarecer esse desafio é com relação ao experimento de Newton com o prisma. Os textos de referência (MARTINS; SILVA, 2001; SILVA; MARTINS, 2003) traziam vários detalhes dos experimentos realizados por Newton com o prisma, até propor sua explicação para a dispersão da luz branca em um prisma. Um dos objetivos dos autores era mostrar que foi um processo bastante complexo, sendo necessário formular hipóteses e realizar inúmeros experimentos, lidando com diversas variáveis até chegar a uma conclusão. A visão padrão em geral divulgada é a do *experimentum crucis*, que permitiu induzir sua teoria das cores.

Quando selecionamos esse conteúdo específico para o episódio II, pretendíamos criticar uma visão empírico-indutivista da ciência e reforçar a idéia da impossibilidade de observações neutras dos fenômenos. Esses textos traziam um conteúdo adequado para esse fim. Porém, o grande número de detalhes e os aspectos que fundamentavam a argumentação dos autores não seriam adequados ao nível de escolaridade focado. Por outro lado, *não* poderíamos simplesmente dizer: “Newton não realizou um único experimento, tampouco apenas experimentos, para concluir que a luz branca era uma mistura de sete cores. Ele utilizou hipóteses que guiaram seus procedimentos experimentais”. Seria necessário construir uma argumentação que pudesse mostrar aos alunos os caminhos mencionados pelos autores. Mas, em que nível de simplificação? O que poderíamos omitir? O que deveríamos destacar?

A proposta para enfrentar esse desafio percorreu o seguinte caminho: em primeiro lugar, a professora fez a demonstração experimental da dispersão da luz pelo prisma. Olhou para a mancha colorida projetada na parede e começou a perguntar aos alunos:

quantas cores vocês vêem? É possível distinguir onde termina uma cor e começa a outra? Por que será que a forma é alongada se o “buraco” por onde passa a luz é redondo? Dessa forma, antes de o aluno ter qualquer contato com o conteúdo a ser discutido, pretendíamos que ele se familiarizasse com o fenômeno, explorando possibilidades. Depois disso, a apresentação em *slides* (Apêndice D) explorava a interpretação corrente na época de Newton sobre o prisma modificar a luz. Fomos preparando o terreno para começar a relatar algumas das hipóteses aventadas por Newton e as sucessivas experiências que as derrubavam. Nesse momento, omitimos alguns detalhes, simplificamos outros, e “relatamos” proporções matemáticas sem fazer uma apresentação formal, tanto nos *slides* como no texto para os alunos (texto 4 para os alunos do curso piloto no Apêndice C).

Acreditamos que a combinação dessas estratégias: observar o fenômeno, acompanhar a apresentação em *slides*, e ler a sistematização no texto poderiam, conjuntamente, contornar o obstáculo enfrentado. Uma vez que a narrativa adequada desse episódio histórico escrita por especialistas não seria acessível aos alunos do ensino médio, foi necessário criar mecanismos para contornar esse problema.

OC4. Falta de pré-requisitos dos alunos em relação ao conhecimento matemático, físico, histórico, epistemológico e filosófico

Os conteúdos tratados no curso piloto eram todos novidade para os alunos, salvo alguns conhecimentos básicos de fenômenos ópticos como reflexão e refração da luz. Eles não conheciam os períodos históricos na dimensão necessária ao curso, nunca haviam estudado os conteúdos filosóficos ou epistemológicos a serem tratados, nem mesmo noções elementares que poderiam ser úteis para nossos propósitos. Além disso, não estudaram difração, superposição e interferência luminosas.

Era preciso desenvolver mecanismos para compensar tais deficiências. Para lidar com o conteúdo físico e com a omissão da matemática, realizamos demonstrações experimentais, fizemos breve revisão dos fenômenos ópticos em *slides* e apresentamos o filme Dr. Quantum (para auxiliar na compreensão da interferência luminosa). Sobre os aspectos históricos, mencionamos no texto apenas informações diretamente ligadas aos fenômenos discutidos, e decidimos por não investir na contextualização mais ampla do período. Infelizmente, muitos aspectos culturais do período foram omitidos. Para lidar com conteúdos filosóficos e epistemológicos, buscamos criar uma narrativa histórica que fosse apresentando, aos poucos, e na medida do possível, subsídios para os alunos entenderem os

conceitos cruciais que seriam tratados. Utilizando exemplos da história da ciência, buscávamos ir apontando nas entrelinhas a dinâmica da construção do conhecimento, por exemplo, mostrando aspectos do debate corpúsculos ou vibrações no éter ocorrido no século XVII.

Lidar com a falta de pré-requisitos não impõe apenas desenvolver estratégias para compensar essa ausência nas coisas que se quer ensinar, mas também escolher o que se deve omitir. Fazer escolhas é muito difícil, mas necessário, já nos dizia Sir Richard Livingstone: “Se reconhece um bom professor pelo número de temas valiosos que se abstém de ensinar” (*apud* CHEVALLARD, 1991, p. 54).

Omitir a matematização foi ponto nevrálgico durante a elaboração do curso, uma vez que admitimos a matemática como estruturante do pensamento físico (PIETROCOLA, 2002). O que realmente se conhece de uma explicação para um fenômeno físico sem a abordagem matemática?

Não foi possível evitar o pesar sobre temas interessantes que o aluno, provavelmente, não terá oportunidade de aprender. Foi o caso, principalmente, das contribuições árabes durante a Idade Média, do peculiar cenário cultural permeando influências místicas e teológicas na obra de Newton, e o interessante aspecto do arrastamento parcial do éter pelos corpos transparentes na teoria de Fresnel.

OC5. Possível concepção prévia dos estudantes e professores sobrevalorizando a capacidade da ciência atual em resolver todos os problemas

A concepção da capacidade da ciência atual de resolver todos os problemas é uma das facetas do anacronismo que vem sendo discutido em diferentes desafios e propostas. Posto aqui de forma mais genérica, foi contornado, basicamente, como os demais. No material didático, buscamos mostrar a pertinência das idéias e dos recursos utilizados em cada época, procurando valorizá-los em seu contexto. Na preparação da professora, enfatizamos as possíveis facetas com que essa visão poderia se materializar, orientado-a para administrá-las.

OC6. Enfatizar aspectos científicos ou enfatizar fatores externos à ciência

Esse obstáculo é bastante complexo em função dos desdobramentos de suas possíveis soluções. Ele pode ser considerado um conflito, ou mesmo um dilema em

algumas situações. Há dois objetivos estabelecidos para o curso piloto que justificariam a necessidade de enfatizar aspectos externos à ciência.

Um deles é quando se pretende mostrar a influência de fatores extra-científicos na construção da ciência, visando criticar a visão empírico-indutivista. Para problematizar essa concepção de ciência utilizamos dois pilares: (i) mostrar a impossibilidade de conclusões neutras e objetivas a partir da observação de fenômenos e experimentos; (ii) mostrar a influência de fatores não científicos na aceitação de idéias, teorias e metodologias. Tais estratégias, entretanto, envolvem riscos, como por exemplo, o relativismo, quando se desvaloriza demasiadamente a experimentação. Ou ainda, atribuir a grande aceitação das idéias de Newton no século XVIII, apenas ao seu prestígio. Mais do que o dilema entre enfatizar um ou o outro, existe o desafio de contrabalançar ambas as informações. Quanto enfatizar de cada um? Como minimizar riscos de interpretações equivocadas? Até que ponto é possível atuar nessa mediação?

O outro objetivo de se utilizar conhecimentos de fatores não científicos no curso piloto seria promover uma compreensão do contexto. Na perspectiva historiográfica, é necessário contextualizar qualquer conteúdo da ciência para abordá-lo. Tal contextualização pode ser feita mediante aspectos internos à ciência, por exemplo, analisando outras teorias do período, o procedimento de outros “cientistas”, outras metodologias para investigar o mesmo fenômeno, as idéias que influenciaram a elaboração de determinado conceito etc. Nesse caso, compreender uma idéia da ciência em seu contexto, é compreendê-la na perspectiva conceitual. Ainda que implicitamente, ao estudar como procediam o pesquisador e seus pares, está-se criando o quadro teórico da época enfocada. Outra forma de contextualizar um conteúdo científico é entendê-lo na perspectiva cultural. Que valores, idéias, crenças de uma determinada sociedade influenciaram na elaboração de uma determinada teoria? Que necessidades políticas ou econômicas motivaram o desenvolvimento de determinados conceitos, teorias ou mesmo ramos da ciência?

No curso piloto não foi possível contextualizar, de nenhum modo, sob o ponto de vista historiográfico. Porém, conforme já dissemos, os saberes produzidos de historiadores para historiadores e os saberes voltados ao ambiente escolar possuem funções sociais distintas. Nosso modo de superar ou contornar esses obstáculos foi primeiramente estabelecendo que não havia tempo para discutir aspectos históricos e científicos do

período. Depois disso, separamos essa complexa discussão em obstáculos menores e buscamos solucionar/contornar cada um deles.

A tentativa de contextualização de cada um dos episódios históricos foi feita mediante a comparação de teorias e idéias defendidas por pensadores contemporâneos, buscando adequar essa discussão ao ensino médio, naturalmente. Esses pontos são explorados em outros desafios discutidos, pois, como dissemos, alguns deles apresentam aspectos sobrepostos, mas optamos por explorar o maior número possível de suas facetas.

Para mostrar algumas influências de fatores não científicos, utilizamos basicamente o prestígio de Newton e o apoio de Arago a Fresnel, mas, em ambos os casos, buscamos destacar outros méritos das idéias, como a rigorosa matematização, o poder explicativo das teorias, os inúmeros experimentos realizados (veja textos no Apêndice C e *slides* no Apêndice D). Tais desafios também foram discutidos outras vezes.

OC7. Quantidade da informação na forma de textos

A preparação de um material em história e filosofia da ciência para o ensino médio requer que o conteúdo seja sistematizado em textos para os alunos. Ainda que possamos lançar mão de diversas atividades diferentes para discuti-lo (conforme propusemos no curso piloto), é necessário que uma organização das idéias seja registrada de forma que o aluno possa compreendê-las. Ao invés de ilustrações, fórmulas, gráficos e exercícios habituais no ensino da física, lidávamos com conteúdos históricos e filosóficos. Durante a elaboração do curso houve uma preocupação em não sobrecarregar os alunos com a quantidade de textos, pois a leitura não é uma prática comum entre os estudantes do ensino médio.

A professora confirmou a falta do hábito de leitura dos estudantes. Entretanto, esse foi um risco que decidimos assumir. No contexto de aplicação do curso piloto, não havia outra maneira de garantir o contato do aluno com o conteúdo sistematizado de modo a atender os objetivos do curso. Decidimos arriscar, entregando aos alunos nove textos para leitura, incluindo o roteiro para o teatro. Supúnhamos que os alunos do ensino médio estranhariam uma “grande” quantidade de textos (cerca de 40 páginas) para estudar em apenas 10 dias consecutivos.

Adotamos a estratégia de realizar a leitura junto com os alunos durante as aulas, somente depois de ter tido seu conteúdo trabalhado em atividades didáticas diferentes.

Desse modo, a leitura era uma organização dos conceitos já discutidos em distintas estratégias pedagógicas.

OC8. Extensão versus profundidade

Adotar a abordagem recortada dos episódios históricos sem perder de vista a compreensão panorâmica da história foi um desafio a enfrentar. A nossa opção para tratar a história da ciência é pelo recorte, estabelecido desde o quadro teórico (capítulos 1 e 2). As grandes sínteses são as versões que, em geral, apresentam mais problemas na interpretação da história da ciência. A tentativa de elaborá-las traz normalmente uma reconstrução racional, que tende a estereotipar atores e simplificar demasiadamente os fatos. O risco de adotar visões problemáticas, anacrônicas e permeada por juízos de valor é muito grande (ALLCHIN, 2004; KRAGH, 1987; KUHN, 1997; MARTINS, L., 2005; MARTINS, R., 2004)). A opção pela extensão é própria da tentativa de utilizar a história da ciência para se ensinar ciências e está vinculada à concepção historiográfica presente no ambiente escolar (seções 1.2.2 e 1.2.3). De um modo geral, professores e autores de livro didático não foram formados em história da ciência, então é normal que perpetuem a história da ciência que conheceram. Cabe aos especialistas a tarefa de investir na divulgação das interpretações da história da ciência, orientadas segundo a historiografia contemporânea.

Havia entretanto, a preocupação com a autonomia do aluno em localizar temporalmente os episódios a serem tratados. “O olhar aproximado nos permite captar algo que escapa da visão de conjunto, e vice-versa” (GINZBURG, 2006, p. 267). Conforme destaca o historiador Ginzburg, é necessário, na medida do possível, a visão da parte e do todo. Desse modo, julgamos necessário desenvolver uma estratégia pedagógica que pudesse favorecer o entendimento da localização histórica de cada episódio (seção 3.2.7).

Optamos pela utilização do recurso “linha do tempo”, descrita na seção 3.2.5, com imagens de pensadores e de filmes históricos, para permitir ao aluno localizar de modo relativamente rápido a época em que ocorreu cada episódio tratado pelo curso (Apêndice D.2).¹⁸

¹⁸ Havíamos utilizado tal recurso, lançando mão de filmes históricos para promover a localização dos períodos, nas aulas de História de Ciência que ministramos na Universidade Ibirapuera em 2005 e 2006. Trabalhamos com diferentes turmas e os resultados obtidos foram positivos. A proposta original foi ampliada

Nossa hipótese nessa proposta foi admitir que conciliar o recorte histórico dos episódios, prescrito pela metodologia e historiografia da história da ciência, com uma visão panorâmica de todo o processo, permitiria atender aos requisitos do ambiente escolar. Em outras palavras, esse recurso pedagógico traria uma proposta para lidar com um possível conflito entre extensão e profundidade em abordagens históricas. Ao mesmo tempo que um conteúdo da história da ciência fosse focado diacronicamente, a linha do tempo permitiria “visualizar” o momento histórico em que ocorreu e apontar para o contexto cultural adjacente.

4.2. Análise da aplicação do curso: a construção dos eventos de pesquisa

Apresentamos na seção anterior os desafios enfrentados durante a elaboração do curso piloto, que se configuram como resultado da primeira etapa da parte empírica da pesquisa. Faremos a seguir a análise de três eventos decorrentes da aplicação do curso piloto em sala de aula, ou seja, a segunda etapa da pesquisa empírica.

O curso piloto alternou aulas mais expositivas, durante as quais se introduziam os três episódios históricos selecionados ou momentos de sistematização das questões propostas, com momentos de atividades dinâmicas – como o debate, o teatro e o festival cultural. Houve também aulas com demonstrações experimentais de fenômenos ópticos, com textos entregues recortados em parágrafos, como um quebra-cabeça, e momentos para responder às questões finais em cada episódio.

De modo geral, podemos considerar que a aplicação da seqüência didática apresentou bons resultados, sob vários aspectos. Os alunos mostraram-se engajados nas atividades, na problemática discutida e no tema do curso. Na última aula do módulo, os estudantes agradeceram a oportunidade do aprendizado. Seus comentários no questionário inserido na avaliação final do curso demonstraram que eles sentiam-se prestigiados e privilegiados em aprender o conteúdo do curso. A professora mostrou-se entusiasmada com o conteúdo e com as inovações metodológicas e os desafios a eles subjacentes. Ela empenhou-se na leitura dos textos e no aprendizado do novo conteúdo, e mostrou-se

na linha do tempo desenvolvida para esse curso piloto. Tal linha pode ser vista no corredor do Bloco B da FEUSP, no corredor de Ensino do IFUSP e está disponível em:

<http://nupic.incubadora.fapesp.br/portal/projetos/historia-da-fisica/imagem-3/TEMPO_LINHA.jpg>.

satisfeita com os resultados e com o transcorrer das aulas. Nas nossas reuniões durante o curso, ela fazia comentários do tipo: “*eu estou achando que estamos indo bem, os alunos estão curtindo, você notou?*”. Em outras ocasiões ela comentava: “*nossa, eu sempre quis trabalhar com história da ciência, que bom ter dado certo... estou adorando o assunto do curso*”.

A repercussão do curso na escola foi bastante positiva. Os alunos de outra sala de terceiro ano foram queixar-se à direção que gostariam de ter sido selecionados para a aplicação do curso piloto. Esclareceu-se que a professora daquela turma escolhida é quem estava vinculada ao grupo de pesquisa do Nupic-Feusp, por isso apenas uma classe teve, naquele primeiro momento, a possibilidade de participar.

Do ponto de vista da pesquisa, o curso trouxe informações importantes também quando mostrou a necessidade de aperfeiçoar o material didático, o planejamento das aulas, e apontou algumas lacunas na preparação desenvolvida com a professora. Tais aspectos serão destacados ao longo da análise dos eventos.

Percebemos que, mesmo em aulas expositivas, supostamente as mais “monótonas”, a maioria da sala permanecia atenta e comprometida com a problemática. Alguns alunos normalmente menos interessados, aqueles menos envolvidos nas primeiras aulas, foram se engajando nas atividades ao longo do curso. Começaram a participar ativamente nas aulas, integrar os debates, levantar questões, e continuaram a apresentar um comportamento de maior comprometimento, mesmo quando o curso terminou, conforme a professora relatou.

Após o término do curso, tivemos ainda algumas reuniões com a professora, em que ela descreveu a mudança de comportamento dos alunos no sentido de maior engajamento com os conteúdos, inclusive nos assuntos tratados posteriormente.

Os resultados acima podem fazer crer que, do ponto de vista da aplicação, o curso piloto foi um sucesso! No entanto, interessa-nos, como pesquisadora, entender como os obstáculos anteriormente discutidos puderam ou não ser superados e contornados. Ou seja, o foco principal da análise que esta pesquisa se propõe recai sobre o entendimento do processo de didatização. Isso exige um revisitar os dados obtidos na aplicação do curso, buscando elementos que permitam resultados mais específicos sobre esse processo e, portanto, menos gerais em termos de análise.

O curso piloto foi organizado de forma que cada episódio fornecesse conteúdos históricos e epistemológicos, visando a problematizar aspectos da natureza da ciência, bem como preparar o aluno para as discussões vindouras. A seqüência de atividades didáticas foi pensada para promover o contato do aluno com um mesmo objetivo epistemológico mais de uma vez, buscando favorecer a reflexão e o amadurecimento dos conceitos trabalhados. Por essa razão, não há atividades autônomas no curso, isto é, nenhuma atividade foi pensada para ser auto-suficiente em relação aos propósitos pedagógicos do curso.

Dessa forma, as unidades de análise não seriam naturalmente as atividades ou episódios históricos do curso. Isso requereu selecionar, usando critérios baseados no referencial teórico, algumas seqüências de interação sujeitos-saber, para que fosse possível completar um ciclo, para responder às questões levantadas (CARVALHO; GONÇALVES, 2000). A seleção de um único aspecto pontual em uma única aula não poderia contemplar dados suficientes para uma análise que pretende compreender o processo de interação na relação didática, no caso dessa pesquisa. Estas seqüências de interação são os “eventos de pesquisa”, que passaremos a analisar abaixo.

A seleção desses três eventos foi realizada, principalmente, em decorrência do contato íntimo com os dados gravados e escritos. Inicialmente, nossa intenção para com a análise dos dados era observar como os aspectos da natureza da ciência selecionados (seção 1.2.4) haviam se materializado na sala de aula, e como os alunos interagiram com eles. Interessava-nos também, averiguar as conseqüências das soluções propostas para superar ou contornar os obstáculos estruturais na elaboração da proposta. Durante a análise dos dados, as questões envolvendo esses três eventos mostraram-se dignas de serem privilegiadas para a análise discutida nesta tese. Eles reúnem condições para identificar a interação dos alunos com o conteúdo epistemológico, a atuação da professora na transposição didática interna, e mostram como alguns obstáculos foram superados ou contornados, além, é claro, de apontar limitações e aspectos a melhorar na proposta.

4.2.1. Evento Gregos

Na elaboração do material didático e construção de atividades pedagógicas para a criação do curso, enfrentamos inúmeros desafios inerentes a todo o processo, como a textualização, seleção de aspectos a enfatizar ou a omitir, falta de pré-requisitos conceituais

dos alunos, dentre outros. Além dos desafios comuns aos três episódios históricos, surgiram obstáculos estruturais específicos dos conteúdos de cada período.

Para abordar as teorias da luz na Antiguidade grega lidamos com conteúdos históricos, filosóficos e contextuais bastante complexos para serem compreendidos por estudantes do ensino médio. Buscamos construir narrativas históricas e atividades pedagógicas para lidar com dificuldades próprias a esse conteúdo (seção 4.1). Os obstáculos estruturais relativos aos conteúdos específicos da Antiguidade que buscamos superar ou compensar foram principalmente:¹⁹

- levar em conta as diferenças entre a concepção de ciência em distintas épocas e nas diferentes ciências (OS8);
- existência de conteúdos da história da ciência que não são de fácil compreensão para uma pessoa na atualidade (OS8);
- dificuldade de tratar diacronicamente pensadores de épocas e culturas diferentes das nossas (OS8);
- falta de pré-requisitos dos alunos em relação ao conhecimento científico, histórico, epistemológico e filosófico (OC4);
- possível concepção prévia dos estudantes e professores sobrevalorizando a capacidade da ciência atual em resolver todos os problemas (OC5).

Nossa intenção inicial para a análise dos dados era averiguar até que ponto as escolhas foram bem sucedidas ao lidar com tais obstáculos, e se foi possível problematizar os aspectos da natureza da ciência selecionados. Entretanto, logo no contato inicial com alguns dados desse episódio evidenciou-se uma questão fundamental, a que, embora previsível dentro do quadro teórico adotado, não havíamos, inicialmente, dado a devida importância.

Após o segundo dia de curso, iniciamos a leitura das respostas dos alunos às questões do texto 2. A quase totalidade das respostas sugeria que eles haviam aceito com muita naturalidade o fato de haver mais de uma teoria proposta pelos filósofos para explicar o fenômeno visual. Mais do que isso, emergiu uma visão “relativista” de que

¹⁹ Veja o que foi proposto no planejamento do curso e nos textos 1 e 2 para o aluno no Apêndice C, os *slides* “gregos” no Apêndice D, e, a discussão do enfrentamento dos desafios na seção 4.1.

qualquer opinião poderia ser aceitável. Vinculada a essa concepção, parecia haver uma interpretação anacrônica de que, em épocas passadas, seria justificável a ausência de consenso entre os filósofos.

Para analisar esse evento (episódio de ensino), consideramos importante averiguar o contato dos alunos com os conteúdos desse episódio histórico do curso, ministrados anteriormente. Isso implicou analisar a interação dinâmica ocorrida entre os elementos da relação didática (alunos – professor – saber) que precedeu a manifestação dessa opinião e poderia ter contribuído para tais concepções. Desse modo, o material didático e a atuação do professor na transposição didática interna integram o universo de dados vinculado a esse evento que chamamos de Evento Gregos.

Depois de apresentar esse evento, vamos analisar os dados, buscando compreender de que modo as variáveis envolvidas na elaboração do Saber a Ensinar podem ter contribuído para tal interpretação, e, na medida do possível, averiguar a influência de concepções prévias dos alunos.

O risco de um relativismo já havia sido previsto pelo quadro teórico (seção 2.3.2). Durante a elaboração dos textos para os alunos, buscamos construir uma narrativa histórica que pudesse minimizar tal risco. Ao longo de todo o texto, preocupamo-nos em vincular as distintas explicações para a natureza da luz às diferentes escolas de pensamento. Apresentamos as idéias centrais da concepção de mundo de cada pensador e sua relação com a sua explicação para a luz e a visão, reforçando concepção nos parágrafos finais do texto 2:

*[...] Havia muitas teorias para tentar explicar o fenômeno visual nesse período. Todos estavam pensando sobre os mesmos fenômenos ópticos, buscavam entendê-los utilizando raciocínios lógicos e matemáticos, porém, cada filósofo fornecia sua própria explicação para a luz e a visão. **Será que há algo de estranho nisso? Por que não havia um consenso?***

*Parece que apenas observar o comportamento da natureza e pensar racionalmente sobre os fenômenos propiciou o surgimento de diferentes explicações. Entretanto, os filósofos elaboravam teorias que estavam relacionadas a essas observações, ou seja, **não era apenas***

questão de opinião pessoal. [...]. (Texto 2 para os alunos Apêndice C.2, grifos no original).

Das questões colocadas ao final do texto 2 (Apêndice C.2), voltadas a esse episódio histórico, pode-se considerar que uma delas permitiu a manifestação da visão relativista predominante nas respostas dos alunos:

A natureza fornece informações que permitem uma única interpretação? Explique.

Vejamos algumas respostas escritas pelos alunos para a questão 3, que representam a visão da maioria dos alunos:

***Aluno 1:** Não. A natureza fornece fenômenos com informações infinitas. No entanto, o ato da interpretação cabe a quem estuda essas informações, podendo considerar **qualquer uma: afinal cada pessoa pensa de um jeito.** (grifo nosso)*

***Aluno 2:** Não, na natureza há vários tipos de fenômenos e transformações, e cada pessoa ao tentar interpretar esses fenômenos pode tirar conclusões, sendo elas diferentes **pois cada um vê o mundo e analisa os fatos de forma própria defendendo sua forma de pensar,** mas cada fenômeno da natureza possui uma forma mais adequada e aceitável de ser explicada. (grifo nosso)*

***Aluno 3:** As informações que a natureza fornece é a mesma, **cada pessoa tem uma lógica de raciocínio diferente,** possibilitando assim as várias interpretações. (grifo nosso)*

***Aluno 4:** Não, pois assim como os filósofos, nós seres **humanos interpretamos as coisas de forma diferentes até por que não somos iguais.** E é isso que colabora p/ evolução de teorias. (grifo nosso).*

Ao final daquela aula, quando realizamos a leitura desse material, consideramos que os alunos que responderam colocando idéias semelhantes às do aluno 2, reproduzida acima, haviam compreendido o enfoque pretendido. Por outro lado, as respostas similares às do aluno 1 eram em maior número, e *indicavam* uma concepção relativista. As respostas do mesmo tipo, dos alunos 3 e 4, *sugeriam* a concepção relativista.

Pelas anotações efetuadas em nosso caderno de notas,²⁰ havia, já naquele momento, uma preocupação de que a atuação da professora, na transposição didática interna, ou o material didático, tivessem sugerido um relativismo. Ao mesmo tempo que os alunos descreviam com tranquilidade a impossibilidade de observações neutras, não ficava claro se haviam compreendido que cada teoria estava vinculada a diferentes escolas de pensamento. Registramos naquela ocasião a crença de que o texto 2, a fundamentar esse conteúdo, falaria claramente que não é uma questão de opinião pessoal. Entretanto, de acordo com as anotações de campo, esperávamos que a continuação do curso poderia ser capaz de modificar essa concepção relativista.

O primeiro passo para analisar o Evento Gregos foi verificar os momentos de contato entre os elementos da relação didática antecedente à resolução das questões do texto 2 (Apêndice C.2).

A cada dia os alunos tinham duas horas-aula. No primeiro dia de aula (aulas 1 e 2), quando os alunos realizaram o jogo “Colocando na linha do tempo”, a professora apresentou a linha do tempo, e depois os alunos montaram o quebra-cabeça do texto 1 (Apêndice C.2). Talvez essa introdução ao curso tenha pré-disposto os alunos a interpretar que a existência de teorias concorrentes seja algo inerente à investigação da natureza, com um viés relativista. Por outro lado, pretendíamos enfatizar que houve a elaboração de diversas teorias ao longo da história, e todas apresentavam sucesso em explicar alguns fenômenos, mas também possuíam limitações. O risco de apresentar esse ponto de vista é sugerir uma visão equivocada da ciência, como se evoluísse linearmente, construída por infalíveis gênios, até chegar ao patamar atual. Tal concepção retrataria um dos obstáculos previstos: OC5: *Possível concepção prévia dos estudantes e professores sobrevalorizando a capacidade da ciência atual em resolver todos os problemas* (seção 4.1).

No segundo dia de curso (aulas 3 e 4), ocorreu o Evento Gregos. A professora iniciou a aula com a apresentação em *slides* “Gregos” (Apêndice C.3). Como a explicação é longa, extraímos as falas da professora (P) que nos pareceram mais relevantes. A transcrição completa encontra-se no Anexo A.

²⁰ Anotações de campo do dia 10/9/2007.

10/9/2007 – Aulas 3 e 4 – Arquivo I			
Turno	Tempo	Falas	Observações
4	03:27	<p>P: Bom! Então como eu tinha falado para vocês, [...] nós vimos que luz é onda eletromagnética. Mas será que ela sempre foi, vista como onda eletromagnética? Então será que sempre foi assim? Como os homens da ciência, que são todos aqueles que tão lá naquela faixa, como será que eles explicaram o que é a luz? Como povos de outras épocas entendiam e explicavam isso? Vocês acham que todo mundo sempre deu a mesma explicação?</p>	<p><i>Novamente ênfase equivocada em “todos”.</i></p>
5	04:06	<p>Alunos: Não... <i>(alguns alunos murmuram baixo, olhado para a projeção).</i></p>	
6	04:08	<p>P: Bom! Na época dos gregos, o que chamava muita atenção deles? A luz que vinha das estrelas. E lembrando que na época deles, lá em 500, 600 a.C, o Sol... o Universo... observar as estrelas deveria ser muito mais bonito do que é para nós hoje, por que eles não tinham interferência de poluição. [...] No século VII a.C., lembrando também o que eu tinha comentado, eles acreditavam que tudo era vontade dos deuses. Então se chovia, era por que o deus da chuva estava mandando chuva para os homens. Tanto eram coisas boas, como eram castigos aos homens. Lembrando do filme Tróia e aqueles filmes que estavam como referência, tá? Só que no século VI a.C. eles começaram a questionar, a querer entender como é que os fenômenos aconteciam. [...] Então no século VI a.C., que é quando nasceu a filosofia, eles estavam tentando explicar alguns fenômenos através do pensamento e da razão. E aí, para luz, que é o foco do nosso curso, eles começaram a levantar algumas questões: Então porque a gente só enxerga quando está claro? Do que depende a visão? O que acontece entre o nosso olho e a nossa mente para que a gente consiga ver os objetos? Será que sai alguma coisa do olho para gente conseguir enxergar? Ou será que entra alguma coisa no olho? Como é esse processo de visão? Então esses são exemplos de perguntas que eles começaram a se questionar. E aí eles começaram a elaborar teorias, ou elaborar explicações.</p>	<p><i>Grifos nossos: retoma texto 1 e enfatiza o filme pertinente. Boa iniciativa da professora.</i></p> <p><i>Procuramos enfatizar nas reuniões de preparação com a professora que ela insistisse na visão sobre “elaborar explicações” e “elaborar teorias” para contrapor a idéia do senso comum de “descobrir as leis naturais”.</i></p> <p><i>Nesse sentido, nota-se atuação adequada da professora na transposição didática interna.</i></p>
7	06:41	<p>P: Bom! Nós vamos focalizar em alguns deles. Tá? Então a gente vai citar os atomistas. Dentre eles estão o Leucipo, em 500 a.C., o Demócrito, o Epicuro e o Lucrécio. Então todos eles eram</p>	<p><i>Nos slides consta a época em que cada um teria vivido.</i></p>

		<p>atomistas e eles começaram a elaborar as explicações para tentar entender o que era a luz e como é esse processo de visão. Bom! Para eles, que eles eram da filosofia atomista... [...] Que eles disseram que, que tudo, tudo que se tem de matéria, é formado por átomos e que o átomo era a menor partícula. Eles não tinham ainda a idéia do elétron, nem do próton, nada, acabava no átomo. [...]. Tudo era formado por combinações diferentes de átomos. E eles foram os primeiros que não aceitavam um universo totalmente preenchido por matéria. Eles acreditavam que tinha lugares onde existia o vazio por completo, tá? Então essa era a idéia dos atomistas.</p>	<p><i>A apresentação das idéias principais dos atomistas visava relacionar as explicações para a luz e a visão à sua concepção de mundo, ao seu sistema de pensamento.</i></p>
8	08:29	<p>P: Bom! [...]. Então o que era a luz para o Leucipo? Lembrando, gente, que é em 500 a.C., tá? Então, pode ser que com o que eu vá falar da idéia dele, vocês fiquem meio assim, mas eu vou querer a opinião de vocês. O que o Leucipo dizia? Que a gente enxerga os materiais porque sai alguma coisa dos materiais que entra nos nossos olhos. Então um exemplo: eu enxergo a televisão porque saem miniaturinhas, miniaturas muito pequenininhas de televisão, que vêm viajando aqui, e entram no meu olho. Então eu enxergo a Gisele porque a Gisele está emitindo miniaturas de Gisele (<i>pausa, alunos riem</i>) que chegam no meu olho, e aí eu enxergo a Gisele (<i>risos dos alunos</i>).</p>	<p><i>A professora enfatiza a época antes de apresentar a teoria e já “previne” os alunos que eles poderiam achar as teorias “estranhas”.</i></p> <p><i>A partir dos gestos de algumas alunas é possível perceber que elas discutem a teoria recém apresentada.</i></p>
9	09:31	<p>Aluno: Isso é impossível professora!</p> <p><i>Alunos falam baixo ou fazem gesto de negação com a cabeça, enquanto a professora apresenta o exemplo relacionado a aluna Gisele.</i></p>	
10	09:34	<p>P: Então, ó o que era luz para o Leucipo? Algo material. Porque se é... miniaturas de Gisele, é material, certo? Sai dos objetos, de tudo, da parede, da luz, da cortina e entra no meu olho provocando a visão. Então para ele a luz era uma emanção. Alguma coisa que sai dos objetos e entra nos olhos. Isso que entra nos olhos tinha forma, tinha cor e tinha tamanho. Então aqui é uma representação do que era a luz para o Leucipo. Ele deu o nome de <i>eidolas</i>. Tá? Então todos os objetos emanavam <i>eidolas</i> que seriam assim como esse gatinho aqui. Ele emana miniaturas de gatinhos iguais a ele, aí essas miniaturas chegam no olho e a gente enxerga o gato. Essa é a teoria do Leucipo.</p>	<p><i>Professora mostra uma imagem que representa a teoria de Leucipo.</i></p> <p><i>Avisar professora de que “Eidola” é plural de “Eidolum”.</i></p>

Na apresentação inicial do período e das concepções dos atomistas para explicar a luz, não percebemos nada na fala da professora que pudesse fomentar um relativismo, ou ainda, que a existência de diferentes teorias fosse meramente questão de opinião pessoal. Parece-nos que ela estava preocupada com a reação dos alunos perante as idéias da Antiguidade, com o comentário feito no turno 8:

*Então, o que era a luz para o Leucipo? Lembrando, gente, que é em 500 a.C., tá? Então, pode ser que com o que eu vá falar da idéia dele, vocês fiquem **meio assim**, mas eu vou querer a opinião de vocês (turno 8).*

Aparentemente considerando que a explicação causaria estranheza aos alunos, a professora antecipou-se em advertir que iria solicitar suas opiniões. Podemos levantar algumas hipóteses para a atitude da professora, por exemplo, se as idéias pareceram estranhas até mesmo para ela, por que os alunos também não as achariam? Ou ainda, mesmo tendo a professora compreendido que aquelas idéias eram adequadas ao contexto de um passado distante, ela própria esperaria que tais concepções causassem estranheza aos alunos.

De qualquer modo, a professora coloca uma pergunta para a classe, e, nesse momento, ela atua na transposição didática interna de modo a lidar com os obstáculos estruturais que buscamos superar e contornar, por exemplo, enfatizando a complexidade do tema:

10/9/2007 – Aulas 3 e 4 – Arquivo I			
Turno	Tempo	Falas	Observações
11	10:35	P: Agora vem a pergunta. Vocês conseguem enxergar... Essa é a explicação dele. Mas eu quero... Lembrando, gente, que não é fácil! Se vocês parassem para pensar... Se eu perguntasse para vocês agora o que é a luz, sem lembrar daquela história que eu já dei para vocês, que... que ela é onda eletromagnética... se vocês tivessem que parar para pensar o que é a luz, com certeza cada um ia dar a sua explicação aqui . Certo?	<i>Professora enfatiza a complexidade do tema.</i>
12	11:12	Jade : éh....	<i>Jade faz sinal afirmativo com a cabeça, sorri e coloca a mão</i>

			<i>no rosto.</i>
13	11:13	<p>P: Mas eu quero saber de vocês o seguinte: vocês conseguem enxergar algum problema na teoria do Leucipo?</p> <p>[...]</p> <p>P: Você acha que assim... Tá simples? Que basta essa explicação? Vocês conseguem ver algum problema nessa explicação?</p>	<i>Giovanna faz sinal afirmativo com a cabeça.</i>

A fala da professora no turno 11 busca chamar a atenção dos alunos para a complexidade da questão. Ele recorre à estratégia de lembrá-los das concepções atuais sobre ondas eletromagnéticas, e como cada um explicaria a luz sem ter esse conhecimento. A atuação da professora motivou os alunos a darem respostas questionando a teoria de Leucipo.

10/9/2007 – Aulas 3 e 4 – Arquivo I			
Turno	Tempo	Falas	Observações
14	11:21	Talita: A imagem ali é distorcida.	
15	11:23	Giovanna: Várias...	
16	11:24	Elio: Todos veriam o mesmo gato independente do ângulo? Por exemplo, se ele emite miniaturas vai ser igual para todos os lados. Então não daria para ver o gato, olhar o rosto do gato, se eu não estou aí.	<i>Elio argumentando que não veria um lado do gato se estivesse posicionado em seu oposto.</i>
17	11:39	P: Tá! Por que ele estaria emanando em todas as direções.	<i>Parece que a professora não previa a resposta de Elio, por não ter explorado sua sugestão.</i>
18	11:42	Elio: Como uma onda, né?	
19	11:46	Carla: Mas e tipo... se por acaso vai vim, vêm voando um monte de miniatura, porque eu vejo uma coisa e ele vê diferente? Se são iguais?	<i>Carla colocando visão complementar a questão de Elio.</i>
20	11:59	P: O que mais? Ó! Imagina que eu estou aqui olhando para todos vocês. Todos vocês tão emanando miniaturinhas.	<i>Alunos demonstram curiosidade e interesse.</i>

21	12:10	Giovanna: Imagina a mistura que ia dar isso!	
22	12:13	Alunos: Ia ser uma confusão... Muitas informações....	
23	12:21	P: Isso... Vocês acham que isso ia ser algum problema?	
24	12:23	Jade: Ah! Deve dar... Com certeza!	
25	12:27	P: Lembrando que para o Leucipo, como ele era atomista, essas miniaturas, elas são matéria . Tá? Vamos imaginar, assim, uma coisa sólida .	<i>Ênfase no caráter “material” das eidola.</i>
26	12: 41	Tarik: Nossa! Já pensou o tanto de miniaturas se batendo?	
27	12:45	P: As miniaturas iriam se bater.	
28	12:46	Talita: Também ia furar o olho!	<i>Faz gesto com o dedo em direção ao olho.</i>
29	12:49	Aluno: Nossa! Na hora que trombasse no olho! <i>(risadas)</i>	
30	12:53	Aluna: Lógico! Se é matéria ia furar o olho!	

Entre os turnos 20 a 30 nota-se a professora atuando de modo a contribuir para os alunos perceberem o problema decorrente de se conceber as *eidola* como algo material. De fato, assumimos aqui uma simplificação ao nível de escolaridade focado, conforme discutimos na seção 4.1, tratando as *eidola* como se fossem corpúsculos materiais, mas, dada a opção adotada, os alunos posicionaram-se adequadamente, compreendendo os problemas das miniaturas serem algo material e chocarem-se no espaço. Pode ser que essa transposição didática interna tenha favorecido uma visão relativista, embora tenha apontado adequadamente para o fato de que as explicações para os fenômenos apresentavam limitações. Implicitamente, ela vai preparando os alunos para perceberem que a observação dos fenômenos não levará a uma interpretação consensual, aspecto que era um dos nossos objetivos selecionados para tratarmos sobre a natureza da ciência.

Depois disso, a professora apresenta outras limitações da teoria de Leucipo e, a seguir, apresenta a teoria de Empédocles:

10/9/2007 – Aulas 3 e 4 – Arquivo I			
Turno	Tempo	Falas	Observações
31	12:57	<p>P: Gente, e lembrando que se os átomos se combinavam na hora em que eles se chocavam, imagina a Gisele vindo, se chocando com a Jade ali. Então quais eram os problemas da teoria do Leucipo? Como as <i>eidolas</i>, <i>eidolas</i> eram as miniaturas, passam umas pela outras sem sofrerem interferência? Então imagine eu aqui recebendo as miniaturas de todos vocês. Chega tudo bem, não se choca. Né? Ou seja, como que a gente consegue enxergar vários objetos ao mesmo tempo? Quantas <i>eidolas</i> não estavam chegando nos olhos da gente! Tá? Só que era um fato que a luz, ela se cruza. Certo? E, no entanto, a gente consegue observar os objetos e esse cruzamento de luz não interfere na hora que a gente vê os objetos. Então usando a explicação da <i>eidola</i>, isso daria uma confusão aqui no meio e, no entanto, a gente sabe que isso não acontece. Certo? Bom! Então como que a imagem... quais eram os outros problemas ainda? Se eu estou... Uma montanha, por exemplo, que é enorme. Se eu estou distante, eu enxergo a montanha pequenininha. Mas se eu chegar perto da montanha, a montanha fica grande. Como é que fica essa história da <i>eidola</i>? Então ela emite <i>eidolas</i> de vários tamanhos? Por que se eu estou longe eu enxergo a montanha pequena, se eu estou perto eu enxergo a montanha grande. E por que os objetos, se a gente estiver distante, eles acabam parecendo, assim, menores? Tá? Então esses eram problemas assim da teoria do Leucipo.</p>	<p><i>Risos.</i></p> <p><i>Os alunos divertem-se ao imaginar a situação.</i></p> <p><i>Professora aponta o problema da interação dos átomos.</i></p> <p><i>Problema do tamanho da montanha e de outros objetos variando com a distância.</i></p>
32	14:52	<p>P: Bom! Vamos ver agora a teoria de um outro agora, que é do Empédocles. O Empédocles, que tá aqui... 493 a 430 a.C. Ele dizia o seguinte. Que tudo que existe é formado pelos quatro elementos: ar, água, terra e fogo. E o que era a luz para o Empédocles? Para o Epicuro (<i>ela queria dizer Leucipo</i>) era alguma coisa que entrava no olho, para o Empédocles, não. Para o Empédocles era o seguinte. A luz vinha do elemento fogo, lembrando que para eles eram os quatro elementos: terra, ar, fogo e água. Então a luz vinha do elemento fogo. E nós enxergamos os objetos, porque sai alguma coisa do meu olho, tipo tentáculos, ou o que ele chamou de raio visual. Então sai do meu olho, vai lá bate na Gisele e traz a Gisele para dentro do meu olho. Com se fosse, gente, o tato. Para gente sentir se uma coisa é mole, dura, se está quente, se está fria, a gente não precisa pôr a mão? (<i>Alunos fazem gesto afirmativo com a cabeça</i>). Então para enxergar, para o Empédocles, tinha que sair alguma coisa do meu olho e tipo,</p>	<p><i>No texto da professora, apresentamos aspectos da teoria de Epicuro e ela deve ter se confundido.</i></p>

		apalpava os materiais e trazia a imagem dos materiais para dentro do meu olho.	
33	16:26	Alunos: Que coisa, né? Desculpa! (<i>a aluna se desculpa porque seu comentário interrompeu a professora</i>).	<i>A classe faz silêncio.</i>
34	16:32	P: Gente, qual é o problema dessa teoria? Quem consegue enxergar?	
35	16:37	Ivana: Se eu for observar algo muito longe, até esse negócio que sai do olho chegar lá para apalpar, por exemplo, se eu vou enxergar o Sol. Até ele chegar lá, apalpar e trazer já vai estar de noite..	<i>Risos dos alunos.</i>
36	16:54	P: Tá! Então objetos muito distantes...Né? ...fala.	
37	16:59	Elio: Se fosse assim, então não ia existir ilusão de ótica. Se ele realmente pudesse sair do olho e sentir como se fosse o tato, não iríamos enxergar coisas que não existem. Sair do olho é bem complicado, né? Mãozinhas assim (<i>faz um gesto que explicativo</i>) indo lá longe e voltando é meio estranho. E o choque entre esses tentáculos olhando para mesma coisa?	
38	17:22	P: Alguém enxerga mais algum problema?	
39	17:24	Aluno: Não... Eu não enxergo...(<i>risos</i>)	<i>Comentário bem humorado do aluno.</i>
40	17:31	P: Bom! Aí vem ó... Se é alguma coisa que sai do olho da gente, então depende do observador. Certo? Então a gente poderia ver no escuro! Não é? Por que é alguma coisa que está dependendo dos meus olhos somente. Então esse seria também um outro furo, né? Então todo mundo ia conseguir enxergar no escuro.	

Tanto na apresentação da teoria de Empédocles, como na discussão de suas limitações, não percebemos elementos específicos que possam ter fomentado o relativismo. Nota-se entre os turnos 33- 40 que os alunos apresentaram bons argumentos para criticar a explicação do fogo visual, demonstrando envolvimento com o tema. A observação do vídeo mostra uma interação descontraída e comprometida entre os elementos da relação didática, ou seja, pareceu-nos que os alunos estavam engajados na compreensão do conteúdo. Nesse sentido, parece-nos que a apresentação do tema utilizando os *slides* e propondo questionamentos contribuíram para promover a apropriação da problemática pelos alunos, conforme pretendíamos (seção 3.2.7).

Depois disso, a professora apresentou a explicação de Aristóteles para a luz e a visão, seguindo a mesma estratégia: apresentando sua concepção de mundo e as explicações coerentes com ela. Ao final, **antes de os alunos lerem o texto 2**

(Apêndice C.2), a professora questionou a sala sobre os aspectos da natureza da ciência pretendidos para esse episódio:

10/9/2007 – Aulas 3 e 4 – Arquivo I			
Turno	Tempo	Falas	Observações
44	25:13	P: Aí vem uma pergunta que eu quero que vocês respondam agora. Será que a natureza, observar os fenômenos, fornece informações que permitem uma única informação? Ou seja, todos vocês observando um mesmo fenômeno natural, esse fenômeno, só na observação, fornece as informações suficientes para que todos vocês cheguem na mesma explicação? O que você acham?	
45	25:45	Alunos: Não...	
46	25:47	P: Por quê?	
47	25:48	Elio: Cada um tem uma lógica de raciocínio. De acordo com o que ele retira do meio, ele vai utilizar o que ele já conhece para conseguir, depois, criar a sua teoria. Isso quer dizer que ela não vai ficar igual a de ninguém. Seria bem engraçado se eu colocasse algo idêntico ao da prova do Yuri, por exemplo. Pensamos igualzinho?	<i>Relativismo?</i>
48	26:08	P: Por isso que é legal prova dissertativa, né? Ninguém vai responder igualzinho. E como é que... E pelo que vocês já viram até agora, que eu só acabei mostrando três teorias. Como é que fica a ciência? Falando de um modo geral: Física, Química, Biologia. Como é que vocês acham que a ciência se desenvolve?	
49	26:34	Erika: Pelas diferentes opiniões? Diferentes pontos de vista?	<i>Relativismo?</i>
50	26:40	P: O que mais? Então ao longo da história cada um vai dando a sua...	
51	26:46	Erika: Opinião sobre os diferentes (<i>inaudível</i>).	<i>Ela parece dizer a palavra temas.</i>
52	26:49	Elio: Bom! Naqueles... No início era tudo atribuído aos deuses ou os dogmas. As pessoas se desprendem dos dogmas e começam a ver o mundo com mais razão. Procuram respostas para obter. Ou seja, pessoas que desafiam o conhecimento.	
53	27:13	P: Alguém quer fazer mais algum comentário?	
54	27:20	Tarik: Tipo assim professora, muitas vezes o que você pensa influencia... a tecnologia influencia, porque ela pode me ajudar a ver mais a fundo. Essas coisas da luz,	<i>Concepção prévia de que a ciência</i>

		tipo e tal, eu posso ver mais a fundo com a tecnologia que, tipo, eu tenho hoje do que a de antigamente. Antigamente era mais... pode ver aí que algumas teorias eram meio absurdas . Assim é uma coisa que eu acho que hoje em dia ninguém teria uma teoria dessa. Acho que a tecnologia influencia nisso daí também.	<i>atual resolveria todos os problemas.</i> <i>OS5</i>
55	27:53	P: Então as teorias evoluem com o tempo. É isso? Alguém tem mais algum comentário?	
56	28:02	Elio: De acordo com a teoria anterior você procura os defeitos daquela teoria e vai formando a sua teoria a partir dos descobrimentos da anterior. Por isso quanto mais passa o tempo, como o Tarik falou, a teoria vai ficando mais próxima. Por exemplo, essas teorias são de 400 a.C. algumas para gente hoje parecem loucura, mas para época era algo inovador.	
57	28:25	P: E vocês conseguem enxergar que no fundo, parar para pensar na teoria que está lá, muitas vezes a gente enxerga coisas que quem elaborou não está enxergando. Então no fundo a divergência de idéias acaba fazendo com que a ciência vá evoluindo. Porque você imagina se todo mundo concordasse com o Leucipo, por exemplo. Não é verdade? Então a divergência de idéias é que acaba fazendo com que uma teoria vá evoluindo. Tá?	
58	29:02	P: Então agora vocês vão ler um texto que tem a ver... E no final do texto têm umas questões que vocês vão colocar numa folha separada para entregar para gente.	<i>De 29:14 até 58:00 acontece a leitura e discussão do texto.</i>

Antes de os alunos lerem o texto 2, que sistematiza essas discussões apresentadas, a professora colocou a questão: “Será que a natureza, observar os fenômenos, fornece informações que permitem uma única informação?”. Podemos verificar indícios de uma **posição relativista** na resposta dos aluno Elio (turno 47) e a manifestação de que as diferentes interpretações eram **opiniões** (turno 49). Tais posicionamentos sinalizam a visão encontrada posteriormente nas respostas escritas, das quais apresentamos uma amostra no início desta análise. Embora apenas três alunos tenham se posicionado de modo marcante durante a discussão, pode-se observar no vídeo que a maioria dos estudantes permaneceu acompanhando e endossando a troca de idéias. Não foi possível encontrar nenhum indício de que alguém discordasse das respostas dos colegas.

De fato, defender a idéia de que a observação da natureza não permite uma única hipótese segura, pode levar a um relativismo. Nosso quadro teórico havia sinalizado tal

obstáculo. Por isso, nossa preocupação no primeiro episódio histórico foi enfatizar que as explicações formuladas pelos filósofos não eram meras opiniões pessoais, mas estavam fundamentadas por concepções de mundo de diferentes escolas de pensamento. O modo como cada um interpretava os fenômenos era influenciado por seus referentes teóricos. Entretanto, ao invés de tal concepção, manifestou-se mais claramente, na maioria das respostas dos alunos, uma visão relativista.

Permeando a visão de que **naquela época** seria normal cada filósofo ter sua opinião pessoal sobre um fenômeno, surgiu o obstáculo estrutural OC5 já previsto por nós (seção 4.1), com relação à *sobrevalorizar a capacidade da ciência atual em resolver todos os problemas* (turno 54), enfatizando também o papel da tecnologia. Imaginar que a ciência atual tenha mais recursos pareceu implicar em aceitar que seria normal eles formularem hipóteses absurdas em épocas passadas. Nossa expectativa naquele momento era de que os próximos episódios poderiam mostrar, pelo menos, que mesmo com recursos tecnológicos, ainda não é possível haver uma única interpretação para os fenômenos. Mais do que isso, pretendíamos defender que os pressupostos teóricos do observador influenciam na sua interpretação.

Com base nos dados analisados, parece-nos mais plausível que a visão relativista tenha surgido da **confluência entre essas concepções prévias e o novo conteúdo abordado**. Algumas dessas concepções havíamos previsto como obstáculos estruturais a serem enfrentados ou contornados, já discutidos anteriormente. Os alunos tomaram conhecimento de que a tentativa de explicar a luz e a visão cerca de 25 séculos atrás resultou em diferentes interpretações para os fenômenos, ocasionando diferentes explicações. Suas respostas na discussão com a professora e no material escrito recolhido trazem a visão de que, naquela época, estudiosos não dispunham de conhecimentos e nem de recursos tecnológicos adequados, e isso justificaria as diferentes explicações. Parece-nos estar implícito nessa visão que isso não tem nada a ver com a ciência atual.

Antes de os alunos lerem o texto 2, que sistematizava o conteúdo do episódio I, eles já manifestavam indícios de uma concepção relativista. Pode ser que a atuação da professora na transposição didática interna a tenha favorecido, mas não é possível identificar até que ponto essa idéia seria parte de concepções prévias dos alunos, e tampouco se isso seria claro para eles antes de terem contato com o conteúdo.

Admitindo que os alunos tivessem uma concepção relativista antes da aula, o texto 2 (Apêndice C.2) não foi suficiente para modificar essa visão. Há um parágrafo que sintetiza a idéia central do texto:

*Parece que apenas observar o comportamento da natureza e pensar racionalmente sobre os fenômenos propiciou o surgimento de diferentes explicações. Entretanto, os filósofos elaboravam teorias que estavam relacionadas a essas observações, ou seja, **não era apenas questão de opinião pessoal**. A observação da natureza era um ato fundamental para tentar explicar os fenômenos naturais. Mas será que era suficiente? O importante é compreender que construir essas explicações não é um processo simples, nem óbvio. É claro que o modo de os gregos pensarem sobre os fenômenos naturais é muito diferente do modo como os cientistas fazem atualmente. Mas, olhar para alguns episódios da história da ciência nos faz perceber quão complexo é o processo da produção do conhecimento sobre a natureza. (Texto 2 piloto para os alunos, Apêndice C.2).*

Embora os alunos tivessem recebido o texto com o negrito acima destacado, a visão de que as distintas explicações são diferentes opiniões pessoais ainda surgiu em algumas respostas.

O retorno dado pelos alunos trouxe alguns argumentos que não havíamos previsto (turnos 17, 20, 31, 35, 37) abordando detalhes que não tinham sido discutidos nas reuniões de preparação com a professora. Desse modo, aspectos que poderiam ter promovido discussões importantes para o contexto, não puderam ser aproveitadas (turnos 17 ao 21 e turnos 31 a 37). Essas lacunas que detectamos ao longo da análise apontam para aspectos que precisam ser considerados tanto em replicações do curso, como na elaboração de novas propostas. Houve ainda a manifestação de obstáculos estruturais que havíamos previsto, entretanto, parece que a concepção prévia da tecnologia atual poder solucionar os problemas do passado, não foi suficientemente tratado durante a preparação da professora. Claro que com duas horas-aula e um único texto nossa expectativa era de apenas poder levantar a questão e envolver os alunos com a problemática, a ser aprofundada nos próximos episódios.

A possível posição relativista identificada nesse momento inicial do curso não representaria problemas para nossos objetivos educacionais, desde que, com os outros conteúdos a serem estudados, os alunos pudessem perceber não existir observação neutra de fenômenos, independentemente da época tratada. Além disso, esperávamos sua compreensão de que isso não significa ser cada teoria decorrente de opiniões pessoais.

Na análise desses dados, não foi possível perceber dificuldades dos alunos em entender o contexto do episódio I, no nível bastante simplificado que julgamos possível abordar, quando elaboramos o Saber a Ensinar. Parece-nos ter sido a abordagem bastante adequada, pois motivou os alunos a interagir na discussão e a apresentar argumentos muito interessantes para os problemas suscitados pelas teorias estudadas, como por exemplo nos turnos 17, 20, 31, 35, 37.

Seja mais em função de concepções prévias ou seja decorrente da interação na relação didática, a análise dos dados nos sugere que o episódio I desempenhou importante papel na proposta. Ele foi capaz de engajar os alunos no tema do curso, provocar certa inquietude com relação ao conteúdo sobre a natureza da ciência e sobre as próprias explicações possíveis para a luz. Acreditamos que o episódio 1 trouxe à tona uma concepção relativista, que caberia à continuidade do curso problematizar.

Esses resultados, a análise dos dados e das reflexões advindas do acompanhamento do curso permitiram que efetuássemos algumas modificações no texto 2 do curso piloto. Essa nova versão, aprimorada para os textos dos alunos durante a realização dessa pesquisa, aparece no Apêndice B.2, sob o título de “curso proposto”. Os parágrafos apresentados no início e no final dessa análise foram modificados para:

Havia diferentes teorias para tentar explicar a luz e a visão nesse período. De modo geral, eram combinações das características: os homens enxergavam porque algo saía dos olhos, ou porque algo entrava nos olhos; havia ainda os que diziam que a luz não era algo material, mas uma modificação na matéria que havia entre o objeto e os olhos. Cada teoria estava associada à visão de mundo de uma escola de pensamento, ou seja, não era uma interpretação individual de cada filósofo, como se fosse uma opinião pessoal. Pelo contrário, os filósofos não constituíam unidades isoladas, eles eram representantes de escolas que estavam competindo. Todos estavam pensando sobre os mesmos

fenômenos ópticos, buscavam entendê-los utilizando raciocínios lógicos, porém, cada escola de pensamento fornecia uma explicação para a luz e a visão. Será que há algo de estranho nisso? Por que não havia um consenso?

*Parece que apenas observar o comportamento da natureza e pensar racionalmente sobre os fenômenos propiciou o surgimento de diferentes explicações. Entretanto, os filósofos elaboravam teorias que estavam relacionadas a essas observações, ou seja, **não era apenas questão de opinião pessoal**. A observação da natureza era um ato fundamental para tentar explicar os fenômenos naturais. Mas será que era suficiente? O importante é compreender que construir essas explicações não é um processo simples, nem óbvio. É claro que o modo de os gregos pensarem sobre os fenômenos naturais é **muito diferente** do modo como os cientistas fazem atualmente. Mas, olhar para alguns episódios da história da ciência nos faz perceber quão complexo é o processo da produção do conhecimento sobre a natureza. (Texto 2 proposto, Apêndice B.2, grifos no original).*

4.2.2. Evento Éter

O tema histórico de que partimos para tratar a natureza da ciência foi a disputa entre as teorias ondulatória e corpuscular para representar a luz no início do século XIX. O papel do éter luminífero foi central nesta disputa, sendo um dos conteúdos que consideramos adequado aos objetivos do curso proposto (seção 3.2.3). Um dos problemas enfrentados na elaboração da seqüência de atividades sobre este tema foi a falta de pré-requisitos dos alunos para abordar a sua complexidade conceitual. Isso justificou em parte a inserção dos dois episódios anteriores (Gregos e Século XVII). Durante a elaboração das atividades e das estratégias pedagógicas para abordar este tema, alguns obstáculos estruturais discutidos no capítulo 3 tornaram-se realidade. Entre eles, ficou clara a “*existência de conteúdos da história da ciência que não são de fácil compreensão para uma pessoa da atualidade*” (OS9, seção 4.1). De fato, a opção por abordar esse ente inobservável foi considerada como um dos riscos assumidos na proposta desenvolvida.

O éter instigou a imaginação dos estudantes, mas, por ser polêmico, foi de difícil compreensão. Os alunos alternavam momentos de questionamento e rejeição à concepção

de uma matéria indetectável, com outros em que essa concepção não motivava nenhuma discussão. Por um lado, o éter de Huygens foi enfaticamente questionado durante a atividade do debate, tomando a maior parte do tempo a ela destinado; por outro lado, o “meio transparente de Aristóteles que tinha a qualidade da transparência e permitia a visão” não motivou nenhuma polêmica. Percebemos, em outros momentos do curso, a relutância dos alunos em aceitar a existência de “uma matéria que não se pode sentir, nem ver, nem **provar** que existe”.

Nosso pressuposto na criação do curso era de que entender a utilidade do éter luminífero na teoria ondulatória da luz poderia problematizar uma concepção puramente empirista de ciência. A primeira hipótese levantada para analisar essa questão foi investigar se – e em que medida – nossas estratégias haviam fracassado em modificar tal concepção, dificultando a compreensão de um ente inobservável.

Havíamos assumido o risco de inserir conteúdos complexos para o nível de escolaridade focado, pressupondo que certas estratégias pedagógicas permitiriam superar ou contornar os obstáculos previstos. A impossibilidade de compreensão dos entes inobserváveis acarretaria restrições aos nossos pressupostos, sugerindo a inadequação desse conteúdo aos propósitos pedagógicos visados. Apesar dos argumentos de ordem teórica a sustentarem a inclusão desse tópico histórico, pelo valor que agregaria à abordagem dos aspectos da natureza da ciência selecionados, a dimensão empírica da aplicação poderia apontar uma restrição ao nível de escolaridade focado, ou ainda, falhas na elaboração das estratégias pedagógicas ou no desenvolvimento do material didático. Entretanto, a análise dos dados trouxe uma outra perspectiva.

Dessa forma, consideramos que entender o papel desempenhado pelo éter no curso piloto constitui-se em um *evento* merecedor de ser analisado em detalhes. Buscamos investigar, no Evento Éter, como se desenvolveu o processo de interação entre os sujeitos e esse objeto de conhecimento (CARVALHO; GONÇALVES, 2000, p. 73), ou seja, a interação entre os elementos da relação didática. Por tratar-se de um processo desencadeado ao longo do curso, não foi possível eleger apenas um momento e estabelecer um único recorte de aula. Assim, selecionamos algumas seqüências de aulas, de dias diferentes, em busca da resposta para o problema em questão (CARVALHO; GONÇALVES, 2000, p. 73). Enfocamos algumas situações de interação entre os sujeitos e o saber, buscando contemplar um ciclo capaz de responder à questão: os processos de interação entre alunos, professora e o

conceito de éter promoveu, ou não, a compreensão do papel que um ente inobservável pode desempenhar nas explicações científicas? Essa questão permitiu-nos compreender se tal processo contribuiu para criticar uma visão puramente empírica da ciência, ou ainda, se permitiu abordar os aspectos da natureza da ciência pretendidos.

As fontes de dados utilizadas na análise foram (i) transcrição das gravações em vídeo mostrando a relação didática; (ii) extratos de anotações de campo de diferentes dias; (iii) excertos do Saber a Ensinar e, (iv) respostas escritas pelos alunos na avaliação final.

O primeiro contato que os alunos tiveram com a idéia de um inobservável foi no episódio I, quando se apresentou a impossibilidade do vazio para Aristóteles, e a existência de uma matéria sutil que preencheria todo o universo, a quintessência ou o éter. Utilizando os *slides* “gregos” (Apêndice C), a professora explicou aspectos da teoria de Aristóteles e apresentou brevemente sua concepção de Universo, enfatizando sua recusa pelo vazio e a idéia do éter preenchendo as regiões celestes. Vejamos algumas falas (Anexo A):

10/9/2007 – Aulas 3 e 4 – Arquivo I			
Turno	Tempo	Falas	Observações
42	20:59	<p>P: [...]. E eu preciso de um meio transparente para poder enxergar as estrelas. [...] E esse meio transparente seria a quintessência ou o éter. Então o Aristóteles ele foi, vamos dizer assim, um dos que defendeu essa idéia aqui da existência do éter. Então, não existia espaço vazio. O éter acabava preenchendo tudo, da Lua para cima. [...]. Ele colocou cada planeta aqui, numa esfera, numa camada de éter. [...] Lembra do Shrek? Camadas de cebola? (<i>alunos fazem gesto e afirmação com a cabeça e sorriem</i>) Então, aqui seriam camadas de éter.</p>	<p><i>Professora apresenta o éter sugerindo uma “solução” para impossibilidade do vazio.</i></p> <p><i>Professora utiliza analogia com as camadas de cebola.</i></p>

Ao finalizar a apresentação do conteúdo do episódio I, ela levantou questões para os alunos, e, durante essa discussão, não houve nenhuma manifestação sobre o éter, nenhum questionamento. A seguir, os alunos leram o texto 2, que sistematizava o conteúdo do episódio I, e responderam às questões. Neste texto havia um breve comentário sobre o éter:

Aristóteles não aceitava a idéia de vazio. Todo o Universo seria ocupado por matéria. As regiões celestes seriam preenchidas pela quintessência, ou o éter, e, aqui na Terra, os espaços entre os objetos

seriam preenchidos pelo ar. (Veja texto 2 para os alunos no Apêndice C.2).

Ao final desse texto, havia cinco questões, e uma delas era: “*Qual teoria você acha que explicava melhor a luz naquela época? Justifique*”. A ampla maioria da sala respondeu que era a teoria de Aristóteles e, nesse momento, não houve qualquer comentário mencionando ou questionando o que seria o éter. Talvez a luz como qualidade da transparência de Aristóteles tenha parecido “menos bizarra” que os tentáculos de Empédocles ou as *eidola* de Leucipo. Entretanto, a idéia de um meio indetectável não passou incólume em momentos posteriores do curso.

No episódio II, o éter foi retomado, primeiramente, durante a apresentação da teoria de Huygens (veja *slides* no Apêndice C.5.). As explicações da professora (na íntegra no Anexo A, transcrição da aula 11.9.07) vão reforçando a idéia da existência de um meio material em que a luz se propaga. Vejamos a seguir alguns trechos de sua fala.

11/9/2007 – Aulas 5 e 6 – Arquivo I			
Turno	Tempo	Falas	Observações
25	20:38	P: [...] para Huygens, luz era uma forma de movimento da matéria , tá? E aqui ta um trecho daquele tratado que ele escreveu. Então, <i>considera-se certo que a visão é excitada pela impressão de algum movimento de matéria, que age sobre os nervos no fundo dos nossos olhos, e essa é ainda outra razão para se ter como um movimento de matéria que se encontra entre nós e os corpos luminosos.</i>	<i>Optamos por brevíssimo trecho de fonte primária explicada em seu contexto.</i>
32	23:17	P: [...] Então, olha, cada ponto luminoso possui um movimento muito rápido que provoca ondas no éter. [...]	
33	23:24	P: [...] Então, o Huygens, ele acreditava, ele defendia a idéia do éter, tá?	
34	23:44	P: Lembrando que o éter foi citado ontem , lá na aula do... dos gregos com Aristóteles , né... que o Aristóteles dizia que eu preciso de um meio transparente entre o observador e o objeto, e aí ele deu o nome de éter. Aqui, o Huygens, ele também hã... não... <i>a explicação dele é diferente</i> , mas ele também se utiliza da idéia do éter pra essas ondas conseguirem se propagar aqui. Tá?	<i>Poderíamos ter explorado mais as diferenças, em função dos diferentes contextos.</i>
52	28:48	Elio: [...] voltando lá ao Aristóteles. O que que era pra ele pra que houvesse... pra que se pudesse	<i>Aluno retoma a idéia do meio</i>

		<p>enxergar? Que o meio permitisse. Um meio transparente. Porém, se há uma parede, não há transparência entre a luz e meus olhos pra luz... o som não, ele não depende do meio...</p> <p>P: Então você tá me dizendo que, no caso, depende do meio?</p> <p>Elio: Isso. E a luz continua sendo uma onda.</p> <p>P: Tá, quem mais?</p>	<i>permitindo a visão.</i>
53	29:21	Pedro: Naquela época pode falar do vácuo? Agora?	

Nesse momento, nem o curso pretendia polemizar o éter, nem os alunos o questionaram. Depois de toda a discussão em torno da teoria de Huygens, da teoria de Newton, e do fenômeno das cores, a maior preocupação externada pelos alunos era com relação à natureza da luz. No turno 52 acima, por exemplo, o aluno Elio fez referência ao meio, inclusive retomando a concepção aristotélica, mas ele o utilizou apenas para defender uma concepção ondulatória para a luz. O interessante foi ele tentar derrubar o argumento apresentado de que a luz deveria contornar obstáculos, se fosse uma onda. Ele parece ter defendido a hipótese de que “o som contorna os obstáculos por ser uma onda no ar, mas a luz é um movimento em outro tipo de matéria, não se pode esperar que ela se comporte igual ao som”. Para o aluno Elio o éter não representava um problema. O aluno Pedro, que fala logo a seguir, pergunta sobre a aceitação do vácuo, e não questiona o éter nem a colocação do colega. O assunto que continuava polêmico voltava-se à natureza da luz. Vejamos alguns exemplos:

11/9/2007 – Aulas 5 e 6 – Arquivo I			
Turno	Tempo	Falas	Observações
47	27:57	Pedro: Professora, esse negócio tá me confundindo, heim! (<i>risos da classe</i>) Uma hora eu acredito que a luz é uma onda, outra hora eu acho que luz é um corpo. No final a gente vai chegar a uma conclusão do que que é a luz?	<i>Aluno manifesta desconforto, embora em tom bem humorado.</i>
59	36:17	Tarik: É assim, professora...é... como que... é... Se a luz é partícula, se uma incide na outra, por que que não influencia na trajetória da outra? Se uma tá sendo projetada, assim e a outra ... por que que uma não interfere na outra?	<i>A idéia da materialidade da luz incomoda os alunos.</i>
61	37:45	Elaine: Professora, a luz seria uma coisa... (<i>faz gesto com a mão</i>) matéria...?	

78	48:33	<p>P: [...] mas aí vem uma pergunta pra vocês: será que só olhando o experimento, a experiência, dá pra você concluir tudo sobre como aquele fenômeno acontece? Só de você montar a experiência e ficar observando?</p> <p>Alguns alunos: Não...</p> <p>Pedro: Precisa ter a tese matemática...</p>	<p><i>Professora faz pergunta sobre aspecto da natureza da ciência.</i></p> <p><i>Alunos demonstram segurança na resposta.</i></p>
----	-------	---	--

Percebemos que os alunos ainda não estavam questionando a materialidade ou a natureza do éter. Sua atenção ainda se voltava para a natureza da luz. Na fala dos alunos nos turnos 47 e 59 nota-se certo desconforto com a dúvida de a luz ser algo material ou uma onda. Outros comentários desses e de outros alunos ao longo da aula confirmam essa mesma preocupação.

Outro aspecto relevante é que os alunos buscavam entender **o que é a luz, e não o que era a luz**. Suas falas e reações indicam inquietação, sugerindo que não havia a perspectiva histórica. Era como se as teorias do século XVII devessem ser capazes de explicar “definitivamente” o que é a luz. O que torna essa manifestação dos alunos ainda mais instigante é o fato de eles terem estudado no bimestre anterior ao curso, a luz como onda eletromagnética. Nas reuniões realizadas com a professora durante a preparação do curso, procuramos saber dos pré-requisitos dominados pelos alunos vinculados ao tema a ser desenvolvido, e, nessa ocasião, ela relatou que eles haviam estudado a luz como onda eletromagnética. No entanto, suas atitudes, questionamentos e desconforto sugerem que essa informação não os impediu de se envolverem intensamente com o conteúdo do curso. Eles estavam tentando entender os argumentos para concluir “**o que é a luz**”.

Enquanto os alunos acompanhavam detalhes do episódio, como o papel do éter na concepção ondulatória da luz, o desenrolar do experimento com o prisma, os argumentos favoráveis e contrários a ambas as teorias, o pano de fundo dessa discussão era a natureza da ciência. Veja, por exemplo, no turno 78 reproduzido acima, quando a professora problematiza a questão da observação neutra de experimentos e a resposta dos alunos. Eles **vivenciaram** a dificuldade na compreensão dos limites de cada teoria; assim, quando a professora perguntou sobre a possibilidade de observações conclusivas, eles demonstraram segurança em negá-la. Entretanto, nada indicava, até aquele momento, um questionamento sobre a existência do éter.

Depois da apresentação do conteúdo do episódio II, os alunos leram o texto 4 (Apêndice C.2) e responderam às questões. O éter passa a ter um pouco mais de destaque nesse texto, embora implicitamente, permeando toda a explicação da teoria de Huygens. Ele é mencionado brevemente em outra passagem do texto:

Outros filósofos naturais de sua época [de Huygens] também apresentavam a luz como um tipo de onda no éter. (Texto 4, Apêndice C.2).

Pretendíamos mostrar aos alunos que o éter não era um problema para os filósofos da época; a divergência de idéias era com relação à natureza da luz.

No dia seguinte, a professora fez a correção das questões do texto 4 com toda a sala, apresentou novamente as regras do debate que ocorreria na aula seguinte, leu e discutiu os textos 5 e 6 junto com os alunos e fez a sistematização do episódio (textos no Apêndice C.2). O texto 5 apresenta a teoria de Huygens e, embora não haja longa discussão sobre o éter, ele permeia toda explicação da luz como ondas. Buscamos colocar também não ser o éter uma idéia utilizada apenas por Huygens, ainda que em uma pequena menção:

A idéia da luz como a propagação de um pulso no éter não foi adotada apenas por Huygens, mas ele tornou-se seu defensor mais conhecido. (Texto 5, Apêndice C.2).

O texto 6 trata da teoria corpuscular e não faz nenhuma crítica ao éter. Em uma das citações de Newton, o meio fluido é mencionado, mostrando que a crítica era com relação à luz como onda, e não com relação ao meio fluido:

Pois pressão ou movimento não podem ser propagados em um fluido em linhas retas além de um obstáculo que intercepta parte do movimento, mas se curvarão e se espalharão em todas as direções no meio quiescente que está além do obstáculo. (NEWTON, 1996, p. 265). (Texto 6, Apêndice C.2).

Newton não questionou a existência do fluido, no caso o éter: ele criticou a concepção ondulatória para a luz, pois ela parecia contrária ao que se observava. O fato de

argumentar como uma onda deveria se comportar num meio fluido significa admitir a existência desse fluido.

Esse era o momento previsto no curso para iniciar uma ênfase com relação ao éter. Entretanto, durante a maior parte da aula, a questão mais marcante na fala dos alunos continuava sendo com relação à materialidade da luz e a possibilidade de “provas” na ciência (veja transcrição da aula 12.9.07 no Anexo A). As aulas 7 e 8 do curso foram destinadas à correção das questões e à sistematização do conteúdo do episódio II, buscando também preparar os alunos para o debate.

Nessas discussões os alunos não questionaram o éter. Depois de uma aluna perguntar sobre a materialidade da luz, a professora aproveitou a explicação para retomar a teoria ondulatória, enfatizando o papel do éter e tentando instigar os alunos a se manifestarem.

12/9/2007 – Aulas 7 e 8 – Arquivo II			
Turno	Tempo	Falas	Observações
147	49:47	P: Agora a teoria da ondulatória, diz [...] que entre o Sol e a Terra tem o éter, que seria uma matéria invisível como o ar, muito leve, muito sutil... a luz seria como uma onda, que vai caminhando no éter, até chegar aos nossos olhos. Mas precisa ter o éter, porque se não tiver o éter como é que a luz vai caminhar? A luz precisa de um meio e esse meio é o éter. Porque se a onda não tiver o meio, ela não caminha... Meio que forçosamente, quem defende a ondulatória, defende a existência do éter. [...]	<i>Poucos alunos acompanham essa troca de idéias. Alguns alunos que participam do debate estão atentos.</i> <i>Aos poucos mais alunos começam a prestar a atenção</i>
148	51:18	P: [...] a gente acabou falando da idéia do éter , e quem vai defender a teoria ondulatória... as ondas, elas precisam de um meio para caminhar. Lembra daquela figura da perturbação de uma gota na superfície de água? Que a gota cai e forma aquelas ondas? É, a visão que o Huygens tinha é que aquela perturbação que se forma na superfície é a luz que vai chegando nos nossos olhos, só que o meio seria o éter. Então é preciso de um meio material... quer dizer, a luz não é matéria, é uma perturbação que caminha no meio material. Esse meio material seria o éter. [...]	<i>Agora todos os alunos visíveis nas imagens estão prestando atenção.</i>

A professora enfatizou a utilidade do éter na teoria ondulatória, afirmando tratar-se de uma matéria, porém muito leve, muito sutil. Ela esclareceu que a luz não era matéria, mas sim uma perturbação que caminhava nessa matéria sutil, o éter. Os alunos acompanhavam a explicação, mas não questionavam a natureza do éter. Essas informações não motivaram discussões naquele momento, mas surgiram de maneira contundente em momentos posteriores do curso. A professora insistiu na tentativa de levantar essa questão:

12/9/2007 – Aulas 7 e 8 – Arquivo III			
Turno	Tempo	Falas	Observações
156	02:11	P: [...] O éter é antigo, hein, gente, foi o Aristóteles, hein. O Aristóteles falava que era um meio... e foi ele que levantou a polêmica do éter lá em 400, 300 antes de Cristo. Então a trajetória do éter vem caminhando aí. A minha outra pergunta é a seguinte: Os atomistas, eles defendiam que o espaço era totalmente vazio, [...] num lugar, [...], como numa cápsula de vidro, você conseguisse sugar o ar de lá de dentro e deixar o vazio completo lá. Ou seja, o nada. A primeira pergunta: vocês acham que isso é possível? Eu sugo o ar de lá e lá é o vazio absoluto. Lá não tem mais nada...? Sim ou não?	<i>Professora retoma a idéia de éter em Aristóteles.</i>
157	03:13	Alunos: Não...	<i>Alunos comentam questão levantada.</i>
158	03:14	P: Por quê?	
159	03:15	<i>Alunos confabulam. Inaudível.</i>	
160	03:17	P: O que que vocês acham que fica lá dentro?... Alunas: O éter. P: Então vocês estão apostando na idéia do éter? Daniele: Não, como você pode provar que o éter existe?	<i>Daniele discute amigavelmente com os colegas ao redor, buscando criticar a teoria ondulatória.</i>
161	03:30	<i>Comentários inaudíveis entre Alunas Daniele, Erika e Gisele.</i> <i>Alunas riem e aluno Daniel faz comentário inaudível, parece questionar o vácuo.</i> <i>Daniel, Erika e Gisele defendem a teoria ondulatória e Daniele argumenta criticando-a. O clima é descontraído e amigável.</i>	<i>Parece que já há uma separação entre quem defenderá a corpuscular e quem defenderá a ondulatória.</i>

Como as respostas foram bem humoradas, e os alunos estavam se preparando para o debate entre as teorias, possivelmente as alunas estivessem se colocando na perspectiva do século XVII, ao afirmarem que o éter ocuparia os espaços supostamente vazios. Esse momento foi a primeira vez no curso em que foi possível perceber um questionamento sobre a existência do éter. A aluna Daniele, além de questionar a professora sobre a possibilidade de provar a existência do éter, participou do grupo do teatro, bem como do grupo do debate em defesa da teoria corpuscular. Ela e um pequeno grupo ao redor estavam discutindo sobre as teorias, e pareceu-nos ser esse argumento usado mais como estratégia para criticar a teoria ondulatória do que um questionamento sobre a possibilidade de provas. Os alunos continuaram polemizando sob pontos de vista diferentes, e a professora reapresentou a questão buscando organizar a discussão.

12/9/2007 – Aulas 7 e 8 – Arquivo III			
Turno	Tempo	Falas	Observações
162	03:59	P: [...]: Imagine isso, uma cápsula de vidro, onde eu suguei o que tinha lá, com uma bomba de vácuo, certo? Então o som, o som ele não vai se propagar dentro da cápsula, porque o som precisa do ar para se propagar, [...]. Mas a gente não consegue ver através dessa cápsula de vidro?	
163	04:37	Alunos: Sim!	
164	04:38	P: E segundo a teoria ondulatória, a luz precisa de um meio para caminhar, que seria... (<i>alunos: o éter.</i>) P: Então eu queria a explicação: pensando na corpuscular e pensando na ondulatória, como é que eu consigo ver as paredes da cápsula, se lá dentro não tem mais nada?	
165	05:00	<i>Vários falam ao mesmo tempo.</i>	<i>Alguns parecem responder sobre o éter.</i>
166	05:06	P: Porque o som não vai se propagar, eu tirei o ar (<i>ruídos</i>). Mas eu continuo enxergando as paredes da cápsula de vidro lá dentro... Qual teoria que explica melhor isso? A corpuscular ou a ondulatória? Aluno: A ondulatória. <i>Poucos alunos respondem.</i>	

Os alunos não se envolveram muito com a problemática e, logo a seguir, a professora organizou os grupos para o debate.

Na aula seguinte, ocorreu o debate entre o grupo que defendia a teoria corpuscular e o outro, na defesa da ondulatória (Apêndice C.1). Foi nessa atividade que o questionamento e o desconforto dos alunos com relação ao éter manifestou-se de forma intensa. As discussões sobre a natureza do éter, por vezes tensas, acaloradas ou um tanto hostis, tomaram mais da metade do tempo requerido pela atividade. Dentre as seqüências selecionadas, a atividade do debate foi o momento em que os conflitos cognitivos dos alunos ficaram mais evidentes.

A leitura dos dados gravados do debate confirmou a impressão registrada nas anotações de campo daquele dia:²¹ destacava-se a insistência dos alunos em questionar a existência do éter, e a cobrança de uma explicação mais clara sobre sua natureza. Em seus contatos com esse conteúdo até então, não havia se manifestado o tipo de pergunta que surgiu no debate. Não esperávamos um posicionamento tão inquisidor.

Vejamos alguns momentos do debate.

Conforme previsto, cada equipe apresentou inicialmente sua teoria, para depois apontar os problemas da teoria rival. O grupo da corpuscular utilizou menos da metade do tempo permitido para a exposição, e uma das alunas já o inicia com uma crítica indireta ao éter.

Para facilitar a leitura, inserimos ao lado dos nomes dos alunos o símbolo (O) para aqueles que pertencem ao grupo da ondulatória, e o símbolo (C) para aqueles que pertencem ao grupo da corpuscular.

13/9/2007 – Aulas 9 e 10 –Arquivo I			
Turno	Tempo	Falas	Observações
16	06:30	Carla (C): Acho que... assim, uma das principais, seria que, assim, ele realmente provou . Ele não supôs a existência de nada pra tá falando sobre a luz. Ele colocou no papel e falou, ele mostrou que realmente tem como. Ele não supôs a existência de nada pra aquilo ocorrer, pra aquilo tá ocorrendo. É um do principais pontos, assim...	<i>Alunos do grupo confabulam.</i>

²¹ Notas de campo do dia 13/9/2007.

A estratégia utilizada pela aluna foi insinuar a fragilidade de uma teoria construída sobre uma suposição “fantasiosa”, no caso, a existência de um éter: “*Ele [Newton] não supôs a existência de nada pra aquilo ocorrer*”. Ela busca defender que Newton teria **provado** a teoria corpuscular, mas não apresenta argumentação para isso. Diante da rápida exposição e dos poucos argumentos para defender a teoria corpuscular, a professora pergunta se eles gostariam de apresentar alguma crítica à teoria ondulatória. Esperávamos que eles fossem enfatizar as limitações dessa teoria no século XVII, mencionando os exemplos voltados aos fenômenos ópticos trabalhados nos textos e nas explicações da professora. Entretanto, a primeira crítica volta-se à *sutil* materialidade do éter:

13/9/2007 – Aulas 9 e 10 – Arquivo I			
Turno	Tempo	Falas	Observações
19	07:36	<p>Tarik (C): É... a gente não aceita a teoria ondulatória por vários motivos. Assim, é... na teoria ondulatória, eles dizem assim que é o movimento que ocorria numa matéria muito sutil. [...]</p> <p>Daniele (C): ...matéria sutil?</p> <p>Carla (C): Ou é matéria ou não é.</p> <p>Tarik (C): Ou é matéria ou não é.</p> <p>Carla(C): A gente não entende como... ou a gente não aceita o fato de falar que matéria sutil é uma coisa que não dá pra ver. Se é matéria é matéria.</p> <p>Tarik(C): Se é matéria, não importa... é sutil mas é matéria do mesmo jeito.</p>	

Percebemos que o desconforto dos alunos com relação ao éter estava vinculado à impossibilidade de percebê-lo ou detectá-lo. Esse questionamento repetiu-se várias vezes ao longo do debate, tornando, por vezes, o clima tenso entre os alunos. Na aula anterior, a professora havia explicado sobre o éter e motivado várias vezes os alunos a se manifestarem, como mostramos acima em alguns exemplos. Apenas no final da aula, a aluna Daniele perguntou para a professora se ela poderia provar a existência do éter (turno X), mas num contexto de conversas informais entre o pequeno grupo que debatia sobre as teorias da luz. Parecia mais uma estratégia de retórica do que uma dúvida que requeria uma resposta.

Durante a exposição da teoria ondulatória, o aluno Elio tentou responder a esse questionamento:

13/9/2007 – Aulas 9 e 10 – Arquivo I			
Turno	Tempo	Falas	Observações
26	13:27	Elio (O): 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, mas da mesma forma que você não prova que existe, você também não prova que não existe. O que acontece? É... ele seria uma espécie de ar, porém, bem leve, [...] Aí... todos sabemos que, até o século XVII, muito já se fez pela Ciência, porém, algumas incógnitas ficam. O éter responde muitas dessas incógnitas. [...]	<i>Aluno questiona a necessidade da “prova”, porém sinalizando a noção da utilidade do éter.</i>

O aluno Elio tentou rebater a crítica, utilizando o mesmo argumento de seus opositores: “[...] *da mesma forma que você não prova que existe, você também não prova que não existe*”. Além disso, ele buscou lembrar a utilidade da existência desse éter para a ciência. Entretanto, o outro grupo continuou questionando o éter, sempre criticando a impossibilidade de provar sua existência. O aluno Elio tentou responder às críticas:

13/9/2007 – Aulas 9 e 10 – Arquivo I			
Turno	Tempo	Falas	Observações
39	19:53	Tarik (C): [...]. Se a explicação da luz veio do éter, que o Elio mesmo disse que não sabe se existe, como que ele pode basear uma teoria se ele não sabe. O que que é o éter? O que que é o éter, qual a finalidade do éter e alguém pode me provar que esse éter existe?	
44	21:32	Elio (O): Sobre o éter. Do mesmo jeito, a Carla fez uma suposição, que os corpos se juntam no ar, a luz andando junto com o ar. Ah, então não tem ar no escuro? Ou não tem luz onde não tem ar? Espera aí, vocês dizem sobre o vácuo, já que não acreditam no éter. Então, como que a luz da estrela chega até a Terra?	<i>Elio parece desmontar grupo da corpuscular, apesar da idéia equivocada.</i>

Nesse momento percebe-se uma modificação nas expressões dos alunos do grupo corpuscular. Até então, eles demonstravam confiança e entusiasmo enquanto questionavam o éter, mas depois dessa fala do Elio, parece surgir certo receio em suas fisionomias. Ele valeu-se do argumento utilizado pela Carla para responder à crítica da concepção corpuscular da luz, de que as partículas de luz e as partículas do ar poderiam “ocupar o mesmo lugar no espaço”.

O debate continuou focado no éter. Os alunos do grupo opositor e os jurados continuavam pressionando o grupo da ondulatória, que tentava argumentar. Esse grupo não tinha recebido informações suficientes para lidar com algumas questões não previstas, e surgidas durante os debates.. Desse modo, ou surpreenderam-nos algumas vezes com a criatividade e a capacidade de articulação de idéias, ou, por outras, percebeu-se que se atrapalharam com os conceitos. Para exemplificar, vamos reproduzir uma seqüência dessas discussões, sem interrupção, buscando mostrar o clima inquisidor desses questionamentos:

13/9/2007 – Aulas 9 e 10 – Arquivo I			
Turno	Tempo	Falas	Observações
47	21:48	Elio (O): [...] se fala de éter desde a Idade Antiga, os gregos já falavam do éter [...] O éter, também, foi importante, ainda, né, pra obra de Pitágoras. Pitágoras, que acreditava no éter. É uma discussão sim polêmica, é. Porém, como eu disse, você não vê o ar, você, também provavelmente não vai poder sentir o ar. [...]	<i>Comentário inesperado sobre Pitágoras. Não há menção à ele no material do aluno</i>
51	23:20	Pedro do júri: Sim, mas o que é o éter?	<i>Alunos riem. Apesar do clima ser de bastante comprometimento e seriedade com relação ao assunto, os alunos mostram descontração e bom humor.</i>
52	23:21	Talita (O): O éter é uma matéria sutil e imponderável. Que ele atravessa como se fosse o vento, passando nos bosques , por exemplo. Ele atravessa toda a matéria, então ele não tem, acho que não tem... acho que densidade... acho que é isso.	
53	23:36	Elio (O): O éter é considerado o quinto elemento. Seria, bom, um exemplo bem simples, imaginem como se fosse um ar bem menos denso. Ele ocupa todos os espaços vagos, porém ele não causa atrito. É uma matéria... como eu poderia dizer (<i>pausa</i>) teoricamente eu poderia dizer que ela seria inútil. Não serve, além... Elio (O): Ela tem, sim, a sua, sua utilidade, correto? Porém a utilidade principal que eu vejo é a propagação da luz.	

54	24:18	Elaine do júri: Mas você falou que pode existir como não pode existir o éter. Então você também não acredita que existe?	
55	24:24	Elio (O): Eu, particularmente, acredito no éter. Eu não posso vir aqui e afirmar que o éter existe porque eu vou estar corrompendo o pensamento de vocês.	
56	24:28	Elaine do júri: E o que te leva a acreditar que o éter existe?	
57	24:29	Elio (O): Eu não acredito em vácuo. Pensa no nada, você consegue ver, imagina o nada! Vai na sua cabeça o nada?	
58	24:34	Talita (O): um lugar totalmente sem nada... Erika (O): um vácuo, sem nada... <i>Aluna na platéia faz comentário inaudível.</i>	<i>Alguns alunos se empolgam e alguns comentários se sobrepõem.</i>
59	24:38	Elio (O): <i>breve comentário inaudível</i>	
60	24:41	Aluna do júri: Então é matéria, então é um corpo. Um corpo...	
61	24:46	Elio (O): Um corpo... O éter, ele é desprovido, ele é desprovido de matéria. <i>(Pedro do júri faz comentários inaudíveis)</i>	<i>Alunos do grupo da corpuscular parecem satisfeitos com a pressão no grupo rival.</i>
62	24:49	Aluno do júri: Um lugar que não tem nada, então você tem que inventar alguma coisa pra colocar...	
63	24:50	Elio (O): Você pode provar que eu estou inventando a existência do éter? Aristóteles também... <i>(Falas sobrepostas inaudíveis)</i> <i>(Enquanto a sala ri e troca idéias os alunos do grupo da corpuscular demonstram preocupação e trocam idéias)</i>	<i>Elio reage um tanto rudemente. A sala ri descontraída. Risos e descontração na classe. Dispersão.</i>
64	25:14	Elio (O): Você pode provar que ele não existe? <i>(Falas sobrepostas: “Existe? Não existe? Provar que existe...”)</i>	<i>Elio está sendo pressionado pelo júri.</i>
65	25:19	Aluno do júri: Eu acho que você só pode dizer alguma coisa a partir do momento que você provar que ele existe.	<i>Alunos falam ao mesmo tempo.</i>
66	25:24	Elio (O): Quem sou eu pra provar que o éter existe? Sou Deus?	

67	25:27	Jade do júri: O Elio, mas você tem que provar que ele existe sim (<i>inaudível</i>).	<i>O grupo da ondulatória demonstra tensão.</i>
68	25:29	Talita (O): Se nem os cientistas conseguem provar que existe a gente vai conseguir provar? <i>(Muitos alunos falam ao mesmo tempo. Grupo da corpuscular fala e gesticula, mas falas inaudíveis)</i>	<i>Apesar do riso e da descontração alunos demonstram desconforto com o tema.</i>
69	25:42	Aluno do júri: Nós não queremos que vocês provem, nós queremos que vocês exponham as idéias dos cientistas... Pedro do júri: <i>Inaudível</i> as idéias <i>Inaudível</i> achar uma matéria que não ...	<i>Alunos inquietos, manifestações, falas sobrepostas</i>
70	25:53	Aluna do júri: E, mas você tem que provar que ele existe, se você está defendendo... <i>(falas sobrepostas)</i>	
71	25:55	Elio (O): O que acontece... Quantos de vocês acreditam em Deus?	<i>Alunos retrucam, falas sobrepostas. Inaudível.</i>
72	26:09	Carla (C): Agora ele está se metendo em dogma da pessoa, cada um tem a sua religião. Eu acho que o, que a gente tá discutindo cientificamente sem cair nesses... Pedro do júri: Eu acho que religião não vem ao caso. Carla (C): Isso não vem ao caso.	<i>Alunos inquietos, clima tenso.</i>
73	26:12	<i>Alunos falam ao mesmo tempo.</i>	
74	26:13	Jade do júri: Você poderia pegar esses cientistas que provavam... por exemplo, Huygens, e provar, tipo, o que que ele dizia, o que ele convencia as pessoas de dizer de forma que o éter existe. Isso que a gente quer que você fale. Não que você fale “eu não sou Deus pra provar que ele existe”... lógico que você não é, mas você está estudando sobre essa teoria então você tem que explicar essa teoria.	
75	26:39	Pedro do júri: Acho que assim, foi meio estranho você falar de matéria sem densidade , como pode ser uma matéria sem densidade? Elio (O): .. posso... Pedro do júri: ...se não é matéria densa, o que que é?	<i>Novos ruídos. Falas dispersas. Alunos falam ao mesmo tempo.</i>

76	26:58	<p>Elio (O): Concorda que cada matéria tem como propriedade uma densidade. O ar não é tão denso quanto a água. Em falar nisso, Newton acreditava que a luz se propagava mais rápido na água do que no ar. Certo? É fato também. Porém, eu não disse que o éter é desprovido de matéria. Ele possui matéria, sim. Eu disse que ele tem uma densidade quase insignificante, correto? O que não produz atrito.</p> <p>Pedro do júri: Ahhh</p>	<p><i>Parece que o Pedro ficou satisfeito com a explicação.</i></p>
77	27:30	<p>Tarik (C): [...] Você disse que ela é matéria também. Esse éter [...] esse éter é matéria sutil, ainda é matéria. E... aqui tá dizendo que a luz é o movimento desse éter, é o movimento do éter. Então, como que a luz não é uma matéria?</p>	<p><i>Interessante questão! Porém, a professora tinha explicado anteriormente.</i></p>
78	28:07	<p>Elio (O): ó, o que acontece [...] o que é uma onda? [...] é uma perturbação que se propaga através do meio, correto? Esse meio que nós entendemos é o éter. Porém, o éter não tem a ver com a luz. Ele serve, sim, para se pro... para que a luz se propague. Porém o éter não é a luz, o éter sozinho... sem as ondas... não gera luz.</p>	<p><i>Parece que os alunos ficaram satisfeitos com a explicação de Elio.</i></p>
79	29:02	<p>Erika (O): o que é vácuo? (aluno Pedro do júri pergunta se existe vácuo, outros alunos falam e a professora começa a responder. Não é possível compreender porque ela responde uma pergunta que parecia direcionada ao grupo da corpuscular)</p>	<p><i>Aluna dirige uma pergunta ao grupo da corpuscular tentando “virar o jogo”.</i></p>
80	29:46	<p>Tarik (C): Eu não vi nenhuma resposta sendo, das minhas perguntas sendo respondidas... <i>Falas sobrepostas. Tarik pressiona sobre o éter.</i></p>	<p><i>Tarik volta a pressionar o grupo da ondulatória.</i></p>
81	30:03	<p>Clarisse do júri: Como que você quer que nós acreditamos da teoria do éter se nós não sabemos o que seria o éter? [...]</p>	<p><i>Júri também cobra explicações.</i></p>
82	30:06	<p>Elio (O): [...] o éter é sim constituído de matéria, correto? Porém ele tem uma densidade muito baixa, quase insignificante. Correto? Não se sabe ao certo se éter existe. Eu acredito, particularmente, eu acredito no éter. Não acredito no nada, fica um pouco difícil você imaginar “nada”. Newton também acreditava no éter. Porém, para Newton, o éter</p>	<p><i>Elio pode ter pesquisado sobre o significado da palavra éter e sobre Pitágoras. Informações não foram dadas pelo</i></p>

		só existia no Universo, não... na atmosfera, digamos assim, da Terra pra lá. Uma explicação mais simples, correto? E que não interferia na luz. Porém, Huygens acreditava que o éter existia em todo o Universo, preenchendo seus espaços vazios. Correto? O éter, assim, éter na verdade significa o que sempre se movimenta. Vem das palavras gregas (?) sempre e (?) correr, ou seja, sempre corre. Ele sempre tá em movimento, movimento perpétuo. Não foi só Huygens e Newton que acreditavam no éter, desde a filosofia grega o éter já era comentado. Aristóteles, Pitágoras, peessoas muito importantes pra nossa época já acreditavam na existência do éter.	<i>curso.</i> <i>Grupo da corpuscular confabula. Suas expressões mudam de segurança para sutil preocupação.</i> <i>Indícios de anacronismo, mas não esperávamos evitá-lo.</i>
83	31:46	Pedro do júri: Então o éter seria algo material, extremamente... Seria matéria só que extremamente não-densa? Elio (O): Isso. (<i>Falas sobrepostas</i>).	<i>“Clima” sugere que a explicação de Elio teria sido satisfatória.</i>
84	31:58	Jade do júri: Como que eles descobriram a existência desse éter? Erika (O): Pra explicar o que eles não puderam explicar. <i>[...] risos, comentários paralelos.</i>	<i>Falas sobrepostas</i>
85	32:11	Elio (O): É... o que acontece... Se o éter surgiu pra explicar o que nós, que defendemos a teoria ondulatória, não pôde explicar, por que Pitágoras já comentava do éter? Ele já combinou com o Huygens que nem existia, “eu vou falar do éter depois você aproveita”, ou, pelo contrário, Huygens se baseou em algo que os gregos já diziam. Então, espera aí, o éter não existe? Então o Newton também errou. O que que acontece, Newton falava do éter. O éter não existe?	<i>Como o outro grupo se apoiava no prestígio de Newton, Elio usou esse recurso para “defender” o éter.</i>
86	32:41	Tarik (C): Você tava falando que Pitágoras dizia que o éter existe, não é? Então, Pitágoras também provou que o éter existe? Ou ele só falou “o éter existe!”? Pitágoras disse: o éter existe, passou a existir. Que haja o éter.	<i>Tarik parece perceber a força do argumento e rapidamente desvia a atenção de todos para o éter.</i>
87	33:04	Daniele (C): Aí a partir daí, o Huygens falou “opa, tem alguma coisa aí, o éter vai explicar o que eu não posso explicar”.	<i>A utilidade do inobservável é de difícil aceitação.</i>
88	33:07	Talita (O): Eu tenho uma pergunta, por que Newton acreditava no éter? <i>Aluna tenta novamente “inverter o jogo”, mas</i>	<i>Discussão acalorada. Parece que o</i>

		<i>a pressão predomina sobre o grupo da ondulatória.</i>	<i>debate se concentrava em: existência do éter X Newton.</i>
91	33:38	Tarik (C): Os problemas que tinha na corpuscular, ele jogava toda a culpa no éter? Ele chegava assim “não, a culpa é do éter”? Não... <i>(falas sobrepostas)</i> E outra coisa também que eu gostaria que vocês respondessem... Elio (O): Posso só responder primeiro o que vocês perguntaram?	<i>Polêmica.</i> <i>Alunos visivelmente desconfortáveis com relação ao éter.</i>
92	33:44	Tarik (C): Não, porque se você não respondeu até agora, você não vai conseguir responder agora.	<i>Clima tenso, um tanto hostil.</i>
93	33:48	Elio (O): Eu não tenho certeza se o júri. Vocês conseguiram entender alguma coisa sobre o éter?	
94	33:49	Alguns alunos: Não! Mais ou menos... é complicado... [...] Elio: É complicado, o éter é complicado.	
97	33:52	Jade do júri: O que a gente não entendeu... tudo bem, Pitágoras, o Pitágoras ele, né descobriu lá o éter, assim como Huygens é né, acreditou né, beleza... Então, eu queria saber como que Pitágoras, então descobriu essa existência do éter?	
98	34:11	Elio (O): Eu não posso falar que ele descobriu.	
99	34:12	Jade do júri: Tá, então como que ele sabia que existisse: o éter, então é, como ele disse, haja o éter? Elio (O): Não, é porque é assim... Jade do júri: Ele inventou “ah! Éter!” Tá,... um negócio passando aqui, pronto... “éter”! <i>(aluna gesticula enfaticamente).</i> <i>Falas sobrepostas.</i>	<i>Ruídos e discussão intensa. Aluna Clarisse do júri levanta a mão para falar. Continua clima acalorado com alunos falando ao mesmo tempo.</i>
101	34:35	Professora: Pessoal, ó... só um instantinho [...] É,... as discussões tão indo bem, tal... [...] mas a gente também não pode esquecer que essa polêmica que vem em cima do éter, que vem desde lá do Aristóteles [...]. [...] mas o próprio Newton tinha argumentos que ele tirava o éter fora quando convinha e quando não convinha ele colocava o éter pra explicar os fenômenos. [...] vamos tentar desfocar um pouco do éter e tentar voltar pra justificativa	

		da luz mesmo, como corpúsculo ou como onda. [...] o júri tá só malhando o éter. [...]	
--	--	---	--

A professora interrompeu o debate, apontando que a polêmica estava se direcionando somente para o éter, e os grupos não discutiam as teorias, como cada uma explicava os fenômenos, etc. Ela colocou a questão do recipiente de vidro esvaziado pela bomba de vácuo e pediu que cada grupo explicasse como é possível enxergar lá dentro.

Depois das explicações, a professora encerrou o debate e pediu ao júri que se reunisse para dar o veredicto. Foi curioso, depois de tanta pressão sobre o grupo da ondulatória, o júri considerá-lo vencedor do debate, colocando inclusive que, embora a maioria deles acreditasse mais na corpuscular, os argumentos do grupo da ondulatória estavam melhores.

As primeiras impressões obtidas no contato com os dados do debate foram ambíguas. De um lado, a frustração pelo fato de os alunos terem utilizado argumentos inválidos²² para o período, não terem mencionado sobre os fenômenos ópticos que cada teoria explicava melhor, e, no caso do grupo da corpuscular, terem utilizado como recurso, principalmente, o prestígio de Newton e o questionamento ao éter. Por outro lado, o engajamento na atividade, na criatividade em certas colocações e o uso da argumentação superou as expectativas. Com apenas quatro dias (8 aulas) de curso, eles elaboravam questões sobre um tema complexo, abordando aspectos tanto históricos quanto epistemológicos.

As anotações de campo do dia 13/9/2009 também apontam para essa preocupação com os argumentos inválidos para o período, e a satisfação com relação aos bons argumentos.

Foi pensando sobre essa seqüência de interações que surgiu uma **nova perspectiva**: os alunos não estavam apenas questionado a existência do éter e a necessidade de entendê-lo para poder aceitar a teoria ondulatória, eles estavam **vivenciando** essas controvérsias. Mais do que discutir sobre duas teorias, eles **experimentavam** um pouco da dinâmica da ciência. Eles estavam conhecendo um exemplo de como é complexa a construção da

²² Em trechos do debate que não reproduzimos aqui os alunos mencionam a diferença entre as propriedades das ondas mecânicas e das ondas eletromagnéticas; feixes de luzes coloridas que se cruzam no palco e experimentos de Young e Fresnel, que ocorreram no século XIX (Apêndice A).

ciência. Ainda que provavelmente não tenham reproduzido as preocupações que os filósofos naturais tinham no final do século XVII, eles **protagonizaram** alguns aspectos dos debates na ciência, ou seja, atingiram vários de nossos propósitos pedagógicos. Não pretendíamos com o curso que os alunos simplesmente adquirissem conhecimentos históricos, mas que esses fossem utilizados como estratégia pedagógica para ensinar sobre a natureza da ciência. Nesse sentido, o éter foi o elemento a permitir que eles vivessem essa experiência, como sujeitos ativos no debate.

Nesse momento, compreendemos que, mais do que esperar a aceitação dos alunos, ou não, da existência de uma matéria indetectável, e entendessem sua utilidade, deveríamos utilizar esse questionamento para ressaltar aspectos da natureza da ciência. Já que pretendíamos questionar uma ciência puramente empírica, vivenciar a dificuldade em aceitar a existência de um ente inobservável, utilizado em muitas teorias ao longo da história, seria ótima oportunidade para atingir tal objetivo. Será que a continuidade do curso contribuiu para isso?

Na aula seguinte ao debate, os alunos tiveram novamente contato com o éter no teatro, cujo roteiro o enfatizava (Apêndice D 4.4). Cerca de dois terços dos diálogos do roteiro para o teatro voltam-se para explicar o éter e seu papel na ciência, buscando preparar o aluno para o conteúdo histórico-epistemológico do episódio III. No final da apresentação do teatro, a professora reuniu os alunos e perguntou sobre a atividade.

De um modo geral, os alunos participantes disseram que tinham entendido melhor o conteúdo do curso, as teorias e o éter, mas a aluna Adriana disse **que o éter não ficou claro**, mas corpúsculos e ondas foi o que ela mais entendeu.

Na aula seguinte ocorreu a apresentação em *slides* do episódio III, com uma revisão inicial dos fenômenos ópticos e apresentação do filme Dr. *Quantum*. A professora iniciou a explicação fazendo uma revisão do conteúdo trabalhado até então no curso, retomando o éter e destacando sua utilidade na história da ciência. Vejamos alguns exemplos:

17/9/2007 – Aulas 13 e 14 – Arquivo I			
Turno	Tempo	Falas	Observações
7	11:25	P: E os gregos, nós frisamos também por causa daquela teoria do Aristóteles, que na verdade ele não foi o primeiro que falou no éter , tá? Lá na faixa, tem uma figura de uma deusa indiana muito	<i>Professora enfatiza a aceitação de entes</i>

		anterior ao Aristóteles e na mitologia dos indianos eles já falavam que não existia o vazio que existia uma substância muito sutil que preenchia tudo, que no caso era o éter. Então, Aristóteles não foi o primeiro que falou em éter. Muita gente antes dele que já falava do éter.	<i>inobserváveis desde muito tempo e em diferentes culturas.</i>
8	11:48	P: Vocês viram que o éter vem caminhando aí ao longo da história dando suporte pra se entender como que alguns fenômenos aconteciam, mas tinha sempre aquele ponto de interrogação, né, como vamos provar? Que foi até o que vocês levantaram no debate. Como é que prova que o éter existe? O éter, ele serviu de suporte para explicar os fenômenos e até então, como as próprias teorias pra explicar, que nem no nosso caso a natureza da luz, ainda vinham num processo aí de... de uma reformulação pra poder conseguir explicar todos os fenômenos e como o éter vem caminhando aí ao longo da história, o próprio Newton ele acreditava no éter, mas ele usava o éter quando precisava, né? Porque o éter tem esse ponto de interrogação: a gente usa ele quando necessário. [...]	<i>Professora destaca a utilidade do éter e a presença de incertezas e dúvidas na ciência.</i>
27	31:09	P: Bom. Conseqüências: aceitar a teoria é... ondulatória... isso causou duas conseqüências importantes, tá? Uma delas é a aceitação do éter , porque como a gente viu, pensar na luz como onda, a luz na verdade é a perturbação do meio, então eu preciso acreditar no éter, senão, não tem como, certo? P: E a outra conseqüência, foi que isso causou um impacto na comunidade científica, né? Porque, por causa que todo mundo acreditava nas idéias do Newton e o Newton era o defensor aí da teoria corpuscular. Então, vocês imaginem na época o que era, é... chegar com uma teoria, né, na verdade retomar, lá as idéias do Huygens né, de mais de cem anos atrás , quer dizer num determinado período da história o Huygens foi esquecido porque a teoria ondulatória não encontrou força dentro da comunidade científica pra se manter e seguir aí com os estudos dela, então a corpuscular é que foi mais aceita. Agora imagine depois disso a retomada e o que ia acontecer com quem acreditava na teoria corpuscular, tinha que mudar de opinião, né?	<i>A aceitação do éter como conseqüência. Crítica à uma concepção de ciência que evolui linearmente, mostrando rupturas, descontinuidade.</i>
31	38:38	P: [...] Já não se discutia mais o que que a luz era, se era partícula ou era onda: já se aceitava a natureza ondulatória pra luz. Com isso todos tiveram que começar a aceitar que a luz era uma onda, né, no éter. Mas aí, o que começou a ser a pedrinha no sapato não era mais a difração	

		porque estava explicada, mas as propriedades desse éter , porque aceitando que a luz era uma onda, temos que aceitar o éter, tá?	
32	39:12	P: [...] a comunidade científica começou a questionar essas propriedades do éter, e começaram então é... a incentivar as pesquisas em cima do éter, pra detectar o éter, no caso como que é a velocidade da Terra em relação a esse éter, porque lembrando que o éter é uma matéria muito sutil, muito leve, que os nossos sentidos de visão, de tato não conseguem detectar, mas o éter ta envolto aí em todo o Universo. [...]. Então muitos experimentos começaram a dar resultados e já não se tinha dúvidas sobre a existência do éter no final do século XIX. Mas nem todos os experimentos davam certo, tá? Então o experimento do Michelson não conseguia detectar aí a velocidade da Terra em relação ao éter.	

Parece-nos que a atuação da professora na transposição didática interna foi adequada, enfatizando o papel desempenhado pelo éter em alguns momentos históricos. Tais colocações pretendiam tornar os aspectos da natureza da ciência selecionados para o curso compreensíveis para os alunos, e mostrar que há também aspectos incertos nas teorias científicas. Durante a aula os alunos permaneceram atentos, apesar de ter sido expositiva em boa parte. Eles não voltaram a questionar o éter nessa aula. Na aula seguinte, a professora fez outra revisão do conteúdo, retomando o éter e enfatizando novamente os mesmos aspectos. Depois disso, corrigiu as questões do texto 9, discutiu as dúvidas dos alunos e sistematizou o episódio III.

Um dos instrumentos utilizados para tentar acessar a compreensão dos alunos sobre o tema foi a avaliação final, onde havia a seguinte questão: “*Qual era a utilidade do éter luminífero para a óptica no início do século XIX?*”. A maioria dos alunos apresentou respostas adequadas, mas não é possível afirmar se todos os que responderam corretamente realmente compreenderam o conteúdo, ou se reproduziram extratos dos textos, pois a prova era com consulta. Por outro lado, algumas respostas traziam a sistematização das discussões realizadas nas aulas, sugerindo a validade de nossos pressupostos iniciais e das estratégias desenvolvidas para alcançar os objetivos pretendidos em relação ao éter luminífero. Vejamos exemplos de situações variadas, inclusive de respostas inadequadas (R5):

R1: Como se acreditava que toda onda necessitava de um meio para se transportar. Assim sendo, se a luz fosse uma onda, o éter seria o meio de transporte para a luz. Esse Éter seria muito menos denso que qualquer outra matéria, e estaria presente em todos os lugares.

R2: No século XIX a luz já era aceita como onda, sendo assim, o éter era o meio no qual ela se propagava.

R3: O éter, era uma matéria muito sutil, que ajudou a explicar muitos fenômenos que a luz exercia.

R4: A utilidade dele era que ele fazia a propagação de uma ondulação, ou seja, propagar e gerar a luz.

R5: Sem o éter luminífero não teria como enxergar no escuro graças ao éter luminífero como veriamo (sic) à noite. Assim o éter luminífero tem muita importância.

R6: O éter luminífero era essencial para a compreensão dos fenômenos ópticos, pois o éter era o meio pelo qual a luz se locomovia. Tanto para a teoria corpuscular quanto para a teoria ondulatória era necessário compreender o éter.

R7: O éter luminífero tinha como utilidade transportar a luz, já que era a teoria ondulatória que defendia a idéia de éter, eles precisavam de éter para explicar como as ondas se propagavam.

Numa perspectiva mais geral, se fôssemos nos limitar às respostas dadas pelos alunos na avaliação final, poderíamos entender que a maioria da sala atingiu o propósito pedagógico pretendido com o curso, voltado a esse aspecto do conteúdo. Grande parte dos alunos apresentou respostas satisfatórias, tendo em vista o nível de escolaridade, o tempo didático para apreender o conteúdo, a falta de pré-requisitos com os temas envolvidos e com o que nos foi possível oferecer. Entretanto, embora nossa intenção aqui não seja discutir instrumentos de avaliação, podemos afirmar não ser a avaliação final, mesmo numa perspectiva de prova operatória e com consulta, suficiente para avaliar o nível de compreensão dos conteúdos tratados com relação aos nossos objetivos.

Tendo em vista as respostas almejadas a partir dos dados, olhar para todo o processo desenvolvido ao longo do curso permite-nos obter uma visão que não seria possível, considerando-se apenas uma avaliação. As respostas nela contidas não dão conta

de retratar os momentos de interação dos alunos com o conteúdo, gerando momentos de conflito cognitivo, como ocorreu, por exemplo, no debate.

A seqüência de interações entre os sujeitos e o saber selecionada para analisar o Evento Éter mostra que os alunos tiveram a possibilidade de vivenciar aspectos da natureza da ciência. Mais do que reproduzir conceitos, os alunos participaram ativamente de incertezas, conflitos, distintos pontos de vista, limitações nas teorias e a utilidade dos entes inobserváveis.

Não é possível dizer ter existido um único momento no curso que tenha tornado possível atingir os propósitos pedagógicos visados. Com relação ao papel dos inobserváveis, todo o processo contribuiu para isso: a preparação feita nos dois primeiros episódios, os conflitos e tensões vivenciados durante o debate prepararam os alunos para compreenderem o teatro e o episódio III. A diversidade de estratégias pedagógicas utilizadas e a atuação da professora na transposição didática interna contribuíram para os alunos *protagonizarem* alguns aspectos da dinâmica da construção da ciência.

4.2.3. Evento Young

Na observação dos dados escritos pelos alunos, encontramos um significativo número de respostas enfatizando que Thomas Young não possuía conhecimentos matemáticos suficientes para dar credibilidade à teoria ondulatória. Essa visão nos surpreendeu, pois nossa intenção inicial era ressaltar que a proposta ondulatória para a natureza da luz de Young resultou de muitos experimentos e de estudos teóricos a partir de uma analogia com as ondas sonoras. Com isso, pretendíamos defender que, mesmo com a realização de experimentos e uma explicação considerada adequada para a difração, as idéias de Young não receberam crédito relevante quando foram apresentadas à comunidade científica. Ao apresentarmos a teoria ondulatória de Fresnel, enfatizamos que a matematização dada a ela foi muito importante para sua aceitação na comunidade científica, destacando também a importância do apoio recebido de Arago. Entretanto, ao ressaltar a capacidade matemática de Fresnel, não imaginávamos que isso poderia levar os alunos a concluírem que Young não sabia matemática. Acreditamos que esse episódio de ensino, por nós denominado “Evento Young”, contempla diversos elementos úteis à nossa análise, principalmente com relação aos obstáculos estruturais enfrentados na elaboração do Saber a Ensinar.

Vamos apresentar esse evento, justificar sua seleção e discutir os pressupostos envolvidos na elaboração do Saber a Ensinar que deu origem a tal interpretação, e confrontá-los com os dados que mostram o processo ocorrido entre os elementos da relação didática: alunos, professor e saber. Há uma complexidade de fatores relacionados a esse evento que permite abordarmos aspectos das escolhas feitas para superar ou compensar certos obstáculos estruturais, e os riscos assumidos na elaboração do Saber a Ensinar (seções 2.3 e 3.2). Do ponto de vista histórico, que pretendíamos discutir, a resposta não apresenta grandes distorções. Entretanto, há um elemento aparentemente sutil, com implicações relevantes para esta pesquisa, conforme discutiremos a seguir.

Ao final do texto 9 para os alunos (Apêndice C.2) havia quatro questões. Duas delas motivaram vários alunos a manifestarem a idéia de que Young teria deficiências em matemática. Vejamos essas duas questões do texto 9:

3) *As seguintes frases estão corretas ou erradas? Justifique.*

a) *“Os experimentos de Thomas Young foram suficientes para derrubar a teoria corpuscular da luz.”*

4) *Comente um exemplo histórico para a seguinte afirmação: “Não é possível tirar conclusões apenas a partir dos experimentos, mas eles são muito importantes para a elaboração das teorias científicas”.*

Dos 29 alunos envolvidos com a atividade, 14 manifestaram explicitamente a visão de que Young tinha limitações matemáticas, e 5 estudantes sugeriram implicitamente essa idéia. Dos 10 alunos restantes, 9 não fizeram comentários relacionando Young e matemática, e apenas 1 deles apresentou a visão mais próxima da que esperávamos. Vejamos as transcrições:

Visão considerada mais próxima do que esperávamos, no caso do aluno mencionar relação entre Young e a matemática:

*R1 para 3a) Na verdade os experimentos de Fresnel que tiveram essa função, afinal Young não **utilizava** os estudos matemáticos para dar respaldo(sic) a sua teoria, o que dificultava as suas justificativas. (grifo nosso).*

Transcrição de algumas respostas indicando uma visão de Young ter limitações matemáticas:

R1 para 3a) Errado, pois ele não possuía conhecimentos matemáticos para conseguir firmar sua teoria.

R2 para 3a) Errada. Apesar dos experimentos de Young serem corretos e válidos, não foram aceitos, pois não havia análise matemática nem um estudo mais profundo. A teoria só foi aceita com Fresnel, que fez a parte matemática do experimento.

R3 para 3a) Errada, apesar de Thomas Young ter retomado a pensar na luz como onda, ele não conseguia provar muito bem, pois não tinha muito conhecimento em matemática, além de não ter muito “status”, o que era um pouco necessário.

*R4 para 4) Podemos usar como exemplo Thomas Young, que era um cientista que apresentou várias teses com muitos experimentos, porém não possuía um vasto conhecimento matemático, e não conseguiu estabelecer formular matematicamente sua tese. E contou com o apoio de Fresnel que tinha uma base matemática maior, **porque seu tempo era mais avançado.** (grifo nosso)*

R5 para 4) Um exemplo foi Thomas Young que fez muitos experimentos, mais por falta de base matemática não foi levado à sério, só mais tarde quando Fresnel deu sua contribuição matemática que seus estudos foram levados à serio.

R6 para 4) Um exemplo foi Thomas Young que realizou experiência para a teoria ondulatória, ele basicamente explicou a difração, segundo a ondulatória, mas não tinha base matemática, porém, foi muito importante p/ o desenvolvimento teórico.

Exemplo de uma resposta que consideramos sugerir limitações no domínio da matemática:

R7 para 4) Thomas Young tinha experimentos mas não tinha análise matemática por esse motivo não conseguiu provar a teoria ondulatória.

As demais respostas com essa concepção foram variações muito próximas das situações acima.

Essas respostas nos pareceram surpreendentes, pois não tínhamos a intenção de propor tal interpretação no material do curso, e um número expressivo de estudantes apresentou a mesma visão. Além de não constar explicitamente no material do curso, pareceu-nos, inicialmente, pouco provável essa concepção ter sido sugerida, de algum modo, já que não retrata o nosso ponto de vista sobre Thomas Young. De fato, já foi

bastante discutido na literatura educacional, que os valores, as crenças e as idéias sobre um determinado assunto permeiam o discurso de um professor em sua aula, ou de um autor em sua obra (GIL PEREZ *et al.*, 2001). Nesse caso, como não compartilhamos essa idéia de que Thomas Young não soubesse matemática, pareceu-nos pouco provável nós a termos sugerido.

Buscamos investigar quais aspectos do material poderiam ter contribuído para fomentar essa visão, refletindo inicialmente sobre os pressupostos adotados na elaboração do Saber a Ensinar vinculado ao Evento Young.

Quando selecionamos o conteúdo do episódio III para o curso, tínhamos como objetivo mostrar para os alunos o debate entre duas explicações possíveis para a natureza da luz, buscando problematizar aspectos de natureza epistemológica. As escolhas feitas e os riscos assumidos foram guiados por vários pressupostos que serviram de balizadores, por exemplo, o nível de escolaridade focalizado; a ausência de pré-requisitos matemáticos, históricos e filosóficos dos alunos; a falta de tempo para detalhar o contexto; o domínio técnico dos fenômenos ópticos, etc. (seções 3.2.3 e 3.2.4).

Pretendíamos superar alguns obstáculos, compensar certas limitações e enfrentar alguns dilemas/conflitos na construção de estratégias pedagógicas. Por isso, alguns conceitos foram introduzidos nos dois episódios anteriores, conforme discutimos no capítulo 3 (seções 3.2.3 e 3.2.4). Devido ao número de aulas disponíveis para todo o curso e o tempo já destinado aos episódios anteriores, não seria possível aprofundar a análise dos estudos de Young sobre a difração.

Na tentativa de compensar a falta de pré-requisitos dos alunos para compreender a difração luminosa mediante uma concepção corpuscular para a luz, utilizamos o recurso visual proporcionado pelo trecho inicial do filme Dr. *Quantum*. A animação ilustra o experimento da dupla fenda que compara os fenômenos da difração e interferência luminosa, mediante concepções ondulatória e corpuscular para a luz (seção 3.2.7). Por meio de analogias entre as bolinhas e uma concepção corpuscular para a natureza da luz, e as ondulações na água e uma concepção ondulatória para a luz, o Dr. *Quantum* (personagem da animação) esclarece por que não é possível explicar o fenômeno da difração luminosa mediante uma concepção corpuscular para a luz.

Outro recurso por nós utilizado visando a fornecer subsídios aos alunos para compreenderem os fenômenos envolvidos, foi a demonstração experimental da difração e

superposição luminosas, e a demonstração da formação das franjas de interferência no anteparo durante a revisão dos fenômenos ópticos (veja o planejamento do curso e os textos no Apêndice C; a revisão nos *slides* no Apêndice C.4 e C.6).

Portanto, a compreensão do fenômeno viria por meio das atividades apresentadas acima: as demonstrações experimentais e a animação Dr. Quantum. Consideramos que, para os propósitos desse curso, seria suficiente enfatizar o fato de Young ter realizado vários experimentos e estudado o fenômeno da difração luminosa por meio de uma analogia com as ondas sonoras.

Essas atividades não apresentavam a formulação matemática de Fresnel para a teoria ondulatória, principalmente devido à falta de pré-requisitos dos alunos em termos matemáticos, e à complexidade de sua teoria. A matematização, que nos parece ter sido decisiva para a aceitação da teoria ondulatória, não se restringe à explicação do fenômeno da difração, mas estende-se a toda a teoria, que propõe, entre outras coisas, o arrastamento parcial do éter luminífero pelos corpos transparentes (MARTINS, no prelo; PIETROCOLA, 1993a).

Desse modo, com as limitações de tempo para o curso, dos pré-requisitos conceituais dos alunos e com o recorte adotado, não pareceu necessário investir na comparação entre as explicações matemáticas dadas por eles ao fenômeno da difração. Se optássemos por incluir uma nova etapa para aprofundar esses conteúdos, excederíamos o tempo para a aplicação do curso que nos foi disponibilizado, além de estender a quantidade dos textos dos alunos e o texto de leitura para o professor, o que tornaria a proposta do curso mais distante da realidade do ambiente escolar. Não podemos nos esquecer de que as 20 horas-aula utilizadas para o curso correspondem praticamente a um bimestre letivo. Quantos professores e escolas estariam dispostos a destinar tantas horas-aulas para abordar conhecimentos sobre a natureza da ciência?

Além do destaque dado a esse conteúdo na história da óptica atualmente, a menção feita a Thomas Young e sua proposta ondulatória para a luz visava, principalmente, a apresentar aspectos da natureza da ciência (seções 3.2.3 e 3.2.4). Enquanto uma concepção ondulatória para a natureza da luz proposta anteriormente por Young não recebeu créditos nem destaque significativo na sua época, alguns fatores não científicos podem ter contribuído para a aceitação da teoria ondulatória de Fresnel, como o apoio técnico e estratégico que recebeu de Arago. Problematizou-se, também, embora indiretamente, que o

fato de um pensador apresentar uma explicação razoável para um fenômeno não teria sido suficiente para reacender o debate entre as teorias na comunidade científica, que aderiria maciçamente à teoria corpuscular.

Outro benefício em abordar a explicação de Young para a natureza da luz baseada em uma analogia com as ondas sonoras e a teoria de Fresnel, destacando sua matematização, é mostrar que ambas requeriam a existência de um ente inobservável. Buscamos enfatizar que, mesmo as propostas de ambos tendo sido fundamentadas por diferentes caminhos, as duas requeriam a existência de um suporte para a luz, o éter luminífero. No início do século XIX, prevalecia no ideário da ciência a busca pela experimentação, pela mensuração, e por uma suposta observação objetiva dos fenômenos. Nesse cenário, em que era muito forte o ideal de racionalidade e empirismo, seria contraditório admitir a existência de um ente inobservável na elaboração de explicações científicas. Tal discussão possibilitou problematizar mais aspectos da natureza da ciência (veja textos 7, 8 e 9 para os alunos no Apêndice C).

Sem dúvida, destacamos que o fato de Fresnel ter apresentado sua teoria ondulatória com uma formulação matemática rigorosa para a época, teria sido decisivo para sua aceitação (BUCHWALD, 1989a; WORRALL, 1994). Contudo, isso não implica, necessariamente, que Thomas Young não soubesse matemática. O ponto relevante a despontar nessa análise é que, por contraste à forte afirmação de ser a teoria de Fresnel bem matematizada, e pelo fato de ela ter sido emblemática na concepção de luz no início do século XIX, os alunos, ou a professora, deduziram por uma insuficiência de Young em matematização.

Esses detalhes podem parecer muito sutis, ou mesmo irrelevantes, mas preocupam-nos menos pela incorreta interpretação do fato histórico, e mais pelas implicações trazidas para a pesquisa. O Evento Young decorre do processo de enfrentamento de um conjunto de obstáculos estruturais, que, a nosso ver, estarão sempre permeando as iniciativas do uso da história da ciência no ensino de ciências: que aspectos do conteúdo histórico devem-se enfatizar, tendo em vista os objetivos almejados? Que detalhes históricos relativos aos conceitos científicos podem-se ou devem-se omitir? Que aspectos do contexto sociocultural do período ou de fatores extra científicos devem ser mencionados, ou ainda, devem ser omitidos?

Em nossa escolha, buscamos selecionar os aspectos mais relevantes para atender a nosso objetivo educacional, e cuidamos para apresentá-los diacronicamente, na medida do possível. Porém, parece que a distorção no conteúdo histórico, e que de certo modo distorce também aspectos da construção da ciência, foi ocasionada pela necessidade de simplificação adotada, ou por aspectos omitidos.

De fato, a capacidade matemática de Young não era o tema de nossa discussão, e, tendo em vistas os riscos assumidos, não podemos considerar que esse tenha sido um problema. Mas esse evento torna-se uma rica fonte de dados para a pesquisa, por sugerir que a omissão de determinados aspectos científicos poderiam ocasionar distorções de natureza epistemológica.

Fresnel saber mais matemática que Young é um fato de menor importância aqui. A reflexão sobre esse evento aponta para fatores mais complexos. Será possível antever todas as possíveis consequências das omissões inevitáveis, ao construírem-se narrativas da história da ciência voltadas ao ambiente escolar? Ou ainda, seria necessário antevê-los? Em que medida? Quando?

Buscamos na análise do sistema didático, onde ocorre a interação entre professor, alunos e o Saber a Ensinar, desvelar mais aspectos concorrentes para o Evento Young acontecer.

Iniciamos pela análise do material didático. Os alunos tiveram contato com o conteúdo do século XIX a respeito de Young em quatro recursos pedagógicos distintos: o roteiro para o teatro, no texto 9, na apresentação em *slides* e na abordagem do professor. No texto 8, que traz o roteiro para o teatro (Apêndice D.4), não há nenhuma afirmação passível de sugerir uma limitação matemática de Young; tampouco há qualquer comentário exaltando a capacidade matemática de Fresnel. O texto 9, que faz a sistematização do episódio III (Apêndice C.2), também não emite qualquer comentário sobre Young e matemática, e a única menção sobre matemática vinculada a Fresnel é uma afirmação de que a sua teoria incluía equações matemáticas.

Os dados apontaram para dois momentos que parecem ter ocasionado o Evento Young: o conteúdo dos *slides* e a explicação da professora.

A apresentação em *slides* 3b: Éter e luz no século XIX para o episódio III (Apêndice C.7) traz elogios ao trabalho de Young e uma ênfase na matematização de

Fresnel para sua teoria ondulatória. Provavelmente, o conteúdo da apresentação possa ter contribuído para os alunos concluírem que Fresnel possuía mais domínio da matemática que Young. Vejamos alguns trechos desses *slides*:

“Seus estudos [de Young] foram muito bem feitos, mas não convenceram praticamente ninguém.”

“Seu trabalho [de Fresnel] era mais sofisticado que o de Young, sob o ponto de vista matemático.”

“Fresnel se candidatou com um estudo que apresentava a teoria matemática da difração.”

“Sua capacidade matemática [de Fresnel] era muito grande, e seus resultados impressionaram profundamente os físicos da época”.

Esses dados apontam para aspectos que precisam ser levados em conta no momento de lidar com os obstáculos estruturais na elaboração do Saber a Ensinar. Como não iríamos apresentar os estudos de Young e de Fresnel em detalhes, pareceu-nos necessário enfatizar a importância, realmente decisiva na época, da matematização dada por Fresnel para a aceitação da teoria ondulatória. Naquele momento, não imaginávamos que tal ênfase poderia sugerir desconhecimento de Young sobre matemática. Hoje, temos a impressão de que eles sobrevalorizaram as habilidades de Fresnel.

O fato mais evidente de ter concorrido para o Evento Young foi a atuação da professora na transposição didática interna. Vejamos a transcrição do trecho da aula em que a professora explica o conteúdo da apresentação em *slides* 3b (Apêndice C.7). Durante a apresentação os alunos não se manifestaram, portanto ocorreu apenas a fala da professora. Vejamos alguns trechos da explicação (Anexo A):

17/9/2007 – Aulas 13 e 14 – Arquivo I			
Turno	Tempo	Falas	Observações
28	32:32	P: Bom. O Thomas Young, né, como eu falei, ele era médico e aí ele começou a defender a teoria ondulatória da luz. Só que o Young, ele fez o experimento, ele se dedicou ao estudo, mas é... faltava pra ele um pouco mais de aparato matemático pra poder explicar é... a luz como onda, né? Então ele lançou a idéia, ele fez os estudos, os experimentos, ele elaborou a teoria, mas faltou pra ele é... Vamos dizer assim alicerce matemático	<i>Grifos nossos A professora classifica Young apenas como médico.</i>

		mesmo pra ele conseguir defender mesmo a idéia dele. [...] Foi o Fresnel, que 20 anos depois do Young, ele começou a estudar o mesmo experimento da fenda dupla, da difração, e ele era um excelente matemático, então aí ele teve, né, todo o aparato que a matemática precisava pra explicar o fenômeno. Então ele abraçou, né, a idéia de que a luz na verdade é onda. [...]	
29	35:02	P: [...] Então, em 1817, a Academia de Ciências propõe um prêmio pra quem explicasse melhor o fenômeno da difração, tá, de forma quantitativa porque tinha que ter além de uma teoria bem elaborada, a análise matemática dela também. [...] Bom, o Fresnel, com o apoio do Arago, ele se candidatou, apresentou o estudo dele, né, com toda teoria matemática que explicava a difração. É... na verdade, só recapitulando né, foi o Huygens que lançou primeiro a idéia de que a luz seria onda, quase cem anos depois o Young retomou os experimentos, e o Fresnel, né, manteve contato, ele não leu os trabalhos do Young, mas ele manteve contato com o Young, trocaram idéias, e aí ele deu o reforço aí matemático que a teoria do Young estava precisando. [...]	<i>Alunos continuam atentos.</i>
30	38:12	P: Bom, ele publicou outros trabalhos com o apoio do Arago, e que chegou à conclusão então do reforço aqui, né, pra se aceitar a teoria ondulatória pra luz. Foi graças à capacidade matemática que ele tinha que ele foi que conseguiu explicar o fenômeno da difração com todo o apoio da teoria da matemática. [...]	

Nos *slides*, observou-se a ênfase na capacidade matemática de Fresnel e no desenvolvimento matemático sofisticado que ele teria dado à teoria, mas não há afirmações de que Young não soubesse matemática. No entanto, uma leitura subliminar do texto pode, por contraste, dar a idéia de que Young não dominava a matemática. Por outro lado, na fala da professora, essa idéia surgiu de modo explícito. Os dados sugerem que a omissão específica a respeito da capacidade matemática de Young ocasionou essa interpretação por parte da professora, e ela acabou por enfatizar a matematização dada por Fresnel como um avanço em relação aos estudos desenvolvidos por Young.

É provável que esse assunto não tenha sido abordado de maneira clara durante as reuniões de preparação com a professora (seção 3.3.2). Entretanto, como não temos as gravações dos diálogos, não é possível saber se algo poderia ter sugerido essa idéia. Vale a

pena lembrar que o fato de não termos essa concepção de que Young não soubesse matemática pode significar mais a ausência de uma abordagem a respeito desse assunto, do que termos implicitamente sugerido uma idéia que não defendemos.

Parece-nos pouco provável, também, tal concepção possa ter sido ocasionada pelo texto voltado ao professor, pois a única menção a Young e Fresnel foi bastante simplificada, como se vê na transcrição abaixo:

“Vamos mostrar aos alunos alguns acontecimentos que envolveram a crescente aceitação da teoria ondulatória entre os homens da ciência no início do século XIX, buscando refletir sobre como se dá a construção do conhecimento científico:

- *O experimento de difração de Thomas Young (1773-1829) e a dificuldade em explicá-lo utilizando a teoria corpuscular (PIETROCOLA, 1993b).*
- *Os resultados encontrados por experimentos realizados por François Arago (1786-1853), que também não eram explicados pela teoria corpuscular (PIETROCOLA, 1993b).*
- *O prêmio proposto pela Academia de Ciências francesa em 1817 para o melhor trabalho sobre o fenômeno da difração, cujo vencedor foi Augustin Fresnel (1788-1827) com um trabalho que defendia a teoria ondulatória (PIETROCOLA, 1993b; WHITTAKER, 1953).*
- *O prestígio de Arago e seu apoio a Fresnel contribuindo para a apresentação de sua teoria à comunidade científica da época (LEVITT, 2000).*
- *O papel do éter luminífero na teoria ondulatória para a natureza da luz (WORRALL, 1994).” (Apêndice A, p. 21-30).*

Percebemos que o texto para o professor não faz menção a essa questão, portanto ele não deve ter influenciado diretamente a concepção da professora. Na época da elaboração desse texto, para não torná-lo mais longo, optamos por apenas complementar as idéias constantes no texto dos alunos, e relacionar os aspectos tratados na bibliografia básica fornecida ao professor aos propósitos pedagógicos do curso (ver seção 3.3.1). Entretanto, é necessário ter em mente que, muitas vezes, ao se omitir uma referência, deixa-se espaço para o professor preenchê-lo “como quiser”. Nesse caso, como não ficou claro no texto em que aspecto a teoria de Fresnel é superior à de Young, a professora fez sua própria interpretação.

A elaboração desse Saber a Ensinar exigiu que o Saber Sábido fosse descontextualizado, despersonalizado e dessincretizado com relação ao seu contexto original, para então, ser novamente recontextualizado ao ambiente escolar. Nesse processo, foi inevitável estabelecer um rigoroso recorte, que acabou por “simplificar” algumas abordagens do ponto de vista histórico, omitir alguns aspectos históricos e científicos e compensar aspectos inacessíveis aos alunos, utilizando estratégias pedagógicas para a superação ou compensação de obstáculos (seções 3.2 e 4.1). Foi o caso, inevitável, de omitir a matematização das teorias, os contextos que permearam os estudos de Young e Fresnel, dentre muitos outros.

O Evento Young sugere que a omissão de informações levou a professora a construir, no interior do sistema didático (na sala de aula), uma concepção própria sobre o evento. De certo modo, isso indica que, apesar de todo o esforço realizado na elaboração do Saber a Ensinar, buscando construir uma narrativa história diacrônica, não foi o suficiente para garantir a fidedignidade do contexto epistemológico.

Podemos adiantar como hipótese que, na ausência de uma informação específica para esse aspecto, tenha prevalecido uma concepção intuitiva da professora sobre a natureza da ciência, forjada, provavelmente, numa ocasião anterior, que o material e as reuniões de preparação não foram capazes de alterar. Esta hipótese, embora passível de confirmação, ganha apoio no fato de que a história é normalmente contada do ponto de vista do vencedor (ALLCHIN, 2004). Em geral, é o personagem que reúne as qualidades que fazem a diferença para cada contexto, por exemplo, astúcia, recursos materiais, e no caso da ciência, habilidades técnicas (sejam teóricas ou experimentais) costumam explicar a vitória de um sobre outros.

Discutimos nesta seção a análise de três eventos que possibilitaram averiguarmos várias das questões levantadas na elaboração do curso. Dentre outras coisas, tratamos do risco de relativismo apontado pela dimensão teórica da pesquisa, a relação do aluno com a complexidade da idéia de éter e como isso possibilitou a vivência de aspectos da natureza da ciência, e a possibilidade de interpretações equivocadas em decorrência da omissão de uma abordagem matemática. Na seção seguinte, relatamos situações que permitem compreender um pouco mais o contexto de aplicação do curso piloto.

4.3. Relatos e percepções: Um breve olhar para o processo

Vamos apresentar a seguir duas situações ocorridas no curso, que não puderam ser consideradas “eventos de pesquisa”, seja porque não reuniram predicados de análise, seja porque dificuldades técnicas limitaram a qualidade dos dados. Apesar disso, apontaram detalhes que permitem esclarecer alguns resultados obtidos na aplicação do curso.

4.3.1. Recortes e descaminhos: a história da linha do tempo

Um dos desafios apontados na construção do curso (seções 3.2 e 4.1) foi encontrar modos de estabelecer o recorte dos episódios históricos que permitissem uma interpretação diacrônica da história da ciência. Isso envolveu selecionar os conteúdos históricos, filosóficos e físicos a serem omitidos, como abordar os aspectos eleitos de modo a ser acessível ao estudante do ensino médio, etc.

Optamos pela utilização da linha do tempo (descrita na seção 3.2.5 e retomada na seção 4.1.2), com imagens de pensadores e de filmes históricos. Buscávamos contornar o desafio OC8 “extensão *versus* profundidade”, que possibilitaria localizar de modo relativamente rápido a época em que ocorreu cada episódio tratado pelo curso (Apêndice 4.2).

A faixa contendo a linha do curso foi afixada na parede da sala e a professora deveria chamar a atenção dos alunos durante as aulas para os pensadores em estudo, bem como para o período histórico sob enfoque. Contudo, houve um imprevisto a dificultar esse plano inicial. Ao lado da sala em que o curso foi aplicado, havia uma turma excessivamente barulhenta. Percebemos que alguns dados gravados ficaram inaudíveis, em função dos ruídos externos, e decidimos realizar a maior parte das outras aulas na sala de vídeo. Com isso, a faixa foi pouco aproveitada durante o curso, e não pudemos validar nossa hipótese. Conseguimos apenas perceber, pelos dados tomados durante a realização da atividade, a confirmação do pressuposto de que os alunos tinham dificuldades para localizar os pensadores e episódios históricos na dimensão temporal. Vejamos alguns desses dados:

Essa atividade ocorreu na primeira aula do curso. Conforme esclarecido na seção 3.2.7, a atividade foi iniciada com o jogo “colocando na linha do tempo”, em que os alunos receberam 19 cartões com pensadores e eventos históricos para organizá-los cronologicamente (Apêndice D.1). Eram eles: Demócrito de Abdera; Christiaan Huygens;

Aristóteles; François Arago; Isaac Newton; Thomas Young; Platão; César Lattes; Empédocles; Leonardo da Vinci; Fresnel; Einstein; Descobrimento do Brasil; Nascimento de Jesus; Vôo do 14 Bis; Guerra de Tróia; Independência do Brasil; As Cruzadas; Bomba atômica de Hiroshima.

Os alunos demoraram cerca de 20 minutos para organizar os cartões cronologicamente. A professora iniciou o levantamento das propostas:

6/9/2007 – Aulas 1 e 2 – Arquivo I			
Turno	Tempo	Falas	Observações
13	17:27	P: Gente, ó, mais uns 2 minutinhos.	<i>A maioria da sala continua animada, trocando informações e empenhada na atividade.</i>
14	18:21		<i>Há três alunos no fundo direito da sala que participaram bastante, mas começam a ficar quietos. As expressões sugerem um pouco de frustração. Olham pensativos para os cartões.</i>
15	20:37	P: [...] Vocês já devem ter uma noção de qual seria desses que, desses que vocês têm aí, qual seria o primeiro? Fala Pedro. Pedro: Guerra de Tróia	
16	21:24	P: Guerra de Tróia? Que mais? Alunos (2 ou 3): Guerra de Tróia.	
17	21:33	A5: Nascimento de Jesus. P: Nascimento de Jesus? Quem dá mais? A6: Empédocles.	<i>A professora brinca motivando os alunos a responderem.</i>
18	21:37	P: Empédocles tá na ponta... Ó, aqui é o Platão que tá no início, tá. Então... A7: Demócrito... P: Aqui é o Demócrito.	

As respostas dos grupos foram diferentes e apenas 2 dos 9 grupos colocaram Guerra de Tróia. Pode-se perceber, pelas imagens gravadas, que muitos alunos não tinham idéia sobre quem eram os pensadores e alguns acontecimentos tratados. Houve respostas bem diferentes entre os grupos para o primeiro fato do período abordado: a Guerra de

Tróia, o nascimento de Jesus, Empédocles, Demócrito e Platão, foram as respostas dadas pelos grupos como primeiro evento na linha cronológica.

Quando a faixa foi aberta e começou a ser afixada na parede, praticamente todos dos alunos permaneceram comparando suas respostas com a cronologia da faixa. A atitude dos alunos durante toda a atividade (observada no vídeo), e os comentários nas anotações de campo sugerem que o restante da linha cronológica estava diferente também.

A dificuldade da maioria dos alunos em localizar as informações no tempo sugere como o apoio da faixa teria sido proveitoso para localizar na história os três episódios e os personagens a serem tratados no curso. Entretanto, não conseguimos utilizar esse recurso conforme planejado e, assim, não obtivemos dados para essa análise. Desse modo, pouco podemos concluir com segurança.

4.3.2. A relação professora-alunos: afeto e valorização como diferencial

Um aspecto que nos chamou a atenção durante a análise dos dados foi o modo como a professora valorizava os alunos em vários momentos do curso. Ela fazia elogios, dizendo confiar em sua capacidade, responsabilidade e comprometimento. Nesses momentos, as expressões dos alunos no vídeo mostram segurança, alegria e “afeto” pela professora. Embora a dimensão afetiva do contrato didático não faça parte dos objetivos desse trabalho, esse dado tornou-se tão visível na observação dos vídeos, que decidimos mencioná-lo. Vejamos algumas falas da professora.

Ao final da exposição dos grupos na atividade do debate, a professora finaliza essa etapa e pede que os jurados se reúnam para chegar a um veredicto. Nesse momento ela elogia o desempenho dos alunos e enfatiza sua confiança em sua capacidade:

13/9/2007 – Aulas 9 e 10 – Arquivo II			
Turno	Tempo	Falas	Observações
136	04:50	P: [...] em primeiro lugar eu gostaria de agradecer as, os dois grupos , porque... eu reconheço que essa discussão não é fácil. [...] porque vocês meio que tomaram conhecimento desse assunto nesse módulo, né... No geral, não só de éter, de ondas, de teoria da luz, de tudo... é tudo novidade pra todos da sala . Então, assim, é... pra mim foi... é lógico que eu tinha a minha aposta em	<i>Retorno positivo aos alunos: Professora agradece e valoriza os alunos em vários momentos do curso.</i>

		vocês, né... mas, pra mim foi muito bom. Porque eu senti que ambos os grupos se empenharam [...] Então eu agradeço aos dois grupos, e também a platéia que também, é, participou questionando e tal... tá?	
--	--	---	--

Na seqüência, os membros do júri reuniram-se para discutir e chegar a um consenso. Ao final das discussões, o veredicto foi dado e a professora fez breve sistematização do conteúdo, destacando a crítica às idéias de provas na ciência e a influência de fatores não científicos na construção do conhecimento científico. Novamente ela faz elogios aos alunos:

13/9/2008 – Aulas 9 e 10 – Arquivo II			
Turno	Tempo	Falas	Observações
149	25:32	P: [...] Mas assim... Júri, turma do corpuscular e turma das ondas, vocês estão de parabéns, eu estou muito feliz com o curso, estou muito feliz por vocês , que vocês estão se empenhando, a gente sabe das limitações de vocês... eu também, como professora, também tenho a minha limitação. Então, ta legal porque a gente tá aprendendo junto , vocês estão levantando questões, isso ta sendo muito legal e o empenho de vocês também está sendo muito legal . É aquela coisa que eu não apostei em vocês a toa .	

O acompanhamento do curso, a análise dos dados, as conversas com a professora, as falas dos participantes nos corredores antes e depois das aulas nos autorizam a afirmar que o curso superou as expectativas em termos de engajamento dos alunos, nível de discussões levadas a cabo e sentimento de crescimento intelectual, verbalizados em vários momentos, e escritos na pesquisa final que acompanhou a prova. Diante disso, é pertinente indagar até que ponto esse retorno positivo de afeto, encorajamento e confiança que a professora demonstrava pelos alunos, pode ter contribuído para o envolvimento deles? Pretendemos investigar essa dimensão afetiva da relação professor-aluno em trabalhos futuros como um dos desdobramentos dessa tese.

4.4. Destacando resultados

As análises acima permitiram obter elementos de respostas aos desafios enfrentados (OS e OC), que descrevemos na seção 4.1. Vamos retomar algumas propostas feitas para superar ou compensar os obstáculos e apontar algumas conclusões.

4.4.1. Muitos textos: um risco?

Um dos desafios enfrentados na preparação do curso foi com relação à quantidade de textos suficientes para abordar o conteúdo histórico-epistemológico, sem tornar o curso desestimulante para os estudantes (OC7). Conforme descrevemos na seção 4.1, decidimos assumir o risco de entregar os nove textos para os alunos e realizar a leitura com eles em sala de aula.

A análise dos dados, as percepções realizadas durante o acompanhamento das aulas e o retorno dado pela professora nas reuniões, durante e após o curso, permitiram-nos concluir que a estratégia adotada foi adequada. A leitura de todos os textos não demonstrou ser enfadonha em nenhum momento observado. O risco assumido aqui era com relação à quantidade de textos, pois julgamos que a textualização adequada ao nível de escolaridade enfocado seria um obstáculo superável (4.1).

Essa conclusão volta-se para esse caso específico, naturalmente. Nada pode garantir que tal quantidade de textos não poderia ser considerada demasiada em outros contextos educacionais. Entretanto, os caminhos tomados nessa experiência piloto podem apontar indicativos e sugestões para novas propostas, em diferentes contextos. Provavelmente, a variedade de atividades e o notório envolvimento dos alunos com o tema do curso contribuíram para que a quantidade de textos estudados não se configurasse excessiva.

4.4.2. Compensar a omissão da matemática com recursos visuais?

Os fenômenos ópticos abordados no curso não foram estudados do ponto de vista matemático (OC4). Essa decisão foi resultado da confluência de várias necessidades, pressupostos e objetivos. Tínhamos pouco tempo disponível para a aplicação do curso e uma grande quantidade de conteúdo histórico selecionado para viabilizar o estudo dos conteúdos epistemológicos. Os alunos não haviam estudado boa parte do conteúdo conceitual envolvido no curso, como a difração e a interferência luminosas, por exemplo. Se fossemos tratar matematicamente todos os fenômenos ópticos, necessitaríamos de mais

aulas do que as concedidas. Desse modo, foi necessário pensar em outras formas de abordar os aspectos dos conceitos ópticos fundamentais para os objetivos do curso. Recorremos às imagens nos *slides*, à demonstração experimental de alguns fenômenos, como a dispersão da luz branca em um prisma, a formação das sombras, a difração e a interferência luminosas. Utilizamos a animação “Dr. Quantum” a fim de esclarecer a questão fundamental para o curso: a limitação da teoria corpuscular em explicar os padrões de interferência resultantes da superposição de ondas luminosas. Adotar um recurso predominantemente visual para todos os fenômenos, sem a costumeira abordagem matemática, era um risco que decidimos assumir.

A observação das aulas e a subsequente análise dos dados viriam a sugerir, posteriormente, que essa escolha atendeu em parte aos propósitos do curso. Não identificamos problemas com relação à compreensão dos fenômenos ópticos abordados. Nesse sentido, os recursos que visavam a compensar a omissão da matemática pareceram-nos satisfatórios. Entretanto, conforme pudemos acompanhar no evento Young, houve uma excessiva valorização da capacidade matemática de Fresnel, em detrimento de Young. A ausência de uma comparação explícita entre os caminhos tomados por Young e Fresnel parece ter sugerido que Young não sabia matemática.

Isso tudo possibilita a inferência de dois resultados:

- a) utilizando-se de demonstrações experimentais, dos relatos das proporções dos experimentos de Newton com o prisma, das representações geométricas nas figuras dos *slides*, e do filme Dr. Quantum, foi possível compensar a omissão da matemática para os propósitos desse curso específico. Pretendíamos ensinar sobre a natureza da ciência e não sobre conceitos físicos. Nesse sentido, compreender os fenômenos sem sua matematização formal foi suficiente para nossos objetivos. Não acreditamos que tais recursos seriam válidos quando se pretende ensinar o conteúdo da ciência. Eles poderiam ser usados como introdução ao estudo dos fenômenos, facilitando ao estudante sua compreensão, mas não podem substituir a abordagem matemática para o seu aprendizado, enquanto conteúdo científico.
- b) pode ser que a ausência da matematização dos trabalhos de Young e Fresnel tenha permitido à professora concluir que Young não sabia matemática. Contudo, não sabemos se, prevendo essa interpretação, uma orientação específica bastaria,

sem a necessidade de apresentar os diferentes enfoques adotados por ambos ao propor uma concepção ondulatória para a luz.

4.4.3. Entes inobserváveis: complexas abordagens

O conteúdo que mais parecia favorecer nossos propósitos pedagógicos era também nosso maior desafio na elaboração do curso: discutir o éter luminífero e o papel dos inobserváveis na elaboração de explicações científicas (OS5 e OS8). Decidimos manter o conteúdo, mesmo com os riscos previstos. Nossas estratégias pedagógicas para lidar com esse conteúdo permitiram abordá-lo em distintas atividades pedagógicas e em todos os episódios históricos. A idéia iria surgindo aos poucos, inicialmente permeando a explicação da luz para Aristóteles e depois para Huygens, até ir recebendo mais destaque ao final do episódio II. Ele foi tratado enfaticamente na atividade do teatro, para finalmente ser abordado no episódio III.

No evento éter, percebemos que esse conteúdo permaneceu difícil para os alunos até o final do curso. Nas aulas finais alguns alunos pareciam mais tranquilos com o conceito, mas um número significativo de estudantes ainda o achava complicado. Este desafio foi considerado como um obstáculo superável, mas se nosso objetivo fosse ensinar o conceito de éter, ele teria sido parcialmente atingido, visto que parte dos estudantes acharam difícil compreender uma matéria inobservável.

De qualquer modo, acreditamos que ele cumpriu seu papel no curso, permitindo aos alunos compreenderem os aspectos da natureza da ciência a ele relacionados, o que era, afinal, nossa meta principal.

4.4.4. Atuação da professora na transposição didática interna.

Quando se constrói uma proposta de curso a ser aplicado em sala de aula por outra pessoa, sempre se corre o risco de não saber quais aspectos serão modificados. No caso do curso piloto, a professora não tinha formação em história e filosofia da ciência (OC2). Nossas catorze reuniões, os textos estudados por ela seriam suficientes para adquirir tanto conhecimento conceitual e metodológico? Tudo era novo para a professora que aplicaria o curso. Conteúdo histórico e epistemológico, a metodologia de trabalho que envolveu atividades diversificadas e a dinâmica incomum em aulas de física, exigindo leitura e discussão de textos, além de colocar problematizações para os alunos e incentivá-los a

manifestarem suas opiniões. Buscamos dar o melhor apoio possível no estudo dos textos e na orientação da condução das atividades, mas somente a análise dos dados pode apontar quais aspectos da preparação foram bem sucedidos e quais necessitam de aprimoramento.

A análise do curso indicou que a professora saiu-se muito bem na condução do curso na maioria dos aspectos. Houve alguns momentos em que sua atuação na transposição didática interna modificou um pouco os objetivos de certos conteúdos, indicando aspectos que precisam ser aprimorados na elaboração do material e enfatizados na preparação do professor. Muito embora a formação do professor não seja o foco dessa pesquisa, certamente pertence ao escopo de seus desdobramentos pretendidos.

4.4.5. Aprofundamento de alguns aspectos epistemológicos

Um dos obstáculos estruturais enfrentados no curso era o desconhecimento, por parte dos alunos, de conceitos e termos específicos do campo epistemológico, como hipóteses (OS5; OS7; OC4), por exemplo. Buscamos superar esses obstáculos elaborando textos e atividades que usavam tais conceitos e termos, sem discuti-los formalmente, mas construindo uma narrativa que promovesse a sua compreensão. Durante as interações entre os alunos, a professora e o saber, percebemos que nossa opção estratégica havia apresentado bons resultados. Foi possível observar, em vários momentos, os alunos utilizando alguns destes termos de maneira adequada, ainda que uma definição formal não lhes tenha sido apresentada. Vejamos alguns exemplos:

Dia 12/9/2007 – turno 39

Daniel: Ele está levantando uma hipótese (inaudível) observando ele pode levantar hipóteses, eles organizavam (inaudível)...

Dia 13/9/2007 – turno 147

Clarisse: De certa forma, o júri estava dividido entre as duas teorias, porque algumas pessoas já acreditavam em uma, e como os argumentos foram mostrados, apresentados, foram modificando suas idéias... [...] o júri escolheu a ondulatória, porque de certa forma estavam mais preparados... os argumentos que provariam mais, de certa forma, o que eles estavam dizendo... [...] Por isso nós optamos pela ondulatória, que foi os argumentos mostrados de forma mais clara, que chegou até mesmo a mudar muitas das opiniões. É isso.

Dia 18/9/2007 – turnos 11 e 13

Professora: [...] eu queria ouvir um pouquinho vocês... o que que mudou na visão de vocês, de ciência, de física... essa história de “provar” isso não é só na física. Eu queria ouvir um pouquinho de vocês, antes da gente entrar no texto.

Tarik: [...] Prova que a teoria deles tem fundamento, eles não provam que é a verdade absoluta, é isso.

Dia 18/9/2007 – turno 41

Professora: Observar o fenômeno da difração... olha as palavras... observar o fenômeno, permite que se conclua que a luz é uma onda?

Aluna: Não, porque é preciso montar experiência, observar o fenômeno, elaborar cálculos matemáticos e formular hipóteses, antes de se concluir alguma coisa.

Essa pequena amostra representa, também, a utilização correta de termos epistemológicos pela maioria dos alunos nas respostas escritas aos questionários. Isso significa que eles compreenderam seu significado no nível pretendido pelo curso piloto.

Apresentamos nesse capítulo a análise dos dados advindos da parte empírica da pesquisa. Descrevemos os desafios enfrentados na elaboração do curso, separando-os em obstáculos superáveis e contornáveis. Apresentamos a análise de três eventos que nos permitiram avaliar o processo de interação entre sujeitos e o Saber a Ensinar. Pontuamos alguns detalhes relevantes do processo e sinalizamos alguns resultados mais gerais.

No próximo capítulo faremos um confronto entre essas discussões, de modo a elaborar algumas conclusões, que possam ser úteis a outros contextos teóricos e empíricos.

Intermezzo

A aplicação do curso piloto foi finalizada por um festival cultural, com poesia, história e paródias. Neste *intermezzo*, reproduzo abaixo a poesia da Alessandra. A autora permitiu sua reprodução e fez questão de ter seu nome mencionado. Nas rimas que ela criou, materializaram-se meus sonhos, os objetivos pedagógicos do curso piloto e a razão da existência de pesquisas em ensino de ciências: o aluno.

A poesia da filosofia

Alessandra

Eu fico a pensar
dia e noite, noite e dia
quem é que me explica direito
essa tal de FILOSOFIA.

Aristóteles acreditava
que um meio, a visão nos permitia.
Mas, para Empédocles isso não era certo,
certa era a sua teoria.

Tantas questões e na verdade
não sei em quem acreditar:
a teoria certa é a ondulatória de Huygens,
ou a de Newton, a corpuscular?

Arago também ia na dos corpúsculos,
explicar, bem que ele tentou.
Mas Fresnel foi tão surpreendente,
que até um prêmio ele ganhou.

Agora fico pensando:
por que todos só sabem falar
sobre um tal de éter,
quem consegue me explicar?

Existem tantos filósofos bons.
Professora, um exemplo me dê!
Não! Agora lembrei
Young, gênio desde bebê!

Todos nós temos que ter
em nossa plena consciência:
Verdade por caminhos diferentes
são a religião, a filosofia e a ciência.

Um conselho agora deixo
para cada um, de uma só vez:
escolham uma teoria,
e a guardem para vocês.

Quanto a um fenômeno,
não basta só observar.
Tem que montar experiência,
elaborar cálculos e hipóteses formular.

Agora tenho que encerrar,
por isso fico triste.
Um fenômeno só de observar,
não podemos provar que existe.

Nunca se esqueçam disto:
cada qual com suas razões.
A natureza fornece a informação
que permite várias interpretações.

Então, tirem suas conclusões!!!

Considerações finais

*Refletir quer dizer ao mesmo tempo:
a) pesar, repesar, deixar descansar,
imaginar sob diversos aspectos o problema, a idéia;
b) olhar o seu próprio olhar olhando,
refletir-se a si mesmo na reflexão.
É preciso alimentar o conhecimento com a reflexão;
é preciso alimentar a reflexão com o conhecimento.*

Edgar Morin

Explorar a utilização da história da ciência no ensino médio mostrou-se um recurso pedagógico favorável e instigador para ensinar sobre a natureza da ciência. Os caminhos da pesquisa detalharam desafios previstos pelo quadro teórico e permitiram desvelar outros mais. Foi possível mapear uma série de obstáculos, propor estratégias para enfrentá-los, aplicar tais estratégias em sala de aula e analisar os dados obtidos. Como resultado obtivemos bons prognósticos para algumas propostas averiguadas e percebemos que algumas soluções necessitaram aprimoramento. A possibilidade de localizar aspectos por aperfeiçoar foi também um importante resultado do processo, tanto para a pesquisa como para orientar a elaboração de material didático e a preparação de outros cursos.

Nosso ponto de partida foi o *estabelecimento dos propósitos pedagógicos* que pretendíamos atingir com o uso da história da ciência em ambiente escolar. Concorrendo para os objetivos visados, decidimos discutir a natureza da ciência e definimos, assim, a abordagem empírica como o *tipo de abordagem a ser adotado para discutir a natureza da ciência*. Em seguida, esclarecemos a *concepção de natureza da ciência a ser adotada e quais aspectos seriam trabalhados*. A seleção desses aspectos foi realizada em função de quatro variáveis: (i) o propósito pedagógico visado; (ii) o tempo didático disponível; (iii) o nível de escolaridade focado; (iv) os pré-requisitos dos alunos nos saberes envolvidos na proposta.

Uma vez estabelecidos a meta pedagógica e os aspectos da natureza da ciência a serem tratados, foi possível *eleger o tema e os conteúdos históricos* adequados para abordá-los. O desafio a seguir foi a *seleção dos aspectos a enfatizar ou a omitir de cada conteúdo histórico*. As conjecturas feitas sobre o que eleger ou excluir de cada conteúdo indicam outras preocupações além das prescrições historiográficas e necessidades didáticas do contexto em questão, guiando a definição do nível de aprofundamento dos conteúdos

históricos. Defini-los dependeu também dos objetivos almejados em cada aspecto abordado.

Utilizamos alguns fatores extracientíficos buscando apresentar a ciência como atividade humana em uma perspectiva sociocultural. Entretanto, definir o *nível de detalhamento do contexto não científico* não foi tarefa elementar, pois receávamos fomentar posições relativistas. A solução proposta para superar esse obstáculo mostrou-se relacionada às estratégias aventadas para contornar a *falta de pré-requisitos conceituais dos alunos* e também indicou possuir inter-relação com a decisão entre *ênfatisar aspectos científicos* ou *ênfatisar fatores externos à ciência*.

A análise dos dados apontou para algumas estratégias bem-sucedidas e para a necessidade de adotar mais recursos para evitar distorções detectadas. Como vimos na análise do Evento Young, a omissão de uma abordagem mais detalhada dos diferentes caminhos tomados por Young e Fresnel, na construção de uma explicação ondulatória para a natureza da luz, parece ter levado a professora a concluir que Young não sabia matemática. A limitação no tempo didático e a falta de pré-requisitos conceituais dos alunos nos levaram a apresentar as idéias de ambos recorrendo a outras estratégias. Havíamos destacado a capacidade matemática de Fresnel, buscando “equilibrar” a influência de um fator externo à ciência, o apoio recebido de Arago para a elaboração e aceitação de sua teoria da luz. Todavia, essa negociação não foi bem-sucedida. Embora isso não representasse um problema significativo para o objetivo em questão, acarretou uma distorção histórica. Portanto, essa é uma solução a ser aprimorada no texto para o professor e na sua preparação.

Algumas das soluções propostas para contornar a *falta de pré-requisitos dos alunos* mostraram-se pontualmente eficientes. Isso ficou evidenciado quando os alunos compreenderam a limitação da teoria corpuscular da luz em explicar a difração. A utilização de demonstrações experimentais dos fenômenos ópticos, da animação *Dr. Quantum* e a textualização favoreceram a autonomia dos alunos na compreensão de conceitos. Nesses casos, foi fundamental a professora estar ciente das limitações dos alunos para lidar com as carências e os recursos propostos.

Decidir entre *ênfatisar aspectos científicos* ou *ênfatisar fatores externos à ciência* requereu considerar os objetivos pedagógicos pretendidos como um todo e os objetivos de cada conteúdo histórico a ser abordado. O recurso utilizado para lidar com esse conflito foi

a tomada de decisões pontuais em cada aspecto do conteúdo a ser abordado. Assumimos, primeiramente, não ser possível contextualizar os três episódios históricos estudados sob o ponto de vista historiográfico. Buscamos contornar esse obstáculo comparando teorias e idéias defendidas por pensadores contemporâneos, na tentativa de criar uma perspectiva um pouco mais ampla das teorias discutidas. Para compensar os aspectos externos à ciência mencionados (visando destacar influências de fatores não científicos na elaboração das teorias), buscamos enfatizar características objetivas como a rigorosa matematização, o poder explicativo das teorias e os inúmeros experimentos realizados na construção de conceitos. A complexidade da superação e compensação desses obstáculos adverte para o risco de conseqüências inesperadas. Esse alerta pode ajudar-nos a ampliar o leque de ponderações necessárias na mediação envolvida nas simplificações e omissões.

Os conteúdos selecionados para o curso piloto requeriam a utilização de termos epistemológicos desconhecidos pelos alunos, influenciando dois obstáculos por superar: a definição do *nível de aprofundamento de alguns aspectos epistemológicos* e a sua posterior *formulação discursiva*. Decidimos construir textos respeitando a norma culta na correção gramatical, mas buscando adotar uma linguagem coloquial e despretensiosa. As atividades foram planejadas de modo a utilizar tais conceitos, sem defini-los formalmente, mas construindo uma narrativa que promovesse a sua compreensão. Assim, os alunos interagiam com exemplos históricos de modo a favorecer o entendimento dos conceitos envolvidos nos termos epistemológicos. Os dados obtidos e discutidos no capítulo 4 mostraram a adequação da estratégia ante os resultados satisfatórios apresentados.

A opção pelo *uso de fontes primárias* foi feita considerando-se três fatores: (i) a falta de domínio da professora do contexto histórico e/ou “científico” dos conteúdos a serem tratados; (ii) utilizar as fontes primárias do período mais conhecido pela autora dos textos para os alunos, buscando guiar a leitura e amenizar interpretações anacrônicas; (iii) utilizar trechos pequenos e inteligíveis aos alunos. Os dados não revelaram problemas tampouco dificuldades com as breves citações de Huygens e Newton utilizadas.

Tratar diacronicamente conteúdos da história da ciência de difícil compreensão na atualidade requereu uma combinação de estratégias. Simplificamos, tanto quanto possível, a idéia do ente inobservável focado (o éter), omitindo aspectos dispensáveis para os objetivos do curso. Buscamos apresentar vários pensadores de diferentes períodos utilizando o éter em suas teorias, de modo a enfatizar a adequação de sua concepção ao

período. Além disso, destacamos essa visão na preparação da professora, discutindo exemplos de visões anacrônicas e como confrontá-las. Esse obstáculo inclui também a dificuldade de promover “rapidamente” o entendimento diacrônico de *diferentes concepções de ciência e pensadores de distintas épocas*, a validade de seus critérios, crenças e valores. A falta dessa compreensão parece gerar diversos tipos de anacronismo e novamente buscamos enfatizá-las na preparação da professora, simulando perguntas, comentários e discutindo possíveis modos de problematizá-los. Entretanto, obtivemos resultados mais significativos ao permitir aos alunos *vivenciar aspectos da dinâmica da construção da ciência* na atividade do “debate” promovido em classe. O confronto entre os alunos e a necessidade de construir argumentos para defender suas idéias, limitando-se aos conhecimentos válidos no período preestabelecido, parecem ter sido decisivos para os alunos adquirirem um entendimento mais diacrônico da história da ciência.

As *concepções ingênuas sobre história e epistemologia da ciência* presentes no cotidiano dos alunos, veiculadas pela mídia e perpetuadas no ensino de ciências, são um obstáculo que se manifesta de diferentes modos. Uma perspectiva dessas concepções previstas e manifestadas durante o curso refere-se à *possível concepção prévia dos estudantes e professores sobrevalorizando a capacidade da ciência atual em resolver todos os problemas*. Não é possível modificar significativamente tais concepções, por ultrapassarem os limites do curso, sendo, assim, necessário contornar tais obstáculos. Foram desenvolvidas provocações para motivar os alunos a questionar suas antigas crenças e, ao mesmo tempo, introduzir a visão pretendida. Tais recursos, conduzidos pela atuação da professora na transposição didática interna, mostraram-se adequados para contribuir com os propósitos pedagógicos almejados. Percebemos que os obstáculos discutidos acima dizem respeito a diferentes manifestações de anacronismo. Pensamos que alguns deles podem ser superados, mas algumas visões, provavelmente, serão apenas contornadas.

Isso nos remete a outro obstáculo que requer estratégias para contorná-lo: a *falta de preparação do professor*. Algumas das estratégias utilizadas no apoio à professora apresentaram bons resultados e outras mostraram pontos que devem ser aperfeiçoados. A preparação realizada com a professora mostrou-se bem-sucedida sob vários aspectos e apontou para a necessidade de aperfeiçoar recursos e inserir algumas orientações adicionais. Os textos da bibliografia foram discutidos com a professora de modo a esclarecer suas dúvidas e apresentar exemplos. Os pontos mais críticos foram destacados,

como, por exemplo, as concepções ingênuas e anacrônicas possíveis de ser manifestadas pelos alunos. O texto elaborado para a professora trazia, de modo geral, mais detalhes e mais exemplos históricos para a visão da natureza da ciência a ser tratada. Os *slides* preparados serviram para auxiliá-la nas aulas e cada apresentação foi discutida minuciosamente. Alguns aspectos da preparação mostraram-se insuficientes, como evidenciaram algumas respostas surpreendentes dos alunos não exploradas. O tempo e os recursos utilizados para tratar a linha do tempo foram insuficientes, como atestaram alguns enganos da professora ao apresentá-la. O texto do terceiro episódio para o professor deveria ter sido mais aprofundado (Evento Young). Os textos para o professor voltados aos episódios I e II exploram mais exemplos históricos do que aquele do episódio III. Percebemos melhores resultados na autonomia da professora em abordá-los em classe.

A *inadequação dos trabalhos especializados em história da ciência ao ensino médio* requereu a elaboração dos textos do Saber a Ensinar. As conjecturas para a construção dessa textualização foram discutidas sob vários aspectos e em diversos momentos desta tese, e mencionamos sinteticamente aqui as estratégias propostas na sua elaboração. Para tratar o estudo de Newton sobre o “fenômeno das cores”, recorremos à sua demonstração experimental para que os alunos o visualisassem. Elaboramos a apresentação de *slides* buscando enfatizar as etapas seguidas no estudo desse fenômeno, e tentando descrever as proporções matemáticas e outros detalhes omitidos pelos textos especializados. Além disso, buscamos retomar essas idéias apresentadas no texto escrito para os alunos. Nosso propósito era destacar a formulação de hipóteses na elaboração da teoria das cores para contrapor à crença no *experimetum crucis*. Consideramos que nosso objetivo foi atendido e não percebemos nenhuma dificuldade ou distorção.

A bem conhecida falta de hábito de leitura entre os estudantes do ensino médio nos fez ponderar sobre a *quantidade da informação na forma de textos* adequada a utilizarmos. Assumimos o risco de fornecer uma quantidade significativa de textos para o tempo didático disponível e sugerimos para a professora realizar sua leitura junto com os alunos, problematizando os aspectos relevantes. A estratégia mostrou-se eficiente e a leitura dos textos não apresentou problemas ou resistência por parte dos alunos. O estilo coloquial adotado provavelmente pode ter contribuído para sua aceitação.

A proposta para conciliar *extensão e profundidade* foi recorrer ao apoio da linha do tempo. Os três episódios históricos foram trabalhados mediante recortes bem estabelecidos,

mas procuramos um modo de permitir ao aluno uma visão ampla do processo histórico. Pretendíamos focar diacronicamente um conteúdo da história da ciência bem delimitado e nossa hipótese era que a linha do tempo permitiria sua contextualização apontando aspectos culturais envolvidos. Conforme discutimos na seção 4.3.2, não foi possível validar nossa hipótese, mas permanece aqui como uma sugestão para investigações futuras.

A diversidade de recursos pedagógicos adotados foi uma estratégia relevante para a apropriação pelos alunos das problemáticas propostas e para o bom êxito do curso piloto. Embora haja na literatura grande ênfase sobre a escassez de materiais adequados abordando a história da ciência, percebemos existirem, além das necessidades historiográficas, outras exigências relacionadas ao desenvolvimento de tais materiais. Além dos aspectos do conteúdo selecionados e o estilo de textualização adotado, o uso do conjunto de distintas atividades didáticas mostrou-se significativo para engajar os alunos nos temas propostos. Com as distintas estratégias pedagógicas e a metodologia problematizadora adotada, a pesquisadora desejava tornar o aluno o protagonista da relação didática. Os resultados das análises de tais aspectos sugerem que os propósitos foram atingidos.

Uma estratégia adotada no planejamento do curso que apresentou bons resultados foi repetir o mesmo objetivo pedagógico e o mesmo aspecto da natureza da ciência em distintas atividades pedagógicas e em diferentes conteúdos históricos. Ela permitia ao aluno ter contato com a problemática levantada mais de uma vez e refletir sobre ela mediante diferentes contextos da história da ciência. Essa diversidade de recursos favoreceu a reflexão, a vivência de conflitos e o envolvimento dos alunos com os temas propostos.

Desde as conjecturas teóricas, o percurso descrito ao longo da tese fornece um cenário dos obstáculos enfrentados e das soluções propostas. A síntese de desafios e de tais propostas aventadas, aplicadas e analisadas não deve ser entendida como receita ou regras rígidas para utilizar a história da ciência na educação científica. É importante considerar toda a exploração vivenciada para sistematizá-la. Essa síntese não é a única opção, naturalmente, mas é uma possibilidade já trilhada, experimentada, avaliada.

Esse percurso da pesquisa acabou por revelar inúmeros desdobramentos possíveis, mas a coerência necessária ao recorte adotado impôs escolhas e nos fez abdicar de explorá-los. Dentre eles ficou clara a necessidade de investigar melhor o papel desempenhado pela

professora, que se mostrou fundamental na implementação da proposta. A teoria da transposição didática já havia nos permitido atribuir-lhe função de destaque no processo, mas a análise dos dados fortaleceu nossa convicção sobre isso e pela necessidade de investigações que tivessem nela o foco principal.

A atuação da professora na transposição didática interna gerou informações relevantes para compreender as necessidades presentes na formação inicial e continuada de professores. Em pouco tempo ela se apropriou do tema, do conteúdo histórico e epistemológico e mostrou-se satisfeita com os resultados alcançados durante o curso. Ela atuou adequadamente na maioria das situações previstas, problematizando as concepções ultrapassadas enfatizadas pela mídia; discutindo os conflitos com a visão popular sobre a natureza da ciência; enfatizando os problemas com materiais obtidos da internet etc. A professora também revelou habilidade na condução da maioria das situações inesperadas, exceto por alguns problemas levantados pelos alunos para os quais ela não havia sido preparada. Algumas dessas situações imprevistas foram discutidas e puderam ser retomadas, como a idéia de “provas na ciência” manifestada na apresentação do episódio II. Orientamos a professora para retomá-la e problematizá-la nas aulas seguintes até que percebêssemos a compreensão adequada por parte dos alunos.

Caberia retomar como questão de investigação os condicionantes que fazem do professor um agente com autonomia relativa para lidar com situações de inovação envolvendo o uso da história da ciência. Este ponto encontra ressonância com problemáticas recentes tratadas na área e nas preocupações do grupo de pesquisa do qual faço parte (Nupic-FEUSP).

Na perspectiva da aprendizagem, seria interessante acompanhar o desempenho dos estudantes ante outros conteúdos da história da ciência que implicassem considerações sobre a natureza da ciência. A concepção ingênua e estereotipada demonstrada por alguns alunos durante as primeiras aulas gravadas se mantém em outros conteúdos históricos? Isso poderia lançar luzes sobre a seleção dos episódios a ser tratados com o objetivo de abordar a natureza da ciência?

Finalmente, interessa-nos aprofundar a autonomia do material didático produzido na forma do curso piloto em outros contextos. Embora a professora escolhida para ministrar o curso não tivesse características muito distintas de uma boa professora de física

do ensino médio, caberia questionar os resultados do curso com outros docentes. Na mesma direção, seria importante saber como reagiria outra classe de alunos.

Acreditamos que o passo dado nesta pesquisa torna a resposta a essas e outras questões mais próximas.

Os resultados obtidos por esta pesquisa indicam algumas possibilidades de generalizações, para uma perspectiva mais ampla da utilização da história e filosofia da ciência na educação científica. Ao olharmos retrospectivamente para todo o processo, identificamos algumas etapas norteadoras do caminho percorrido, capazes de servir como guias para casos semelhantes. Tais guias podem ser entendidos como parâmetros ou pontos de partida para outras pesquisas envolvidas com os usos da história e filosofia da ciência na educação científica.

Parece importante inicialmente destacar a perspectiva de análise adotada. Os parâmetros se apresentam na forma genérica de obstáculos e propostas de enfrentamento abordados e analisados teórica e empiricamente, como etapas a serem percorridas na direção da sala de aula. Essas etapas não seguem sempre necessariamente uma seqüência ordenada, pois algumas delas ocorrem simultaneamente e exigem tomadas de decisões conjuntamente também. Certos desafios se sobrepõem e cada decisão pode impactar nas demais soluções adotadas. Sem a pretensão de se tornarem “receitas de sucesso” ou regras a serem seguidas, os pontos a seguir parecem constituir indicadores capazes de guiar um processo de transposição didática para o uso da história da ciência.

As etapas e sugestões serão apresentadas sinteticamente, pois foram discutidas em detalhes várias vezes ao longo desta tese.

1. A história da ciência configura-se um recurso pedagógico que permite atingir diferentes objetivos educacionais, assim, o primeiro passo necessário é *estabelecer o(s) propósito(s) pedagógico(s) objetivado(s)*.

2. Optar por discutir a natureza da ciência requer esclarecer qual *concepção de ciência será adotada e os aspectos epistemológicos que serão trabalhados*. Sua seleção depende de características de cada contexto, por exemplo: (i) o propósito pedagógico visado; (ii) o tempo didático disponível; (iii) o nível de escolaridade focado; (iv) os pré-requisitos dos alunos nos saberes envolvidos na proposta.

O propósito pedagógico almejado e os aspectos da natureza da ciência visados permitem a *eleição do tema e dos conteúdos históricos* mais adequados. É preciso identificar momentos da história da ciência que possuam elementos para exemplificar os aspectos epistemológicos pretendidos. Vários dos desafios pontuados a seguir apresentam detalhes e requisitos para auxiliar essa seleção. Além disso, é importante tais conteúdos permitirem o desenvolvimento de atividades favoráveis à participação ativa e, de certo modo, autônoma dos estudantes.

a) O primeiro desafio a enfrentar é a *seleção dos aspectos a enfatizar ou a omitir de cada conteúdo histórico*. Diversas variáveis influenciam nessas escolhas e elas, por sua vez, afetam soluções propostas para superar ou contornar outros obstáculos. As recomendações historiográficas devem ser levadas em conta, por exemplo, no sentido de evitar distorções advindas de relatos excessivamente superficiais. **Por outro lado, não é possível tratar um recorte histórico e discuti-lo em seus detalhes como recomendável em trabalhos especializados.**

Importa lembrar que o enfrentamento dos desafios envolvidos na seleção dos conteúdos para a elaboração do Saber a Ensinar deve considerar as distintas funções sociais desempenhadas pelos saberes voltados ao especialista e aqueles adequados ao estudante do ensino médio. Além das prescrições historiográficas e necessidades didáticas do contexto em questão, a seleção dos conteúdos requer ter claro o objetivo almejado com cada aspecto abordado.

b) A seguir, é importante confrontar o aspecto omitido com os demais objetivos. Por exemplo, quando se decide excluir a abordagem matemática na formulação de determinado conceito, deve-se verificar se tal omissão não será prejudicial para os outros aspectos abordados. Inserir informações sem esclarecê-las adequadamente pode, também, incorrer em distorções históricas ou mesmo epistemológicas. Portanto, a mediação entre selecionar e omitir pode ser auxiliada pelo confronto de cada aspecto com as partes e com o todo.

c) Discutir a ciência como atividade humana em uma perspectiva sociocultural implica definir o *nível de detalhamento do contexto não científico* a ser adotado, por exemplo, apresentando fatores extracientíficos que teriam influenciado os conteúdos da ciência. Esse obstáculo pode ser superado, pois, em função da mensagem pretendida, é possível selecionar elementos do contexto de uma época para exemplificá-la. Contudo,

lidar com o contexto não-científico pode configurar-se um obstáculo mais complexo, como a decisão entre *ênfatizar aspectos científicos ou ênfatizar fatores externos à ciência*.

d) Destacar fatores externos à ciência permite tanto criticar uma visão puramente empirico-indutivista como contextualizar o desenvolvimento de conceitos científicos. Sob tal perspectiva, sobrevalorizar a influência do contexto na construção da ciência envolve riscos, podendo levar a posições relativistas extremas. Seria desejável contrabalançar ambos os enfoques buscando o equilíbrio entre aspectos científicos e fatores socioculturais, o que exige uma avaliação minuciosa de vários aspectos envolvidos. Torna-se importante ampliar o leque de ponderações necessárias na mediação envolvida nas simplificações e omissões, tanto de aspectos científicos como não-científicos. Um caminho pode ser separar os objetivos visados com cada aspecto do conteúdo e confrontar tanto os aspectos científicos como os extracientíficos com cada um deles, e também com o objetivo geral da proposta.

3. A utilização da história e filosofia da ciência no ensino médio poderá enfrentar, de modo geral, a falta de pré-requisitos *dos alunos em relação ao conhecimento matemático, físico, histórico, epistemológico ou filosófico*. Esse é um obstáculo a ser contornado na maioria das vezes, a menos que haja tempo didático disponível para trabalhá-los. Mediante alguns cuidados e precavendo-se na medida do possível para risco de conseqüências inesperadas, utilizar um conjunto de estratégias pode compensar a falta de certos conhecimentos dos conteúdos físicos e matemáticos. Por exemplo, buscando compensar a ausência de domínio de saberes matemáticos, pode-se recorrer a várias atividades conjuntamente. Aliar a demonstração de fenômenos físicos ou a realização de experimentos, animações em vídeo, figuras geométricas e imagens gráficas pode auxiliar no entendimento superficial de um fenômeno físico, quando esse nível de compreensão for suficiente para os objetivos específicos pretendidos.

É importante, todavia, destacar que esses recursos podem ser úteis apenas para contornar alguns obstáculos. Eles constituem, em conjunto, uma solução pontual, perene, aparentemente válida quando os principais objetivos pedagógicos visados não estão em jogo. Tal solução pode, eventualmente, auxiliar com conteúdos de apoio, mas não seria adequada para focar os principais conceitos pretendidos. Seria interessante ponderar essa proposta no confronto com as partes e com o todo, pois algumas soluções pontuais podem comprometer outro aspecto da estrutura que se busca construir.

4. Uma proposta visando discutir a natureza da ciência no ensino médio provavelmente requererá o entendimento de conceitos como hipóteses, teorias, argumento etc., e não nos parece adequado admitir como pressuposto seu domínio pelos alunos. A definição do *nível de aprofundamento de alguns aspectos epistemológicos* e a sua posterior *formulação discursiva* envolvem o conhecimento de novos conteúdos e seus respectivos vocabulários. Alguns desses conceitos e vocabulários podem ser compreendidos pelos alunos sem serem formalmente definidos. Utilizá-los corretamente nas atividades, nas apresentações, nas explicações do professor, em conjunto com a formulação discursiva do texto, poderá auxiliar o aluno compreendê-los.

5. Tão tentadora quanto perigosa, aos nossos olhos, é a *opção pelo uso de fontes primárias em materiais didáticos voltados ao ensino médio*. Idealmente, seria importante a interação do aluno com os originais ser acompanhada por alguém que conhecesse minimamente o contexto de trabalho do autor para conduzir uma interpretação diacrônica. Entretanto, não se pode contar com situações ideais. Desse modo, o elaborador de um material didático, ou qualquer tipo de proposta para o uso da história e filosofia da ciência no ensino, deve ficar atento para essa questão. Parece-nos interessante os excertos de fontes primárias virem acompanhados por explicações, auxiliando sua interpretação e atentando para possíveis preconceitos com relação aos vocabulários, conceitos da ciência e valores de outras épocas. Além disso, é recomendável selecionar trechos inteligíveis ao aluno e capazes de despertar seu interesse, e não serem demasiado longos do ponto de vista do nível de escolaridade focado. O autor deve estar seguro com relação à interpretação dos aspectos tratados e a possibilidade de torná-los compreensíveis tanto para os estudantes como para o professor que vão utilizá-los.

6. *Tratar diacronicamente conteúdos da história da ciência de difícil compreensão na atualidade* requer lidar com uma das facetas do anacronismo: considerar como ridículos ou estranhos certos conceitos, pressupostos e metodologias importantes em outros momentos da história da ciência, mas descartados da ciência atual. Nesse sentido, outro obstáculo a enfrentar é compreender adequadamente *diferentes concepções de ciência e pensadores de distintas épocas*, a validade de seus critérios, convicções e valores. O anacronismo manifesta-se ainda como a crença sobre o *fracasso das teorias do passado ser justificado pelo atraso científico daqueles períodos*. A dificuldade em compreender

diacronicamente a história da ciência perpetua as visões equivocadas sobre a natureza da ciência que eventualmente se objetiva modificar.

Algumas estratégias podem favorecer o enfrentamento desses desafios. Apresentar vários pensadores trabalhando com as mesmas perspectivas metodológicas pode contribuir para amenizar, em parte, tais preconceitos. Seria interessante, também, estabelecer uma relação entre exemplos de resultados significativos da história da ciência com concepções consideradas “estranhas” pelos alunos. O desenvolvimento da Gravitação Universal ter sido influenciada por estudos alquímicos e teológicos de Isaac Newton se configura como um exemplo disso. Um apoio fundamental seria também preparar o professor para identificar, lidar e problematizar possíveis manifestação anacrônicas. Sendo assim o material didático poderia incluir orientações nesse sentido.

Contudo, a estratégia que tende a apresentar melhores resultados é permitir aos estudantes *vivenciar aspectos da dinâmica da construção da ciência* por meio de atividades, como um debate entre teorias rivais. O contato livre entre os pares, a construção de argumentos restritos aos recursos válidos para a época enfocada pode contribuir sobremaneira para uma compreensão diacrônica da história da ciência.

7. Além do anacronismo, as *concepções ingênuas sobre história e epistemologia da ciência* representam um obstáculo a contornar quando se objetiva tratar a natureza da ciência no ensino. Uma visão puramente empirista da ciência, a idéia das provas irrefutáveis, dos gênios infalíveis, por exemplo, estão presentes no cotidiano dos alunos, são veiculadas pela mídia e perpetuadas no ensino de ciências. Esse obstáculo manifesta-se também como uma *possível concepção prévia dos estudantes e professores sobrevalorizando a capacidade da ciência atual em resolver todos os problemas*.

Criticar essas concepções significa defender um enfoque distinto da visão dos alunos e demais pessoas da sua convivência, diferente das mensagens continuamente passadas pela mídia e conflitante com aquela trazida pelos materiais didáticos mais tradicionais. Admitimos como pressuposto a necessidade de envolver o aluno, quando apresentamos um novo conteúdo, para seu efetivo aprendizado. Propor uma concepção não apenas nova, mas conflitante com idéias arraigadas no seu repertório, requer vivenciar algum tipo de conflito ou problematização com as novas concepções. Uma possível solução é articular provocações para motivar os alunos a questionar as antigas crenças e, ao mesmo tempo, introduzir estratégias apresentando a visão pretendida. Lidar com esse

obstáculo também impõe preparar o professor, discutindo vários exemplos e advertindo-o para tratar concepções inesperadas.

8. A atuação do professor na transposição didática interna é de fato uma variável fundamental no uso da história e filosofia da ciência no ensino. Muitas das soluções propostas acima para enfrentar os desafios envolvem lidar com a *falta de formação do professor* nesses saberes. É possível contornar em parte essa dificuldade recorrendo a estratégias pedagógicas presentes nos materiais de ensino, mas esse obstáculo não permite superação em pouco tempo. No caso de haver a possibilidade de preparar o professor que trabalhará com uma proposta específica, é importante discutir em detalhes todos os obstáculos possíveis de ser previstos. Caso contrário, o material didático pode contribuir para orientar algumas ações. Desde as diversas manifestações de anacronismo, de concepções ingênuas, das idéias que se busca modificar e estão presentes no repertório do aluno e seu entorno social, até as possíveis dúvidas que surgirem sobre o conteúdo que se quer trabalhar. Algumas orientações podem ser dadas em detalhes no planejamento de uma intervenção pontual ou nas propostas de cursos mais longos. Por exemplo, discutir em maior profundidade e quantidade de exemplos do período histórico a ser trabalhado em relação ao que será tratado com os alunos. No caso da preparação de material didático, vale relembrar os diferentes pressupostos com relação ao Saber Sábio e o Saber a Ensinar.

9. Os conteúdos da história da ciência são, em geral, sistematizados na forma de textos. Isso pode significar um desafio, pois muitos estudantes não têm o hábito de leitura. Decidir a *quantidade da informação na forma de textos* adequada depende de características intrínsecas a cada contexto envolvido, em particular a correta avaliação do tempo didático disponível. Há certas estratégias que podem auxiliar na utilização dos textos no nível do ensino médio. Adotar uma linguagem coloquial, de fácil compreensão para os alunos, pode minimizar possíveis resistências. Optar por tratar de aspectos que despertem a curiosidade dessa faixa etária configura-se um recurso válido, desde que não se construam narrativas fantasiosas, *whigs* ou hagiográficas.

10. Adotar uma abordagem historiograficamente adequada da história da ciência, para produzir o recorte dos temas que serão tratados com os alunos, pode ocasionar uma perda da noção de temporalidade. O estudante do ensino médio pode ter dificuldade em localizar o episódio focado em uma perspectiva histórica. Desse modo, seria desejável conciliar *extensão e profundidade*. Uma sugestão para lidar com esse desafio é utilizar a

linha do tempo como a realizada no curso piloto. No entanto, outras alternativas metodológicas podem vir a gerar bons resultados.

11. A *elaboração de textos e a criação de atividades* para tratar a história e a filosofia da ciência no ambiente escolar requerem mais que certo conhecimento dessas duas áreas. Os textos e as atividades devem ser capazes de promover a interação dos alunos com a problemática tratada. Não basta o texto ser absolutamente correto do ponto de vista historiográfico, se ele não “funciona” na sala de aula. Envolver os alunos nos temas propostos de modo a se apropriar dos problemas não é tarefa elementar. É necessário ter conhecimentos didáticos e certa familiaridade com metodologias educacionais para amparar a construção de propostas para o ensino de ciências. A preparação de cursos em diferentes contextos requer conhecimentos histórico-filosóficos e, também, pedagógicos.

12. Uma estratégia pedagógica que pode apresentar bons resultados é a problematização de cada mensagem acerca da natureza da ciência pretendida em distintas atividades pedagógicas e em diferentes conteúdos históricos. Permitir ao estudante confrontar-se com um mesmo conteúdo por meio de diferentes provocações e mediante situações didáticas diversas favorece a reflexão e o amadurecimento da relação entre o aluno e o saber. Acreditamos que essa oportunidade pode promover um aprendizado mais efetivo.

Os desafios descritos acima e algumas propostas para enfrentá-los não se configuram regras prescritivas, e nem poderiam, dada a complexidade do processo de ensino-aprendizagem e dos vários campos do saber envolvidos. Buscamos relatar nosso percurso e destacar alguns resultados, tentando generalizá-los de modo a poderem contribuir para pesquisas que utilizem a história da ciência para transformar a natureza da ciência em saber escolar.

O cume de uma montanha pode ser atingido de diversos modos. Apresentamos aqui o relato das trilhas que abrimos, das pontes que construímos, dos tropeços e dos arranhões com os quais, finalmente, atingimos nosso objetivo.

Referências bibliográficas

- ABD-EL-KHALICK, F.; LEDERMAN, N. 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.
- ALFONSO-GOLDFARB, A. M. *O que é História da Ciência*. São Paulo: Brasiliense, 1994.
- ALLCHIN, D. How *not* to teach history of science. In: FINLEY, F.; ALLCHIN, D.; RHEEDS, D.; FIELD, S. (Eds.), *Proceedings, Third International History, Philosophy and Science Teaching Conference*, vol. 1, University of Minnesota, Minneapolis, MN, 1995, p. 13-22.
- _____. Pseudohistory and pseudoscience. *Science & Education* 13: 179-195, 2004.
- _____. Why respect for history – and historical error – matters. *Science & Education* 15 (1): 91-111, 2006.
- ALMEIDA, Maria Ângela Vasconcelos de. *A nova didática das ciências e o saber docente dos professores de química*. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Pernambuco. Ceará, 2006.
- ALVES-FILHO, José Pinho. *Atividades experimentais: do método à prática construtivista*. Tese de Doutorado. Florianópolis, UFSC, 2000.
- ANHORN, Carmen Teresa Gabriel. Um objeto de ensino chamado História; A disciplina de História nas tramas da didatização. Tese de Doutorado. Rio de Janeiro, PUC-RIO, 2003.
- _____. Nas tramas da didatização de uma disciplina escolar: entre histórias a ensinar e histórias ensinadas. *Anais da 27a. Reunião da ANPED*. Caxambu, 2004. Disponível em: <<http://www.anped.org.br/reunioes/27/gt04/t041.pdf>>. Acesso em: 12 ago. 2008.
- ASTOLFI, Jean-Pierre; DEVELAY, Michel. *A didática das ciências*. Campinas: Papirus, 1995.
- BACHELARD, G. *A formação do espírito científico: contribuição para uma psicanálise do conhecimento*. Tradução Estela dos Santos Abreu. Rio de Janeiro: Contraponto, 1996.
- BATISTA, I. L. Reconstruções histórico-filosóficas e a pesquisa em educação científica e matemática. In: NARDI, R. (Org.) *A pesquisa em ensino de ciências no Brasil: alguns recortes*. São Paulo: Escrituras Editora, 2007, p. 257-272.
- BELL, Randy; ABD-EL-KHALICK, Fouad; LEDERMAN, Norman G.; MCCOMAS, William F.; MATTHEWS, Michael R. The nature of science and science education: a bibliography. *Science & Education* 10 (1/2): 187-204, 2001.
- BERNARDO, L. M. Concepções sobre a natureza da luz no século XVIII em Portugal. *Revista da SBHC* 19: 3-12, 1998.
- BIZZO, N. M. V. *Ensino de evolução e história do darwinismo*. Tese de Doutorado. São Paulo, Faculdade de Educação, USP, 1991. (p. 149-161).
- BOSS, Valentin. *Newton and Russia, the early influence, 1698-1796*. Cambridge: Harvard University Press, 1972.
- BRASIL. Parâmetros curriculares nacionais: ensino médio. Brasília: MEC; SEMTEC, 2002a.
- _____. Orientações educacionais complementares aos parâmetros curriculares nacionais: ensino médio. Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias. Brasília: MEC; SEMTEC, 2002b.
- BROCKINGTON, Guilherme. *A realidade escondida: a dualidade onda-partícula para alunos do Ensino Médio*. Dissertação de Mestrado. São Paulo, Instituto de Física e Faculdade de Educação, USP, 2005.
- BRUSH, S. G. Comments on “On the distortion of the history of science in science education”. *Science Education* 63: 277-278, 1979.

_____. History of science and science education. *Scientific Literacy Papers*: 75-85, 1987; *Interchange* 20 (2): 60-70, 1989.

BUCHWALD, J. Z. The battle between Arago and Biot over Fresnel. *Journal of Physics* 20: 109-117, 1989a.

_____. The rise of the wave theory of light. Optical theory and experiment in the early Nineteenth Century. Chicago / London, The University of Chicago Press, 1989b.

CAETANO, H.; NETO, A. J. Natureza e ensino da ciência: investigando as concepções de ciência dos professores. *Enseñanza de las Ciencias*, Número Extra: 1-5, 2005.

CANGUILHEM, G. *Ideologia e Racionalidade nas Ciências da Vida*. Trad. Emília Piedade. Lisboa: Edições 70, 1977.

CANTOR, G. N.; HODGE, M. J. S. (Eds.). *Conceptions of ether. Studies in the history of ether theories. 1740-1900*. Cambridge/ London/ New York: Cambridge University Press, 1981.

CARVALHO, A. 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.

_____. A pesquisa em sala de aula e a formação de professores. In: NARDI, R. (Org.) *A pesquisa em ensino de ciências no Brasil: alguns recortes*. São Paulo: Escrituras Editora, 2007, p. 193-218.

CARVALHO, A.M.P.; 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.

CARVALHO, A.M.P.; GONÇALVES, M.E.R. Formação continuada de professores: o vídeo como tecnologia facilitadora da reflexão. São Paulo. *Cadernos de Pesquisa*, 111, p.71-94, dezembro, 2000.

CASTRO, R.S.; CARVALHO, A.M.P. de. História da ciência: investigando como usá-la num curso de segundo grau. *Caderno Catarinense de Ensino de Física* 9 (3): 225-237, dez. 1992.

CHALMERS, A. F. *O que é ciência afinal?* Trad. Raul Fiker. São Paulo: Brasiliense, 1993.

CHEN, Suffen. 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.

CHAVALLARD, Yves; JOSHUA, Marie-Alberte. *Un exemple d'analyse de la transposition didactique – La notion de distance* (1982). In: CHEVALLARD, Y. *La Transposition Didactique du savoir savant au savoir enseigné*. Grenoble: La Pensée Sauvage, 1985.

COHEN, Bernard; WESTFALL, Richard S. *Newton: textos, antecedentes, comentários*. Trad. Vera Ribeiro. Rio de Janeiro: Contraponto; EDUERJ, 2002.

COHEN, M.R.; DRABKIN, I.E. (Eds.). *A source book in the Greek science*. Cambridge: Harvard University Press, 1958.

CONCARI, S.B. Las teorías y modelos en la explicación científica: implicancias para la enseñanza de las ciencias. *Ciência & Educação* 7: 85-94, 2001.

CUPANI, A.; PIETROCOLA, M. A relevância da epistemologia de Mario Bunge para o ensino de ciências. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física* 19 (número especial): 100-125, jun. 2002.

DEBUS, Allen G. A ciência e as humanidades: a função renovadora da indagação histórica. *Revista da Sociedade Brasileira de História da Ciência* 5: 3-13, 1991.

_____. *El Hombre y la Natura en el Renacimiento*. Trad. S. Rendón. 2. ed. México: Fondo de Cultura Económica, 1996.

DOBBS, Beth J. T. *The Janus faces of genius – the role of alchemy in Newton's thought*. Cambridge/New York: Cambridge University Press, 1991.

_____. *The Foundations of Newton's Alchemy or "The Hunting of the Greene Lyon"*. 2a. ed. Cambridge; London: Cambridge University Press, 1975, Reprinted: 1984.

DONOVAN, A. *et. al.* The history of science in undergraduate education – three approaches. *Scan: a data bank of scientific research for science faculty in schools and colleges* 2 (2): 36-41, 1978.

DUIT, R. The constructivist view in science education: what is to offer and what should not be expected from it. *Investigações em Ensino de Ciências* 1 (1): 40-75, 1996.

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

ERICSON, F. Qualitative research methods for science education. In: FRASER, B.J. e TOBIN, K.G. (Orgs.), *International Handbook of Science Education*, Part One, Kluwer Academic Publishers, 1998.

FIELD, J.V.; JAMES, F.A.J.L. (Orgs.). *Renaissance and revolution: humanists, scholars, craftsmen and natural philosophers in early modern Europe*. Cambridge: Cambridge University Press, 1993.

FLAUVEL, J.; FLOOD, R.; SHORTLAND, M.; WILSON, R. *Let Newton be!* Oxford/ New York: Oxford University Press, 1988.

FORATO, Thaís C. M. A Filosofia Mística e a Doutrina Newtoniana: uma discussão historiográfica. *ALEXANDRIA Revista de Educação em Ciência e Tecnologia* 1 (3): 29-53, 2008.

_____. As profecias bíblicas e a existência de Deus. In: SILVA, Cibelle C. (Org.) *Estudos de história e filosofia das ciências. Subsídios para aplicação no Ensino*. São Paulo, Ed. Livraria da Física, 2006.

_____. O método newtoniano para a interpretação das profecias bíblicas de João e Daniel na obra: "Observations upon the prophecies of Daniel and the Apocalypse of St. John". Dissertação de Mestrado. – São Paulo, Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, 2003.

FORATO, Thaís C. M.; MOURA, Breno A.; PRESTES, Maria Elice B. Bibliografia sobre a utilização da história e filosofia da ciência no ensino de ciências e biologia. *Boletim de História e Filosofia da Biologia* 2 (3), 2008. Disponível em: <http://www.abfhib.org/Boletim/Boletim-HFB-02-n3-Set-2008.htm>. Acesso em: 4/11/2008.

_____; PIETROCOLA, M. O arrastamento parcial do éter de Fresnel como explicação científica. In: NARDI, R. e BORGES, O. (orgs.) *Atas do V Encontro Nacional Pesquisa em Educação em Ciências – ABRAPEC*, Bauru, 2005. CD-ROM.

FOX, R. The rise and fall of laplacian physics. *History studies in the physical science* 4: 89-136, 1975.

FINOCCHIARO, M.A. *et. al.* A symposium on the use of the history of science in the science curriculum. *Journal of College Science Teaching* 10 (1): 14-33, 1980.

FRESNEL, A. Lettre d'Augustin Fresnel à François Arago sur l'influence du mouvement terrestre dans quelques phénomènes d'optique. *Annales de Chimie et de Physique* 9: 57-66; 286, 1818.

_____. *Oeuvres Complètes d'Augustin Fresnel*. Henri de Senarmont, Émile Verdet et Léonor Fresnel, (Eds). Vol. 2, Paris, Imprimerie Impériale, 1868. 3 vols.

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.

GAGLIARDI, R. Cómo utilizar la historia de las ciencias en la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias* 6 (3): 291-296, 1988.

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.

GINZBURG, Carlo. *O fio e os rastros. Verdadeiro, falso, fictício*. Trad. Rosa Freire de Aguiar e Eduardo Brandão. São Paulo: Companhia das Letras, 2006.

HANUSCIN, D. L.; AKERSON, V. L.; PHILLIPSON-MOWER, T. Integrating nature of science instruction into a physical science content course for preservice elementary teachers: NOS views of teaching assistants. *Science Education* 90: 912-935, 2006.

HARRÉ, R. *As filosofias da ciência*. Lisboa: Edições 70, 1988.

HEMPEL, C. G. Explicação científica. In: MORGENBESSER, S. (Org.). *Filosofia da ciência*. São Paulo: Cultrix, 1979.

HESSEN, Boris. Las raíces socioeconómicas de la mecánica de Newton. Habana: Editorial Academia, 1985.

_____. As raízes sócio-econômicas dos *Principia* de Newton. In: GAMA, Ruy. *Ciência e técnica: antologia de textos históricos*. São Paulo: T.A. Queiroz, 1992.

HETHERINGTON, N.S. The history of science and the teaching of science literacy. *Journal of Thought* 17 (2): 53-66, 1982.

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

JARDINE, Nick, Whigs and stories: Herbert Butterfield and the historiography of science. *History of Science* [part 2] 41 (132): 125-140, June 2003.

KOYRÉ, Alexandre. *Estudos da História do Pensamento Científico*. Trad. Márcio Ramalho. Rio de Janeiro: Ed. Forense Universitária; Brasília: Ed. Universidade de Brasília, 1982.

KRAGH, H. An introduction to the historiography of science. Cambridge: Cambridge U.P., 1987.

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

LEDERMAN, Norman G. Nature of science: past, present, and future. In: ABELL, S.K.; LEDERMAN, N.G. (Eds.), *Handbook of research on science education*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, 2007, p. 831-880.

LEVITT, T. Editing out caloric: Fresnel, Arago and the meaning of light. *British Journal of the History of Science* 33 (116): 49-65, 2000.

LEITE, Mirian Soares. Contribuição de Basil Bernstein e Yves Chevallard para a discussão do conhecimento escolar. Dissertação de Mestrado. Rio de Janeiro, PUC, 2004.

LIMA-TAVARES, Marina; EL-HANI, Charbel Niño. Um olhar epistemológico sobre a transposição didática da teoria gaia. *Investigações em Ensino de Ciências* 6 (3): 299-336, 2001.

LINDBERG, D.C. *Theories of vision from Al-Kind to Kepler*. Chicago: University of Chicago Press, 1976.

_____. The beginnings of western science: the European scientific tradition in philosophical, religious, and institutional context, 600 B.C. to A.D. 1450. Chicago: University of Chicago Press, 1992.

- LLOYD, G. E. R. Methods and Problems in the History of Ancient Science. The Greek Case. *Isis* 83: 564-577, 1992.
- LÜDKE, M.; ANDRÉ, M.E.D.A. *Pesquisa em educação: abordagens qualitativas*. São Paulo: EPU, 1986.
- MANUEL, D.E. Reflections of the role of history & philosophy of science in school science education. *School Science Review* 62 (221): 769-771, 1981.
- MARANDINO, M. Transposição ou recontextualização? Sobre a produção de saberes na educação em museus de ciências. *Revista Brasileira de Educação* 26: 95-108, 2004.
- 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 Andrade. Sobre o Papel da História da Ciência no Ensino. *Boletim SBHC*. 9: 3-5, 1990.
- _____. Em busca do nada: considerações sobre os argumentos a favor do vácuo ou do éter. *Trans/Form/Ação* 16: 7-27, 1993.
- _____. *O Universo: teorias sobre sua origem e evolução*. São Paulo: Moderna, 1996. Disponível em: <http://www.ifi.unicamp.br/~ghtc/Universo/>. Acesso em: 15 fev. 2007.
- _____. Descartes e a impossibilidade de ações a distância. In: FUKS, S. (Ed.), *Descartes 400 anos. Um legado científico e filosófico*, Rio de Janeiro, Relume Dumará, 1998, p. 79-126.
- _____. 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.
- _____. O retorno do éter. *Scientific American Brasil* 2: 27-27, julho de 2002.
- _____. Ciência versus historiografia: os diferentes níveis discursivos nas obras sobre história da ciência. In: ALFONSO-GOLDFARB, A.M.; BELTRAN, M.H.R. *Escrevendo a história da ciência: tendências, propostas e discussões historiográficas*. São Paulo: Educ; Fapesp; Editora Livraria da Física, 2004. p. 115-145.
- _____. A Torre de Babel científica. *Scientific American – os grandes erros da ciência*, Especial História 6: 6-13, 2006a.
- _____. Do éter ao vácuo e de volta ao éter. *Scientific American – os grandes erros da ciência*, Especial História 6: 92-98, 2006b.
- _____. *O surgimento da teoria da relatividade restrita*. In: CARDOSO, Walmir Thomazi; SILVA, Cibelle Celestino (eds.). *Tópicos de história das ciências naturais*. São Paulo: Editora Manole (no prelo).
- MARTINS, Roberto de Andrade e SILVA, Cibelle Celestino. Newton and colour: 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.
- _____. *Science teaching – the role of history and philosophy of science*. Nova York: Routledge, 1994, 287p.

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

MAYRARGUE, A. Fresnel and optical ether. *La Recherche* 21 (218): 234-237, 1990.

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

MCGUIRE, J.E.; RATTANSI, P. M. Newton and the ‘Pipes of Pan’. *Notes and Records of Royal Society* 21: 108-143, 1966.

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

MONTEIRO, F. C. Entre o estranho e o familiar: o uso de analogias no ensino de história. *Cadernos CEDES* 25 (67) Campinas, Sept./Dec. 2005. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0101-32622005000300006&script=sci_arttext&tlng=pt>. Acesso em: 3 fev. 2008.

MORTIMER, E. F.; CARVALHO, A. M. P. de. Referenciais teóricos para análise do processo de ensino de ciências. *Cadernos de Pesquisa*. São Paulo 96: 5 –14, 1996.

MOURA, Breno A. Newton x Huygens: como (não) ocorreu a disputa entre suas teorias para a luz. *ArScientia*, 2007. Disponível em: http://www.arscientia.com.br/materia/ver_materia.php?id_materia=415. Acesso em: 15 jan. 2008.

MOURA, Breno A.; SILVA, Cibelle Celestino. A teoria dos estados da luz: um estudo dos papéis das hipóteses na óptica newtoniana. In: MARTINS, R.A.; SILVA, C.C.; FERREIRA, J.M.H. e MARTINS, L.A.C.P. Filosofia e História da Ciência no Cone Sul – *Atas do V Encontro*. Campinas: Associação de Filosofia e História da Ciência no Cone Sul, 2008.

_____. Newton antecipou o conceito de dualidade onda-partícula da luz? *Latin American Journal Physics Education* 2 (3): 218-227, Sept. 2008.

NASCIMENTO, U. On the trail of Fresnel’s search for an Ether Wind. *Apeiron* 5: 181-192, 1998.

NEEDHAM, Joseph. *De la Ciencia y la Tecnología Chinas*. México, Siglo Veintiuno Editores, 1978.

NERSESSIAN, N. J. Aether/or: the creation of scientific concepts. *Studies in the History and Philosophy of Science* 15: 175-212, 1984.

NEWTON, Isaac. *Óptica*. Edusp: São Paulo, 1996.

_____. *Mathematical principles of natural philosophy. Optics*. Trad. A. Motte. [2a.ed]. Chicago, Encyclopaedia Britannica, 1952. (Col. Great Books of Western World, V. 34).

NIAZ, M. Understanding nature of science as progressive transitions in heuristic principles. *Science Education* 85: 684-690, 2001.

OLIVEIRA, Sara L. Desafios sobre a escrita da história: considerações sobre o anacronismo. *Perg@minho* – revista eletrônica de história. UFPB, out., 2005. Disponível em: <<http://www.cchla.ufpb.br/pergaminho/>>. Acesso em: 4 nov. 2008.

OLIVEIRA, B. J.; FREIRE-Jr, O. Uma conversa com Gerald Holton. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física* 23 (3): 315-328, dez. 2006.

PAGLIARINI, Cassiano R. *Uma análise da história e filosofia da ciência presente em livros didáticos de física para o ensino médio*. Dissertação de Mestrado. Instituto de Física da Universidade de São Paulo/São Carlos, 2007.

PARK, D. The fire within the eye: a historical essay on the nature and meaning of light. Princeton University Press, 1997.

- PEDUZZI, L. Sobre a utilização didática da história da ciência. In: PIETROCOLA, M. (Org.) *Ensino de Física – conteúdo, metodologia e epistemologia numa concepção integradora*. Florianópolis: Editora UFSC, 2001.
- PIAGET, J; GARCIA, R. *Psicogénesis e Historia de la Ciencia*. Mexico: Siglo Veintiuno, 1984.
- PIETROCOLA, Maurício. *Mascart et l'Optique de corps en mouvement*. Tese de Doutorado. Paris, Université de Paris, 1992.
- _____. O éter luminoso como espaço absoluto. *Cadernos de História e Filosofia da Ciência* [série 3] 3 (1/2): 163-182, 1993a.
- _____. Fresnel e o arrastamento parcial do éter: a influência do movimento da Terra sobre a propagação da luz. *Caderno Catarinense de Ensino de Física* 10 (2): 157-172, 1993b.
- _____. Construção e Realidade: O realismo científico de Mario Bunge e o ensino de ciências através de modelos. *Investigações em Ensino de Ciências* 4 (3), dez. 1999. Disponível em: www.if.ifrgs.br/public/ensino/revista.htm. Acesso em: 4 abr. 2005.
- _____. A Matemática como estruturante do conhecimento físico. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física* 19 (1): 93-114, ago. 2002.
- _____. O espaço pleno e a concepção do éter. *A Física na Escola*, 3 (2): 7-8, outubro de 2002.
- _____. 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.
- _____. A transposição da física moderna e contemporânea para o ensino médio: superando obstáculos epistemológicos e didático-pedagógicos. In: BORGES, Regina. (Org.). *Propostas Interativas na Educação Científica e Tecnológica*. Porto Alegre: EDUC, 2008.
- 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.
- RATTANSI, Piyo M. Newton and the Wisdom of the Ancients. In: FLAUVEL, J.; FLOOD, R.; SHORTLAND, M.; WILSON, R. *Let Newton Be!* Oxford; New York: Oxford University Press, 1988, p. 185-201.
- REZENDE, F.; RUBINO, L.; QUEIROZ, G.R.P.C. Planejamentos de aulas de Física: uma análise do conhecimento pedagógico do conteúdo. *X Encontro de Pesquisa em Ensino de Física*. Londrina. Atas do X EPEF, 2006.
- RICARDO, Elio Carlos. Competências, interdisciplinaridade e contextualização: dos parâmetros curriculares nacionais a uma compreensão para o ensino de ciências. Tese de Doutorado. Florianópolis, UFSC, 2005.
- ROCHBERG, F. *et alii*. The cultures of Ancient Science: Some Historical Reflections. *Isis* 83: 547-607, 1992.
- RODRIGUES, Maria Inês Ribas *Professores-Pesquisadores: Reflexão e a Mudança Metodológica no Ensino da Termodinâmica*. Dissertação de Mestrado. São Paulo, Instituto de Física da USP, 2001.
- RONCA, P.A.C.; TERZI, C. do A. *A prova operatória. Contribuições da psicologia do desenvolvimento*. 5ª. Ed. São Paulo: Dag Gráfica e Editorial Ltda, 1993.
- ROSSI, Paolo. *A ciência e a filosofia dos modernos*. Tradução Álvaro Lorencini. São Paulo: Unesp, 1992.
- _____. *Naufraágios sem espectador. A idéia de progresso*. Tradução A. Lorencini. São Paulo: Unesp, 2000.
- RUSSEL, T. L. What history of science, how much and why? *Science Education* 65: 51-64, 1981.

- SABRA, A.I. *Theories of light from Descartes to Newton*. London: Cambridge University Press, 1981.
- SANTOS, F.M.T.; GRECA, I.M. (orgs.) *A pesquisa em ensino de ciências no Brasil e suas metodologias*. Unijuí, Ed. Unijuí, 2006.
- SCHWARTZ, R.S.; LEDERMAN, N.G.; CRAWFORD, B.A. Developing views of nature of science in an authentic context: an explicit approach to bridging the gap between nature of science and scientific inquiry. *Science Education* 88: 610-145, 2004.
- SIEGEL, H. On the distortion of the history of science in science education. *Science Education* 63: 277-278, 1979.
- SILVA, Cibelle C. (Org.). *Estudos de história e filosofia das ciências: subsídios para aplicação no ensino*. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2006.
- SILVA, Cibelle C. e MARTINS, Roberto de A. A “Nova teoria sobre luz e cores” de Isaac Newton: uma tradução comentada. *Revista Brasileira de Ensino de Física* 18 (4): 313-27, 1996.
- _____. A teoria das cores de Newton: um exemplo do uso da história da ciência em sala de aula. *Ciência & Educação* 9 (1): 53-65, 2003.
- SILVA, F. W. O. A evolução da teoria ondulatória da luz e os livros didáticos. *Revista Brasileira de Ensino de Física* 29 (1): 149-159, 2007.
- SIQUEIRA, Maxwell R. P. *Do visível ao indivisível: uma proposta de Física de Partículas Elementares para o Ensino Médio*. Dissertação de Mestrado. São Paulo, Instituto de Física e Faculdade de Educação da USP, 2006
- SWENSON, Loyd S. *The ethereal Aether – a history of the Michelson-Morley-Miller aether drift experiments, 1880–1930*. Austin, University of Texas Press, 1972.
- VALENTE, Wagner Rodrigues. Saber científico, saber escolar e suas relações: elementos para reflexão sobre a didática. *Revista Diálogo Educacional*, Curitiba, 4 (10): 57-67, set./dez. 2003.
- VANNUCCHI, A.I. *História e filosofia da ciência: da teoria para a sala de aula*. Dissertação de Mestrado. São Paulo, Faculdade de Educação, USP, 1996.
- WEINBERG, S. Can science explain everything? Anything? *The New York Review of Books*. 48 (9), 2001. Disponível em: www.nybooks.com/articles/14263. Acesso em: 10 jun. 2005. Trad. Brasileira de José Marcos Macedo. *Os limites da explicação científica*. Disponível em: www.cfh.ufsc.br/~wfil/limit.htm. Acesso em: 10 jun. 05.
- WHITAKER, M. A. B. History and quasi-history in physics education – part 1. *Physics Education* 14: 108-112, 1979.
- WHITTAKER, E. T. *A history of the theories of Aether and electricity*. London, Nelson, 1953. 2 vols. (Reimpresso como Vol. 7 na serie *The history of modern physics, 1800-1950*. Thomas Publishers/American Institute of Physics, 1987.)
- WORRALL, J. How to remain (reasonably) optimistic: scientific realism and the luminiferous ether. *PSA: Proceedings of the Biennial Meeting of the Philosophy of Science Association* 1: 334-342, 1994.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE EDUCAÇÃO

THAÍS CYRINO DE MELLO FORATO

**A NATUREZA DA CIÊNCIA COMO SABER ESCOLAR:
UM ESTUDO DE CASO A PARTIR DA HISTÓRIA DA LUZ**

VOLUME 2

SÃO PAULO
2009

THAÍS CYRINO DE MELLO FORATO

**A NATUREZA DA CIÊNCIA COMO SABER ESCOLAR:
UM ESTUDO DE CASO A PARTIR DA HISTÓRIA DA LUZ**

VOLUME 2

Tese de Doutorado apresentada à Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo para banca examinadora para obtenção do título de Doutor em Educação.

Área de Concentração: Ensino de Ciências e Matemática

Orientador: Prof. Dr. Maurício Pietrocola

Coorientador: Prof. Dr. Roberto de Andrade Martins

SÃO PAULO
2009

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Catálogo na Publicação
Serviço de Biblioteca e Documentação
Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo

375.2 Forato, Thaís Cyrino de Mello
F692n A natureza da ciência como saber escolar: um estudo de caso a partir da
v. 1-2 história da luz / Thaís Cyrino de Mello Forato ; orientação Maurício
Pietrocola, coorientação Roberto de Andrade Martins. São Paulo : s.n.,
2009.
2 v. : il. + anexos

Tese (Doutorado – Programa de Pós-Graduação em Educação. Área de Concentração : Ensino de Ciências e Matemática) – Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo.

1. Ciências – Estudo e ensino 2. História da ciência – Filosofia 3. Óptica – História 4. Epistemologia 5. Didática I. Pietrocola, Maurício, orient. II. Martins, Roberto de Andrade, coorient.

Thaís Cyrino de Mello Forato
*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 Universidade de São Paulo para banca examinadora
para obtenção do título de Doutor em Educação.
Área de Concentração: Ensino de Ciências e Matemática.

Aprovada em ____/____/____

SUMÁRIO DO VOLUME 2

<i>Apêndice A: Conteúdo histórico para o professor</i>	<i>1</i>
Episódio I: Um pouco sobre a luz na Antiguidade grega	1
Os Atomistas	2
Empédocles	4
Platão	5
Aristóteles	5
Refletindo sobre a diversidade de teorias	6
Episódio II: A natureza da luz para alguns pensadores do século XVII	8
Descartes, os vórtices e um meio para a luz	9
O atomismo de Gassendi: rápidos corpúsculos no vazio	11
Huygens e uma perturbação no éter	12
Newton e os corpúsculos da luz	14
Episódio III: As teorias da luz e o éter luminífero no início do século XIX	18
Referências bibliográficas	21
<i>Apêndice B: Curso proposto</i>	<i>25</i>
B.1. Planejamento pedagógico da seqüência didática – versão proposta	25
Episódio I: Um pouco sobre a luz na Antiguidade grega	26
Episódio II: A natureza da luz para alguns pensadores do século XVII	29
Episódio III: As teorias da luz e o éter luminífero no início do século XIX	33
Encerramento do curso	36
B.2. Textos para os alunos – versão proposta	38
Episódio I: Um pouco sobre a luz na Antiguidade grega	38
Texto 1: A filosofia e as explicações para o funcionamento da natureza	38
Texto 2: Um pouco sobre a luz na Antiguidade grega	40
Episódio II: A natureza da luz para alguns pensadores do século XVII	45
Texto 3: Newton e o fenômeno das cores	45
Texto 4: Fim do século XVII: corpúsculos ou pulsos no éter?	49
Texto 5: Atividade – O debate entre as teorias ondulatória e corpuscular	53
Episódio III: As teorias da luz e o éter luminífero no início do século XIX	54
Texto 6: A luz e o Século das Luzes	54
Texto 7: A luz e o éter luminífero no início do século XIX	57
Texto 8: Peça de teatro <i>O éter e a natureza da luz</i>	61
<i>Apêndice C: Curso piloto – Aplicado em setembro de 2007</i>	<i>62</i>
C.1. Planejamento pedagógico da seqüência didática – versão piloto	62
Episódio I: Um pouco sobre a luz na Antiguidade grega	62
Episódio II: A natureza da luz para alguns pensadores do século XVII	65
Episódio III: As teorias da luz e o éter luminífero no início do século XIX	68
Encerramento do curso	71

C.2. Textos para os alunos – versão piloto	72
Episódio I: Um pouco sobre a luz na Antiguidade grega	72
Texto 1: A filosofia e as explicações para o funcionamento da natureza	72
Texto 2: Um pouco sobre a luz na Antiguidade grega	74
Episódio II: A natureza da luz para alguns pensadores do século XVII	78
Texto 3: O frágil bebê que se tornou o grande filósofo natural	78
Texto 4: Fim do século XVII: corpúsculos ou pulsos no éter?	80
Texto 5: Os pulsos no éter de Huygens	84
Texto 6: A teoria corpuscular de Newton	85
Atividade 3: O debate entre as teorias ondulatória e corpuscular	88
Episódio III: As teorias da luz e o éter luminífero no início do século XIX	88
Texto 7: A luz e o Século das Luzes	88
Texto 9: As teorias da luz e o éter luminífero no início do século XIX	90
Encerramento do curso	94
C.3. Apresentação em PowerPoint – versão piloto	95
Episódio I: Um pouco sobre a luz na Antiguidade grega	95
Episódio II: A natureza da luz para alguns pensadores do século XVII	99
Episódio III: As teorias da luz e o éter luminífero no início do século XIX	106
Apêndice D: Atividades para os cursos proposto e piloto	112
D.1. Cartões para jogo da linha do tempo	112
Episódio I: Um pouco sobre a luz na Antiguidade grega	112
D.2. Linha do tempo: Viagens pela história da ciência: as múltiplas faces	117
D.3. Debate: O debate entre as teorias ondulatória e corpuscular	117
Episódio II: A natureza da luz para alguns pensadores do XVII	117
D.4. Peça de teatro <i>O éter e a natureza da luz</i>	118
CENA I	119
CENA II	121
CENA III	124
CENA VI	129
Anexo A: Transcrição de aulas do curso piloto (setembro de 2007)	131

Apêndice A: Conteúdo histórico para o professor

Episódio I: Um pouco sobre a luz na Antiguidade grega

Thaís Cyrino de Mello Forato

O nascer e o pôr-do-sol, o relâmpago e o trovão, as tempestades e o arco-íris fascinaram os homens desde um tempo bastante remoto. Tais fenômenos naturais, e muitos outros, foram explicados pela mitologia e religião. Durante muitos séculos, a humanidade atribuiu a existência desses fenômenos à manifestação da vontade divina (MARTINS, 1996, capítulos 1 e 2).

Havia, entretanto, ainda durante esse período, algumas aplicações práticas de fenômenos relacionados à luz e à visão. Diversos povos, como, por exemplo, os chineses, indianos e egípcios, conservaram registros muito antigos descrevendo algumas aplicações práticas do que hoje conhecemos como conceitos clássicos das propriedades geométricas dos raios de luz.¹ Um manuscrito encontrado no Egito, o *Papyrus Ebers*, de aproximadamente 1552 a. C., traz o que poderíamos considerar como remédios egípcios. Espelhos e lentes de vidro datadas da mesma época foram encontrados em várias partes do mundo (LINDBERG, 1976, p. 1). Porém, a despeito da utilização de lentes e superfícies refletoras, não havia uma explicação sistemática para tais fenômenos, pois o mundo natural era compreendido por meio do pensamento mitológico.²

Com o fortalecimento da filosofia na Grécia, por volta do quinto século antes de Cristo, a visão mitológica e religiosa do mundo foi sendo aos poucos substituída na explicação dos fenômenos naturais por outro modo de pensar, que eles chamavam de pensamento racional.³

Entre os séculos IX e VI antes da era cristã, o mundo grego passou por uma profunda transformação. Ocorreu uma ampla mudança política, social, religiosa e cultural, envolvendo múltiplos fatores que não são ainda totalmente compreendidos. Por um lado, o contato comercial – e cultural – muito intenso com outros povos, nesse período, trouxe ao mundo grego uma variedade de idéias que passaram a ser confrontadas com o pensamento tradicional. Isso envolveu a entrada de novas concepções religiosas, políticas, filosóficas, científicas (por exemplo, na matemática e astronomia). O surgimento de uma classe econômica poderosa, através do comércio,

¹ Veja sobre a história da óptica na Antiguidade Lindberg (1992, 1976); Park (1997).

² Sobre o pensamento mitológico e a filosofia na Grécia, fazem parte do material para o professor os capítulos de 1 a 3 de Martins (1996). Tal fundamentação permeará a parte inicial da seqüência didática.

³ Na Índia os mitos não perderam seu valor e continuam a ser narrados como modo de ter uma compreensão mais profunda do hinduísmo. Há diversos pensadores, como Carl Gustav Jung (1876-1961), que reconhecem nos mitos uma rica fonte de informações sobre a mente humana.

enfraqueceu a antiga aristocracia. Surgiram novos valores, e uma sociedade mais aberta, pessoas mais confiantes em seu próprio poder individual, com um enfraquecimento de toda a tradição cultural e do respeito pelos mitos, pela religião, pela autoridade antiga. Em meio a todo esse amplo processo cultural, que envolveu uma crítica racional dos mitos, houve também o aparecimento de algo novo: o despertar da filosofia como algo novo, independente, que procurava fundamentar-se apenas no pensamento, na razão. (MARTINS, 1996, p. 34-5).

Esse processo de conhecimento rompia com a antiga tradição cultural e procurava fundamentar-se apenas no pensamento, na razão, em raciocínios lógicos, cujo modelo era a matemática (MARTINS, 1996, p. 34). Parmênides (c. 540-450 a.C.), por exemplo, acreditava que a realidade mais profunda não poderia ser atingida pela observação, mas apenas pelo pensamento (MARTINS, 2006b, p. 93). A partir de então, a natureza começou a ser investigada desse novo modo e surgiram as primeiras teorias para explicar os fenômenos, inclusive as teorias acerca da luz e do funcionamento da visão.

As fontes originais disponíveis a respeito da óptica na Antiguidade grega⁴ mostram que esses estudos podem ser divididos em três tradições: a médica, que cuidava dos problemas dos olhos e doenças visuais; a física e filosófica, que buscava entender o processo responsável pela visão e demais fenômenos ópticos; e a matemática, que tratava a luz como raio e a representava pela perspectiva ou preocupava-se com o modo de retratar os eclipses e posições dos astros no céu (LINDBERG, 1976, p. 1).

As diversas explicações dadas pelos filósofos gregos para a natureza da luz estavam vinculadas à concepção de mundo de cada um deles, ou seja, ao modo como explicavam o funcionamento do Universo. O fenômeno visual era entendido, nesse período, de várias formas diferentes.

Os Atomistas

Dentro da tradição física e filosófica, os atomistas estavam entre os primeiros a propor uma doutrina sistemática para os fenômenos luminosos e a visão.⁵ Eles concebiam um mundo composto por minúsculas partículas eternas e indivisíveis, os átomos, que se movimentavam em um espaço

⁴ Há uma tradução para o inglês de uma seleção de diversos fragmentos, doxografia e fontes primárias relativas ao período em: *A source book in greek science*, de Cohen e Drabkin, 1958.

⁵ Os atomistas mais conhecidos foram: Leucipo (c.a. 500-?); Demócrito (c.a. 460-370); Epicuro (c.a. 341-270) e Lucrécio (c.a. 98-55). As primeiras elaborações da doutrina atomista são atribuídas a Leucipo e Demócrito, e o desenvolvimento posterior com uma maior sistematização ocorreu primeiro com Epicuro e posteriormente com Lucrécio. (MARTINS, 1996, p. 41-49).

vazio. A combinação dessas diferentes partículas formava toda a matéria conhecida (MARTINS, 1996, p. 41-9). A concepção da escola atomista para a luz era coerente com tal visão de mundo.

Mesmo entre os atomistas mais conhecidos, não havia uma única explicação para os fenômenos ópticos, entretanto, algumas premissas básicas eram comuns entre eles. Por exemplo: uma efluência material seria transmitida dos objetos visíveis para o olho do observador e a sensação visual seria causada pelo contato direto dessa emanção com o órgão dos sentidos (LINDBERG, 1976, p. 2). Leucipo e Demócrito concordavam que as sensações visuais eram causadas pelo contato direto entre minúsculos corpúsculos emitidos por todos os corpos em todas as direções e os órgãos dos sentidos. Tais corpúsculos, denominados *eidola* por Leucipo, emanavam da superfície dos corpos levando informações sobre ele, como a cor e a forma dos objetos.

Epicuro acrescentava que, embora essas partículas partissem continuamente dos corpos, não se observava nenhuma diminuição no tamanho deles, pois outras partículas tomavam seus lugares. Assim, seria pela entrada de algo nos olhos, emitido pelos objetos externos, que estes eram vistos. Para ele, é assim que pensamos sobre os objetos, porque as informações entram também em nossas mentes:

Devemos também considerar que é pela entrada de algo vindo dos objetos externos que nós vemos suas formas e pensamos sobre eles. Pois, as coisas externas não poderiam imprimir sobre nós sua própria natureza de cores e formas através do meio de ar que está entre eles e nós, ou através de raios de luz, ou correntes de qualquer tipo indo de nós para eles, tão bem como pela entrada em nossos olhos ou mentes, através dos quais seus tamanhos são conhecidos, de filmes vindos das próprias coisas. (EPICURO apud LINDBERG, 1976, p. 2).

Epicuro está criticando aqui algumas idéias defendidas por outros filósofos, por exemplo, Empédocles e Aristóteles, cujas propostas apresentaremos a seguir. Sucintamente, Empédocles acreditava que um raio visual emitido pelos nossos olhos retornava para a pupila carregando informações sobre os objetos, e Aristóteles enfatizava a importância do meio entre o olho e o objeto no fenômeno da visão.⁶ Ele faz também uma pequena menção ao tratamento da luz como um raio, utilizada por Euclides, que privilegiava o tratamento geométrico para a luz, representado-a por segmentos de reta. As

⁶ Veja sobre a natureza da luz para Aristóteles em *Source Book*, 1966, p. 285-6. Ele trata a teoria da visão em *De Anima* e em *De Sensu* (*Source Book*, 1966, p. 262, nota 2).

representações geométricas dos fenômenos visuais estavam bastante desenvolvidas nesse período, mas não trataremos aqui desse tema.⁷

A teoria atomista da visão não respondia a todas as questões levantadas na época, por exemplo: como as *eidola* passam umas pelas outras sem interferência? Como a imagem de um objeto muito grande encolhe suficientemente para caber nos olhos? Por que os objetos distantes parecem menores? Como as almas do observador e do objeto visível faziam contato?⁸

Empédocles

O Universo para Empédocles (493-430 a.C.) era formado a partir de quatro elementos básicos, que ele associava a quatro divindades: fogo (Zeus), ar (Hera), terra (Hades) e água (Nestis). Tais elementos eram as raízes de todas as coisas que se uniam em diferentes proporções formando o Universo. Algumas vezes esses elementos se juntavam formando uma unidade e fazendo desaparecer tudo que existia, outras vezes, esses elementos se separavam, e as quatro raízes brotavam a partir da unidade e combinavam-se novamente formando todas as coisas existentes. Essa sucessão de divisões e reuniões dos elementos era causada pelo domínio do amor e do ódio. Haveria uma espécie de redemoinho que misturava todas as coisas pela força do amor formando o Uno. Depois, quando o poder do ódio fosse mais forte, surgiria a separação (MARTINS, 1996, p. 40-1).

Empédocles defendia a idéia de um raio visual que era emitido pelos olhos, uma espécie de fogo interno, que “tocava” os objetos e, ao retornar para a pupila, trazia informações sobre o objeto observado. Seria como se o ato de enxergar fosse igual ao ato de tatear, ou seja, os raios visuais interagem com as informações emanadas dos objetos, como se fossem tentáculos.⁹ Para Aristóteles, Empédocles acreditava na luz emanada pelo olho, mas, para alguns historiadores, Empédocles defendia que a percepção visual também dependia da recepção de efluências dos objetos que entravam nos olhos (LINDBERG, 1976, p. 4).

Não existe um consenso entre os historiadores sobre como era, exatamente, o processo visual para Empédocles. As obras escritas por ele, bem como por outros filósofos pré-socráticos,¹⁰ não foram conservadas. O estudo acerca de suas idéias é feito de maneira indireta, baseado em

⁷ Veja sobre o tratamento geométrico dado por Euclides em *Source Book*, 1966, p. 257-261; e em sua obra *Optics*.

⁸ Lindberg (1976, p. 3). Segundo Martins (1996, cap. 3), a teoria atomista explicava o funcionamento do mundo sem a existência de deuses ou almas imateriais. Entretanto, outros filósofos da época admitiam que tanto os seres vivos como os objetos materiais possuíam uma alma imortal e, para eles, era procedente a preocupação com o contato entre a alma das pessoas e dos objetos (FORATO, 2006).

⁹ Lindberg (1976, p. 4), complementado por notas de aula do dia 6/8/2002, profa. Cibelle Celestino Silva, disciplina História da Física, ministrada na PUC-SP no programa de pós-graduação em História da Ciência.

¹⁰ Os filósofos que viveram antes de Sócrates são chamados de pré-socráticos.

pequenos trechos de seus escritos que foram citados por outros filósofos posteriores (os “fragmentos” dos pré-socráticos) e em descrições feitas por autores posteriores a Sócrates (os “testemunhos”, ou “doxografia”) (MARTINS, 1996, p. 35). Assim, é possível entender que há algumas interpretações diferentes entre os especialistas sobre a obra e as idéias dos pré-socráticos.

De qualquer modo, o debate entre os historiadores nos permite perceber que, para Empédocles, tanto a luz como a visão estavam associadas à sua concepção do elemento fogo. Segundo Lindberg (1996, p. 6), uma explicação bastante razoável para a visão que poderia simbolizar as idéias de Empédocles seria aquela que diz “quando há uma correspondência exata entre o fogo interno... e o fogo externo”; ou seja, havia um fogo interno que era emitido pelos olhos, e o fogo externo, que seria emanado dos objetos. Quando o fogo interno entrava em contato com o fogo emanado pelos objetos, ocorria o fenômeno da visão.

Platão

Na teoria platônica da visão podemos identificar a presença de três elementos: o fogo emitido pelos olhos, a emanção dos objetos e a luz do dia. Os olhos emitiam raios que interagiam com a emanção dos objetos em presença de luz solar (LINDBERG, 1976, p. 5).

Para Platão, o fogo emitido pelos olhos não tinha a propriedade de queimar, mas de produzir uma luz suave. Quando esse fogo era motivado a fluir através dos olhos, provocava uma mudança em sua textura. A corrente visual emanada se misturava com a luz do dia, formando um corpo único e homogêneo em linha reta com os olhos, e podia atingir um objeto exterior. Qualquer coisa que entrasse em contato com esse todo passava uma informação para a alma causando a sensação de visão (LINDBERG, 1976, p. 5).

Aristóteles

Aristóteles (384-322 a.C.) rejeitou as teorias anteriores da luz e da visão (LINDBERG, 1976, p. 6).

O que a transparência é e o que a luz é foi agora apresentado; isto é, que não é nem fogo nem corpo em geral, nem uma efluência de nenhum corpo (pois, assim, isso ainda seria um tipo de corpo), mas a presença do fogo ou algo flamejante na transparência. Pois é impossível para dois corpos ocuparem o mesmo lugar no espaço. (ARISTÓTELES, Source Book, p. 285, tradução nossa).

Nessa citação, Aristóteles faz uma crítica às teorias da visão de Empédocles, de que a luz é fogo; à de Platão, que a luz seria algo como fogo, e à de [Leucipo e] Demócrito, de que a luz seria uma emissão da superfície dos corpos (Source Book, p. 285, nota 4). Na sua teoria para a luz e a

visão, ele enfatizará a importância do meio material entre o observador e o objeto visível (LINDBERG, 1976, p. 7).

Voltado para explicar a natureza física da luz e o mecanismo físico de contato na percepção visual entre o objeto e o olho do observador, Aristóteles não se preocupou com análises matemáticas, anatômicas nem fisiológicas em sua teoria da luz. Ele acreditava que os objetos visíveis produziam uma alteração no meio transparente e que esse meio transmitia essa alteração para os olhos do observador (LINDBERG, 1992, p. 308).

Aristóteles concebia a luz como uma qualidade dos corpos transparentes, revelada pela luz do Sol ou de outras fontes luminosas. Um meio transparente como o ar tinha a qualidade de permitir a visão do objeto. Portanto, a luz não era algo material, como para os atomistas, mas a qualidade que caracterizava o estado de transparência de um meio. O ar seria um meio potencialmente transparente, que era transmutado em transparente quando associado à luz. Para ele, a luz não poderia se propagar, pois era uma qualidade de manifestação instantânea (BERNARDO, 1998, p. 5-6).

Refletindo sobre a diversidade de teorias

Além desses filósofos da Antiguidade grega, vários outros elaboraram distintas teorias acerca da luz e da visão, por exemplo, Alcmeon de Crotona (c. 535 a.C.), os pitagóricos, Zenão (384-322 a.C.), Euclides (c. 330-c. 270 a.C.), Herão de Alexandria (c. 10-75), Cláudio Ptolomeu (127-148) e Galeno (130-199). Alguns enfatizavam aspectos fisiológicos, outros físicos, outros matemáticos.

Vários filósofos gregos da época de Empédocles e Leucipo, século V a.C., estavam tentando romper com a tradição mítica e religiosa, portanto, empenhados na elaboração de teorias que se baseavam principalmente na razão, em raciocínios lógicos, tendo como modelo a matemática. Os outros que vieram um pouco depois já não estavam tão preocupados com o pensamento mítico, mas também utilizavam o pensamento e a razão para entender a natureza. Todos estavam pensando sobre os mesmos fenômenos ópticos, todos buscavam entendê-los utilizando raciocínios lógicos, porém cada filósofo fornecia sua própria explicação para a luz e a visão. **Será que há algo de estranho nisso? Por que não havia um consenso?**

Alguns acreditavam em corpúsculos emanados pelos objetos; outros, em raios que saíam dos olhos, e havia ainda aqueles que defendiam o papel do meio material entre o observador e os olhos para explicar como vemos as coisas. Por que cada pensador interpretava de modo diferente um fenômeno natural? Poderia a natureza se comportar de forma diferente a cada instante? Por que pensadores tão respeitados chegavam a conclusões tão diferentes refletindo acerca de um mesmo fenômeno?

Essa diversidade de teorias nos faz pensar em muitas outras questões:

- É possível haver desacordo entre os filósofos?
- A natureza fornece evidências que permitem interpretações sem ambigüidades? Ou seja, existe observação neutra?
- As crenças pessoais dos filósofos poderiam influenciar em suas teorias para explicar a natureza?
- Podemos considerar que um desses filósofos elaborou uma teoria correta, e que ela é definitiva, aceita eternamente pela ciência?
- Todas as respostas para o funcionamento da natureza estão prontas e dependem apenas de os homens descobri-las?
- A natureza possui um tipo de comportamento que pode ser entendido de maneira diferente por diversos filósofos e cientistas?
- Os pensadores ou “cientistas” de cada época podem formular explicações diferentes para um fenômeno e todas elas parecerem bastante razoáveis para sua época?
- Os filósofos pensavam no fenômeno sem ter nada em mente, buscando alguma evidência que os fizessem compreender o fenômeno?
- Os filósofos buscavam alguma evidência nos fenômenos que pudesse “comprovar” a sua forma de entender o mundo?

Os filósofos da ciência têm debatido essas questões há vários séculos e, sem surpresa, não há resposta única, tampouco consenso entre eles (EL HANI, 2006; GIL et al., 2001). O importante é compreendermos que tentar explicar a natureza não é um processo simples, nem óbvio. Surgiram ainda muitas teorias para explicar a natureza da luz. Algumas hipóteses foram incorporadas por novas teorias, como a emissão de corpúsculos pelos objetos luminosos, e outras foram descartadas, como o fogo interno ou os raios que eram emitidos pelos olhos. Mesmo as hipóteses descartadas têm uma contribuição para dar, por exemplo, eliminando concepções inadequadas e abrindo espaço para novas conjecturas.

Quando pensamos sobre essas questões, estamos refletindo sobre a natureza da ciência do ponto de vista histórico, não em como **deveria** ser a ciência ou como **poderia** ser a ciência, pois essas preocupações pertencem à filosofia. A história da ciência analisa o que tem sido historicamente a ciência, pois as práticas científicas mudam ao longo do tempo e diferem nas diversas disciplinas científicas. Essa abordagem é tratada por disciplinas metacientíficas, como a história da ciência ou a sociologia da ciência, que investigam, estudam e analisam os fatos, as descrições do que tem sido considerado como ciência ao longo dos tempos (MARTINS, 1999).

É claro que o modo de os gregos pensarem sobre os fenômenos naturais é muito diferente do modo como os cientistas fazem atualmente. Mas olhar para alguns episódios da história da ciência nos faz perceber quão complexo é o processo da produção do conhecimento sobre a natureza (MARTINS, 2006a).

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

Nenhum período entre a antiguidade remota e o fim do século XVII exibiu uma única concepção da natureza da luz que fosse geralmente [amplamente] aceita. Em vez disso havia um bom número de escolas e subescolas em competição, a maioria das quais esposava uma ou outra variante da teoria de Epicuro, Aristóteles ou Platão. Um grupo considerava a luz como sendo composta de partículas que emanavam dos corpos materiais; para o outro, era a modificação do meio que intervinha entre o corpo e o olho; ou outro ainda explicava a luz em termos de uma interação do meio com uma emanção do olho; e havia outras combinações e modificações além dessas. [...] Cada uma delas enfatizava, como observações paradigmáticas, o conjunto particular de fenômenos ópticos que sua própria teoria podia explicar melhor. (KUHN, 1997, p. 32, grifo nosso).

Dentre as diversas concepções gregas para a luz, os trabalhos sobre a luz e a visão de Aristóteles, Euclides e Ptolomeu foram traduzidos para o árabe e tiveram grande importância na tradição islâmica dos estudos ópticos durante a Idade Média. (LINDBERG, 1992, p. 308). Os árabes, entretanto, muito além de serem meros transmissores ou tradutores da cultura grega ou indiana, deram também importantes contribuições originais ao campo da óptica durante a Idade Média, na correção, extensão e aplicação da ciência grega.¹¹

Ibn al-Haytham (965-1040), ou Alhazen (Al-Hazen), por exemplo, combinou os enfoques matemático, físico e médico em uma única teoria. Forneceu explicações para problemas levantados na óptica dos atomistas e de Aristóteles.¹² Foi ele quem questionou a ideia da luz como algo que saía dos olhos, argumentando que se tínhamos de fechar as pálpebras ou desviar os olhos quando olhávamos para o Sol, provavelmente seria porque algo entrava e não porque algo saía. A óptica de

¹¹ A historiografia atual da história da ciência não entende mais que outros povos como árabes, indianos e chineses apenas deram contribuições marginais à ciência ocidental, mas considera que sua ciência possui características próprias, com especificidades que se articulam em um corpo de conhecimento harmonioso e independente. A especificidade inclui organização, objetivos e metodologia próprios e coerentes com uma visão de mundo que é característica de cada povo e época.

¹² Park (1997); Lindberg (1992, 1976). As contribuições árabes incluem inúmeros campos do saber além da óptica, como matemática, astronomia, geografia e medicina, por exemplo.

Alhazen exerceu grande influência na óptica ocidental após a tradução de sua obra para o latim no final do século XII e início do XIII. Além de Alhazen, outros pensadores árabes deram contribuições ao campo da óptica, como Al-Kindi (805-873) e Al-Farisi (1260-1320).¹³

Durante o século XIII, a literatura óptica da Antiguidade grega e das fontes medievais islâmicas foram estudadas e organizadas por Robert Grosseteste (1168-1253) nas décadas de 1220 e 1230. Tal organização inspirou Roger Bacon (1214-1294) a dar um tratamento mais elaborado a esse corpo de conhecimentos nos anos 1260, incluindo também contribuições próprias e reordenando as fontes de um modo tão eficiente que tal sistematização viria a determinar o estudo e desenvolvimento futuro desse campo de estudo (LINDBERG, 1992, p. 312-315).

No início do século XVII os estudos quantitativos para o comportamento da luz, principalmente de Galileu Galilei (1564-1642), Johannes Kepler (1571-1630) e Francis Bacon (1561–1626), forneceram importantes contribuições para o desenvolvimento das teorias explicativas acerca da natureza da luz de René Descartes (1596–1651), Isaac Newton (1642-1727) e Christiaan Huygens (1629–1695).¹⁴ As idéias de Pierre Gassendi (1592-1655), Robert Boyle (1627-91) e Robert Hooke (1635-1703) também influenciaram o desenvolvimento da óptica newtoniana, como veremos. Mesmo os pensadores mais admirados na história da ciência não elaboram teorias a partir do nada. Conceitos, idéias e modelos desenvolvem-se a partir de precedentes históricos, recebem contribuições de debates e controvérsias, bem como de teorias consideradas superadas. Muitas vezes os erros cometidos por alguns pensadores são fatores cruciais para o desenvolvimento de teorias alternativas bem-sucedidas.¹⁵

Descartes, os vórtices e um meio para a luz

Um dos problemas que permeou os estudos de Descartes acerca dos fenômenos da luz era o mesmo adjacente à mecânica: como explicar a ação entre corpos que não estavam em contato? O que acontece entre o olho e um objeto que nos permite vê-lo? Como o olho percebe, capta, interage com o mundo material? Não seria exagero considerar que ação a distância era um dos problemas fundamentais com que deparavam os filósofos daquele período. Como explicar o comportamento

¹³ Um trabalho em sete volumes sobre óptica, *Kitab al-Manazir*, é considerado por muitos como a maior e mais importante contribuição de al-Haytham. Foi traduzido para o latim como *Opticae thesaurus Alhazeni* em 1270. O maior trabalho prévio em óptica havia sido o *Almagesto*, de Ptolomeu, e, embora o trabalho de al-Haytham não tenha tido a mesma influência que o *Almagesto*, ainda assim é considerado como a próxima grande contribuição ao assunto. Veja em: http://www.ime.unicamp.br/~calculo/ambientedeensino/modulos/history/al_haitham/alh.html.

¹⁴ Segundo Lindberg (1992, p.313-15), quando Kepler inicia suas conjecturas sobre as teorias da visão em 1600, ele parte do ponto onde Roger Bacon, John Pecham e Witelo o haviam deixado.

¹⁵ Martins, 2006, p. 6-13. Uma abordagem *whig* da história da ciência, usual no final do século XIX e início do século XX que insistia em atribuir o título de “pai” a um suposto autor de invenções, descobertas ou teorias relevantes da história da ciência, como se os inventos surgissem exclusivamente na mente de um único grande gênio. Veja também em Lílian Martins (1998).

dos magnetos, a relação entre a posição da lua e as marés, os fenômenos elétricos sem recorrer às idéias alquímicas da renascença?¹⁶ Mais do que elaborar explicações para tais questões, Descartes criou um sistema de pensamento que procurava responder a todos os detalhes sobre o funcionamento do mundo natural (WHITTAKER, 1987, p. 5-9). Segundo Sabra (1981), Descartes deu à pesquisa óptica um novo vigor, estabeleceu um conjunto original de problemas e uma nova direção. A publicação de sua lei da refração foi o ponto de partida das investigações de Fermat, Hooke, Huygens e Newton (SABRA, 1981, p. 12).

Descartes não aceitava a ação a distância e isso exigia que o espaço entre a Terra e a Lua não fosse vazio, de modo que haveria algo responsável pelas interações. Assim, o Universo cartesiano era permeado por um *plenum*, um tipo de matéria mais sutil que preenchia o espaço entre as partículas materiais conhecidas e seus interstícios.¹⁷ Tal *plenum*, posteriormente chamado de éter,¹⁸ era imperceptível aos sentidos, mas capaz de transmitir forças e outros efeitos entre os materiais nele imersos. As partículas, ou glóbulos, que compunham o *plenum* estavam continuamente em movimento no céu formando imensos vórtices, ou redemoinhos, que explicavam tanto o movimento dos planetas em torno do Sol como a queda dos corpos próximos à superfície da Terra. A filosofia cartesiana explicava todos os fenômenos naturais em termos de matéria e movimento, não aceitando a existência de espaços vazios e nem de influências a distância (MARTINS, 1998, p. 89-93; WHITTAKER, 1987, p. 5-6).

O Universo cartesiano seria constituído por três tipos de matéria formados durante seu processo de evolução. Tais matérias não possuíam poderes, nem qualidades ocultas, eram passivas e apenas conservavam o movimento inicial recebido de Deus no ato da criação (MARTINS, 1998, p. 89). O primeiro elemento, ou a matéria mais sutil, correspondia à matéria luminosa do Sol e das estrelas. O segundo elemento, posteriormente chamado de éter, o *plenum* era uma matéria também sutil, transparente e invisível, que formava os imensos vórtices que circundavam os planetas. O vórtice que circundava a Terra era o responsável por arrastar a Lua em sua órbita e explicava a gravidade terrestre. O terceiro elemento, ou o terceiro tipo de matéria, era a matéria opaca e densa da Terra, dos planetas e cometas (MARTINS, 1998, p. 89). As qualidades de luminosidade, transparência e opacidade, respectivamente, distinguiram os três tipos de elementos do mundo visível (WHITTAKER, 1987, p. 8-9).

Os vórtices explicavam também a propagação e a natureza da luz. Para Descartes, a luz era um tipo de pressão transmitida através do éter, pelo espaço (COHEN; WESTFALL, 2002, p. 20). As

¹⁶ Veja uma discussão sobre o problema da ação a distância em Martins (1998, p. 94-120).

¹⁷ Segundo Swenson (1972, p. xiii), o conceito de um *plenum*, ou um éter, havia fornecido uma solução para o problema da ação a distância, para diversos pensadores, como, por exemplo, Empédocles, Aristóteles, Descartes, Newton, Maxwell e Lodge.

¹⁸ Descartes foi o primeiro a utilizar o termo éter conferindo-lhe propriedades mecânicas (WHITTAKER, 1987, p. 6; SWENSON, 1972, p. 6).

partículas do segundo elemento ficavam em movimento ao redor do centro do vórtice, sendo constantemente empurradas para fora devido à “força centrífuga”.¹⁹ Elas eram pressionadas umas contra as outras numa tendência de sair de seu movimento ao redor do centro, entretanto, elas não eram, de fato, expelidas. A pressão que essas partículas – ou glóbulos – exerciam umas sobre as outras era transmitida instantaneamente por todo o espaço e era justamente tal pressão que constituía a luz. A ação da luz estendia-se para todos os lados ao redor do Sol e das estrelas fixas e viajava instantaneamente a qualquer distância (WHITTAKER, 1987, p. 9). A representação dos raios de luz eram linhas de direção de uma pressão estática exercida pelo objeto luminoso sobre a matéria ao seu redor (SABRA, 1981, p. 12).

É importante compreender que a concepção de luz cartesiana não pode ser considerada como a propagação de uma onda classicamente concebida. Enquanto a pressão que constituiria a luz ocorria simultaneamente em todo espaço entre um objeto luminoso e a visão, por exemplo, uma onda desloca-se no espaço com o passar do tempo; vai ocupando posições diferentes no decorrer do tempo. Mesmo ondas que atingem grandes velocidades não se propagam instantaneamente.

O éter adquire propriedades mecânicas no sistema cartesiano e por meio dele explicam-se o movimento, a natureza e a propagação da luz. Descartes confere ao éter o *status* de matéria, ainda que sutil e imponderável. Ou seja, o éter é o elemento explicativo da propagação instantânea da luz em um meio material. Segundo Sabra (1981, p. 48), a teoria cartesiana foi a primeira a estabelecer que a luz não seria nada mais que uma propriedade mecânica do objeto luminoso e do meio transmissor. A luz não consiste em um movimento real, mas em uma tendência ao movimento que é transmitida para o olho através do meio (SABRA, 1981, p. 50).

O atomismo de Gassendi: rápidos corpúsculos no vazio

Além da filosofia cartesiana, o atomismo,²⁰ baseado principalmente na obra do filósofo francês Pierre Gassendi (1592-1655), fornecia outra explicação para a natureza da luz. Os atomistas do século XVII concebiam o Universo formado por pequenos corpúsculos materiais, eternos e imutáveis, os átomos, que se moviam no espaço vazio. A filosofia atomista supunha que a luz consistia no movimento de pequenas partículas que se deslocavam em grande velocidade, e não na pressão transmitida através de um meio, como para Descartes.²¹ Tanto a filosofia cartesiana como o atomismo de Gassendi explicavam os fenômenos naturais em termos de matéria e movimento, mas

¹⁹ Atualmente, não utilizamos mais o conceito de força centrífuga, mas ele era aceito no período.

²⁰ O antigo atomismo grego de Demócrito e Epicuro aperfeiçoado por Lucrecio foi redescoberto, desenvolvido e adotado por inúmeros filósofos na Europa renascentista. Durante o século XVII foi adotado por Gassendi, Boyle, Newton e muitos outros.

²¹ Gassendi empenhou-se em mostrar que a filosofia atomista poderia ser defendida pelo homem cristão, ainda que fosse associada a visão teológica de Epicuro e Lucrecio, e algumas vezes utilizada para defender uma visão ateísta de mundo (WHITTAKER, 1987, p. 13).

diferiam quanto à existência de espaços vazios, defendido pelos atomistas (COHEN; WESTFALL, 2002, p. 20).

A filosofia atomista dispensava a existência dos vórtices cartesianos e de um *plenum*. Assim, não encontramos na explicação de Gassendi para a natureza da luz uma dependência com relação a algum conceito de éter. Entretanto, a despeito do sucesso do seu atomismo, diversas teorias posteriores nele inspiradas consideravam a existência de um meio etérico, porém tão sutil que não oferecia qualquer resistência ao movimento da matéria comum, e as partículas da luz eram tratadas como se estivessem se deslocando no espaço vazio (WHITTAKER, 1987, p. 13). A filosofia atomista de Gassendi obteve grande aceitação no período e influenciou um pouco depois os primeiros modelos de Newton tanto para a luz como para explicar a queda dos corpos (WHITTAKER, 1987, p. 13; COHEN; WESTFALL, 2002, p. 20).

Huygens e uma perturbação no éter

A teoria da luz de Huygens é geralmente descrita como uma teoria ondulatória, entretanto, Huygens não defendeu que a luz fosse constituída por ondas periódicas. Como Robert Hooke, ele imaginava pulsos independentes que se propagavam no éter (MARTINS, 1986, p. 21, nota 11 do tradutor).

No período em que Huygens elaborou sua teoria da luz, prevaleciam os modelos mecânicos para explicar as propriedades conhecidas da luz, como a propagação retilínea, a reflexão e a refração (SILVA, 2007). Huygens adotou uma abordagem geométrica nos estudos dos fenômenos luminosos, provavelmente pela influência da metodologia de Descartes. (MARTINS, 1986, p. 6, nota 2 do tradutor).

Para ele, a natureza da luz consistia no movimento de alguma espécie de matéria, tanto quanto à sua produção como quanto aos efeitos que produz. Para reforçar seu argumento, Huygens utiliza como exemplo o fenômeno da visão:

Não se pode duvidar que a luz consista no movimento de certa matéria. Se considerarmos a sua produção, encontraremos que na Terra são principalmente o fogo e a chama que a geram, e eles contêm sem dúvida corpos que têm um movimento muito rápido, já que se dissolvem e fundem muitos outros corpos, dos mais sólidos. [...] considera-se certo que a sensação de visão é excitada pela impressão de algum movimento de uma matéria que age sobre os nervos do fundo de nossos olhos e essa é ainda uma outra razão para se crer que a luz consiste no movimento da matéria que se encontra entre nós e os corpos luminosos. (HUYGENS apud MARTINS, 1986, p. 12).

Huygens utiliza uma analogia entre a propagação das ondas sonoras e as luminosas, para descartar a possibilidade de uma natureza corpuscular para a luz (SILVA, 2007). Como o som se propaga em um meio invisível e impalpável como o ar, através de um movimento que passa sucessivamente de uma parte a outra, não há dúvida, para ele, de que ocorre o mesmo com a luz. A luz vem do corpo luminoso até os olhos através da matéria que está entre eles.

[...] esse movimento impresso à matéria é sucessivo, e que, conseqüentemente, ele se espalha, assim como o som, por superfícies e ondas esféricas. Eu as chamo ondas por semelhança àquelas que vemos formarem-se na água quando aí se joga uma pedra [...]. (HUYGENS apud MARTINS, 1986, p. 12).

Embora o movimento das ondas sonoras fosse produzido pela vibração de um corpo inteiro, ou parte considerável dele, as ondas de luz nascem do movimento de cada ponto do objeto luminoso, para que se possam perceber todas as diferentes partes desse objeto. Desse modo, os pontos da superfície do corpo comunicariam essa agitação aos corpúsculos do éter que os envolvem (SILVA, 2007; MARTINS, 1986, p. 16-17).

Huygens explica que a matéria onde a luz se propaga, que ele chama de etérea, é diferente da matéria que serve para a propagação do som. Quando se retira o ar de um recipiente de vidro, não se ouve mais a propagação do som, entretanto, é possível enxergar no seu interior. Isso significa que não houve propagação do som através do vazio, mas ali permaneceu outro tipo de matéria, a etérea, que permite a propagação da luz (SILVA, 2007; MARTINS, 1986, p. 17). Essa discussão sobre o vazio é bastante famosa e foi muito importante durante o século XVII. Diversos pensadores defendiam que era impossível haver o vazio na natureza, e mesmo quando se retirava o ar de um recipiente, ainda assim, ali permanecia outro tipo de matéria etérea (MARTINS, 1989, 1989).

Tal matéria etérea era formada por corpúsculos de éter que estavam em constante movimento. Os corpúsculos ficavam distribuídos de maneira aleatória no espaço, o que fazia as ondas propagar-se em todas as direções. O movimento de pulsos no éter não consistia no transporte dos corpúsculos em si, apenas de uma pequena vibração, transmitida aos corpúsculos vizinhos.

Portanto, Huygens concebia a luz como uma perturbação mecânica que se propagava por meio de forças de contato entre corpúsculos (SILVA, 2007). Com essa teoria ele conseguiu explicar fenômenos como a propagação retilínea da luz, a refração e a reflexão. Outros filósofos naturais de sua época também defendiam a luz como um tipo de onda no éter. Porém a teoria de Newton, que defendia uma natureza corpuscular para a luz, foi a mais aceita e defendida pelos homens da ciência ao longo do século XVIII.

Newton e os corpúsculos da luz

A teoria da luz de Isaac Newton (1642-1727), elaborada no final do século XVII, tornou-se muito importante no século seguinte, tanto pelas explicações que Newton fornecia para o comportamento e para a natureza da luz, como pelo método experimental que ele apresentou em sua obra *Optics* (1704).²² Não seria exagero dizer que o livro *Principia* (1687)²³ foi considerado pelos dois séculos que seguiram à sua publicação o modelo de como fazer física matemática; enquanto sua obra *Optics* (1704) tornou-se o modelo de como fazer física experimental (COHEN; WESTFALL, 2002, p. 14-15).

Embora o *Optics* só tenha sido publicado em 1704, as idéias de Newton acerca da natureza da luz desenvolveram-se desde meados da década de 1660. Seu famoso *notebook*, iniciado por volta de 1664, traz as *Quaestiones quaedam philosophicae* (certas questões filosóficas), cujas anotações revelam um constante questionamento e algumas propostas de investigação, que já sugeriam experimentos implícitos. No item “da Luz” Newton refuta a idéia cartesiana de a luz ocorrer por pressão, utilizando vários argumentos, por exemplo:

*A luz não pode ocorrer por pressão, pois nesse caso enxergaríamos tão bem ou melhor à noite do que de dia. [...] Não poderia haver refração, uma vez que a mesma matéria não pode fazer pressão em dois sentidos [...]*²⁴

O primeiro artigo de Newton publicado sobre a formação das cores foi “Nova teoria sobre luz e cores”, em 1672.²⁵ Ele apresentou uma abordagem matemática e geométrica do fenômeno da dispersão da luz branca em um prisma, defendendo a hipótese de a luz branca ser composta pela mistura dos raios das demais cores. Quatro outros filósofos naturais, pelo menos, haviam apresentado discussões **qualitativas** para tal fenômeno: René Descartes em *La Dioptrique* (1637); Robert Boyle em *Experiments and considerations touching colours* (1664); Francesco Grimaldi, postumamente publicado em *Physico-mathesis de lumine* (1665) e Robert Hooke em *Micrographia* (1665) (SILVA; MARTINS, 1996). O tipo de abordagem matemática presente no artigo de 1672 não era usual entre os outros filósofos naturais envolvidos nesse campo e mostra a crescente

²² Newton (1704). O *Optics* foi publicado em inglês, fato que contribuiu para sua difusão e popularização. A razão de Newton ter esperado tanto tempo para publicá-lo foi o enorme desgaste que viveu com as controvérsias, especialmente com Robert Hooke, depois que apresentou suas primeiras idéias acerca da luz (COHEN; WESTFALL, 2002, p. 212-13).

²³ O *Principia* (pronuncia-se prinquípia, pois o “c” em latim tem som de “q”) foi publicado em latim e o título completo é *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* (princípios matemáticos da filosofia natural), também chamado de *Principia Mathematica*, é uma obra em três volumes publicada em 1687. Ele é considerado por muitos historiadores da ciência o livro científico de maior influência já publicado.

²⁴ Newton apud McGuire e Tamny (1983), reproduzido em Cohen e Westfall (2002, p. 28).

²⁵ Publicado nas *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*. Veja a tradução comentada desse artigo em Silva e Martins (1996).

importância de um tratamento experimental e matemático, que seria depois consagrado em sua *Óptica* (1704).²⁶

Quando tal episódio é apresentado em situações de ensino, geralmente enfatiza-se que o experimento com o prisma foi suficiente para elaborar a teoria das cores. Os livros didáticos em geral o apresentam como se fosse óbvio concluir que a luz branca seria composta da mistura de sete outras cores (SILVA; MARTINS, 2003). Apenas observando o fenômeno, não era possível concluir que a luz branca se “dividia” nas demais cores, pois outros pensadores do período argumentavam que o prisma poderia modificar a luz branca ou adicionar a ela novas características (SILVA; MARTINS, 2003).

Segundo outras teorias já existentes na época, a luz poderia ser ou parecer branca em sua forma pura como provém do Sol. Porém ela era modificada e passaria a parecer colorida quando atravessava meios transparentes ou era refletida pelas superfícies dos corpos (COHEN; WESTFALL, 2002, p. 210). Apenas o experimento com o prisma não foi suficiente para Newton argumentar que a luz branca era heterogênea. Foram necessários outros experimentos, além de uma análise bastante sofisticada, para compor a argumentação de Newton.²⁷

A heterogeneidade da luz e a diferente refrangibilidade dos raios coloridos fundamentavam-se no atomismo, ou seja, na crença de que “todos os fenômenos da natureza provêm do rearranjo de partículas que, por sua vez, permanecem inalteradas” (COHEN; WESTFALL, 2002, p. 211). Newton recebeu críticas de seus contemporâneos que defendiam concepções de mundo diferentes. Robert Hooke, por exemplo, criticou a teoria newtoniana das cores, pois acreditava que a concepção corpuscular da luz estava implícita nela (COHEN; WESTFALL, 2002, p. 213). Hooke concebia a luz como um tipo simples de vibração não-periódica no éter. Para ele a luz colorida era uma modificação que a luz branca sofria ao ser refratada pelo prisma (SILVA; MARTINS, 2003, p. 60). Hooke, como Descartes e Huygens, foi um dos filósofos do período que deu ênfase ao meio existente entre o objeto e o observador que permitia a propagação da luz. Para eles, ainda que de modos diferentes, o éter era o ente responsável pela propagação da luz.

A síntese das idéias de Newton sobre a luz e seus fenômenos foi publicada na *Optics* (1704). A obra era composta de três livros: no livro I, ele escreveu sobre óptica geométrica e defendeu a heterogeneidade da luz branca; no livro II, deu ênfase ao fenômeno hoje conhecido

²⁶ Shapiro (1984), no trabalho “Experimentação e matemática na teoria newtoniana da cor”, reproduzido em Cohen e Westfall (2002, p. 237-50).

²⁷ Não vamos reproduzir aqui o trabalho realizado por Silva e Martins (2003), mas recomendamos a leitura do texto ao professor. Ele traz justamente um exemplo da aplicação da história da ciência para discutir as componentes da visão contemporânea sobre a natureza da ciência listadas por Pumfrey (1991). Além de esclarecer as características do debate e a complexidade do processo, pode auxiliar o professor a desenvolver diferentes atividades didáticas a partir dele.

como “anéis de Newton”, e no livro III abordou a difração – que ele chamava de inflexão da luz –, ao final do qual inseriu as famosas questões (*queries*) (NEWTON, 1952).

Ele utilizou as questões para expor idéias que não estavam totalmente claras, de modo a não se comprometer, apresentado-as como propostas para serem respondidas depois. As questões 28 e 29, relativas à natureza da luz, mostram a ligação entre sua teoria das cores e uma concepção corpuscular da luz, aspecto criticado por Hooke. Newton rebateu a crítica de Hooke e disse que qualquer teoria da luz – ondulatória ou corpuscular – teria que se adaptar à heterogeneidade, que era um fato “comprovado” para ele. A heterogeneidade da luz deveria ser compatível tanto com a teoria corpuscular como com aquelas que defendiam a propagação de pulsos no éter (COHEN; WESTFALL, 2002, p. 213).

A formação dos anéis de Newton é outro exemplo do modo simplificado como a teoria de Newton costuma ser apresentada em ambiente escolar. As descrições normalmente sugerem que sua teoria da luz não recorre ao éter, entretanto, o éter tem papel fundamental na explicação desse fenômeno: a formação dos anéis coloridos nas películas finas. No artigo “A hipótese da luz” (COHEN; WESTFALL, 2002, p. 30-54), enviado à Royal Society de Londres em 1675, Newton tratou enfaticamente da interação da luz com o éter. Além de explicar fenômenos como a refração e a reflexão, ele analisava também fenômenos elétricos e térmicos, incluindo os do calor e os elétricos (MOURA; SILVA, 2008a).

Segundo Moura e Silva (2008a), Newton estabeleceu cinco considerações a respeito da natureza do éter e de sua interação com a luz:

- Existiria um meio etéreo no Universo responsável pelos fenômenos ópticos, elétricos, pela gravitação e outros.
- O éter seria capaz de sustentar movimentos vibratórios.
- O éter penetraria nos pequenos poros dos corpos, sendo que o corpo que possuísse menos poros (como o vidro) teria menos éter em sua composição, sendo um meio mais fortemente refrator que os outros que possuíam mais poros, como o ar.
- A luz consistiria em raios sucessivos, que diferiam uns dos outros em aspectos como “grandeza, forma ou vigor”.
- A luz interagiria com o éter. Para Newton, a luz seria capaz de causar vibrações de diversas intensidades no éter, que interfeririam no movimento dos raios de luz, provocando a reflexão ou refração.

Newton dizia que são as vibrações produzidas quando os “raios” de luz atravessam a superfície entre dois meios que fazem surgir os anéis coloridos. Ele não falava em partículas na explicação desse experimento, ao contrário, fica claro que ele está falando

sobre vibrações do éter que acompanham os “raios” (MOURA; SILVA, 2008a). Tais considerações sobre o éter eram fundamentais para explicar os fenômenos da refração, reflexão e “anéis de Newton”.

Portanto, podemos concluir que a teoria corpuscular de Newton não dispensava a existência de um éter para a explicação dos fenômenos ópticos. Entre publicações e manuscritos existem vinte e três trabalhos de Newton falando sobre óptica, datados entre 1660 e 1742. Nesses trabalhos, é possível perceber que em alguns momentos Newton recorre ao éter para explicar alguns fenômenos, por outro lado, o éter não é mencionado na explicação de outros.

Sua teoria das cores explicava que a luz branca era composta pelas outras cores que eram separadas ao atravessar o prisma. Essa separação das cores ocorria devido à diferente refrangibilidade de cada cor. Alguns de seus contemporâneos acreditavam que o prisma modificava a luz branca quando essa interagia com ele, e Newton também acreditava nisso quando começou seus estudos sobre esse fenômeno.

O estudo sobre o experimento com o prisma permite mostrar como um único fenômeno pode produzir várias interpretações diferentes, ou como “A natureza não fornece evidências suficientemente simples, que permitam interpretações sem ambigüidades” (PUMFREY, 1991). A teoria de Newton era uma explicação possível, mas não era a única. Os experimentos em óptica realizados por ele foram considerados como o exemplo de “método científico” a ser seguido, mas o “fazer científico” é de fato muito mais complexo do que normalmente vemos nos livros didáticos.

Nesse período estava delineando-se a concepção moderna de ciência e o método experimental de Newton foi considerado um modelo, o melhor método para a filosofia natural, para a ciência. Newton dizia que retirava suas conclusões a partir da observação “neutra” dos fenômenos e, do resultado obtido, formulava os conceitos e teorias (COHEN; WESTFALL, 2002, p. 145-50). Mas será que isso é tão óbvio assim? Pensemos em algumas questões:

- Esses fenômenos eram tão óbvios que ofereciam uma única interpretação possível?
- Havia filósofos naturais que apresentavam explicações ou interpretações diferentes para os mesmos fenômenos?
- Existe uma única explicação possível para os fenômenos naturais?
- A natureza fornece evidências suficientemente simples, que permitam interpretações sem ambigüidades?
- Você consegue imaginar por quais motivos a teoria de Newton foi amplamente aceita no século XVIII?
- Será que existe um método experimental que nos conduza à verdadeira explicação sobre um fenômeno?
- Se o método não fosse válido, como a ciência poderia ter evoluído tanto?

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

Ao longo do século XVIII houve grande predominância na crença da teoria corpuscular, entretanto, essa teoria não dava conta de explicar alguns fenômenos e isso fornecia bons argumentos para os poucos que defendiam uma proposta ondulatória para a natureza da luz, como Leonhard Euler (1707-1783), por exemplo.²⁸

De modo geral, a teoria corpuscular postulava que a luz era composta por minúsculas partículas emitidas pelos corpos luminosos que viajavam através do espaço vazio e dos corpos transparentes. Outra teoria de tipo ondulatório concebia a luz como uma onda que se propagava no éter luminífero, substância material muito sutil, que preenchia os espaços entre os corpos materiais.

Essas teorias rivais possuíam inúmeras diferenças em seus pressupostos fundamentais, sendo que uma delas refere-se à natureza e à propagação da luz. Na teoria corpuscular tínhamos a luz com caráter material, não necessitando de nenhum meio de propagação, enquanto na teoria ondulatória a luz seria uma vibração que se propagava em um meio material, o éter luminífero, o veículo para a luz.

Escolher entre tais pressupostos implicava a aceitação de concepções distintas acerca do funcionamento do Universo. Para algumas correntes de pensamento, a aceitação de espaços vazios trazia implícita a aceitação de ação a distância entre os corpos materiais.²⁹ Tal debate esteve presente desde a Antiguidade grega, com os atomistas defendendo a existência de espaços vazios, impensáveis para Aristóteles e outras escolas de pensamento. No século XVII Descartes negou a existência do vácuo, enquanto Newton foi criticado por diversos contemporâneos por aceitar a ação a distância entre corpos separados por um espaço vazio (DOBBS, 1975, p. 210; MARTINS, 1989, 1993b, 1998; FORATO, 2006).

No início do século XIX o debate entre as teorias ondulatória e corpuscular para a natureza da luz reacendeu a questão da existência, ou não, de espaços vazios. Aceitar a teoria ondulatória significava aceitar, por exemplo, que havia um tipo de matéria entre o Sol e a Terra, o éter luminoso. Não era possível entender a existência de ondas no “nada”, como o “nada” poderia ondular? Porém, além do debate entre a existência ou não do vazio, abolir a teoria corpuscular para a natureza da luz significava fragilizar um corpo bem articulado de conhecimento, desenvolvido por pensadores do século XVIII a partir da doutrina newtoniana.

Ao longo do século XVIII os físicos entendiam que a ciência era culminação da tradição newtoniana (FOX, 1975). D’Alembert, Euler, Lagrange e Laplace foram os principais articuladores

²⁸ Newton havia construído uma doutrina notável que parecia responder a todos os problemas acerca do funcionamento do Universo (FOX, 1975).

²⁹ A existência ou não do vácuo é um problema discutido pelo homem desde a Antiguidade grega. Entre os filósofos pré-socráticos, os atomistas foram os únicos a defender a existência de espaços vazios. Veja em Martins (1989, 1998).

do newtonianismo na França. Eles desenvolveram as ferramentas matemáticas fundamentais para estabelecer as bases da física a partir do legado de Newton. Havia grande preocupação entre os newtonianos em eliminar as questões metafísicas de sua doutrina.

A física laplaciana buscava explicar todos os fenômenos, tanto terrestres como celestes, em termos de forças centrais entre as partículas. As forças eram exercidas tanto pela matéria comum como pela imponderável. A luz era explicada no sistema laplaciano do mesmo modo que os outros fluidos imponderáveis: o calor, a eletricidade e o magnetismo. Tais fluidos consistiam em partículas que se repeliam mutuamente, mas eram atraídos pela matéria comum, desde que em ambos os casos as distâncias entre as partículas fossem muito pequenas. Os modelos elaborados por Laplace permitiam um tratamento com equações diferenciais, tanto para os fenômenos já conhecidos, como na previsão dos novos (FOX, 1975). Negar a teoria corpuscular da luz significava uma ruptura nos alicerces desse magnífico edifício científico.

Podemos ainda mencionar outros fatores e interesses distintos que estavam em jogo nesse momento, por exemplo:

- Havia alguns experimentos ópticos, por exemplo a difração e a interferência, que não eram explicados satisfatoriamente pela teoria corpuscular (PIETROCOLA, 1993b).
- Existia também uma importante corrente de investigação relacionada às observações astronômicas, que desde o século XVII procurava detectar o movimento da Terra em relação ao éter. Tais experimentos poderiam ajudar a decidir entre as teorias (PIETROCOLA, 1993b).
- A mudança nos critérios de cientificidade, ou seja, a aceitação da formulação de hipóteses na investigação científica confrontava diretamente a visão que predominava sobre o método experimental newtoniano, até então exaltado e imitado por todos (FOX, 1975).
- Buchwald (1989) critica a visão histórica padrão, segundo a qual a teoria corpuscular da luz era mais fraca perante sua oponente, a teoria ondulatória, em gerar resultados quantitativos. Para ele o processo é bem mais profundo, pois, além de a teoria ondulatória apresentar ferramentas quantitativas para a explicação dos fenômenos, as frentes de onda substituíram os raios de luz como ferramentas de análise. A complexidade da relação entre a natureza de um raio e o raio luminoso afeta os conceitos ópticos fundamentais.

Não aprofundaremos em nossa seqüência didática nenhuma dessas discussões. Mas é importante lembrar como diversos fatores estão presentes na elaboração do conhecimento científico. Vamos mostrar aos alunos alguns acontecimentos que envolveram a crescente

aceitação da teoria ondulatória entre os homens da ciência no início do século XIX, buscando refletir sobre como se dá a construção do conhecimento científico:

- O experimento de difração de Thomas Young (1773-1829) e a dificuldade em explicá-lo utilizando a teoria corpuscular (PIETROCOLA, 1993b).
- Os resultados encontrados por experimentos realizados por François Arago (1786-1853), que também não eram explicados pela teoria corpuscular (PIETROCOLA, 1993b).
- O prêmio proposto pela Academia de Ciências francesa em 1817 para o melhor trabalho sobre o fenômeno da difração, cujo vencedor foi Augustin Fresnel (1788-1827) com um trabalho que defendia a teoria ondulatória (PIETROCOLA, 1993b; WHITTAKER, 1953).
- O prestígio de Arago e seu apoio a Fresnel contribuindo para a apresentação de sua teoria à comunidade científica da época (LEVITT, 2000).
- O papel do éter luminífero na teoria ondulatória para a natureza da luz (WORRAL, 1994).

Ao longo do século XIX o éter luminífero teve papel fundamental em diversas teorias científicas. Porém, numa época em que prevalecia a necessidade de encontrar na natureza as respostas para todas as indagações humanas, aceitar algo que não poderia ser verificado experimentalmente era um grande problema. Muitos cientistas realizaram vários experimentos tentando verificar se o éter existia ou não. Alguns resultados foram favoráveis, mas outros não mostraram qualquer evidência (MARTINS, 2006b; WORRAL, 1994; WHITTAKER, 1953).

Mais tarde, com a teoria da relatividade, acabou-se por enfraquecer a crença no éter, sem, entretanto, ter-se provado, ou não, sua existência. Alguns cientistas continuaram elaborando teorias utilizando o éter no século XX, porém elas não tiveram impacto relevante na comunidade científica (MARTINS, 1993, 2002, 2006b). Os debates acerca da natureza corpuscular ou ondulatória da luz foram retomados por ocasião dos estudos sobre o efeito fotoelétrico, e novas teorias foram propostas para a natureza da luz.

A intenção de levar alguns desses fatos aos alunos é, principalmente, discutir aspectos da natureza da ciência, mostrando um pouco da complexidade que envolve a construção do conhecimento científico. Pretende-se discutir os aspectos acerca da natureza da ciência propostos por Pumfrey (1991) enfatizando, principalmente:

- uma observação significativa não é possível sem uma expectativa preexistente;
- a natureza não fornece evidências suficientemente simples que permitam interpretações sem ambigüidades.

O texto elaborado para os alunos trará também outros benefícios, como permitir retratar a ciência como uma construção humana; mostrar que, embora as teorias científicas não sejam “provadas definitivamente”, elas são conclusões a partir de um trabalho especializado, que exige muito investimento, que recorre a experimentos, muitos estudos teóricos, e uma fundamentação bastante rigorosa da linguagem matemática, mas que recebe, também, influências culturais e sociais de cada período e povo.

Este relato histórico, preparado para apoiar a seqüência didática e desempenhar a função de um roteiro para auxiliar o professor, termina com o verbete para *ether*, elaborado por James C. Maxwell para a *Encyclopaedia Britannica*, no final do século XIX:

Éter ou Aether (αιθηρ provavelmente de αιθω eu imagino) uma substância material de um tipo mais sutil do que os corpos visíveis, que supostamente existe nas partes aparentemente vazias do espaço. [...] Quaisquer dificuldades que possamos ter para formar uma idéia consistente sobre a constituição do éter, não há dúvida de que os espaços interplanetários e interestelar não são vazios, mas são ocupados por uma substância ou corpo material, que é certamente o maior, e provavelmente o corpo mais uniforme que conhecemos. Se esta vasta extensão homogênea de matéria isotrópica é tida não somente como um meio para as interações físicas entre corpos distantes, mas também para cumprir outras funções físicas sobre as quais, talvez, não tenhamos nenhuma concepção ainda, mas também [...] para constituir os organismos materiais dos seres exercendo funções na vida e na mente tão grandes ou maiores do que as nossas não no presente – é uma pergunta que transcende em muito os limites da especulação física.³⁰

Referências bibliográficas

BERNARDO, L. M. Concepções sobre a natureza da luz no século XVIII em Portugal. *Revista da SBHC*, n. 19, p. 3-12, 1998.

³⁰ Maxwell, J. C. “Ether”, *Encyclopaedia Britannica*, Ninth Edition, 1875-89. Nossa versão para: Ether or Aether (αιθηρ probably from αιθω I burn) a material substance of a more subtle kind than visible bodies, supposed to exist in those parts of space which are apparently empty [...] Whatever difficulties we may have in forming a consistent idea of the constitution of the aether, there can be no doubt that the interplanetary and interstellar spaces are not empty, but are occupied by a material substance or body, which is certainly the largest, and probably the most uniform body of which we have any knowledge. Whether this vast homogeneous expanse of isotropic matter is fitted not only to be a medium of physical interaction between distant bodies, and to fulfill other physical functions of which, perhaps, we have as yet no conception, but also [...] to constitute the material organism of beings exercising functions of life and mind as high or higher than ours are at present – is a question far transcending the limits of physical speculation.

BUCHWALD, J. Z. The battle between Arago and Biot over Fresnel. *Journal of Physics*, 20: 109-117, 1989a.

CANTOR, G. N.; HODGE, M. J. S. (eds.). *Conceptions of ether. Studies in the history of ether theories. 1740-1900*. Cambridge /London /New York: Cambridge University Press, 1981.

CHALMERS, A F. *O que é ciência afinal?* Trad. Raul Fiker. São Paulo: Brasiliense, 1993.

COHEN, B.; WESTFALL, R. S. *Newton: Textos, Antecedentes, Comentários*. Trad. Vera Ribeiro. Rio de Janeiro: Contraponto; EDUERJ, 2002.

COHEN, M. R.; DRABKIN, I. E. (Eds.). *A source book in the Greek science*. Cambridge: Harvard University Press, 1958.

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

FORATO, Thaís Cyrino de Mello. Os “poderes ocultos” da matéria e a gravitação universal. *Scientific American. História: Os grandes erros da ciência*. 6: 38-43, 2006.

_____; MARTINS, Roberto de A.; PIETROCOLA, Maurício. Teorias da luz e Natureza da ciência: elaboração e análise de curso aplicado no ensino médio. In MARTINS, A. et al. *A pesquisa de física e a sala de aula: articulações necessárias*. XI EPEF, Curitiba, SBF, UTFPR, UFPR. São Paulo: Sociedade Brasileira de Física, 2008, p. 65.

_____; PIETROCOLA, Maurício; MARTINS, Roberto de A. Alguns debates históricos sobre a natureza da luz: discutindo a natureza da ciência no ensino. In: *VI Encuentro AFHIC*, 2008, Montevideo. Congresso Internacional de la Asociación de Filosofía e Historia de la Ciencia del Cono Sur. Montevideo: Imprenta Gega, 2008. p. 55.

_____; MARTINS, Roberto de A.; PIETROCOLA, Maurício. The nature of science at physics teaching: a study of luminiferous ether on nineteenth century. In: *International Conference on Physics Education*. Proceedings of ICPE 2007. Marrakesh (no prelo).

_____; PIETROCOLA, M. O Arrastamento Parcial do Éter de Fresnel como Explicação Científica. In NARDI, R.; BORGES, O. (orgs.) *Atas do V Encontro Nacional Pesquisa em Educação em Ciências – ABRAPEC*, Bauru, 2005. CD-ROM.

FOX, R. The rise and fall of laplacian physics. *History Studies in the Physical Science*. 4: 89-136, 1975.

FRESNEL, A. Lettre d’Augustin Fresnel à François Arago sur l’influence du mouvement terrestre dans quelques phénomènes d’optique. *Annales de Chimie et de Physique*. 9 : 57–66 ; 286, 1818.

_____. *Oeuvres Complètes d’Augustin Fresnel*. Henri de Senarmont, Émile Verdet et Léonor Fresnel, eds. Vol. 2, Paris, Imprimerie Impériale, 1868. 3 vols.

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

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

LEVITT, T. Editing out caloric: Fresnel, Arago and the meaning of light. *British Journal of the History of Science* 33 (116): 49-65, 2000.

LINDBERG, D. C. *Theories of vision from Al-Kind to Kepler*. Chicago: University of Chicago Press, 1976.

_____. *The Beginnings of Western Science: the European scientific tradition in philosophical, religious, and institutional context, 600 B.C. to A.D. 1450*. Chicago: University of Chicago Press, 1992.

MARTINS, Roberto de Andrade (trad.). “Tratado sobre a luz, de Christiaan Huygens”. *Cadernos de História e Filosofia da Ciência* (suplemento 4): 1-99, 1986.

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

_____. Em busca do nada: considerações sobre os argumentos a favor do vácuo ou do éter. *Trans/Form/Ação*. 16: 7-27, 1993.

_____. *O Universo: teorias sobre sua origem e evolução*. São Paulo: Moderna, 1996; (capítulos 1 a 3). Disponível em: <<http://www.ifi.unicamp.br/~ghtc/Universo/>>

_____. Descartes e a Impossibilidade de ações à Distância, in S. Fuks, ed., *Descartes 400 anos. Um Legado Científico e Filosófico*, Rio de Janeiro, Relume Dumará, 1998, p. 79-126.

_____. 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.

_____. O retorno do éter. *Scientific American Brasil*, vol. 2, p. 27, julho de 2002.

_____. “A Torre de Babel científica”. *Scientific American – Os Grandes Erros da Ciência*, Especial História vol 6: 6-13, 2006 a.

_____. “Do éter ao vácuo e de volta ao éter”. *Scientific American – Os Grandes Erros da Ciência*, Especial História vol 6: 92-98, 2006 b.

_____. *O éter e a óptica dos corpos em movimento: a teoria de Fresnel e as tentativas de detecção do movimento da Terra (1818-1880)*. Texto não publicado.

MARTINS, Roberto de Andrade. O surgimento da teoria da relatividade restrita. In: CARDOSO, Walmir Thomazi; SILVA, Cibelle Celestino (Eds.). *Tópicos de história das ciências naturais*. São Paulo: Editora Manole (no prelo).

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

MAYRARGUE, A. “Fresnel and optical ether”. *La Recherche*, 21 (218): 234-237, 1990.

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

MOURA, B. A.; SILVA, C. C. A teoria dos estados da luz: Um estudo dos papéis das hipóteses na óptica newtoniana. In: MARTINS, R.A.; SILVA, C.C.; FERREIRA, J.M.H.; MARTINS, L.A.-C.P. *Filosofia e História da Ciência no cone Sul: seleção dos trabalhos do 5º Encontro*. Campinas: Associação de Filosofia e História da Ciência do Cone Sul, 2008a.

NASCIMENTO, U. “On the Trail of Fresnel’s Search for an Ether Wind”. *Apeiron*, 5: 181-192, 1998.

NERSESSIAN, N. J. “Aether/or: The Creation of Scientific Concepts”. *Studies in the History and Philosophy of Science*, 15: 175-212, 1984.

OLIVEIRA, Maurício Pietrocola. P. *Mascart et l’Optique de corps en Mouvement*. Tese de Doutorado. Paris, Université de Paris, 1992.

_____. O éter luminoso como espaço absoluto. *Cadernos de História e Filosofia da Ciência*. [série 3] 3 (1/2): 163-182, 1993a.

_____. Fresnel e o arrastamento parcial do éter: a influência do movimento da Terra sobre a propagação da luz. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*. 10 (2): 157-172, 1993b.

_____. 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.

PARK, D. *The fire within the eye: a historical essay on the nature and meaning of light*. Princeton University Press, 1997.

PIETROCOLA, M. O espaço pleno e a concepção do éter. *A Física na Escola*, vol. 3, n. 2, outubro de 2002.

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.

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

SABRA, A. I. *Theories of light from Descartes to Newton*. London: Cambridge University Press, 1981.

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

____; MARTINS, R. de A. A “Nova teoria sobre luz e cores” de Isaac Newton: uma tradução comentada. *Revista Brasileira de Ensino de Física* 18 (4): 313-27, 1996.

____; _____. A teoria das cores de Newton: um exemplo do uso da história da ciência em sala de aula. *Ciência & Educação*, 9 (1): 53-65, 2003.

SILVA, F. W. O. A evolução da teoria ondulatória da luz e os livros didáticos. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 29, n. 1, 2007.

SWENSON, Loyd S. *The ethereal Aether – a history of the Michelson-Morley-Miller aether drift experiments, 1880-1930*. Austin, University of Texas Press, 1972.

WEINBERG, S. Can science explain everything? Anything? *The New York Review of Books*. 48 (9), 2001. Disponível em: <www.nybooks.com/articles/14263>. Acesso em: 10/06/05. Trad. Brasileira de José Marcos Macedo. *Os limites da explicação científica*. Disponível em: <www.cfh.ufsc.br/~wfil/limit.htm>. Acesso em: 10 jun. 05.

WHITTAKER, E. T. *A history of the theories of Aether and electricity*. London, Nelson, 1953. 2 vols.³¹

WORRALL, J. How to remain (reasonably) optimistic: Scientific realism and the luminiferous ether. *PSA: Proceedings of the Biennial Meeting of the Philosophy of Science Association*. 1: 334-342, 1994.

³¹ Reprinted as vol. 7 in the series *The history of modern physics, 1800-1950*. Thomas Publishers/American Institute of Physics, 1987.

Apêndice B: Curso proposto

B.1. Planejamento pedagógico da seqüência didática – versão proposta

Objetivo geral:

Promover a discussão e reflexão sobre alguns aspectos selecionados da natureza da ciência utilizando a história da ciência.

Objetivo específico:

Ao final do curso pretende-se que o aluno tenha refletido, discutido e “vivenciado” os seguintes componentes da visão contemporânea sobre a natureza da ciência:

- a natureza não fornece dados suficientemente simples que permitam interpretações sem ambigüidades;
- observações são influenciadas teoricamente;
- a ciência é uma atividade humana influenciada pelo contexto sociocultural de cada época;
- teorias científicas não podem ser provadas e não são elaboradas unicamente a partir da experiência;
- o conhecimento científico baseia-se fortemente, mas não inteiramente, na observação, evidência experimental, argumentos racionais e ceticismo, ou seja, embora as teorias científicas não sejam “provadas definitivamente”, elas são conclusões a partir de um trabalho especializado, que exige muito investimento, que recorre a experimentos, muitos estudos teóricos, e uma fundamentação matemática bastante rigorosa.

Proposta pedagógica:

O curso é voltado para alunos do ensino médio, adaptável ao início da graduação ou ao final do ensino fundamental II. Os aspectos da natureza da ciência são trabalhados em episódios históricos diferentes e por meio de distintas estratégias pedagógicas permitindo que o aluno tenha contato com eles em diversos momentos. Busca-se com isso tornar o aluno partícipe do processo, seja pela leitura e discussão dos textos, pelo debate entre grupos, pela participação de um teatro proposto ou pelas produções culturais. As questões colocadas ao final dos textos pretendem ser provocativas, criar conflitos, levantar polêmicas e promover a reflexão e a motivação sobre os temas tratados. Não são questões meramente interpretativas, ou seja, não se espera que o aluno encontre todas as respostas no texto, mas que reflitam, questionem, discordem e argumentem a partir dele. O curso favorece o desenvolvimento de competências, como por exemplo, a construção de argumentação utilizando conhecimentos sobre a ciência e o planejamento e execução de tarefas em grupo, dentre muitas outras. Há também outros benefícios implícitos no curso, como discutir

conceitos e teorias físicas, aumentar a cultura histórica geral do aluno, promover interfaces com distintas disciplinas.

Episódio I: Um pouco sobre a luz na Antiguidade grega

Objetivos:

Criticar a visão normalmente aceita de que as leis são propriedades da natureza, previamente existentes, cabendo aos homens descobri-las. O aluno deve compreender que:

- a natureza não fornece evidências suficientemente simples que permitam interpretações sem ambigüidades;
- as explicações criadas pelos filósofos estudados estavam vinculadas ao modo como cada um entendia o funcionamento do Universo;
- os pensadores não construíam deduções incontestáveis, mas sim hipóteses para explicar os fenômenos naturais.

Quadro Sintético:

ATIVIDADE	MOMENTOS	TEMPO
1. Linha cronológica	Jogo “colocando na linha do tempo”.	2
	Apresentar a linha cronológica: “Viagens pela história da ciência: as múltiplas faces da construção do conhecimento”.	
	Quebra-cabeça com o texto 1: “A filosofia e as explicações para o funcionamento da natureza”.	
2. A luz na Antiguidade Grega	Apresentação de algumas teorias da luz e da visão: <i>Slides</i> “Gregos”.	1,5
	Leitura do texto 2: “Um pouco sobre a luz na Antiguidade grega”.	
	Responder em grupo às questões do texto 2.	
3. Sistematização	Discussão e correção das respostas.	0,5
	Síntese do episódio.	
	Total	4 aulas

Descrição das Atividades:

Atividade 1 – Linha Cronológica

Objetivo: Introduzir o tema do curso, localizar no tempo os pensadores e os episódios a serem tratados, apresentar uma visão geral da história da ciência como construída no contexto de cada época.

Conteúdo: Imagens de pensadores que permitem apresentar uma visão de ciência construída por diversos povos, no contexto sócio-cultural de cada época. Imagens de filmes épicos para facilitar a localização temporal dos episódios estudados.

Recursos de Ensino: Cartões com pensadores e eventos históricos (anexos ao planejamento); faixa de 1,0 m x 6,0 m contendo linha cronológica: “Viagens pela história da ciência: as múltiplas faces da construção do conhecimento”.

Dinâmica da Atividade: Para iniciar o curso, o professor entrega alguns cartões com filósofos e eventos históricos bem conhecidos e pede que os alunos os coloquem numa seqüência cronológica. Os cartões trazem o nome do pensador, algum fato marcante de sua vida e uma “pista” sobre a época em que teria vivido. São pensadores de distintos povos, como árabes, indianos e chineses, para permitir discussões sobre sua contribuição na construção da ciência. A seguir, o professor apresenta a faixa contendo a linha cronológica, fixando-a na parede da sala, onde deve permanecer durante o curso, e pede para os alunos compararem com sua montagem. Ele discute as respostas dos alunos e explica a linha do tempo, comentando alguns períodos da história da ciência, especialmente os que serão tratados no curso. Introduz o assunto do curso: três episódios da história da óptica, tratando de alguns aspectos da natureza da luz. Essa atividade é uma oportunidade para ressaltar a ciência como uma atividade humana que vem sendo construída ao longo da história e sujeita a influências culturais de diversos povos e época. **IMPORTANTE:** as imagens dos pensadores que compõem a linha do tempo NÃO RETRATAM APENAS O TEMA DO CURSO. Alguns filósofos da antiguidade, pensadores medievais, filósofos naturais e cientistas que integram a faixa deram contribuições à história da óptica, mas há também muitos personagens históricos vinculados a outros campos do conhecimento humano. A faixa busca retratar uma pequeníssima amostra de alguns homens ligados à construção do conhecimento humano de diferentes épocas, diferentes povos e diferentes culturas.

O professor entrega o texto 1: “A filosofia e as explicações para o funcionamento da natureza” recortado em parágrafos, para que os alunos em pequenos grupos reconstruam o texto. Depois disso, os alunos fazem a leitura com o professor, que esclarece possíveis dúvidas.

Observações: as seguintes idéias devem ser enfatizadas nesta atividade de início do curso:

- a. vários povos contribuem para a construção da ciência;
- b. os critérios aceitos para a construção do conhecimento sobre a natureza muda de época para época e de cultura para cultura;

- c. o pensamento mítico para explicar os fenômenos naturais: seres sobrenaturais eram a causa dos fenômenos naturais. O professor comenta sobre filmes que ilustram essa interpretação da história, como *A guerra de Tróia*, *Jasão e os Argonautas* que mostram deuses e seres sobrenaturais provocando fenômenos naturais e interagindo com os homens;
- d. as contribuições gregas de Tales e seus contemporâneos para o pensamento filosófico: explicar pelo pensamento e pelo raciocínio. O professor mostra a época e alguns filósofos na linha do tempo. É possível fazer uma diferenciação com o período anterior, comentando sobre o filme *Alexandre* e a interação entre o mestre Aristóteles e seu discípulo;
- e. lembrar que a localização geográfica da Grécia na rota de diversos povos favoreceu a troca de conhecimentos com outras culturas. (Seria uma oportunidade para um trabalho integrado com história, geografia, literatura, matemática e filosofia na escola básica, trabalhando com mapas históricos, poemas épicos, relações comerciais e econômicas, sistemas de trocas e moedas, o pensamento dos pré-socráticos, os atomistas e a formação da matéria etc);
- f. a Idade Média NÃO foi a idade das trevas. Muitos conhecimentos cruciais para a chamada ciência moderna foram desenvolvidos nesse período, contando com grandes contribuições dos árabes. Como exemplo ilustrativo, o professor pode comentar sobre o “médico árabe” e seus saberes diferenciados no filme *Robin Hood* (com Kevin Costner);
- g. o século XVII como o auge da revolução científica; falar da diversidade de métodos; das contribuições do Renascimento, como a magia natural e a alquimia (essas últimas só devem ser mencionadas se o professor estiver familiarizado a tais abordagens, para não correr o risco de tratá-las de maneira preconceituosa e/ou anacrônica);
- h. nos séculos XVIII e XIX pode-se mencionar aspectos do Iluminismo, e a Revolução Industrial (outra oportunidade para desenvolver um trabalho integrado com história e literatura, por exemplo);
- i. “reviravolta” na ciência no século XX: teoria da relatividade e quântica (relembrar o efeito fotoelétrico e a dualidade onda-partícula, se os alunos já os tiverem estudado, por exemplo);
- j. algumas informações sobre a faixa: imagens dos pensadores árabes são desenhos imaginados por artistas em épocas mais recentes, pois a reprodução das figuras humanas era proibida entre os povos islâmicos; imagens dos pensadores indianos também são criações artísticas, pois na Índia a criação individual não era importante; a imagem de Hipácia de Alexandria também é uma criação, ninguém sabe nada sobre como ela seria etc.

Atividade 2 – A luz na Antiguidade grega

Objetivo: Explicar porque as pessoas que observavam um fenômeno não chegavam à mesma conclusão. Compreender que as explicações elaboradas pelos filósofos gregos eram hipóteses

vinculadas ao modo como cada um entendia o funcionamento do Universo, pois a natureza não fornece evidências que permitem uma única interpretação.

Conteúdo: A luz para Leucipo, Empédocles e Aristóteles. A diversidade de explicações.

Recursos de Ensino: Apresentação *Slides* Gregos; texto 2 “Um pouco sobre a luz na Antiguidade grega”, questões sobre o texto.

Dinâmica da Atividade: O professor propõe a questão: como os homens explicaram a luz em diferentes momentos da nossa história? Apresenta algumas das primeiras teorias sobre a luz e a visão na Antiguidade grega, utilizando os slides com imagens e animações. É importante o professor ficar atento para não parecer que as diferentes teorias são devidas à meras opiniões pessoais de cada filósofo. Pelo fato de haver grande quantidade de informação a ser discutida durante a apresentação dos *slides*, o professor pode fazer uso de estratégias para incentivar a participação dos alunos, discutindo limitações de cada teoria, e outras estratégias para tornar a aula dinâmica e não apenas meramente informativa. Entrega depois o texto 2 aos alunos e propõe que eles respondam em pequenos grupos às questões propostas.

Atividade 3 – Sistematização

O professor discute com a classe as repostas dos alunos às questões do texto 2. Nesse momento ele identifica os pontos em que os alunos demonstram insegurança ou dúvidas com relação ao assunto tratado. Ele faz a síntese do episódio, esclarecendo dúvidas e ressaltando os aspectos da natureza da ciência que são objetivo do episódio.

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

Objetivos:

- Compreender que havia diferentes teorias no período e todas eram bem fundamentadas com relação ao que se considerava como válido na investigação da natureza;
- Perceber que grandes pensadores elaboraram teorias consideradas “erradas” pela ciência atual;
- Entender que as idéias devem ser analisadas em seu contexto;
- Entender que estava se delineando a concepção moderna de ciência e o método proposto por Newton foi considerado como o melhor método para a filosofia natural, prescrevendo a suposta observação “neutra” dos fenômenos;
- Compreender que havia mais de uma interpretação possível para os fenômenos estudados e, portanto, seria ingênuo acreditar em “observação neutra”.

Quadro Sintético:

ATIVIDADE	MOMENTOS	TEMPO	
1. Fenômenos ópticos	Demonstração de fenômenos ópticos: refração, reflexão e dispersão da luz branca em um prisma; apresentação dos <i>Slides</i> “Fenômenos Ópticos”.	1,5	
2. O fenômeno das cores	Leitura do texto 3: “Newton e o fenômeno das cores”. Resolução das questões.		
		Correção das questões.	0,5
3. Onda ou corpúsculo?	Apresentação <i>dos slides</i> “Onda e Corpúsculo no XVII”.	1,0	
	Demonstração com lanternas e bolas de gude.		
	Leitura do texto 4: “Fim do século XVII: corpúsculos ou pulsos no éter?”.		
	Responder às questões do texto 4.		
4. Sistematização	Discussão sobre as questões fazendo a síntese do episódio.	0,5	
5. Debate	Preparação em grupo para o debate. Debate entre os grupos e veredicto do júri. Comentários do professor.	2,5	
		Total	6 aulas

Descrição das Atividades:**Atividade 1 - Fenômenos ópticos**

Objetivo: Rever com alunos os fenômenos ópticos que fundamentam a discussão sobre as teorias e que compõem o argumento para defender e refutar as hipóteses rivais.

Conteúdo: Reflexão da luz, refração da luz e dispersão da luz em um prisma.

Recursos de Ensino: Espelho; lanterna; objetos transparentes (lentes de vidro, plástico, copos, garrafas etc.); retroprojeto; tecido preto; prisma de acrílico; *slides* “Fenômenos Ópticos”.

Dinâmica da Atividade: O professor inicia propondo uma revisão de alguns fenômenos ópticos e demonstra a reflexão, a refração e a dispersão da luz em um prisma, ressaltando o aspecto contínuo do espectro em oposição ao famoso “sete cores” do arco-íris. Pergunta aos alunos como acham que isso ocorre, preparando a discussão sobre a controvérsia no XVII sobre o prisma modificar ou separar a luz. A seguir, ele apresenta os *slides* “Fenômenos Ópticos” com imagens dos fenômenos ópticos demonstrados e de suas representações geométricas.

Observações: Para demonstrar a reflexão luminosa, o professor pode utilizar a lanterna e o espelho, variando o ângulo de incidência da luz e chamando a atenção para a variação similar no ângulo de reflexão. Para a refração ele pode utilizar a lanterna e os objetos transparentes, ou mesmo os objetos vistos através deles. Para mostrar a dispersão da luz branca em um prisma, ele pode utilizar o retroprojetor para fornecer luz branca de intensidade adequada ao fenômeno. Com o tecido preto, cria-se um feixe de luz branca entre a superfície plana do retroprojetor e a célula que desvia a luz, projetando-a no anteparo. O prisma é colocado no orifício deixado pelo tecido preto, enviando a luz já dispersa para a célula que a projeta na parede da sala, formando um espectro alongado de cores. Depois disso, ele apresenta à classe imagens dos fenômenos luminosos da reflexão; refração e dispersão, e os *slides* com suas representações geométricas.

Atividade 2 – O fenômeno das cores

Objetivo: Justificar a possibilidade de várias explicações para um mesmo fenômeno natural. Discutir e compreender os seguintes aspectos da natureza da ciência:

- a formulação de hipóteses e a construção de modelos admitem pressupostos que influenciam a observação dos experimentos;
- a natureza não fornece evidências que permitem uma única interpretação.

Conteúdo: Conjecturas teóricas influenciando a interpretação do experimento com o prisma e a possibilidade de diferentes interpretações.

Recursos de Ensino: Texto 3: “Newton e o fenômeno das cores”; apresentação *dos Slides* “Fenômeno das Cores”.

Dinâmica da Atividade: Com os *slides*, o professor apresenta breve síntese da óptica no século XVII e imagens da dispersão da luz em um prisma. Entrega o texto 3 para os alunos e os divide em grupos para responder às questões. Se houver tempo suficiente, o professor pode pedir que eles respondam individualmente primeiro e depois se reúnam para comparar as repostas. Correção das questões: o professor ouve e comenta com toda a classe as repostas dos alunos. Nesse momento ele identifica os pontos em que os alunos demonstram insegurança ou dúvidas com relação ao assunto tratado.

Atividade 3 - Onda ou corpúsculo?

Objetivo: Justificar a existência de diferentes interpretações para um mesmo fenômeno luminoso; Utilizar o fenômeno de difração como explicação favorável à teoria de Huygens; Compreender as teorias de Huygens e Newton quanto à natureza da luz, fornecendo subsídios para a discussão e compreensão dos aspectos da natureza da ciência:

- as teorias que buscavam explicar a natureza da luz apresentavam bons argumentos, mas também limitações.
- teorias não podem ser provadas e não são elaboradas unicamente a partir da experiência.

Conteúdo: A luz como ondas no éter para Huygens, a interpretação corpuscular para teoria de Newton.

Recursos de Ensino: Texto 4: “Fim do século XVII: corpúsculos ou ondas no éter?”; *Slides* “Onda e corpúsculo no XVII”; duas lanternas; oito a dez bolas de gude.

Dinâmica da Atividade: Apresentar os *slides* “Onda e Corpúsculo no XVII” com a síntese das teorias de Newton e Huygens, ressaltando os aspectos favoráveis e as dificuldades de cada teoria, no que se refere à natureza da luz. Para ilustrar as idéias do encontro dos raios luminosos em ambas as teorias, utilizar as duas lanternas para demonstrar o cruzamento dos raios luminosos, e demonstrar a colisão entre dois feixes de bolas de gude para ilustrar o cruzamento entre dois feixes de partículas. O professor deve ressaltar como cada teoria explicava a reflexão e a refração da luz. A seguir, o professor entrega o texto 4 aos alunos e propõe que eles respondam às questões em grupo. O professor ouve e comenta com toda a classe as repostas dos alunos. Nesse momento ele identifica os pontos em que os alunos demonstram insegurança ou dúvidas com relação ao assunto tratado.

Atividade 4 – Sistematização

A correção das questões pode ser usada pelo professor pra iniciar a síntese do episódio, buscando enfatizar os aspectos em que os alunos mostraram dificuldades e ressaltando os aspectos pretendidos acerca da natureza da ciência, mostrando pontos favoráveis e dificuldades em ambas as teorias.

Atividade 5 - Debate

Objetivos:

- Vivenciar o debate entre idéias, entendendo conceitos e utilizando-os na defesa de seu ponto de vista;
- Compreender e identificar as possibilidades e limitações existentes em cada teoria;
- Construir argumentações para defender uma delas e refutar a teoria rival;
- Compreender que não existe observação neutra dos fenômenos naturais;
- Perceber que a natureza não fornece dados que permitam uma única interpretação.

Conteúdo: Aspectos da natureza da luz nas teorias de Huygens e Newton.

Recursos de Ensino: Texto 4: “Fim do século XVII: corpúsculos ou ondas no éter?”; Texto 5: “Atividade – O debate entre as teorias ondulatória e corpuscular”; e bibliografia complementar (opcional).

Dinâmica da Atividade: O professor propõe o debate entre grupos, apresenta as regras, organiza os grupos e esclarece dúvidas (Texto 5). Os grupos se reúnem para a preparação da argumentação, enquanto o restante da classe que fará o papel de júri elabora perguntas que poderão ser feitas aos grupos durante o debate. Na aula seguinte os alunos colocam-se em dois grupos diante do júri e inicia-se o debate. Os membros do júri devem fazer perguntas aos grupos para obter mais informações sobre as teorias. Ao final, o júri se reúne para escolher a teoria mais bem defendida e os argumentos mais consistentes. Depois de apresentado o veredicto, o professor comenta o debate, os argumentos utilizados, enfatiza os aspectos bem sucedidos e discute possíveis erros cometidos. (No final dessa aula, o professor deve entregar aos alunos o texto 6: “A luz e o Século das Luzes” como lição de casa. O texto deve estar recortado em parágrafos, para que os alunos o reconstruam).

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

Objetivos:

- • Compreender que as teorias não são elaboradas unicamente a partir de experimentos, mas eles são muito importantes para a construção do conhecimento científico;
- • Entender que os cientistas formulam hipóteses, constroem modelos, e admitem certos pressupostos que influenciam a observação dos experimentos;
- • Entender que a construção da ciência sofre influência de fatores não científicos;
- • Compreender o papel do éter luminífero no início do século XIX.

Quadro Sintético:

ATIVIDADE	MOMENTOS	TEMPO
1. Fazendo uma ponte	Quebra-cabeça do texto 6: “A luz e o Século das Luzes”.	Lição de casa
2. Comparando fenômenos luminosos	Demonstração de fenômenos ópticos: sombras e difração; superposição e interferência.	0,25
3. Éter luminífero	Apresentação dos <i>Slides</i> “Luz e éter no XIX”.	1
	Trecho do vídeo: Dr. Quantum – <i>Double slit experiment</i> , Disponível em: < http://www.youtube.com/watch?v=lytd7B0WRM8 >	0,25

	Texto 7: “A luz e o éter luminífero no início do século XIX”.	0,5	
	Responder às questões do texto 7. Correção das questões.	1	
4. Teatro	Apresentação do teatro texto 8: “O éter e a natureza da luz”.	2,5	
	Discussão com a classe sobre a apresentação.		
	Questões sobre o teatro.		
5. Sistematização	Sistematização do episódio	0,5	
		Total	6 aulas

Descrição das Atividades:**Atividade 1 – Fazendo uma ponte**

Objetivo: Conhecer uma descrição bastante sucinta de aspectos do século XVIII, que favorecem a compreensão dos debates que ocorreram no início do século XIX entre as teorias corpuscular e ondulatória para a luz. Resolver o quebra cabeças e ler o texto resultante visando relacionar história e ciência no séculos XVIII.

Conteúdo: Aspectos da sistematização da doutrina newtoniana realizada ao longo do XVIII.

Recursos de Ensino: Texto 6: “A luz e o Século das Luzes”.

Dinâmica da Atividade: Os alunos recebem na aula anterior o quebra-cabeça do texto 6. Como o texto está recortado em parágrafos, a leitura deve ser atenta, pois os alunos precisam reconstruí-lo.

Atividade 2 – Comparando fenômenos luminosos

Objetivos: Diferenciar sombra e difração; Identificar a interferência luminosa e superposição.

Conteúdo: Revisão de alguns fenômenos ópticos: sombras e difração; superposição e interferência.

Recursos de Ensino: Fonte intensa de luz (como a do *Data-show*, por exemplo); folhas de papel escuro com figuras geométricas recortadas no centro (triângulo, quadrado, círculo); uma folha de papel escuro com finíssima secção ao centro feita com estilete, para demonstrar a difração.

Dinâmica da Atividade: Direcionar a luz do projetor para a parede. Colocar as folhas escuras interceptando o feixe luminoso, de modo a projetar as figuras geométricas na parede. Enfatizar que a figura projetada reproduz a forma geométrica das figuras recortadas no papel. Colocar o papel

com a finíssima fenda interceptando o feixe de luz e verificar as franjas projetadas na parede. Enfatizar a diferença sem justificar (por enquanto).

Atividade 3 – Éter luminífero

Objetivos:

- Compreender que o fenômeno da interferência luminosa apontava uma limitação da teoria corpuscular para a luz;
- Entender, na medida do possível, o papel do éter luminífero na teoria ondulatória;
- Perceber a relevância do desenvolvimento matemático na teoria de Fresnel para o sucesso da teoria ondulatória;
- Conhecer aspectos da influência de fatores extra-científicos na construção da ciência;
- Entender que os experimentos desempenham um papel muito importante na construção da ciência, embora não permitam uma única interpretação para os fenômenos da natureza;

Conteúdo: Difração; superposição e interferência; rompendo com a tradição corpuscular; luz como onda para Young; o experimento de Arago; os corpuscularistas e o prêmio de Fresnel; a teoria de Fresnel e a aceitação da teoria ondulatória; o vazio e a importância do éter na teoria ondulatória.

Recursos de Ensino: Equipamento que permita projeção de vídeo disponível no *Youtube*; apresentação dos *Slides* “Luz e éter no XIX” ; texto 7: “A luz e o éter luminífero no início do século XIX”.

Dinâmica da Atividade: O professor retoma a discussão sobre a projeção das franjas de difração na parede e incentiva os alunos a explicarem o fenômeno. Inicia a apresentação dos *slides* “Luz e éter no XIX” e utiliza o início do filme *Dr. Quantum e o experimento da dupla fenda* para mostrar a diferença nos padrões de interferência esperados num anteparo, ao fazer incidir em fendas um feixe de partículas ou um feixe de ondas na água. O professor discute as limitações da teoria corpuscular na explicação do fenômeno óptico da interferência luminosa. Os alunos fazem a leitura e respondem às questões do texto 7, em grupo ou individualmente, conforme o professor considerar mais produtivo.

Atividade 4 - Teatro

Objetivo: Revisar os principais aspectos sobre a natureza da ciência tratados ao longo do curso, utilizando uma atividade pedagógica diferente.

Conteúdo: Situações fictícias imaginadas a partir de alguns aspectos da história da óptica envolvendo o conceito das teorias luminosas com o éter luminífero.

Recursos de Ensino: Peça de teatro: Texto 8: “O éter e a natureza da luz”.

Dinâmica da Atividade: No início do curso o professor propõe para os alunos a apresentação de uma peça teatral tratando do conteúdo a ser estudado. Entrega o roteiro aos interessados, pedindo sigilo sobre o conteúdo para não estragar a surpresa. Combina os horários extra classe necessários para os ensaios e orienta sobre as providências a tomar descritas no roteiro sobre espaço físico, figurino, cenário, etc. É importante explicar que inicialmente os alunos-atores devem apenas familiarizar-se com as falas, mesmo sem compreender todos os aspectos conceituais envolvidos no texto, pois eles serão explicitados e apreendidos durante o curso. Após a apresentação, toda a sala discute sobre a atividade e responde às questões propostas no final do roteiro. Apenas neste momento final, o professor entrega o texto do teatro (roteiro) para toda a sala. O professor ouve e comenta com toda a classe as respostas dos alunos às questões do teatro. Nesse momento ele identifica e discute os pontos em que os alunos demonstram insegurança ou dúvidas com relação ao assunto tratado.

Atividade 5 – Sistematização

O professor faz então a síntese do episódio, buscando enfatizar os aspectos em que os alunos mostraram dificuldades e ressaltando os aspectos pretendidos acerca da natureza da ciência.

Encerramento do curso

Objetivo:

- Avaliar a aprendizagem do aluno quanto aos aspectos da natureza da ciência que se procurou estabelecer no curso, quanto à construção de argumentação em favor de suas idéias, quanto à sua compreensão das relações entre teoria, observação, interpretação;
- Avaliar sua forma de interpretar o texto, refletir de modo crítico sobre ele e elaborar soluções para as questões propostas;
- Promover outra interação com o material estudado ao longo do curso;
- Permitir e estimular que o aluno expresse a criatividade com produções culturais abordando o assunto estudado.

Quadro Sintético:

ATIVIDADE	MOMENTOS	TEMPO
1. Avaliação com consulta	Avaliação individual.	2

2. Festival cultural	Apresentação de produções culturais dos alunos.	2
		Total
		4 aulas

Descrição das Atividades:**Atividade 1 – Avaliação com consulta****Objetivo:**

- Interpretar o texto, refletir de modo crítico sobre ele e elaborar soluções para as questões propostas.

Conteúdo: Questões sobre o conteúdo desenvolvido durante o curso.

Recursos de Ensino: Avaliação

Dinâmica da Atividade: Os alunos respondem às questões individualmente, podendo consultar todo o material utilizado no curso. A avaliação com consulta, inspirada na “prova operatória” (Ronca & Terzi, 1993) foi elaborada como mais um momento de contato do aluno com o conteúdo. As questões foram desenvolvidas de modo a serem “a ponte para pensar, a alça para operar” (Ronca & Terzi, 1993, p. 39).

Atividade 2 – Festival cultural

Objetivo: Desenvolver, estimular e expressar a criatividade mostrando sua compreensão dos conteúdos estudados.

Conteúdo: Todo o conteúdo tratado durante o curso.

Recursos de Ensino: Show dos alunos apresentando uma forma de produção cultural tratando de conteúdo do curso.

Dinâmica da Atividade: No início do curso o professor pode adiantar que o mesmo será finalizado com um festival cultural. Os alunos devem desenvolver produções culturais que tratem do conteúdo do curso. O professor pode sugerir alguns exemplos, como produzir vídeos, paródias, poemas, relato de histórias, contos, etc. Cabe ao professor decidir, em função do seu contexto escolar, se é necessário atribuir alguma pontuação na nota dos alunos que participarem adequadamente, e cuja obra contemple adequadamente os conteúdos histórico e epistemológico discutidos.

Observações Finais:

As apresentações em *slides* devem ser elaboradas pelo professor, pois ele é quem define o modo como o curso será conduzido, os temas que irá aprofundar ou apenas apresentar. Essa construção depende do contexto de cada escola.

O curso pode ser aplicado na seqüência proposta, ou ser intercalado aos conceitos físicos em cursos de óptica geométrica. O material também pode ser utilizado para discutir a natureza da ciência em outras disciplinas, quando o professor se sentir confortável, pois os conceitos físicos envolvidos são bastante acessíveis. O material também é adequado para introduzir a discussão da dualidade da luz ou como precedentes históricos para um curso de teoria da relatividade.

É recomendado que o professor leia pelo menos uma parte dos textos indicados nas referências bibliográficas ao final de cada episódio. Muitos estão em português e disponíveis na Internet:

- www.nupic.incubadora.fapesp.br/
- <http://www.lapef.fe.usp.br/>
- thaiscmf@usp.br
- thaiscmf@gmail.com

B.2. Textos para os alunos – versão proposta

Episódio I: Um pouco sobre a luz na Antiguidade grega

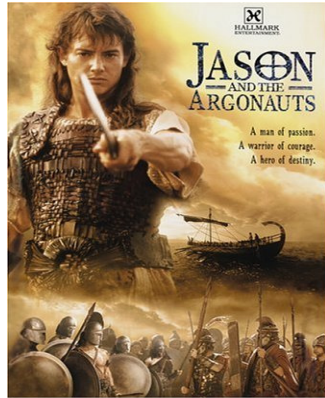
Texto 1: A filosofia e as explicações para o funcionamento da natureza

Thaís Cyrino de Mello Forato

Desde que os nossos antepassados há milênios atrás começaram a notar que havia algumas regularidades na natureza, como o dia e a noite, as estações do ano, eles perceberam que poderiam beneficiar-se delas. Conhecendo essas regularidades, eles aprenderam que havia o tempo de plantar e o tempo de colher; a época das cheias e a época das secas. Pouco a pouco os povos antigos passaram a interagir de modo planejado com a natureza, e isso trouxe benefícios, como, por exemplo, o surgimento da agricultura por volta de 8500 a.C.

As pessoas foram desenvolvendo ferramentas e utensílios para facilitar sua vida, mesmo sem saber explicar como as coisas funcionavam. Elas inventaram barcos que flutuavam nas águas, por exemplo, muito antes de propor leis físicas que explicassem como isso acontecia. A lei do empuxo foi desenvolvida muito tempo depois por Arquimedes (287 a.C.-212 a.C), um matemático e inventor de Siracusa, cidade na ilha da Sicília, na Itália.

Espelhos e lentes datados de aproximadamente 1550 a.C. foram encontrados em várias partes do mundo. Mesmo antes de compreender o seu funcionamento, muitos povos antigos já os utilizavam, embora não se saiba exatamente como isso era feito. Não havia uma explicação organizada para tais fenômenos, pois o mundo natural era compreendido pelo pensamento mitológico e religioso.



Os povos antigos atribuíam a existência de fenômenos naturais aos seres sobrenaturais e conceberam muitos mitos para contar a história do mundo e explicar o seu funcionamento. Alguns filmes épicos buscam contar certos mitos. *Jasão e os argonautas*, por exemplo, mostra uma forma de interpretar a convivência entre os homens e alguns deuses, e como estes últimos provocavam fenômenos naturais.

Alguns séculos antes do nascimento de Cristo ocorreram mudanças muito importantes na Grécia, e além do modo mítico de pensar foi surgindo, em uma pequena parcela da população, um outro tipo de pensamento.

Entre os séculos IX e VI antes da era cristã, o mundo grego passou por uma profunda transformação. Ocorreu uma ampla mudança política, social, religiosa e cultural, envolvendo múltiplos fatores que não são ainda totalmente compreendidos. Por um lado, o contato comercial – e cultural – muito intenso com outros povos, nesse período, trouxe ao mundo grego uma variedade de idéias que passaram a ser confrontadas com o pensamento tradicional. Isso envolveu a entrada de novas concepções religiosas, políticas, filosóficas, científicas (por exemplo, na matemática e astronomia). MARTINS, 1996, p. 34-35).

Tais transformações enfraqueceram a tradição cultural da época entre homens pertencentes a uma “elite intelectual” e o respeito pelos mitos e pela autoridade antiga começou a ser questionado. Alguns pensadores passaram a buscar uma forma diferente de explicar a natureza. A localização geográfica da Grécia e seu contato comercial com outros povos trouxeram muitas informações e novos conhecimentos. Tudo isso contribuiu para o fortalecimento de um modo diferente de olhar para os fenômenos naturais: a filosofia, que procurava fundamentar-se apenas no pensamento, na razão. Na mesma época, por volta do século VI a.C., a religião antiga começa a ser questionada também na Índia, o que colaborou para o desenvolvimento da filosofia.

Esse novo processo de conhecimento rompia com a tradição cultural e procurava fundamentar-se em raciocínios lógicos cujo modelo era a matemática. Foi nessa época que viveram Pitágoras, Heráclito, Tales e outros pensadores que hoje chamamos de pré-socráticos, pois viveram antes de Sócrates, um filósofo que se tornou muito famoso. Ele foi condenado à morte acusado de corromper a juventude com suas idéias revolucionárias.



“A morte de Sócrates” por Jacques Louis David (1748-1825)

Nesse período, por volta do quinto século antes de Cristo, que os filósofos pré-socráticos elaboraram as primeiras teorias filosóficas para explicar os fenômenos naturais. Dentre esses fenômenos estão aqueles ligados à luz e à visão, que serão o próximo assunto do nosso curso.

Para saber mais:

Martins, Roberto de Andrade. *O universo: teorias sobre sua origem e evolução*. São Paulo: Moderna, 4. ed. 1996. (Esgotado). A versão eletrônica desse livro está disponível gratuitamente em: www.ifi.unicamp.br/~ghhc/Universo/

Referências bibliográficas

LINDBERG, D. C. *The beginnings of Western science: the European scientific tradition in philosophical, religious, and institutional context, 600 B.C. to A.D. 1450*. Chicago: University of Chicago Press, 1992.

PARK, D. *The fire within the eye: a historical essay on the nature and meaning of light*. Princeton University Press, 1997.

Texto 2: Um pouco sobre a luz na Antiguidade grega

Thaís Cyrino de Mello Forato

Você já olhou para o céu longe das luzes da cidade em uma noite sem nuvens? Quem não fica encantado diante daquela infinidade de estrelas brilhantes, da Via Láctea, e da luz prateada da Lua? Os povos antigos viam esse espetáculo da natureza praticamente todas as noites, pois não havia iluminação forte nas ruas das cidades. Cada povo construiu seu próprio modo de entender e relatar esses e outros fenômenos naturais, e contar a história do mundo.

As primeiras formas de explicar a natureza foram a mitologia e a religião, até surgir na Antiguidade, por volta do século VI a.C., o pensamento filosófico. Não temos muitas informações sobre essa época, os estudos baseiam-se em alguns documentos históricos.

Costuma-se dividir a filosofia grega em dois períodos: antes e depois de Sócrates. Os filósofos anteriores a Sócrates (os chamados “pré-socráticos”) escreveram muitas obras que, no entanto, não foram conservadas. Tudo o que se sabe sobre eles é indireto, baseado em pequenos trechos de seus escritos que foram citados por outros autores posteriores (os “fragmentos” dos pré-socráticos) e em descrições feitas por autores posteriores a Sócrates (os “testemunhos”, ou “doxografia”). Diante do pequeno número de informações sobre esses pensadores, qualquer tentativa de descrever seu pensamento será apenas uma tentativa, uma “reconstrução”, que pode ser até razoável, mas nunca será definitiva ou segura. Fala-se e escreve-se muito sobre Pitágoras, Heráclito, Tales e outros dos pré-socráticos; mas pouco se sabe, realmente, sobre o que eles ensinaram.(MARTINS, 1996, p. 35).

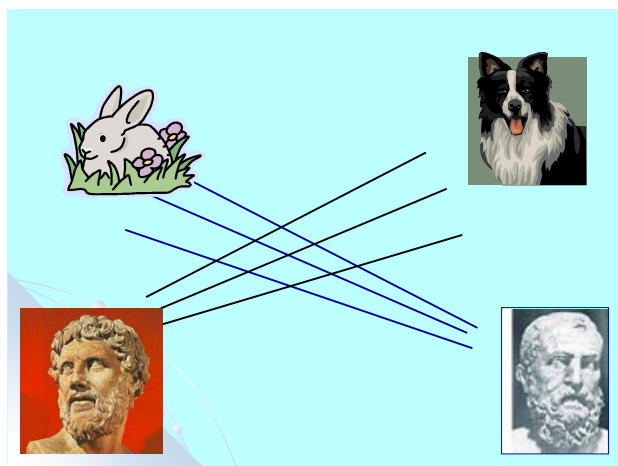
Os estudiosos acreditam que os filósofos teriam começado a indagar qual seria a “verdadeira” explicação para o funcionamento do mundo, por exemplo, sobre a luz, e sobre a visão. Talvez eles formulassem perguntas do tipo: por que as estrelas brilham? Como vemos as estrelas? Por que não as vemos durante o dia? O que é necessário para enxergar? O que acontece nos olhos que nos permite ver? A informação sobre o mundo vem de fora ou está nos olhos?

Foram surgindo tentativas de responder a essas questões. Em primeiro lugar, você vê porque tem olhos, mas do que depende a visão? Não enxergamos em um quarto escuro, então, a visão depende da luz. Mas o que é a luz? Que relação ela tem com os olhos? Será que enxergamos porque algo sai dos nossos olhos? Será que a informação sobre o mundo chega aos nossos olhos? Se for algo que chega aos olhos, o que será? As respostas variavam de acordo com cada escola de pensamento - correntes filosóficas compostas por pensadores com afinidades de idéias, que compartilhavam visões semelhantes sobre o funcionamento do mundo.

O filósofo Leucipo de Mileto viveu por volta de 500 a.C. Ele acreditava que os objetos emitiam pequenas partículas, como se fossem películas que se desprendiam da sua superfície, e que chegavam aos nossos olhos ocasionando a visão. Tais películas, denominadas *eidola*, emanavam (saíam) da superfície dos corpos levando informações sobre eles como a cor e a forma dos objetos. A luz para ele era essa emanção material transmitida dos objetos visíveis para o olho do observador, e a sensação visual seria causada pelo contato direto das *eidola* com o órgão dos sentidos.

Leucipo pertencia a uma escola de pensamento, o atomismo, e foi um dos seus representantes mais conhecidos, como Demócrito (c.a. 460-370 a.C.); Epicuro (c.a. 341-270 a.C.) e Lucrécio (c.a. 98-55 a.C.). Eles acreditavam que o mundo era formado por minúsculas partículas eternas e indivisíveis: os átomos. Tais átomos se movimentavam no espaço vazio, ao acaso e em todas as direções. Algumas vezes eles “grudavam-se” quando se chocavam e a combinação entre diferentes partículas formava toda a matéria conhecida.

A teoria dos atomistas para explicar a visão era coerente com essas idéias: ela seria produzida por algo material, que saía dos objetos em todas as direções e entrava nos olhos provocando a visão. Porém a teoria atomista não respondia a todas as questões levantadas na época, por exemplo: como as *eidola* passam umas pelas outras sem se chocarem? Como as *eidola* emitidas por uma árvore cruzam com as *eidola* de outros objetos? Umas não interagem com as outras? Por que elas não se “grudam” formando uma imagem confusa? Um homem vê um coelho à sua frente porque as *eidola* estão saindo desse coelho e chegando até seus olhos, como isso não interfere na visão de um cachorro cujas *eidola* estão indo para os olhos de outro homem e se cruzando no caminho? Ou seja, a luz passa “por dentro” da luz?



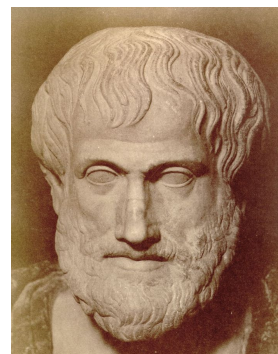
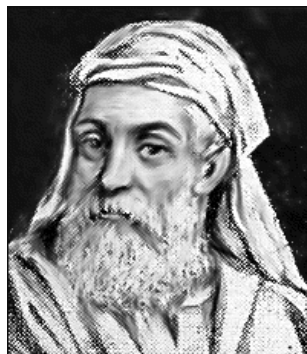
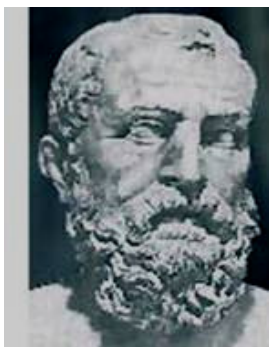
O tamanho dos objetos era também um problema para a teoria atomista: como a imagem de um objeto muito grande encolhe suficientemente para caber nos olhos? Como as *eidola* de uma montanha podem caber nos olhos? Por que os objetos distantes parecem menores? Algumas dessas dúvidas ocorreram a pensadores gregos, como Aristóteles, por exemplo.

Já que a teoria atomista deixava tantas perguntas sem resposta, será que outra escola de pensamento não oferecia uma explicação melhor para o fenômeno visual? O filósofo grego Empédocles (493-430 a.C.) explicava o mundo, a luz e a visão de um modo bem diferente. Para ele o Universo era formado a partir de quatro elementos básicos, que ele associava a quatro divindades: fogo (Zeus), ar (Hera), terra (Hades) e água (Nestis). Tais elementos eram os “tijolos” de todas as coisas que se misturavam em diferentes proporções formando tudo que existia.

A luz e a visão para Empédocles estavam relacionadas com o elemento fogo. Ele acreditava que um raio visual era emitido pelos olhos, uma espécie de fogo interno, que “tocava” os objetos e, ao retornar para a pupila, trazia informações sobre eles. Seria como se o ato de enxergar fosse igual ao ato de tatear, ou seja, os raios visuais interagiam com as informações emanadas dos objetos, como se fossem tentáculos. Os objetos também emitiam um tipo de fogo que carregava suas informações, como a cor e a forma. Portanto, o fenômeno da visão ocorria quando o fogo interno emitido pelos olhos entrava em contato com o fogo externo emanado dos objetos.

Entretanto, a teoria de Empédocles também não conseguia explicar algumas coisas. Alguns pensadores questionavam: se a visão dependia de um fogo emitido pelos olhos, por que não era possível enxergar em um lugar escuro? Que relação tinha a luz do dia com o fogo emitido pelos olhos? Se os objetos também emanavam informações por meio de um tipo de fogo, por que essas informações não eram captadas pelo fogo visual se estivesse escuro?

Parece que a luz do ambiente é fundamental no fenômeno visual. Tanto a teoria atomista, como a de Empédocles, não explicavam por que não podíamos enxergar no escuro. Será que o meio material entre o objeto e o olho tem alguma influência sobre a luz e sobre a visão? Só podemos enxergar se está claro, portanto, pode ser que algo entre os olhos e os objetos influencie no fenômeno visual.



Leucipo, Empédocles e Aristóteles.

Aristóteles (384-322 a.C.) enfatizou a importância do meio material na sua teoria da luz e da visão. Ele acreditava que a luz era uma qualidade dos corpos transparentes. Um meio transparente como o ar tinha a qualidade de permitir a visão do objeto. Porém era necessária a presença da luz do Sol ou de outras fontes luminosas para que se pudesse enxergar. Os objetos produziam uma espécie de alteração no meio transparente ao seu redor, e esse meio transmitia instantaneamente essa alteração para os olhos do observador.

A luz para Aristóteles não poderia ser algo material, pois dois corpos não podiam ocupar o mesmo lugar no espaço. Aristóteles não aceitava a idéia de vazio. Todo o Universo seria ocupado por matéria. As regiões celestes seriam preenchidas pela quintessência, ou o éter, e, aqui na Terra, os espaços aparentemente vazios entre os objetos seriam preenchidos pelo ar. Para ele a luz era

algo que acontecia entre o observador e o objeto, como ela poderia ocupar o mesmo lugar que o ar? Esse era o argumento que ele usava para criticar a teoria atomista de que a luz seria composta de corpúsculos materiais.

A teoria de Aristóteles também recebeu críticas. Epicuro, um dos adeptos da escola atomista, dizia que os objetos externos não poderiam imprimir sobre nós sua própria natureza de cores e formas através do ar que está entre eles e nós. Ele dizia que as informações entrariam melhor em nossos olhos e em nossas mentes por corpúsculos que vinham dos próprios objetos.

Havia diferentes teorias para tentar explicar a luz e a visão nesse período. De modo geral, eram combinações das características: os homens enxergavam porque algo saía dos olhos, ou porque algo entrava nos olhos; havia ainda os que diziam que a luz não era algo material, mas uma modificação na matéria que havia entre o objeto e os olhos. Cada teoria estava associada à visão de mundo de uma escola de pensamento, ou seja, não era uma interpretação individual de cada filósofo, como se fosse uma opinião pessoal. Pelo contrário, os filósofos não constituíam unidades isoladas, eles eram representantes de escolas que estavam competindo. Todos estavam pensando sobre os mesmos fenômenos ópticos, buscavam entendê-los utilizando raciocínios lógicos, porém, cada escola de pensamento fornecia uma explicação para a luz e a visão. **Será que há algo de estranho nisso? Por que não havia um consenso?**

Parece que apenas observar o comportamento da natureza e pensar racionalmente sobre os fenômenos propiciou o surgimento de diferentes explicações. Entretanto, os filósofos elaboravam teorias que estavam relacionadas a essas observações, ou seja, **não era apenas questão de opinião pessoal**. A observação da natureza era um ato fundamental para tentar explicar os fenômenos naturais. Mas será que era suficiente? O importante é compreender que construir essas explicações não é um processo simples, nem óbvio. É claro que o modo de os gregos pensarem sobre os fenômenos naturais é **muito diferente** do modo como os cientistas fazem atualmente. Mas, olhar para alguns episódios da história da ciência nos faz perceber quão complexo é o processo da produção do conhecimento sobre a natureza.

Considerando as discussões acerca da diversidade de teorias na Antiguidade grega que apresentamos aqui, vamos tentar responder às seguintes questões:

- a) Qual teoria você acha que explicava melhor a luz naquela época? Justifique.
- b) Em sua opinião, por que os filósofos citados chegavam a diferentes conclusões?
- c) Comente um exemplo histórico para a seguinte afirmação: “A natureza não fornece evidências que permitem uma única interpretação”.
- d) Você acha que a frase seguinte está correta ou errada? Justifique sua resposta.

“Os filósofos gregos utilizavam o pensamento racional para explicar os fenômenos naturais, e por utilizarem o mesmo procedimento, eles chegavam às mesmas conclusões.”

Referências bibliográficas

COHEN, M. R.; DRABKIN, I. E. (EDS.). *A source book in the Greek science*. Cambridge: Harvard University Press, 1958.

LINDBERG, D. C. *The beginnings of Western science: the European scientific tradition in philosophical, religious, and institutional context, 600 B.C. to A.D. 1450*. Chicago: University of Chicago Press, 1992.

MARTINS, Roberto de Andrade. *O universo: teorias sobre sua origem e evolução*. São Paulo: Moderna, 4. ed. 1996. (Esgotado). A versão eletrônica desse livro está disponível gratuitamente em: www.ifi.unicamp.br/~ghtc/Universo/

_____. “A Torre de Babel científica”. *Scientific American Brasil – Os Grandes Erros da Ciência*, Especial História vol 6: 6-13, 2006 a.

PARK, D. *The fire within the eye: a historical essay on the nature and meaning of light*. Princeton University Press, 1997.

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

Texto 3: Newton e o fenômeno das cores

Thaís Cyrino de Mello Forato

Além das teorias de Leucipo, Empédocles e Aristóteles, diversos outros filósofos da Antiguidade propuseram explicações diferentes para a natureza da luz e a visão. Dentre essas concepções havia também trabalhos cujo enfoque era geométrico, como os estudos de Euclides e Ptolomeu. Muitas teorias foram elaboradas entre o século VI a.C. até o século IV, e os trabalhos de Aristóteles, Euclides e Ptolomeu tornaram-se os mais conhecidos durante a idade média (considerada aqui entre os séculos V e XIV). Nesse período, ocorreu um desenvolvimento bastante significativo da óptica, com a contribuição de diversos povos.

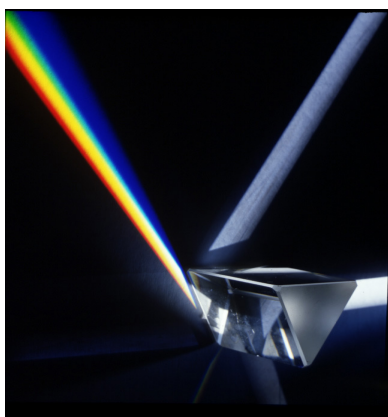
No início do século XVII já eram conhecidos muitos dos fenômenos ópticos, como por exemplo, a propagação retilínea da luz, a reflexão e a refração. Com a invenção do telescópio e do microscópio os estudos em óptica receberam grande incentivo e novos fenômenos foram descobertos, por exemplo, a difração e a interferência luminosa. Mas, uma coisa é conhecê-los e outra coisa é elaborar explicações que sejam aceitas pelos homens da ciência, ou pelo menos para a maioria deles.

Um dos desafios para os pensadores da época, era explicar o famoso “fenômeno das cores”, hoje chamado de dispersão da luz em um prisma. Trata-se da formação de uma mancha alongada com as cores do arco-íris quando a luz branca atravessa um prisma e é projetada em um anteparo. Esse fenômeno já era conhecido, mas não existia uma explicação amplamente aceita para ele. De um modo geral, eles achavam que a luz branca do Sol era o tipo mais simples de luz que existia, e ela **sofreria uma transformação** quando atravessava o prisma e projetava as cores do arco-íris em um anteparo ao sair do outro lado. Acreditava-se que o **prisma produzia as cores**, ou seja, a luz

branca era **transformada** em várias outras cores, e, diversas teorias diferentes buscavam explicar como ocorria essa modificação da luz.

A explicação que se tornou mais famosa nos séculos seguintes foi dada por Isaac Newton (1642-1727), um personagem muito importante na história da ciência, conhecido, principalmente, pelas contribuições que deixou para a física e a matemática. Ele foi um **filósofo natural**, mais ou menos o que hoje chamaríamos de cientista, mas com algumas características próprias de sua época.

Newton tornou-se muito conhecido por suas realizações. Suas investigações experimentais, acompanhadas de rigorosa descrição matemática, foram consideradas um modelo de metodologia de investigação para as ciências nos séculos seguintes. Ele deixou inúmeros manuscritos e trabalhos publicados, mas suas obras mais conhecidas são o livro *Princípios matemáticos da filosofia natural* (1687), e o livro *Óptica* (1704). Essas obras tornaram-se muito famosas e modelo para os “cientistas” durante o século XVIII. Eles acreditavam que no livro *Princípios* (1687) Newton os havia ensinado a fazer física teórica, pela ampla utilização da matemática na explicação do mundo natural, e na *Óptica* (1704) como fazer física experimental, combinando experimentos e matemática na investigação dos fenômenos.



Quando Newton iniciou o estudo do “fenômeno das cores” ele percebeu uma coisa curiosa: se o buraco por onde passava a luz branca era redondo, e ela chegava na forma de um cilindro ao prisma, por que a mancha formada no anteparo era alongada? De acordo com as suas previsões, a mancha deveria ser circular. Por que o prisma mudaria o formato da figura? Será que era algum defeito do prisma?

Ele começou, então, a **elaborar várias hipóteses para tentar entender o fenômeno**. Uma delas foi bem interessante: “*Será que a luz deixa de se mover em linha reta após atravessar o prisma? Ela poderia sofrer uma modificação que a faria ter uma trajetória curva do outro lado.*” Ele começou a analisar essa hipótese. Repetia o experimento de várias maneiras diferentes. Mudava a posição do prisma, mudava a distância do anteparo onde se formava a mancha, fazia medidas e muitas análises matemáticas. **Acredita-se que foi a primeira vez que alguém utilizou**

análises matemáticas e geométricas, associadas aos experimentos, para analisar esse fenômeno das cores. Assim, ele obteve os dados que o fizeram descartar essa hipótese: ele percebeu que o *tamanho da mancha* menos o *tamanho do buraco* era proporcional à *distância entre o prisma e o anteparo*. Os raios não se encurvavam para qualquer direção, mas mantinham uma proporção que mostrava que a luz continuava a propagar-se em linha reta quando emergia (saía) do outro lado do prisma.

Newton **formulou ainda outras hipóteses** considerando que o prisma modificava a luz, mas que foram descartadas conforme realizava experimentos apoiados por análises matemáticas e geométricas. Curiosamente, foi um experimento qualitativo, isto é, sem análises matemáticas, que ele afirma ter sido muito importante para defender sua teoria das cores. Depois que a luz branca passava por um primeiro prisma, ele conseguiu que apenas uma cor passasse por um segundo prisma. Newton percebeu que o segundo prisma não modificava a luz. Se ela era a vermelha, continuava vermelha, se era azul, continuava azul, e assim acontecia com todas as cores que conseguia isolar. Além disso, ele percebeu que as diferentes cores sofriam diferentes deflexões (o quanto cada cor “entorta” ao passar de um meio transparente para outro meio transparente.). O vermelho era sempre o menos refrangível e o violeta sofria sempre a maior refração. Ele percebeu que a refrangibilidade das cores era sempre exata e precisa, embora não tenha apresentado análises matemáticas desse experimento.

Newton **realizou outros experimentos** que reforçaram sua teoria: a luz branca seria uma mistura heterogênea das demais cores, que possuem cada qual seu grau preciso de refrangibilidade. A mancha formada pelo prisma é alongada porque cada cor sofre um desvio diferente ao atravessá-lo. Ele recebeu muitas críticas na época. Seus contemporâneos aceitavam outras teorias e argumentavam que **os experimentos não eram suficientes** para concluir que o prisma não modificava a luz. Os historiadores da ciência que analisaram as anotações deixadas por Newton reconhecem que, de certo modo, seus contemporâneos tinham razão. Newton **combinou argumentos teóricos e experimentais** para chegar a essas conclusões. Apenas observar os experimentos não era suficiente para concluir que o prisma separava a luz branca.

Os livros didáticos geralmente apresentam que um experimento com o prisma foi suficiente para concluir que a luz branca seria composta da mistura de sete outras cores. Nesses relatos, parece que um único experimento esclareceu o fenômeno e imediatamente, todos os outros filósofos naturais passaram a aceitá-lo. Mas, quando se observava esse fenômeno, era possível formular várias interpretações e hipóteses. Outras teorias existentes na época defendiam que a luz poderia ser ou parecer branca em sua forma pura como provém do Sol. Porém, ela era modificada e passaria a parecer colorida quando atravessava meios transparentes. Foram necessários muitos experimentos diferentes, além de uma análise bastante sofisticada, para compor a argumentação de

Newton. Sua explicação para o fenômeno das cores só foi aceito pela maioria dos filósofos naturais nas primeiras décadas do século XVIII.

Questões

- 1) Existe uma única explicação possível para os fenômenos naturais? Comente seu ponto de vista.
- 2) Você acha que a seguinte frase é verdadeira ou falsa? Justifique. “Para construir uma lei matemática que explique um fenômeno, basta observá-lo com cuidado. As boas experiências mostram exatamente como o fenômeno funciona.”
- 3) Quando dois ou mais filósofos naturais defendiam teorias diferentes para explicar um mesmo fenômeno, que aspectos você acha que poderiam contribuir para os pensadores optarem por uma delas?
- 4) O texto abaixo contém pelo menos três afirmações erradas. Encontre duas delas e explique-as.

Isaac Newton realizou vários experimentos para explicar as cores da luz. Repetiu o famoso ‘fenômeno das cores’ com a luz do Sol atravessando um prisma. Ele observou que o feixe de luz solar entrava branco no prisma, e, na parede oposta, era projetada uma mancha alongada com as cores do arco-íris. Assim, ele provou que a luz branca do Sol é uma mistura heterogênea das outras cores. Todos os seus contemporâneos passaram a admirá-lo, pois finalmente alguém conseguia explicar o fenômeno das cores. A partir daí, todos passaram a aceitar as idéias de Newton para a luz e acreditaram que a luz era composta de corpúsculos.

Referências bibliográficas

- COHEN, B.; WESTFALL, R. S. *Newton: Textos, Antecedentes, Comentários*. Trad. Vera Ribeiro. Rio de Janeiro: Contraponto; EDUERJ, 2002.
- LINDBERG, D. C. *Theories of vision from Al-Kind to Kepler*. Chicago: University of Chicago Press, 1976.
- MARTINS, Roberto de Andrade; SILVA, Cibelle. C. Newton and colour: the complex interplay of theory and experiment. *Science & Education* **10** (3): 287-305, 2001.
- MOURA, Breno Arsioli; SILVA, Cibelle Celestino Silva. Newton antecipou o conceito de dualidade onda-partícula da luz? *Latin American Journal Physics Education*, 2 (3): 218-227, Sept. 2008b.
- NEWTON, Isaac. *Óptica*. Edusp: São Paulo, 1996.
- NEWTON, Isaac. *Mathematical Principles of Natural Philosophy. Optics*. Trad. A. Motte. [2a.ed]. Chicago, Encyclopaedia Britannica, 1952. (Col. Great Books of Western World, V. 34).
- SABRA, A. I. *Theories of light from Descartes to Newton*. London: Cambridge University Press, 1981.
- SILVA, Cibelle C.; MARTINS, Roberto de A. A teoria das cores de Newton: um exemplo do uso da história da ciência em sala de aula. *Ciência & Educação* **9** (1): 53-65, 2003.

____; _____. A "Nova teoria sobre luz e cores" de Isaac Newton: uma tradução comentada. *Revista Brasileira de Ensino de Física* **18** (4): 313-27, 1996.

WESTFALL, R. S. *Never at Rest: a Biography of Isaac Newton*. Cambridge: Cambridge University, 1980.

Texto 4: Fim do século XVII: corpúsculos ou pulsos no éter?

Thaís Cyrino de Mello Forato

Até meados do século XVII havia uma grande variedade de teorias para explicar a natureza da luz. Alguns pensadores acreditavam que a luz era composta de partículas que emanavam (saíam) dos corpos materiais, enquanto para outros era uma modificação do meio material entre o objeto e o observador. Havia ainda aqueles que explicavam a luz como variações dessas idéias. Nas últimas décadas do século surgiram duas teorias que tiveram grande influência na história da óptica. As teorias do holandês Christiaan Huygens (1629-1695) e do inglês Isaac Newton (1642-1727).

Como os outros filósofos naturais de sua época, Huygens aceitava que os raios de luz se propagam em linha reta, que os ângulos de incidência e reflexão são iguais e que a refração obedece à lei dos senos (hoje chamada de lei de Snell-Descartes). Os raios de luz provinham de uma infinidade de lugares e se cruzavam sem que uns atrapalhassem os outros. Sua teoria para a natureza da luz enfatizava o meio material entre o objeto e o olho do observador. A luz para ele era um movimento que ocorria numa espécie de matéria muito sutil, que os sentidos humanos não podem captar, e que preenchia todos os espaços aparentemente vazios do Universo: o éter. Todos os corpos materiais estavam dentro do éter, imersos nele, mas ele era tão “leve e rarefeito” que não atrapalhava o movimento dos objetos.



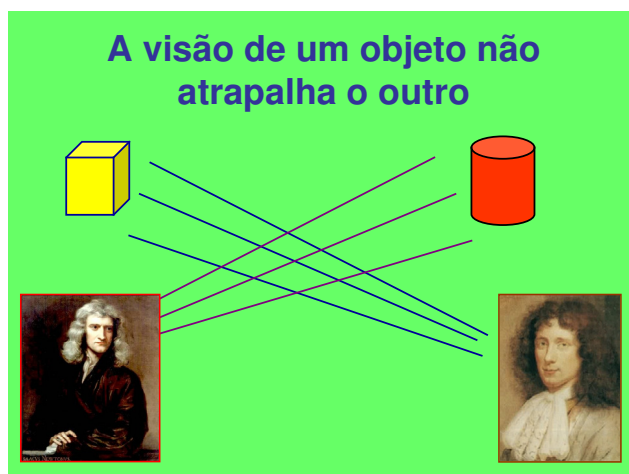
Christiaan Huygens (1629-1695)

Ilustração de Huygens em sua obra “Tratado sobre a luz” para explicar os pontos da chama provocando as vibrações no éter.

A luz é produzida pelo fogo, dizia Huygens, que contém partículas em movimento muito rápido, pois consegue fundir e dissolver corpos sólidos. “Quando a luz é concentrada por espelhos côncavos, ela tem a virtude de queimar como o fogo, de separar as partes dos corpos”. Huygens afirmava que isso era sinal de movimento, eram os corpos presentes no fogo que conseguiam separar e fundir a matéria. Corpos em movimento muito rápido. Tais movimentos provocariam vibrações que se propagariam no éter. Esse movimento no éter provocaria a sensação de visão quando atingisse os olhos das pessoas. A luz seria justamente esse movimento que ocorreria entre os objetos luminosos e os olhos.

Quando se considera a extrema velocidade com que a luz se espalha por todos os lados e que, quando vem de diferentes lugares, mesmo totalmente opostos, [os raios luminosos] se atravessam uns aos outros sem se atrapalharem, compreende-se que, quando vemos um objeto luminoso, isso não poderia ocorrer pelo transporte de uma matéria que venha do objeto até nós, como uma flecha ou bala atravessa o ar; pois certamente isso repugna bastante a essas duas propriedades da luz, principalmente a última. (HUYGENS apud MARTINS, 1986, p. 12).

Huygens está criticando a idéia corpuscular da luz. Se a luz fosse feita de corpúsculos, como essas partículas se cruzariam no ar sem uma atrapalhar o movimento da outra? Isso não poderia estar de acordo com os fenômenos naturais. Podemos enxergar um objeto mesmo com a luz proveniente de inúmeros outros se cruzando pelo ar à nossa frente.



Huygens propôs então que o conhecimento sobre a propagação do som poderia esclarecer a propagação da luz:

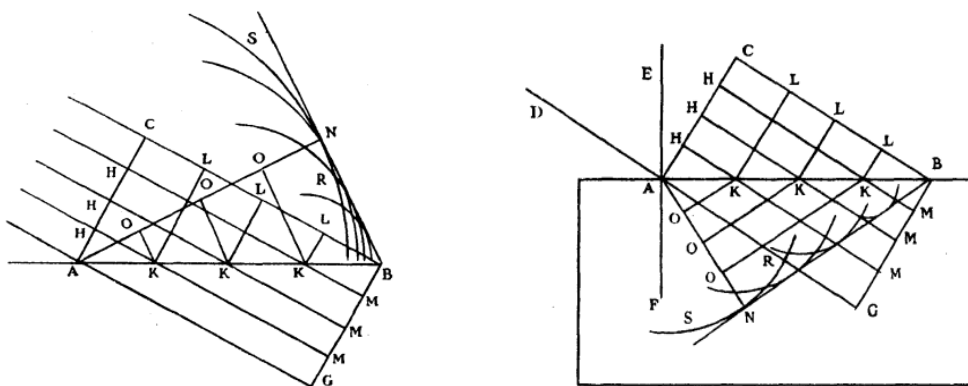
Ela [a luz] se espalha, portanto de uma outra maneira e o que pode nos conduzir a compreendê-la é nosso conhecimento da propagação do som no ar. Sabemos que, por meio do ar, que é um corpo invisível e impalpável, o

som se propaga em toda a volta do lugar onde foi produzido, por um movimento que passa sucessivamente de uma parte do ar a outra. A propagação desse movimento se faz com igual velocidade para todos os lados e devem se formar como superfícies esféricas que crescem sempre e que chegam a atingir as nossas orelhas. (HUYGENS apud MARTINS, 1986, p. 12).

Inspirado em uma analogia com as ondas sonoras, Huygens elaborou sua teoria para a luz. Como o som também se propaga em um meio invisível como o ar, por um movimento que passa sucessivamente de uma parte a outra, ele pensou que isso poderia ser semelhante para a luz: ela viria do corpo luminoso até os olhos, não pelo ar, mas pelo éter que está entre eles. Nessa época, os pensadores admitiam que não existia ar entre o Sol e a Terra, e se a luz do Sol era vista na Terra, isso seria uma evidência de que a luz não necessitava do ar para se propagar. Assim, Huygens, e outros pensadores de sua época, acreditavam que a luz do Sol e das estrelas chegava até a Terra graças ao éter que preenchia os espaços vazios do Universo.

As ondas de luz nasceriam do movimento de cada ponto do objeto luminoso, caso contrário, não seria possível perceber todas as diferentes partes do objeto. Desse modo, cada ponto da superfície do corpo comunicaria essa agitação aos corpúsculos do éter que estavam em contato com ele.

Com sua teoria, Huygens conseguiu explicar fenômenos como a propagação retilínea da luz, a refração e a reflexão, que já eram bem conhecidos nesse período. Ela foi desenvolvida utilizando uma analogia com o comportamento das ondas do som no ar e das ondas formadas na superfície da água. A idéia da luz como a propagação de uma vibração no éter não foi adotada apenas por Huygens, mas ele tornou-se seu defensor mais conhecido.



Ilustrações de Huygens para explicar a reflexão e a refração da luz.

A teoria de Huygens apresentava algumas limitações. Havia alguns fenômenos que ela não conseguia explicar. Isaac Newton foi um dos filósofos que apresentou críticas a essa teoria, e

elaborou outra explicação para a luz. A luz não poderia ser uma onda no éter para Newton, pois, se fosse, ela contornaria os obstáculos como faz o som. O som de um sino ou de um canhão é ouvido atrás de uma montanha, mas não é possível vê-los. As ondas na água que passam margeando um obstáculo grande se curvam em direção às águas paradas do outro lado do obstáculo, mas as estrelas fixas deixam de ser vistas quando um planeta fica entre elas e a Terra. Como a luz poderia ser uma onda no éter se ela não contorna os obstáculos como o som e como as ondas na água?

Nas explicações de Newton para alguns fenômenos luminosos é possível perceber que ele descreve o comportamento dos raios de luz como se fossem corpúsculos (partículas muito pequenas) emitidos pelas superfícies dos corpos. Esses corpúsculos deslocavam-se em linha reta até interagir com algum obstáculo. Dependendo das condições, eles poderiam ser refletidos, refratados ou mesmo aqueceriam o objeto.

Uma das vantagens de explicar a luz como corpúsculos naquela época era que todas as leis da mecânica propostas por Newton poderiam ser aplicadas na explicação de diversos fenômenos ópticos, como a reflexão e a refração. Newton supunha, por exemplo, que havia uma força de atração entre as partes de um corpo transparente e a luz, por isso o raio luminoso era atraído e se desviava em seu interior. Quer dizer, se os objetos são feitos de partículas, havia uma força de atração entre as partículas dos corpos transparentes e o raio de luz, pois este penetrava em seu interior.

Em sua obra, Newton não fala explicitamente que a luz é feita de partículas, mas as explicações dadas por ele sugeriam que os raios de luz se comportavam como se fossem feitos de corpúsculos. Isso fez os outros filósofos naturais pensarem que ele estava defendendo uma natureza corpuscular para a luz.

A teoria corpuscular baseada na obra de Newton também apresentava algumas limitações. Ela não conseguia explicar como os raios de luz que se cruzavam, não interagiam uns com os outros. Se eles fossem feitos de corpúsculos, como um raio não desviava o outro? Como a luz passava “dentro” da luz?

Na época em que as teorias de Huygens e Newton foram propostas, nenhuma delas conseguiu ser aceita por todos os pensadores, mas elas foram as duas teorias mais detalhadas propostas no final do século XVII, para explicar os fenômenos luminosos. A disputa permaneceu até as primeiras décadas do século XVIII, até a teoria corpuscular, que se baseava na obra de Newton, ocupar uma posição de maior aceitação entre os homens da ciência. Será que foram os argumentos puramente experimentais que fizeram a balança pender para um dos dois lados?

Questões:

- 1) Para os mesmos fenômenos observados em relação à luz havia explicações ou interpretações diferentes. Como é possível que isso aconteça? Justifique.

- 2) “Se uma pessoa fala atrás de uma parede, você pode ouvir sua voz, pois o som contorna as extremidades da parede, mas você não pode vê-la.” Esse argumento poderia ter sido usado contra que teoria? Explique.
- 3) Como cada teoria explicava o fenômeno da reflexão da luz? E o da refração?
- 4) Considerando os textos que você estudou e as discussões realizadas em sala, explique:
 - a) Um argumento para defender a teoria corpuscular;
 - b) Um argumento para rejeitar a teoria corpuscular;
 - c) Um argumento para defender a teoria ondulatória;
 - d) Um argumento para rejeitar a teoria ondulatória.

Referências bibliográficas

- COHEN, B.; WESTFALL, R. S. *Newton: Textos, Antecedentes, Comentários*. Trad. Vera Ribeiro. Rio de Janeiro: Contraponto; EDUERJ, 2002.
- MARTINS, Roberto de Andrade (trad.). “Tratado sobre a luz, de Christiaan Huygens”. *Cadernos de História e Filosofia da Ciência* (suplemento 4): 1-99, 1986.
- _____; SILVA, C. C. Newton and colour: the complex interplay of theory and experiment. *Science & Education* **10** (3): 287-305, 2001.
- MOURA, B. A.; SILVA, C. C. A teoria dos estados da luz: Um estudo dos papéis das hipóteses na óptica newtoniana. MARTINS, R.A.; SILVA, C.C.; FERREIRA, J.M.H.; MARTINS, L.A-C.P. *Filosofia e História da Ciência no Cone Sul: seleção dos trabalhos do 5º Encontro*. Campinas: Associação de Filosofia e História da Ciência do Cone Sul, 2008a.
- NEWTON, Isaac. *Óptica*. Edusp: São Paulo, 1996.
- NEWTON, Isaac. *Mathematical Principles of Natural Philosophy. Optics*. Trad. A. Motte. [2a.ed]. Chicago, Encyclopaedia Britannica, 1952. (Col. Great Books of Western World, V. 34).
- SABRA, A. I. *Theories of light from Descartes to Newton*. London: Cambridge University Press, 1981.
- SILVA, Cibelle C.; MARTINS, Roberto de A. A teoria das cores de Newton: um exemplo do uso da história da ciência em sala de aula. *Ciência & Educação* **9** (1): 53-65, 2003.
- WESTFALL, R. S. *Never at Rest: a Biography of Isaac Newton*. Cambridge: Cambridge University, 1980.

Texto 5: Atividade – O debate entre as teorias ondulatória e corpuscular

Imagine que estamos no início do século XVIII. Vamos simular um debate que poderia ter ocorrido entre dois grupos. Cada grupo terá cinco componentes. Um deles defenderá a teoria ondulatória para a natureza da luz. O outro grupo defenderá a teoria corpuscular. Vamos levar em conta aqui apenas as questões relativas à natureza da luz tratadas no curso. Não é possível, neste momento, discutir todos os aspectos das teorias, experimentos e suas conseqüências.

Os demais alunos serão os jurados dessa disputa. Cada grupo terá 15 minutos para expor suas idéias, argumentando a favor de sua teoria e criticando a teoria rival. Após a primeira exposição de ambos os grupos, cada um deles terá mais 10 minutos para a réplica. O júri pode solicitar esclarecimentos e fazer perguntas aos dois grupos. Depois disso, o júri se reunirá e

decidirá qual das duas teorias está mais bem fundamentada e deveria ser adotada pelos homens da ciência na época. O professor será o mediador do debate. Ele poderá interferir sempre que julgar necessário.

Para construir sua argumentação, os grupos podem utilizar os textos do curso, o conteúdo das aulas, as explicações dadas pelo professor e a bibliografia recomendada abaixo. **Não é permitido usar experimentos ou informações que eram desconhecidas na época.** Lembrem-se: as teorias que aceitamos atualmente e os experimentos atuais não podem ser usados. O júri só poderá considerar os argumentos que eram utilizados no período, as idéias aceitas na época, e os exemplos adequados aos recursos que eles possuíam. O debate é sobre a natureza da luz, ondulatória ou corpuscular. Os homens daquela época **não estavam questionando a existência do éter.**

Bibliografia complementar

MARTINS, Roberto de A. (trad.). “Tratado sobre a luz, de Christiaan Huygens”. Cadernos de História e Filosofia da Ciência (suplemento 4): 1-99, 1986.

SILVA, Cibelle.C.; MARTINS, Roberto. de A. A teoria das cores de Newton: um exemplo do uso da história da ciência em sala de aula. Ciência & Educação, 9(1): 53-65, 2003

____; _____. A "Nova teoria sobre luz e cores" de Isaac Newton: uma tradução comentada. Revista Brasileira de Ensino de Física 18 (4): 313-27, 1996.

NEWTON, Isaac. Óptica. Edusp: São Paulo, 1996.

Não faça pesquisas na internet, pois é muito difícil para um “não especialista” saber quais os argumentos que eram válidos no período. Além disso, a internet está repleta de erros de todos os tipos, inclusive erros históricos e científicos. Há muitos trabalhos sobre esse tema, e a maioria deles apresenta uma visão distorcida e pouco confiável da história da ciência.

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

Texto 6: A luz e o Século das Luzes

Thaís Cyrino de Mello Forato

O século XVII é geralmente considerado o auge da revolução científica no ocidente. Os historiadores costumam chamar de revolução porque muitas mudanças importantes aconteceram na ciência. Os filósofos naturais estavam procurando um consenso sobre o modo de investigar a natureza, pois havia muitas propostas diferentes e cada pensador utilizava certa maneira de analisar os fenômenos naturais. Muitos concordavam pelo menos em algumas coisas, por exemplo, a importância da matemática – e sua capacidade de fazer previsões – e de se fazerem experimentos. Porém, variava o modo de combinar essas coisas. Muitos pensadores da época recorriam também à

alquimia, maneira especial de lidar com a natureza no laboratório, que havia sido levada para a Europa por algumas tradições árabes durante a Idade Média. Os alquimistas acreditavam que a matéria possuía poderes ocultos, que podiam ser estudados e manipulados pelos homens.

No final desse século e início do seguinte Isaac Newton (1642-1727) publicou dois livros que se tornaram muito famosos: *Princípios matemáticos da filosofia natural* (1687) e *Óptica* (1704). O modo como Newton investigava os fenômenos naturais nessas duas obras tornaram-se modelo para os pensadores do século XVIII, o melhor método para se investigar a natureza. Eles acreditavam que no livro *Princípios* Newton os havia ensinado a fazer física teórica e na *Óptica* a como fazer física experimental.

Ao longo do século XVIII os seus seguidores (conhecidos como newtonianos) pegaram apenas a parte que eles consideravam como “científica” de seu trabalho e a utilizaram para desenvolver ainda mais a “doutrina newtoniana”. Claro que muitos deles deram suas contribuições originais também. Pierre Simon de Laplace (1749-1827) foi um dos principais articuladores do newtonianismo na França e ajudou a desenvolver as ferramentas matemáticas fundamentais para estabelecer as bases da física a partir do legado de Newton. Ele e outros contemporâneos aplicaram as leis da mecânica propostas por Newton para outros fenômenos físicos conhecidos no período, como o calor, a eletricidade e o magnetismo.

Assim, elaborou-se um sistema tão completo e tão bem amarrado que parecia uma sólida construção. Com ele, explicavam-se praticamente todos os fenômenos físicos conhecidos e, além disso, ainda propunha como a natureza deveria ser investigada, ou seja, qual método deveria ser utilizado. Porém, os newtonianos selecionaram os aspectos do trabalho de Newton que eles consideravam adequados ignorando, por exemplo, as idéias que não eram necessárias nas bases dessa ciência tão completa.

Essa imagem da física durante o século XVIII combinava muito bem com o que estava acontecendo na época. Na verdade, não apenas combinava, mas fazia parte da cultura daquele período histórico. Era o Iluminismo, o “Século das Luzes”, que procurava explicações para todas as coisas adotando o método da ciência física. Para os iluministas, só através da razão o homem poderia alcançar o verdadeiro conhecimento do funcionamento do Universo. Foi esse movimento que permitiu o desenvolvimento do capitalismo e da sociedade moderna. Os homens queriam uma sociedade “livre”, com oportunidades iguais para todos. Eles achavam que as riquezas deveriam ser extraídas da terra, do mundo natural. A ciência era, portanto, o único caminho para o homem dominar a natureza. Para isso, a física estava lá, pronta para ser utilizada em favor dos homens e dos seus propósitos. Newton havia deixado as leis e o método, bastava saber aplicá-los. Newton era o modelo de homem da ciência que todos queriam imitar. Toda essa visão de mundo contribuiu para que os filósofos naturais, e futuramente os cientistas, passassem a abraçar apaixonadamente a

doutrina newtoniana e procurassem estendê-la para as outras ciências. Chegou-se assim à revolução industrial, e mais do que nunca, o mundo era visto como uma máquina.

Acontece que no meio de toda essa construção teórica, estava a teoria corpuscular para a luz. Ela fazia parte dessa estrutura e era coerente com essa visão de mundo, por isso, praticamente ninguém a questionava. A luz seria composta por minúsculas partículas emitidas pelos corpos luminosos que viajavam através do espaço vazio e dos corpos transparentes. Essa teoria não entrava em confronto com a crença na existência do éter, pois ele era tido como um meio tão rarefeito, que não oferecia resistência à propagação da luz. Os corpúsculos da luz seriam atraídos ou repelidos pelas partículas dos corpos, dependendo do caso e assim as mesmas leis mecânicas que explicavam a interação entre corpos, também explicavam a luz.

Diante de tudo isso, a teoria ondulatória foi quase esquecida durante o século XVIII e poucos eram os que ainda acreditavam nela, como Leonard Euler (1707-1783), por exemplo, conhecido pelas contribuições na matemática. Porém, na virada para o século XIX, coisas surpreendentes aconteceram e fizeram renascer a velha disputa entre a teoria ondulatória e corpuscular para explicar a natureza da luz.



Euler (1707-1783)



Laplace (1749-1827)

Referências bibliográficas

BERNARDO, L. M. Concepções sobre a natureza da luz no século XVIII em Portugal. *Revista da SBHC*, no. 19, p. 3-12, 1998.

CANTOR, G. N.; HODGE, M. J. S. (eds.). *Conceptions of ether. Studies in the history of ether theories. 1740-1900*. Cambridge /London /New York: Cambridge University Press, 1981.

MARTINS, Roberto de Andrade. O surgimento da teoria da relatividade restrita. In: CARDOSO, Walmir Thomazi; SILVA, Cibelle Celestino (eds.). *Tópicos de história das ciências naturais*. São Paulo: Editora Manole (no prelo).

WHITTAKER, E. T. *A history of the theories of Aether and electricity*. London, Nelson, 1953. 2 vols.³²

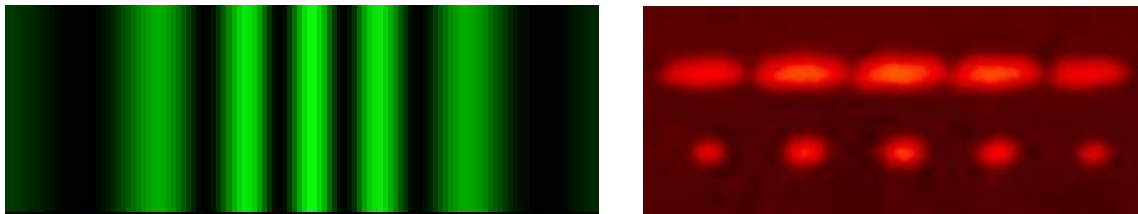
³² Reprinted as Vol. 7 in the series *The history of modern physics, 1800-1950*. Thomas Publishers/American Institute of Physics, 1987.

Texto 7: A luz e o éter luminífero no início do século XIX

Thaís Cyrino de Mello Forato

Depois de quase um século em que praticamente todo mundo achava que a luz era feita de partículas, um médico, físico e lingüista inglês chamado Thomas Young (1773-1829) retomou algumas idéias da teoria ondulatória. Young estudava o processo da voz humana e outros fenômenos relacionados ao som. Nessa época ele começou a realizar experimentos com a luz e observou um fenômeno que não poderia ser explicado pela teoria corpuscular da luz - que era a teoria predominante na época.

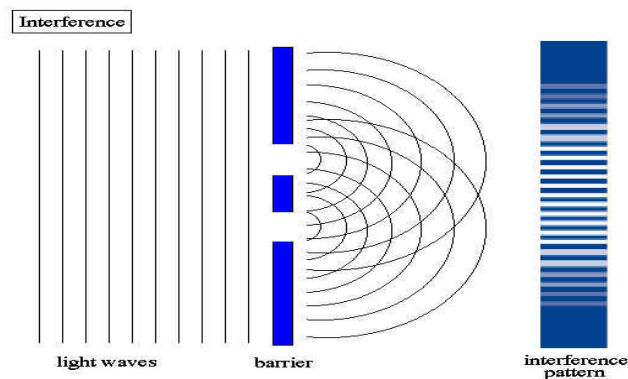
Quando um feixe de luz passava por uma fenda, ele projetava uma região clara de maior intensidade no centro de um anteparo, mas quando a luz passava por duas fendas, NÃO se formava na parede a imagem de duas fendas! Dois feixes de luz projetavam no anteparo várias regiões claras! Como dois feixes de partículas poderiam produzir uma imagem com regiões claras e escuras?



Depois de muitos estudos e muitas experiências, e inspirado por uma analogia com os fenômenos sonoros, Young percebeu que uma teoria de tipo ondulatória, como a de Huygens, por exemplo, poderia ajudar a entender esse fenômeno. Ele **construiu** uma explicação que **partia de algumas hipóteses**:

- um éter permeia todo o Universo, sendo muito rarefeito e elástico;
- ondulações são excitadas nesse éter quando um corpo se torna luminoso;
- a sensação de diferentes cores depende das diferentes frequências de vibração, excitadas pela luz na retina.

Interferência



Ondas de luz

barreira

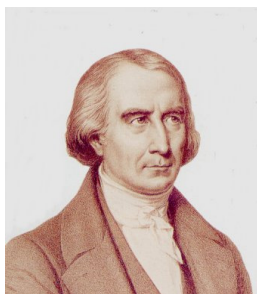
padrão de interferência

Ele propôs então que as ondas de luz poderiam produzir um efeito que fosse resultante da combinação dos movimentos de cada onda. Esse fenômeno é conhecido atualmente como sobreposição e interferência de ondas, podendo haver interferência construtiva ou destrutiva, dependendo de como as ondas se sobrepõem. Young explicou o surgimento das franjas no anteparo do seguinte modo: as ondas poderiam se “espalhar” ao passar pelas fendas, formando frentes de onda circular do outro lado. A sobreposição entre tais frentes de onda produziria regiões de interferência construtiva e destrutiva, o que causaria as regiões claras e escuras no anteparo.

Entretanto, isso não convenceu a maioria dos físicos daquela época, que continuaram acreditando na teoria corpuscular. Um deles, François Jean Dominique Arago (1786-1853) realizou um experimento em 1809 em que ele esperava obter determinado efeito. Mas, para sua surpresa, o experimento não deu a observação esperada. Ele não conseguia explicar o resultado inesperado utilizando a teoria corpuscular. Alguns anos depois, algo aconteceu e contribuiu para Arago mudar sua opinião, passando a acreditar na teoria ondulatória da luz.



Young (1773-1829)



Arago (1786-1853)



Fresnel (1788-1827)

A Academia de Ciências francesa havia proposto em 1817 um prêmio para o melhor trabalho sobre o fenômeno da difração. Os membros da comissão julgadora Laplace, Poisson e Biot eram todos defensores da teoria corpuscular. O resultado do concurso foi surpreendente: o vencedor do prêmio foi Augustin Fresnel (1788-1827) com um trabalho que defendia a teoria ondulatória. Arago era o presidente da Academia nessa época, e perguntou a Fresnel se era possível explicar o resultado de seu experimento de 1809, utilizando a teoria ondulatória. Algum tempo depois, Fresnel enviou a resposta em uma carta, onde, além de explicar o experimento, apresentou uma sofisticada teoria para os fenômenos da luz, baseada na idéia de a luz ser uma onda.

Os trabalhos de Young e Fresnel provocaram grande mudança nas crenças da época. Em 1820, a maioria dos físicos ainda acreditava na teoria corpuscular, porém, em 1830, a situação era oposta: a teoria ondulatória da luz passou a dominar o cenário científico. Porém essa mudança trazia consigo uma importante consequência: uma pedra provoca ondas na água, o som é uma onda no ar, mas e a luz? A luz é uma onda em que meio? Obviamente, naquela época ninguém falava em campos, em ondas eletromagnéticas, isso só foi **inventado** no final do século XIX. Então, quando

os físicos passaram a aceitar que a luz era uma onda, eles precisaram “aceitar a existência” do éter luminífero, um suporte para a luz.

É claro que essa transição não foi nada fácil! Essa ruptura não significava apenas abandonar uma concepção corpuscular para a luz. Os newtonianos haviam desenvolvido durante o século XVIII um sistema muito bem articulado, com as leis da mecânica de Newton sendo aplicadas a praticamente todos os fenômenos físicos conhecidos até então. Eles até faziam “vista grossa” para um ou outro detalhe que a teoria de Newton não conseguia explicar direito. A luz era explicada por esse sistema de pensamento como sendo corpúsculo e obedecendo às mesmas leis. Substituir a concepção corpuscular da luz pela teoria ondulatória requereu uma reorganização em várias teorias físicas.

Pois é! Essa **mudança** provocou uma revolução e abriu caminho para outros desenvolvimentos e muitos experimentos. A teoria de Fresnel possuía equações que explicava vários fenômenos naturais e adotava a existência de um éter luminífero que preenchia os espaços vazios do Universo. O éter de Fresnel era muito rarefeito, não atrapalhava o movimento dos corpos, mas era suficientemente rígido para propagar uma ondulação, a luz.

Durante o século XIX, muitos experimentos foram realizados na tentativa de verificar a teoria de Fresnel. Alguns deram resultados positivos e outros não confirmaram a teoria. De qualquer modo, até o final do século XIX, todos aceitavam a luz como sendo uma onda que se propagava no éter. Porém, embora o éter luminífero tivesse um papel fundamental em diversas teorias, ele também tinha problemas. Na época em que prevalecia a necessidade de encontrar na natureza as repostas para todas as indagações humanas, aceitar algo que não poderia ser **verificado experimentalmente**, incomodava vários cientistas. No início do século XX, a teoria da relatividade, que contribuiu para grandes mudanças na física, explicava vários fenômenos sem a necessidade de recorrer ao éter. Com o tempo, isso levou a maior parte dos cientistas a negarem sua existência.

É muito ingênuo pensar que as teorias científicas possam ser comprovadas definitivamente. Quando por razões experimentais ou teóricas uma teoria é rejeitada, outro modelo explicativo para o fenômeno é proposto. Muitas teorias foram elaboradas durante a história da ciência na tentativa de explicar a natureza da luz. Algumas permaneceram aceitas por um tempo, até que outros fenômenos ou novas explicações pudessem questioná-las. O éter foi um ente não observável muito útil para algumas teorias, explicando não apenas a luz, mas também alguns fenômenos térmicos e magnéticos.

Todo esse processo dinâmico de construção do conhecimento científico ao longo dos tempos tem muito a nos ensinar sobre a natureza da ciência. Vimos exemplos de que as teorias da ciência não são elaboradas unicamente a partir da experiência. Os experimentos representam um papel muito importante na construção da ciência, mas é necessário levar em conta outros fatores

também. Apenas a observação da natureza não é suficiente para a elaboração de conceitos e teorias. Os exemplos estudados sugerem que é necessário formular hipóteses, construir modelos e acreditar em certos pressupostos que influenciarão a observação dos fenômenos. Se for possível falar que existe um método científico, certamente ele **NÃO** é um modelo infalível “experimento-observação-teoria”.

Discutimos três episódios da história da óptica em que muitos debates envolveram os estudos da natureza da luz. Tais debates são fundamentais para a construção do conhecimento científico, afinal, a ciência é produzida por meio de muitas discussões, especulações e divergências. O processo não é linear, pois muitas teorias já derrubadas são retomadas e reelaboradas em um novo contexto, quer dizer, não existe uma teoria que vai passando de uma época a outra e se aperfeiçoando indefinidamente. Ao longo do tempo, ocorrem **mudanças**, rupturas e divergências no modo de explicar os fenômenos naturais.

A busca pela verdade sobre o funcionamento da natureza é um processo complexo, e nos conduz a uma busca sem fim no desafio de compreender o Universo.

Questões:

- 1) Observar o fenômeno da difração permite que se conclua que a luz é uma onda? Explique.
- 2) Qual era a utilidade do éter luminífero para a óptica do início do século XIX?
- 3) As seguintes frases estão corretas ou erradas? Justifique.
 - a) “Os experimentos de Thomas Young foram suficientes para derrubar a teoria corpuscular da luz”.
 - b) “O conhecimento humano é uma busca sem fim que leva a resultados provisórios e não à verdade.”
 - c) “Falar que uma teoria foi ‘cientificamente comprovada’ pode dar uma visão errada da construção do conhecimento científico”.
- 4) Comente um exemplo histórico para a seguinte afirmação: “A realização de experimentos é muito importante para a elaboração de teorias científicas, mas não é possível tirar conclusões apenas a partir da observação do mundo natural.”

Referências bibliográficas

CANTOR, G. N.; HODGE, M. J. S. (eds.). *Conceptions of ether. Studies in the history of ether theories. 1740-1900*. Cambridge /London /New York: Cambridge University Press, 1981.

FRESNEL, A. Lettre d’Augustin Fresnel à François Arago sur l’influence du mouvement terrestre dans quelques phénomènes d’optique. *Annales de Chimie et de Physique*. 9 : 57–66 ; 286, 1818.

LEVITT, T. Editing out caloric: Fresnel, Arago and the meaning of light. *British Journal of the History of Science* 33 (116): 49-65, 2000.

MARTINS, Roberto de Andrade. Em busca do nada: considerações sobre os argumentos a favor do vácuo ou do éter. *Trans/Form/Ação*. 16: 7-27, 1993.

_____. O retorno do éter. *Scientific American Brasil*, vol. 2, p. 27, julho de 2002.

_____. “Do éter ao vácuo e de volta ao éter”. *Scientific American Brasil – Os Grandes Erros da Ciência*, Especial História vol 6: 92-98, 2006 b.

_____. O surgimento da teoria da relatividade restrita. In: CARDOSO, Walmir Thomazi; SILVA, Cibelle Celestino (eds.). *Tópicos de história das ciências naturais*. São Paulo: Editora Manole (no prelo).

NERSESSIAN, N. J. “Aether/or: The Creation of Scientific Concepts”. *Studies in the History and Philosophy of Science*, 15: 175-212, 1984.

PIETROCOLA, M. O éter luminoso como espaço absoluto. *Cadernos de História e Filosofia da Ciência*. [série 3] 3 (1/2): 163-182, 1993a.

_____. Fresnel e o arrastamento parcial do éter: a influência do movimento da Terra sobre a propagação da luz. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*. 10 (2): 157-172, 1993b.

_____. O espaço pleno e a concepção do éter. *A Física na Escola*, vol. 3, n. 2, outubro de 2002.

WHITTAKER, E. T. A history of the theories of Aether and electricity. London, Nelson, 1953. 2 vols.³³

WORRALL, J. How to remain (reasonably) optimistic: Scientific realism and the luminiferous ether. *PSA: Proceedings of the Biennial Meeting of the Philosophy of Science Association*. 1: 334-342, 1994.

Texto 8: Peça de teatro O éter e a natureza da luz

O roteiro para a peça de teatro encontra-se no Apêndice D.4.

³³ Reprinted as Vol. 7 in the series *The history of modern physics, 1800-1950*. Thomas Publishers/American Institute of Physics, 1987.

Apêndice C: Curso piloto – Aplicado em setembro de 2007

C.1. Planejamento pedagógico da seqüência didática – versão piloto

Episódio I: Um pouco sobre a luz na Antiguidade grega

Objetivos:

Criticar a visão normalmente aceita de que as leis são propriedades da natureza, previamente existentes, e que cabe aos homens descobri-las. Objetivamos nesta introdução ao curso, principalmente, mostrar que:

- 1) a natureza não fornece evidências suficientemente simples que permitam interpretações sem ambigüidades;
- 2) as teorias desses filósofos eram hipóteses que estavam vinculadas ao modo como cada um entendia o funcionamento do Universo.

O objetivo não é levar ao aluno detalhes acerca de cada teoria, mas mostrar como elas possuíam pressupostos diferentes. Pretendemos levá-lo a refletir se os pensadores construíam deduções incontestáveis ou hipóteses para explicar os fenômenos naturais.

Quadro Sintético:

ATIVIDADE	MOMENTOS	TEMPO
1. Linha cronológica	Organizar pensadores e eventos: jogo “colocando na linha do tempo”.	2
	Apresentar a linha cronológica.	
	Quebra-cabeça com o texto 1: “A filosofia e as explicações para o funcionamento da natureza”.	
2. Discussões de algumas teorias da luz na Antiguidade Grega	Apresentação e discussão de algumas teorias da luz e da visão em <i>Slides</i> .	1,5
	Leitura do texto 2: “Um pouco sobre a luz na Antiguidade grega”.	
	Responder em grupo às questões do texto 2.	
3. Sistematização	Discussão e correção das respostas.	0,5
	Síntese do episódio.	
	Total	4 aulas

Descrição das Atividades:

Atividade 1 – Linha Cronológica

Objetivo: Introduzir o tema do curso, localizar no tempo os pensadores e os episódios a serem tratados, apresentar a história da ciência como uma atividade humana.

Conteúdo: Ciência construída por diversos povos, influenciada pelo contexto social e cultural de cada povo e época.

Recursos de Ensino: Cartões com pensadores e eventos históricos e faixa cronológica de 1,0 m x 6,0 m.

Dinâmica da Atividade: O curso inicia com uma pequena atividade para introduzir a linha cronológica. O professor entrega alguns cartões com filósofos e eventos históricos bem conhecidos para os alunos colocarem numa seqüência cronológica. Os cartões trarão o nome do pensador, algum fato marcante de sua vida e uma “pista” sobre a época em que teria vivido. Depois disso, o professor apresenta a linha cronológica e cada aluno compara sua montagem com aquela apresentada pelo professor. Quando falar sobre a linha do tempo, o professor fará um breve comentário sobre cada período que será tratado no curso. Essa atividade é uma oportunidade para o professor ressaltar a ciência como uma atividade humana que vem sendo construída ao longo da história e sujeita a influências culturais de cada período e povo. O quadro traz pensadores de distintos povos, como árabes, indianos e chineses, para permitir discussões sobre sua contribuição na construção da ciência.

- 1) Professor distribui cartões e pede que os alunos coloquem eventos e pensadores em uma ordem cronológica
- 2) Abertura da faixa contendo a linha cronológica e afixação na parede
- 3) Alunos comparam sua montagem com a faixa
- 5) Professor apresenta a faixa revisando/comentando alguns períodos conhecidos da história da ciência, buscando enfatizar as seguintes idéias:
 - i. vários povos contribuem para a construção da ciência;
 - ii. os critérios para a construção do conhecimento sobre a natureza muda de época para época e de cultura para cultura;
 - iii. o pensamento mítico para explicar os fenômenos naturais: os deuses eram a causa dos fenômenos naturais. Professor comenta sobre filmes que ilustram essa interpretação da história, como *A guerra de Tróia*, *Jasão e os Argonautas* que mostram os deuses provocando fenômenos naturais e sua interação com os homens;
 - iv. as contribuições gregas de Tales e seus contemporâneos para o pensamento filosófico: explicar pelo pensamento e pelo raciocínio. O professor mostra a época e alguns filósofos na linha do tempo. É possível fazer uma diferenciação com o período anterior, comentando sobre o filme *Alexandre* e a interação entre o mestre Aristóteles e seu discípulo;
 - v. a localização geográfica da Grécia na rota de diversos povos favoreceu a troca de conhecimentos com outras culturas;

- vi. a Idade Média NÃO foi a idade das trevas. Muitos conhecimentos cruciais para a chamada revolução científica foram produzidos nesse período, principalmente entre os árabes. Como exemplo ilustrativo, o professor pode comentar sobre o “médico árabe” e seus saberes diferenciados no filme *Robin Hood* (com Kevin Costner);
 - vii. o século XVII como o auge da revolução científica; falar da diversidade de métodos, das contribuições do Renascimento, como a magia natural e a alquimia;
 - viii. o Iluminismo e a Revolução Industrial;
 - ix. reviravolta na ciência no século XX: teoria da relatividade e quântica (relembrar o efeito fotoelétrico, por exemplo);
 - x. o professor introduz o assunto do curso: três episódios da história da óptica, tratando de alguns aspectos da natureza da luz;
 - xi. algumas informações sobre a faixa: imagens dos pensadores árabes são desenhos imaginados por artistas em épocas mais recentes, pois a reprodução das figuras humanas era proibida entre os povos islâmicos; imagens dos pensadores indianos também são criações artísticas, pois na Índia a criação individual não era importante; a imagem de Hipácia de Alexandria também é uma criação, ninguém sabe nada sobre como ela seria etc.
- 5) O professor entrega o texto 1: “A filosofia e as explicações para o funcionamento da natureza” recortado em parágrafos, para que os alunos em grupo reconstruam o texto. Depois disso, os alunos fazem a leitura com o professor, que esclarece possíveis dúvidas.

Atividade 2 – Algumas teorias da luz na Antiguidade grega

Objetivo: Mostrar que as teorias elaboradas por esses filósofos eram hipóteses vinculadas ao modo como cada um entendia o funcionamento do Universo.

Conteúdo: A luz para Leucipo, Empédocles e Aristóteles. Pensando sobre a diversidade de teorias.

Recursos de Ensino: Apresentação em *Slides*; texto 2 de apoio, resolução e discussão de questões.

Dinâmica da Atividade: Como os homens explicaram a luz em diferentes momentos da nossa história? O professor apresenta algumas das primeiras teorias acerca da luz e da visão na Antiguidade grega, utilizando um projetor de multimídia com imagens e animações. Entrega o texto 2: “Um pouco sobre a luz na Antiguidade grega” aos alunos e propõe que eles respondam em pequenos grupos às questões propostas.

Atividade 3 – Sistematização

O professor ouve e comenta com toda a classe as repostas dos alunos às questões do texto 2. Nesse momento ele identifica os pontos em que os alunos demonstram insegurança ou dúvidas com

relação ao assunto tratado. Ele faz então a síntese do episódio, buscando enfatizar os aspectos em que os alunos mostraram dificuldades e ressaltando os aspectos pretendidos acerca da natureza da ciência.

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

Objetivos:

Mostrar que havia diferentes teorias no período e todas eram fundamentadas com relação ao que se considerava como válido na investigação da natureza. Grandes pensadores elaboraram teorias que hoje achamos absurdas.

Enfatizar que esse foi o período em que estava se delineando a concepção moderna de ciência e o método proposto por Newton em sua óptica foi considerado como o melhor método para a filosofia natural, prescrevendo a suposta observação “neutra” dos fenômenos. Porém pretendemos mostrar que havia mais de uma interpretação possível para esses fenômenos e, portanto, seria ingênuo acreditar em “observação neutra”.

Discutir a influência do prestígio de um cientista ou de um grupo na aceitação das teorias científicas.

Quadro Sintético:

ATIVIDADE	MOMENTOS	TEMPO
1. Esquentando os motores	Quebra-cabeça com o texto 3: “O frágil bebê que se tornou o grande filósofo natural”	Lição de casa
2. Revendo os fenômenos ópticos: reflexão, refração e dispersão	Demonstração da dispersão da luz branca em um prisma; apresentação de imagens em <i>Slides</i> .	2
3. Luz no XVII: onda ou corpúsculo?	Apresentação em <i>Slides</i> : teorias de Newton e Huygens.	
	Demonstração com lanternas e bolas de gude.	
	Leitura do texto 4: “Fim do século XVII: corpúsculos ou pulsos no éter?”.	
	Responder às questões do texto 4.	
4. Sistematização	Discussão sobre as questões e síntese do episódio.	1
5. Debate	Leitura do texto 5: “Os pulsos no éter de Huygens”; texto 6: “A teoria corpuscular de Newton”.	3
	Preparação em grupo para o debate.	

	Debate entre os grupos.		
		Total	6 aulas

Descrição das Atividades:**Atividade 1 - Esquentando os motores**

Objetivo: Estabelecer um primeiro contato com o século XVII e abordar alguns aspectos da vida de Isaac Newton, personagem que desempenha papel importante nas próximas discussões do curso. Busca-se retratar Newton de modo mais humanizado e visto no contexto de sua época, a partir de uma interpretação contextual da história da ciência.

Conteúdo: Breve síntese de aspectos biográficos de Isaac Newton.

Recursos de Ensino: Texto 3.

Dinâmica da Atividade: Os alunos receberam na aula anterior o quebra-cabeça do texto 3 como lição de casa. Como o texto está recortado em parágrafos, a leitura deve ser atenta, pois os alunos precisam reconstruí-lo.

Atividade 2 - Fenômenos ópticos

Objetivo: Rever com alunos os fenômenos ópticos que fundamentam a discussão sobre as teorias e constituem os fenômenos que compõem o argumento para defender e refutar as hipóteses rivais.

Conteúdo: Reflexão da luz, refração da luz e dispersão da luz em um prisma.

Recursos de Ensino: Retroprojektor; tecido preto; prisma de acrílico; data-show.

Dinâmica da Atividade: O retroprojektor foi utilizado para fornecer luz branca de intensidade adequada à demonstração. Com o tecido preto, criou-se um feixe de luz branca entre a superfície plana do retroprojektor e a célula que desvia a luz, projetando-a no anteparo. O prisma foi colocado no orifício deixado pelo tecido preto, enviando a luz já dispersa para a célula que a projetava na parede da sala, formando o espectro alongado de cores. A professora apresentou a dispersão no prisma, ressaltando o aspecto contínuo do espectro em oposição ao famoso “sete cores” do arco-íris. Ela perguntou aos alunos como eles acham que isso ocorre, preparando a discussão sobre a controvérsia no XVII sobre o prisma modificar e não separar a luz. Depois disso, foram apresentadas à classe imagens dos fenômenos ópticos da reflexão e refração e suas representações geométricas em *Slides*.

Atividade 3 - Luz no XVII: onda ou corpúsculo?

Objetivo: Apresentar breve panorama da óptica no século XVII e enfatizar as teorias de Huygens e Newton quanto à natureza da luz, fornecendo subsídios para a discussão dos aspectos da natureza da ciência pretendidos:

- a formulação de hipóteses e a construção de modelos admitem pressupostos que influenciam a observação dos experimentos;
- teorias não podem ser provadas e não são elaboradas unicamente a partir da experiência.

Conteúdo: A luz como ondas no éter para Huygens, os corpúsculos da luz de Newton e as controvérsias acerca do experimento de Newton com o prisma.

Recursos de Ensino: Textos 4; 5 e 6, data-show; lanternas e bolas de gude.

Dinâmica da Atividade: Com os *Slides*, a professora apresentou uma síntese da óptica no século XVII, dando especial ênfase às teorias de Newton e Huygens, ressaltando os aspectos favoráveis e as dificuldades de cada teoria, no que se refere à natureza da luz. Para ilustrar as idéias do encontro dos raios luminosos em ambas as teorias, ela utilizou duas lanternas com que demonstrou o cruzamento dos raios luminosos e a colisão entre dois feixes de bolas de gude.

Atividade 4 – Sistematização

O professor ouve e comenta com toda a classe as repostas dos alunos às questões do texto 4. Nesse momento ele identifica os pontos em que os alunos demonstram insegurança ou dúvidas com relação ao assunto tratado. Ele faz então a síntese do episódio, buscando enfatizar os aspectos em que os alunos mostraram dificuldades e ressaltando os aspectos pretendidos acerca da natureza da ciência e mostrando pontos favoráveis e dificuldades em ambas as teorias.

Atividade 5 - Debate

Objetivo: Permitir que os alunos vivenciem o debate entre idéias e percebam que há bons argumentos em ambas as teorias, bem como limitações.

Conteúdo: Aspectos da natureza da luz nas teorias de Huygens e Newton.

Recursos de Ensino: Textos 4, 5 e 6; simulação do debate.

Dinâmica da Atividade: O professor faz a leitura dos textos 5 e 6 com os alunos, esclarece dúvidas, levanta questões, discute exemplos. Depois os grupos do debate se reúnem para a preparação da argumentação, enquanto o restante da classe que fará o papel de júri elabora perguntas para os grupos. No dia seguinte os alunos colocam-se em dois grupos diante do júri e

inicia-se o debate. Ao final, o júri se reúne para escolher a teoria mais bem defendida e os argumentos mais consistentes.

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

Objetivos:

Discutir com os alunos os seguintes aspectos da natureza da ciência:

- 1) teorias não podem ser provadas;
- 2) teorias não são elaboradas unicamente a partir de experimentos, mas estes são muito importantes para a elaboração do conhecimento científico;
- 3) os cientistas formulam hipóteses, constroem modelos, e admitem certos pressupostos que influenciam a observação dos experimentos.
- 4) cientistas que compartilham os mesmos pressupostos sobre o funcionamento do mundo tendem a aceitar as mesmas teorias.

Quadro Sintético:

ATIVIDADE	MOMENTOS	TEMPO
1. Fazendo uma ponte	Quebra-cabeça do texto 7: “A luz e o Século das Luzes”.	Lição de casa
2. Teatro	Apresentação do teatro texto 8: “O éter e a natureza da luz”.	2
	Discussão com a classe sobre a apresentação.	
	Questões sobre o teatro.	
3. Difração e interferência luminosa: onda ou corpúsculo?	Demonstração da difração e da interferência.	3
	Trecho do vídeo: Dr. Quantum – <i>Double slit experiment</i> , Disponível em: < http://www.youtube.com/watch?v=lytd7B0WRM8 >	
	Apresentação <i>Slides 3</i> : * Fenômenos ópticos: sombras e difração; sobreposição e interferência * As teorias da luz e o éter luminífero no início do século XIX.	
	Texto 9: “As teorias da luz e o éter luminífero no início do século XIX”.	

	Responder às questões do texto 9.	
4. Sistematização	Correção e discussão das questões.	1
	Síntese do episódio.	
		Total
		6 aulas

Descrição das Atividades:**Atividade 1 – Fazendo uma ponte**

Objetivo: Estabelecer uma ligação entre os episódios II e III, favorecendo a compreensão dos debates que ocorreram no início do século XIX entre as teorias corpuscular e ondulatória para a luz.

Conteúdo: Aspectos da sistematização da doutrina newtoniana realizada ao longo do XVIII, especialmente com relação à teoria corpuscular para a luz.

Recursos de Ensino: Texto 7: “A luz e o Século das Luzes”.

Dinâmica da Atividade: Os alunos receberam na aula anterior o quebra-cabeça do texto 7. O professor esclarece que sua leitura é importante para compreender o teatro da aula seguinte. Como o texto está recortado em parágrafos, a leitura deve ser atenta, pois os alunos precisam reconstruí-lo.

Atividade 2 - Teatro

Objetivo: Criar uma atividade pedagógica motivadora envolvendo os principais aspectos acerca da natureza da ciência tratados ao longo do curso.

Conteúdo: Situações fictícias imaginadas a partir de alguns aspectos da história da óptica envolvendo o conceito das teorias luminosas com o éter luminífero.

Recursos de Ensino: Texto 8: “O éter e a natureza da luz”.

Dinâmica da Atividade: No bimestre anterior ao módulo em que a seqüência didática foi aplicada, o professor apresentou a proposta do teatro para a classe e perguntou quais alunos estavam interessados em participar. Como a escola trabalha no sistema modular com as disciplinas organizadas em dias consecutivos, foi necessário entregar o texto antes que o curso iniciasse. Explicamos aos alunos que nesse momento eles decorariam as falas, mesmo sem compreender os aspectos conceituais envolvidos no texto. Essa compreensão viria durante o curso. Tais alunos ensaiaram o texto e criaram os recursos sugeridos, como a abertura, o cenário, o figurino, e um episódio introdutório, que não estava previsto no roteiro, com a finalidade de mais alunos poderem participar, já que os interessados eram em maior número que os personagens previstos. Após a

apresentação, a professora reuniu toda a sala para uma discussão sobre os assuntos tratados na peça e a compreensão sobre o tema.

Atividade 3 – Difração e interferência luminosa: onda ou corpúsculo?

Objetivos: Mostrar por que o fenômeno da difração e interferência não era explicado satisfatoriamente pela teoria corpuscular e como isso favorecia a teoria ondulatória; a necessidade do ente inobservável, éter luminífero, para lidar com tal questão; alguns fatores que permearam essa mudança na aceitação de teorias, além de aspectos experimentais, como o prestígio de Arago e seu apoio a Fresnel e a sofisticação matemática de Fresnel no desenvolvimento da teoria ondulatória.

Conteúdo: Revisão de alguns fenômenos ópticos: sombras e difração; sobreposição e interferência; o vazio e a importância do éter na teoria ondulatória; rompendo com a tradição corpuscular; o experimento de Arago; os corpuscularistas e o prêmio de Fresnel; a teoria de Fresnel e a aceitação da teoria ondulatória.

Recursos de Ensino: Data-show; folhas de papel escuro com figuras geométricas recortadas no centro; trecho inicial do vídeo disponível no *Youtube*: *Dr. Quantum e o experimento da dupla fenda*; apresentação em *slides*; texto 9: “As teorias da luz e o éter luminífero no início do século XIX”.

Dinâmica da Atividade: O professor utilizou o data-show e as folhas com figuras geométricas recortadas para demonstrar a formação de sombras com formas bem definidas, a difração da luz quando usou uma única fenda no papel feita com a navalha de um estilete, e o fenômeno da interferência quando utilizou um papel com fendas duplas. Depois disso, utilizou o início do filme *Dr. Quantum* para mostrar os padrões de interferência esperados num anteparo ao fazer incidir em fendas um feixe de partículas e um feixe de ondas na água. Em analogia com o filme, e durante a apresentação das teorias históricas no *Slides*, o professor discute as limitações da teoria corpuscular na explicação do fenômeno óptico da interferência luminosa. Os alunos fazem a leitura e respondem às questões do texto 9.

Atividade 4 – Sistematização

O professor ouve e comenta com toda a classe as repostas dos alunos às questões do texto 9. Nesse momento ele identifica os pontos em que os alunos demonstram insegurança ou dúvidas com relação ao assunto tratado. Ele faz então a síntese do episódio, buscando enfatizar os aspectos em que os alunos mostraram dificuldades e ressaltando os aspectos pretendidos acerca da natureza da ciência.

Encerramento do curso**Objetivos:**

Avaliar o conteúdo trabalhado durante o curso, além de oferecer aos alunos mais um contato com o material fornecido.

Quadro Sintético:

ATIVIDADE	MOMENTOS	TEMPO
1. Avaliação com consulta	Avaliação individual.	2
2. Festival cultural	Apresentação de músicas, história e poesia	2
	Total	4 aulas

Descrição das Atividades:**Atividade 1 – Avaliação com consulta**

Objetivo: A avaliação como uma estratégia de aprendizado.

Conteúdo: Questões sobre o conteúdo desenvolvido durante o curso.

Recursos de Ensino: A avaliação com consulta inspirada na “prova operatória” foi elaborada como mais um momento de contato do aluno com o conteúdo, pretendendo levá-lo a refletir de modo crítico; a interpretar o texto, e elaborar conclusões a partir dele (Ronca & Terzi, 1993). As questões foram desenvolvidas de modo que o conteúdo seja “a ponte para pensar, a alça para operar” (Ronca & Terzi, 1993, p. 39).

Dinâmica da Atividade: Os alunos respondem às questões individualmente, podendo consultar todo o material utilizado no curso.

Atividade 2 – Festival cultural

Objetivo: Pretendeu-se observar como o aluno compreendeu o conteúdo tratado durante o curso, adotando uma atividade didática diferente e motivadora.

Conteúdo: Todo o conteúdo tratado durante o curso.

Recursos de Ensino: Show com músicas, leitura de uma poesia e relato de uma história, baseados no conteúdo do curso.

Dinâmica da Atividade: Os alunos escreveram letras de músicas, uma poesia e uma história cômica baseando-se no conteúdo desenvolvido durante o curso.

C.2. Textos para os alunos – versão piloto

Os textos a seguir foram entregues aos alunos ao longo da aplicação do curso piloto em 2007. O conteúdo era primeiramente discutido durante a aula, com apresentações em *Slides*, exemplos, algumas demonstrações de experimentos, para só depois a professora fazer a leitura junto com os alunos. Algumas questões eram repetidas propositalmente, buscando problematizar o mesmo aspecto da natureza da ciência de diferentes modos.

Alguns textos foram utilizados de maneira diferenciada por grupos de alunos. A peça de teatro, por exemplo, foi entregue ao grupo que faria a representação, com um mês de antecedência, para os ensaios, mas o restante da sala só leu o texto depois de ter assistido à peça. Os dez alunos que integraram o debate entre a teoria ondulatória e a corpuscular também receberam os textos 4, 5 e 6 antes dos colegas. Como a escola em que o curso foi aplicado trabalha no sistema modular, as aulas ocorrem em dias subseqüentes, portanto, os alunos não teriam tempo entre as aulas para estudar e preparar os argumentos para o debate, desse modo, eles receberam os textos no início do curso. Os textos 3 e 7, cujo conteúdo desempenhava o papel de preparação para o episódio histórico seguinte, foram entregues como lição de casa, recortados em parágrafos, para que fossem reconstruídos pelos alunos.

Episódio I: Um pouco sobre a luz na Antiguidade grega

Texto 1: A filosofia e as explicações para o funcionamento da natureza

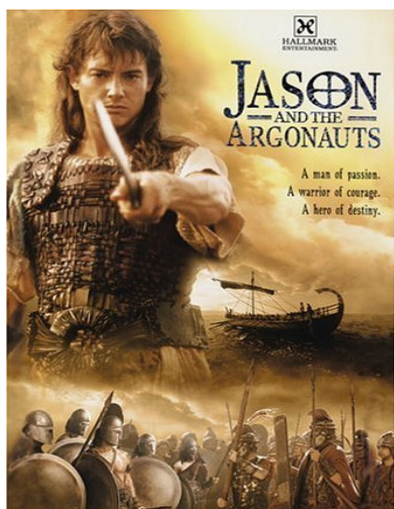
Thaís Cyrino de Mello Forato

Desde que os nossos antepassados na pré-história começaram a notar que havia algumas regularidades na natureza, como o dia e a noite, as estações do ano, eles perceberam que poderiam beneficiar-se delas. Conhecendo essas regularidades, eles aprenderam que havia o tempo de plantar e o tempo de colher; a época das cheias e a época das secas. Pouco a pouco os povos antigos passaram a interagir de modo planejado com a natureza, e isso trouxe benefícios, como, por exemplo, o surgimento da agricultura por volta de 8500 a.C.

As pessoas foram desenvolvendo ferramentas e utensílios para facilitar sua vida, mesmo sem saber explicar como as coisas funcionavam. Elas inventaram barcos que flutuavam nas águas, por exemplo, muito antes de propor leis físicas que explicassem como isso acontecia. A lei do empuxo foi desenvolvida muito tempo depois por Arquimedes (287 a.C.-212 a.C), um matemático e inventor de Siracusa, cidade na ilha da Sicília, na Itália.

Mesmo antes de compreender o funcionamento de espelhos e lentes de vidro, muitos povos antigos já os utilizavam. Um manuscrito encontrado no Egito, o *Papyrus Ebers*, de aproximadamente 1552 a.C., traz o que poderíamos considerar como remédios egípcios. Espelhos e

lentes datados da mesma época foram encontrados em várias partes do mundo. Contudo, não havia uma explicação organizada para tais fenômenos, pois o mundo natural era compreendido pelo pensamento mitológico e religioso.



Ilustrações 1 e 2: Filme Jasão e os Argonautas, dirigido por Nick Willing em 2000 e filme A Guerra de Tróia, dirigido por Wolfgang Petersen em 2004.

Os povos antigos atribuíam a existência de fenômenos naturais aos deuses (seres sobrenaturais) e conceberam muitos mitos para contar a história do mundo e explicar o seu funcionamento. Alguns séculos antes do nascimento de Cristo ocorreram mudanças muito importantes na Grécia, e o modo mítico de pensar foi aos poucos substituído por outro tipo de pensamento entre os homens de uma elite intelectual.

Entre os séculos IX e VI antes da era cristã, o mundo grego passou por uma profunda transformação. Ocorreu uma ampla mudança política, social, religiosa e cultural, envolvendo múltiplos fatores que não são ainda totalmente compreendidos. Por um lado, o contato comercial – e cultural – muito intenso com outros povos, nesse período, trouxe ao mundo grego uma variedade de idéias que passaram a ser confrontadas com o pensamento tradicional. Isso envolveu a entrada de novas concepções religiosas, políticas, filosóficas, científicas (por exemplo, na matemática e astronomia). (MARTINS, 1996, p. 34-35).

Tais transformações enfraqueceram a tradição cultural da época e o respeito pelos mitos e pela autoridade antiga começaram a ser questionados. Os pensadores passaram a buscar uma forma diferente de explicar a natureza. A localização geográfica da Grécia e seu contato comercial com outros povos trouxeram muitas informações e novos conhecimentos. Tudo isso contribuiu para o surgimento de um novo modo de olhar para os fenômenos naturais: a filosofia, que procurava fundamentar-se apenas no pensamento, na razão.

Esse novo processo de conhecimento, a filosofia grega, rompia com a tradição cultural e procurava fundamentar-se em raciocínios lógicos cujo modelo era a matemática.

Costuma-se dividir a filosofia grega em dois períodos: antes e depois de Sócrates. Os filósofos anteriores a Sócrates (os chamados “pré-socráticos”) escreveram muitas obras que, no entanto, não foram conservadas. Tudo o que se sabe sobre eles é indireto, baseado em pequenos trechos de seus escritos que foram citados por outros autores posteriores (os “fragmentos” dos pré-socráticos) e em descrições feitas por autores posteriores a Sócrates (os “testemunhos”, ou “doxografia”). Diante do pequeno número de informações sobre esses pensadores, qualquer tentativa de descrever seu pensamento será apenas uma tentativa, uma “reconstrução”, que pode ser até razoável, mas nunca será definitiva ou segura. Fala-se e escreve-se muito sobre Pitágoras, Heráclito, Tales e outros dos pré-socráticos; mas pouco se sabe, realmente, sobre o que eles ensinaram.(MARTINS, 1996, p. 35).

Foi nessa época, por volta do quinto século antes de Cristo, que os filósofos pré-socráticos elaboraram as primeiras teorias filosóficas para explicar os fenômenos naturais. Dentre esses fenômenos estão aqueles ligados à luz e à visão, que serão o próximo assunto do nosso curso.

Para saber mais:

Martins, Roberto de Andrade. *O universo: teorias sobre sua origem e evolução*. São Paulo: Moderna, 4. ed. 1996. (Esgotado).

A versão eletrônica desse livro está disponível gratuitamente em: www.ifi.unicamp.br/~ghct/Universo/

Texto 2: Um pouco sobre a luz na Antiguidade grega

Thaís Cyrino de Mello Forato

Você já olhou para o céu longe das luzes da cidade em uma noite sem nuvens? Quem não fica encantado diante daquela infinidade de estrelas brilhantes, da Via Láctea, e da luz prateada da Lua? Os povos antigos viam esse espetáculo da natureza praticamente todas as noites, pois não havia iluminação artificial para atrapalhar.

As primeiras formas de explicar a natureza foram a mitologia e a religião, até surgir na Antiguidade o pensamento filosófico. Os filósofos dessa época (por volta do século VI a. C.) começaram a indagar qual seria a “verdadeira” explicação para o funcionamento do mundo, sobre a luz, sobre a visão. Por que as estrelas brilham? Como vemos as estrelas? Por que não as vemos durante o dia? O que é necessário para enxergar? O que acontece nos olhos que nos permite ver? A informação sobre o mundo vem de fora ou está nos olhos?

Foram surgindo tentativas de responder a essas questões. Em primeiro lugar, você vê porque tem olhos, mas do que depende a visão? Não enxergamos em um quarto escuro, então, a visão depende da luz. Mas o que é a luz? Que relação ela tem com os olhos? Será que enxergamos porque algo sai dos nossos olhos? Será que a informação sobre o mundo chega aos nossos olhos? Se é algo que chega aos olhos, o que será?

O filósofo Leucipo de Mileto viveu por volta de 500 a.C. Ele acreditava que os objetos emitiam pequenas películas que chegavam aos nossos olhos ocasionando a visão. Tais películas denominadas *eidola*, emanavam (saíam) da superfície dos corpos levando informações sobre eles como a cor e a forma dos objetos. A luz para ele era essa emanção material transmitida dos objetos visíveis para o olho do observador, e a sensação visual seria causada pelo contato direto das *eidola* com o órgão dos sentidos.

Leucipo foi um dos atomistas mais conhecidos, como Demócrito (c.a. 460-370 a.C.); Epicuro (c.a. 341-270 a.C.) e Lucrécio (c.a. 98-55 a.C.). Eles acreditavam que o mundo era formado por minúsculas partículas eternas e indivisíveis: os átomos. Tais átomos se movimentavam no espaço vazio, ao acaso e em todas as direções. Algumas vezes eles “grudavam-se” quando se chocavam e a combinação entre diferentes partículas formava toda a matéria conhecida.

A teoria dos atomistas para explicar a luz e a visão era coerente com essas idéias sobre o mundo: a luz seria algo material, que saía dos objetos em todas as direções e entrava nos olhos provocando a visão. Porém a teoria atomista da visão não respondia a todas as questões levantadas na época, por exemplo: como as *eidola* passam umas pelas outras sem se chocarem? Como as *eidola* emitidas por uma árvore cruzam com as *eidola* de outros objetos? Uma não interagem com as outras? Por que elas não se “grudam” formando uma imagem confusa? Um homem vê um objeto à sua frente porque as *eidola* estão saindo desse objeto e chegando até seus olhos, como isso não interfere na visão de outro objeto cujas *eidola* estão indo para os olhos de outro homem e se cruzando no caminho? Ou seja, a luz passa “por dentro” da luz?

O tamanho dos objetos era também um problema para a teoria atomista: como a imagem de um objeto muito grande encolhe suficientemente para caber nos olhos? Como as *eidola* de uma montanha podem caber nos olhos? Por que os objetos distantes parecem menores?

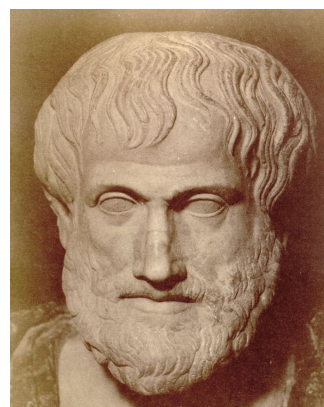
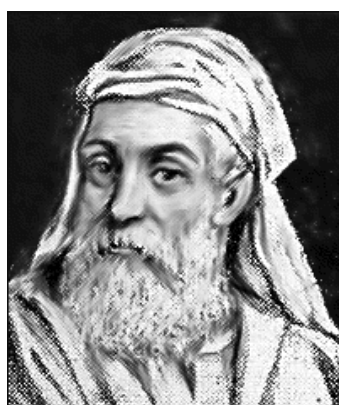
Já que a teoria atomista deixava tantas perguntas sem resposta, será que outra teoria não explicaria melhor o fenômeno visual? O filósofo grego Empédocles (493-430 a.C.)

explicava o mundo, a luz e a visão de um modo bem diferente. Para ele o Universo era formado a partir de quatro elementos básicos, que ele associava a quatro divindades: fogo (Zeus), ar (Hera), terra (Hades) e água (Nestis). Tais elementos eram os “tijolos” de todas as coisas que se misturavam em diferentes proporções formando tudo que existia.

A luz e a visão para Empédocles eram relacionadas com o elemento fogo. Ele acreditava que um raio visual era emitido pelos olhos, uma espécie de fogo interno, que “tocava” os objetos e, ao retornar para a pupila, trazia informações sobre eles. Seria como se o ato de enxergar fosse igual ao ato de tatear, ou seja, os raios visuais interagiam com as informações emanadas dos objetos, como se fossem tentáculos. Os objetos também emitiam um tipo de fogo que carregava suas informações, como a cor e a forma. Portanto, o fenômeno da visão ocorria quando o fogo interno emitido pelos olhos entrava em contato com o fogo externo emanado dos objetos.

Entretanto, a teoria de Empédocles também não conseguia explicar algumas coisas. Se a visão dependia de um fogo emitido pelos olhos, por que não era possível enxergar em um lugar escuro? Que relação tinha a luz do dia com o fogo emitido pelos olhos? Se os objetos também emanavam informações por meio de um tipo de fogo, por que essas informações não eram captadas pelo fogo visual se estivesse escuro?

Parece que a luz ambiente é fundamental no fenômeno visual. Tanto a teoria atomista como a de Empédocles não explicavam por que não podíamos enxergar no escuro. Será que o meio material entre o objeto e o olho tem alguma influência sobre a luz e sobre a visão? Só podemos enxergar se está claro, portanto, pode ser que algo entre os olhos e os objetos influencie no fenômeno visual.



Ilustrações 1, 2 e 3: Leucipo, Empédocles e Aristóteles

Aristóteles (384-322 a.C.) enfatizou a importância do meio material na sua teoria da luz e da visão. Ele acreditava que a luz era uma qualidade dos corpos transparentes. Um meio

transparente como o ar tinha a qualidade de permitir a visão do objeto. Porém era necessária a presença da luz do Sol ou de outras fontes luminosas para que se pudesse enxergar, ou seja, revelar a qualidade de transparência do meio material. Por exemplo, o ar era um meio potencialmente transparente, mas, para tornar-se transparente, ele precisava da presença de alguma fonte de luz. Quando a qualidade da transparência era revelada, os objetos produziam uma alteração no meio transparente. Então, o meio transmitia instantaneamente essa alteração para os olhos do observador.

A luz para Aristóteles não poderia ser algo material, pois dois corpos não podiam ocupar o mesmo lugar no espaço. Aristóteles não aceitava a idéia de vazio. Todo o Universo seria ocupado por matéria. As regiões celestes seriam preenchidas pela quintessência, ou o éter, e, aqui na Terra, os espaços aparentemente vazios entre os objetos seriam preenchidos pelo ar. Para ele a luz era algo que acontecia entre o observador e o objeto, como ela poderia ocupar o mesmo lugar que o ar? Esse era o argumento que ele usava para criticar a teoria atomista de que a luz seria composta de corpúsculos materiais.

A teoria de Aristóteles também recebeu críticas. Epicuro, um dos atomistas, dizia que os objetos externos não poderiam imprimir sobre nós sua própria natureza de cores e formas através do ar que está entre eles e nós. Ele dizia que as informações entrariam melhor em nossos olhos e em nossas mentes por corpúsculos que vinham dos próprios objetos.

Vários filósofos desse período elaboraram outras teorias para tentar explicar a luz e a visão. De modo geral, eram combinações das características: os homens enxergavam porque algo saía dos olhos, ou porque algo entrava nos olhos; havia ainda os que diziam que a luz não era algo material, mas uma modificação na matéria que havia entre o objeto e os olhos. Havia muitas teorias para tentar explicar o fenômeno visual nesse período. Todos estavam pensando sobre os mesmos fenômenos ópticos, buscavam entendê-los utilizando raciocínios lógicos e matemáticos, porém, cada filósofo fornecia sua própria explicação para a luz e a visão. **Será que há algo de estranho nisso? Por que não havia um consenso?**

Parece que apenas observar o comportamento da natureza e pensar racionalmente sobre os fenômenos propiciou o surgimento de diferentes explicações. Entretanto, os filósofos elaboravam teorias que estavam relacionadas a essas observações, ou seja, **não era apenas questão de opinião pessoal**. A observação da natureza era um ato fundamental para tentar explicar os fenômenos naturais. Mas será que era suficiente? O importante é compreender que construir essas explicações não é um processo simples, nem óbvio. É claro que o modo de os gregos pensarem sobre os fenômenos naturais é muito diferente do modo como os cientistas fazem atualmente. Mas, olhar para alguns episódios da história da ciência nos faz perceber quão complexo é o processo da produção do conhecimento sobre a natureza.

Considerando as discussões acerca da diversidade de teorias na Antiguidade grega que apresentamos aqui, vamos tentar responder às seguintes questões:

- a) Era possível haver desacordo entre os filósofos?
- b) Qual teoria você acha que explicava melhor a luz naquela época? Justifique.
- c) A natureza fornece informações que permitem uma única interpretação? Explique.
- d) A natureza possui um tipo de comportamento que pode ser entendido de maneira diferente por diversos filósofos e cientistas?
- e) Você acha que a frase seguinte está correta ou errada? Justifique sua resposta.

“Os filósofos gregos utilizavam o pensamento racional para explicar os fenômenos naturais, e por utilizarem o mesmo método, eles chegavam às mesmas conclusões.”

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

Texto 3: O frágil bebê que se tornou o grande filósofo natural

Thaís Cyrino de Mello Forato

Isaac Newton (1642-1727) é um personagem muito importante na história da ciência, principalmente pelas contribuições que deixou para a física e a matemática. Ele foi um filósofo natural, mais ou menos o que hoje chamaríamos de cientista, mas com algumas características próprias de sua época. Além de física, matemática, filosofia e astronomia, Newton estudou também alquimia, astrologia, cabala, magia e teologia, e era profundo conhecedor da Bíblia. Ele e vários outros filósofos naturais do século XVII consideravam que todos esses assuntos poderiam contribuir para o estudo dos fenômenos naturais. Newton tornou-se muito conhecido por suas realizações. Suas investigações experimentais, acompanhadas de rigorosa descrição matemática, foram consideradas um modelo de metodologia de investigação para as ciências nos séculos seguintes.

Isaac Newton nasceu na noite de Natal de 1642, nas proximidades de Lincolnshire, Inglaterra. Prematuro e tão pequeno, o médico achou que não sobreviveria. Seu pai havia morrido algumas semanas antes, em outubro de 1642, e sua mãe, Hannah, administrava a propriedade rural da família. Para os padrões da época, a situação financeira era estável, pois a fazenda garantia um bom rendimento anual. Sua mãe casou-se novamente quando Isaac tinha 3 anos e foi viver com o marido, o pastor Barnabas Smith, em uma cidade próxima e deixou Newton para ser criado pelos avós.

Em agosto de 1653, quando Newton tinha 10 anos, Barnabas Smith morreu e sua mãe voltou para a fazenda, trazendo três meio-irmãos: Marie de 6 anos; Benjamin, de 3 anos e Hannah, ainda um bebê. Ele era um menino tímido, solitário, de olhar distante e de temperamento bastante difícil. Naquela época, as crianças eram educadas para trabalhar nos negócios da família, mas Isaac

nunca havia demonstrado interesse nem talento para os trabalhos na fazenda. Em vez disso, passava horas construindo brinquedos de madeira e observando relógios solares.

Newton foi então mandado para a escola e morava em um quarto alugado na casa do Sr. Clark, um farmacêutico. Era um aluno mediano, até que um episódio a caminho da escola mudou essa situação. Ele levou um chute de um colega no estômago e desafiou-o para uma briga depois da aula. Embora Newton fosse menor e mais franzino, tinha tamanha garra e determinação que surrou o adversário até que ele pedisse para parar. Newton ainda o humilhou, esfregando seu rosto na parede. Mais autoconfiante, tomou uma decisão que mudaria sua vida: seria o melhor aluno da classe, melhor que todos em tudo o que fosse fazer.

À medida que progredia nos estudos, foi aperfeiçoando também seus dotes para desenhar e construir objetos de madeira. Construiu moinhos de vento, mobílias para as bonecas da enteada do Sr. Clark e um pequeno veículo com quatro rodas, acionadas por uma manivela. Fazia também pipas para seus colegas, tentando, em vão, melhorar seu relacionamento com eles. Newton não era nada popular, e, à medida que se destacava, mais distante ficava dos colegas. Sua personalidade difícil, seu raciocínio rápido e inteligência acima da média o isolavam ainda mais.

No fim de 1659, quando Newton completaria 17 anos, sua mãe chamou-o para trabalhar na fazenda e aprender a administrar os negócios da família. A tentativa foi um fracasso. Várias vezes, as ovelhas de que tomava conta invadiram a plantação dos vizinhos, enquanto ele ficava lendo, escrevendo ou pensando em coisas mais interessantes. Diante da falta de interesse e talento para os trabalhos rurais, Newton retornou para a escola no final de 1660.

No ano seguinte, foi aceito em Cambridge e, apesar da renda bastante significativa que a família possuía, da herança deixada pelo pai e da propriedade que ganhou do padrasto, Newton entrou para a universidade como um estudante pobre. Sua mãe enviava menos de 2% da renda familiar anual para Newton. Para ajudar nos custos de seus estudos, ele trabalhava como ajudante, servindo refeições para os professores e para os colegas ricos e esvaziando seus urinóis. Parece que sua mãe não facilitava as coisas para ele...

Além do currículo oficial da escola, Newton estudava muitos outros assuntos. Era curioso, possuía uma mente investigativa e esse interesse variado contribuiu para toda sua obra científica. Ele anotava em um caderno várias questões sobre diversos fenômenos naturais, como a queda dos corpos, a luz, o calor, e inventou vários experimentos. Muitas contribuições posteriores, tanto para a física como para a matemática, tiveram suas sementes plantadas nessas anotações.

Em 1665, a Inglaterra foi assolada pela peste. Várias cidades foram evacuadas e muitos estabelecimentos foram fechados, inclusive a Universidade de Cambridge, em junho de 1665. Esse período de 1665 e 1666, quando ele ficou isolado na fazenda, é conhecido como *anni mirabiles*, anos maravilhosos ou admiráveis, pois ele produziu manuscritos com invenções incríveis na matemática, na óptica, na mecânica e na teoria da gravitação. É nesse período que as pessoas

costumam contar a lenda da maçã, mas não se sabe se é apenas algo mais da mitologia newtoniana ou se de fato ocorreu. O importante é perceber que as descobertas realizadas nesses anos não foram produto de inspiração súbita e miraculosa, mas que essas questões já estavam escritas em seu caderno. Newton havia lido muitos livros que tratavam desses temas, e o período de isolamento ofereceu oportunidade para ele mergulhar ainda mais profundamente neles e trazer novas contribuições. Esses resultados foram muito importantes na história da ciência.

Atualmente, vários historiadores da ciência afirmam que a relação com o inverso do quadrado da distância já aparecia nos manuscritos de outros filósofos, e em manuscritos de povos muito antigos, mas Newton conciliou todas essas informações, dando origem ao que se tornaria, futuramente, sua famosa lei da gravitação universal. Na verdade, ele próprio escreveu em manuscritos que os sacerdotes egípcios já conheciam a lei do inverso do quadrado da distância, o heliocentrismo, o fato de a matéria ser composta por átomos e se mover pela ação da gravidade. Idéias hoje consideradas como alquímicas, teológicas e muitas informações presentes no pensamento de povos antigos influenciaram o que ficou conhecido como resultado de suas investigações: a doutrina newtoniana.

Além de professor, Newton foi também presidente da Royal Society e Diretor da Casa da Moeda. Seu maior empenho foi dedicado à teologia, especialmente às profecias bíblicas. Para ele, a realização das profecias seria a prova histórica da existência de Deus.

Newton morreu em 27 de março de 1727.

Para saber mais:

Uma versão maior desta biografia está disponível em:
www.ifi.unicamp.br/~ghtc/Biografias/Newton/Newton3.htm

Texto 4: Fim do século XVII: corpúsculos ou pulsos no éter?

Thaís Cyrino de Mello Forato

Dentre as diversas concepções elaboradas na Antiguidade para descrever a natureza da luz, os trabalhos de Aristóteles, Euclides e Ptolomeu tornaram-se os mais conhecidos. Eles foram traduzidos para o árabe e tiveram grande importância nos estudos ópticos durante a Idade Média. Os árabes, entretanto, muito além de serem meros transmissores ou tradutores da cultura grega ou indiana, deram também importantes contribuições originais ao campo da óptica durante esse período, ao corrigirem, estenderem e aplicarem a ciência grega.

Porém, até o final do século XVII, não havia uma explicação para a natureza da luz que fosse consenso entre os homens da ciência. Alguns pensadores acreditavam que a luz era composta de partículas que emanavam dos corpos materiais, enquanto para outros era uma modificação do

meio material entre o objeto e o observador. Havia ainda aqueles que explicavam a luz como variações dessas idéias.

Uma das teorias da luz que enfatizava o meio material entre o objeto e o olho é a do holandês Christiaan Huygens (1629-1695). A luz para ele era um movimento que ocorria numa espécie de matéria muito sutil, que os sentidos humanos não podem captar, e que preenchia todos os espaços vazios do Universo: o éter. Tal éter envolvia todos os corpos materiais, mas era tão “leve e rarefeito” que não atrapalhava o movimento dos objetos. Huygens imaginava que a luz era produzida aqui na Terra pelos corpos luminosos, como o fogo, que conteriam partículas em um movimento muito rápido. Tais movimentos provocariam vibrações que se propagariam no éter. Esse movimento no éter provocaria a sensação de visão quando atingisse os olhos das pessoas. A luz seria justamente esse movimento que ocorreria entre os objetos luminosos e os olhos.

Huygens elaborou sua teoria para a luz inspirado em uma analogia com as ondas sonoras. Como o som também se propaga em um meio invisível como o ar, por um movimento que passa sucessivamente de uma parte a outra, ele pensou que isso poderia ser semelhante para a luz: ela viria do corpo luminoso até os olhos, não pelo ar, mas pela matéria etérea que está entre eles.

As ondas sonoras seriam produzidas pela vibração de um corpo inteiro, mas as ondas de luz nasceriam do movimento de cada ponto do objeto luminoso, caso contrário, não seria possível perceber todas as diferentes partes do objeto. Desse modo, cada ponto da superfície do corpo comunicaria essa agitação aos corpúsculos do éter que estavam em contato com ele.

Com sua teoria, Huygens conseguiu explicar fenômenos como a propagação retilínea da luz, a refração e a reflexão, que já eram bem conhecidas nesse período (a famosa lei da refração que hoje chamamos de “Lei de Snell-Descartes” já havia sido elaborada). Outros filósofos naturais de sua época também apresentavam a luz como um tipo de onda no éter. Porém a teoria do inglês Isaac Newton (1642-1727), que propunha uma natureza corpuscular para a luz, foi a mais aceita e defendida pelos homens da ciência ao longo do século XVIII.

A luz não poderia ser uma onda no éter para Newton, pois, se fosse, ela contornaria os obstáculos como faz o som. O som de um sino ou de um canhão é ouvido além de uma montanha, mas não é possível vê-los. As ondas na água que passam margeando um obstáculo grande se curvam em direção às águas paradas do outro lado do obstáculo, mas as estrelas fixas deixam de ser vistas quando um planeta fica entre elas e a Terra. Como a luz poderia ser uma onda no éter se ela não contorna os obstáculos como o som e como as ondas na água?

Os raios de luz, segundo Newton, seriam como corpúsculos (partículas muito pequenas) emitidos pelas superfícies dos corpos. Esses corpúsculos deslocavam-se em linha reta até interagir com algum obstáculo. Dependendo das condições, eles poderiam ser refletidos, refratados ou mesmo aqueceriam o objeto. Assim, utilizando as leis da mecânica propostas por ele, era possível explicar os fenômenos ópticos da propagação retilínea da luz, a reflexão e a refração. Ele supunha,

por exemplo, que havia uma força de atração entre as partes de um corpo transparente e as partículas da luz, por isso o raio luminoso penetrava em seu interior.

Além de não haver consenso entre as idéias sobre a natureza da luz, não havia também consenso na explicação do famoso “fenômeno das cores”: a formação de uma mancha com as cores do arco-íris quando a luz branca atravessa um prisma. Esse fenômeno já era conhecido, e vários filósofos naturais tentaram explicá-lo. Eles achavam que a luz branca do Sol era o tipo mais simples de luz que existia. Ela sofreria uma transformação quando atravessava o prisma e projetava as cores do arco-íris ao sair do outro lado. Acreditava-se que o prisma produzia as cores, ou seja, a luz branca era transformada em várias outras cores.

Quando Newton iniciou o estudo desse fenômeno, ele percebeu uma coisa curiosa: se o buraco por onde passava a luz branca era redondo, e ela chegava de forma circular ao prisma, por que a imagem formada na parede era alongada? De acordo com as leis da refração aceitas na época, a imagem deveria ser circular. Se o prisma alterava a luz, por que ele mudaria o formato da imagem? Que relação havia? Será que era algum defeito do prisma?

Newton começou, então, a **construir várias hipóteses para tentar entender o fenômeno**. Uma delas foi bem interessante: *“Será que a luz deixa de se mover em linha reta após atravessar o prisma? Ela poderia sofrer uma modificação que a faria ter uma trajetória curva do outro lado.”* Ele começou a analisar essa hipótese. Repetia o experimento de várias maneiras diferentes. Mudava a posição do prisma, mudava a distância do anteparo onde se formava a mancha, fazia medidas e muitas análises matemáticas. **Acredita-se que foi a primeira vez que alguém utilizou análises matemáticas e geométricas, associadas aos experimentos, para analisar esse fenômeno das cores.** Assim, ele obteve os dados que o fizeram descartar essa hipótese: havia uma proporcionalidade entre o tamanho do buraco por onde passava a luz branca, o tamanho da mancha colorida na parede, e a distância entre a parede e o prisma. Os raios não se encurvavam para qualquer direção, mas mantinham uma proporção que mostrava que a luz continuava a se propagar em linha reta quando emergia do outro lado do prisma.

Ele formulou ainda outras hipóteses considerando que o prisma modificava a luz, mas que foram descartadas conforme realizava experimentos apoiados por análises matemáticas e geométricas. Curiosamente, foi um experimento qualitativo, isto é, sem análises matemáticas, que ele afirma ter sido muito importante para defender sua teoria das cores. Depois que a luz branca passava por um primeiro prisma, ele conseguiu que apenas uma cor passasse por um segundo prisma. Newton percebeu que o segundo prisma não modificava a luz. Se ela era a vermelha, continuava vermelha, se era azul, continuava azul, e assim acontecia com todas as cores que conseguia isolar. Além disso, ele percebeu que as diferentes cores sofriam diferentes deflexões (quanto cada cor “entorta” ao passar de um meio transparente para outro meio transparente.). Cada cor mantinha constante essa deflexão por qualquer prisma que passasse. O vermelho era sempre o

menos refrangível e o violeta sofria sempre a maior refração. Ele percebeu que a refrangibilidade das cores era sempre exata e precisa, embora não tenha apresentado análises matemáticas desse experimento.

Newton realizou outros experimentos até propor sua teoria: a luz branca seria uma mistura heterogênea das demais cores, que possuem cada qual seu grau preciso de refrangibilidade. A mancha formada pelo prisma é alongada porque cada cor sofre um desvio diferente ao atravessá-lo. Ele recebeu muitas críticas na época. Seus contemporâneos aceitavam outras teorias e argumentavam que apenas a partir dos experimentos não era possível concluir que o prisma não modificava a luz. Os historiadores da ciência que analisaram as anotações deixadas por Newton reconhecem que, de certo modo, seus contemporâneos tinham razão. Newton combinou argumentos teóricos e experimentais para chegar a essas conclusões. Apenas observar os experimentos não era suficiente para concluir que o prisma separava a luz branca.

Os livros didáticos geralmente apresentam que um experimento com o prisma foi suficiente para concluir que a luz branca seria composta da mistura de sete outras cores. Mas, quando se observava esse fenômeno, era possível formular várias interpretações e hipóteses. Segundo outras teorias já existentes na época, a luz poderia ser ou parecer branca em sua forma pura como provém do Sol. Porém ela era modificada e passaria a parecer colorida quando atravessava meios transparentes. Foram necessários muitos experimentos diferentes, além de uma análise bastante sofisticada, para compor a argumentação de Newton. Elementos experimentais e teóricos foram necessários para decidir entre as possíveis hipóteses.

Questões

- 1) Existe uma única explicação possível para os fenômenos naturais? Comente seu ponto de vista.
- 2) Para os mesmos fenômenos observados em relação à luz, havia explicações ou interpretações diferentes? Justifique.
- 3) “Se uma pessoa fala atrás de uma parede, você pode ouvir sua voz, pois o som contorna as extremidades da parede, mas você não pode vê-la.” Esse argumento poderia ter sido usado contra que teoria? Explique.
- 4) Você acha que a seguinte frase é verdadeira ou falsa? Justifique. “Para construir uma lei matemática que explique um fenômeno, basta observá-lo com cuidado. As boas experiências mostram exatamente como o fenômeno funciona.”
- 5) Podemos afirmar que a natureza fornece evidências tão simples, que permitem uma única interpretação? Explique.
- 6) Você consegue imaginar por quais motivos a teoria de Newton foi amplamente aceita no século XVIII? Justifique seu ponto de vista.

Texto 5: Os pulsos no éter de Huygens

Thaís Cyrino de Mello Forato

Durante a década de 1670, estava em evidência uma teoria de tipo ondulatória publicada por Robert Hooke (1635-1703) em 1667. Nessa época, tanto Newton como Huygens estavam elaborando suas respectivas teorias para a luz. Newton publicou entre 1672 e 1676 uma série de artigos expondo sua teoria das cores que trazia uma concepção corpuscular para a luz. Isso gerou muita controvérsia no período, mas os debates não apresentaram nenhum consenso entre os filósofos naturais. A disputa permaneceu até as primeiras décadas do século XVIII, até a teoria corpuscular ocupar uma posição de maior aceitação entre os homens da ciência. Será que foram os argumentos puramente experimentais que fizeram a balança pender para um dos dois lados?

Huygens aceitava, como os outros filósofos naturais de sua época, que os raios de luz se propagam em linha reta, que os ângulos de incidência e reflexão são iguais e que a refração obedece à lei dos senos (hoje chamada de lei de Snell-Descartes). Os raios de luz provinham de uma infinidade de lugares e se cruzavam sem que uns atrapalhassem os outros.

A luz na Terra é produzida pelo fogo, dizia Huygens, que contém corpúsculos em movimento muito rápido, pois consegue fundir e dissolver corpos sólidos. Quando a luz é concentrada por espelhos côncavos, ela tem a virtude de queimar como o fogo, de separar as partes dos corpos. Huygens afirmava que isso era sinal de movimento, pois apenas o contato entre os corpos poderia explicar todos os efeitos materiais. Então, eram corpos presentes no fogo que conseguiam separar e fundir a matéria. Corpos em movimento muito rápido.

Para Huygens a sensação de visão era provocada pelo movimento de algum tipo de matéria que agia sobre os nervos do fundo do olho. Portanto, a luz seria um movimento de uma matéria que se encontra entre os olhos e os corpos luminosos.

Quando se considera a extrema velocidade com que a luz se espalha por todos os lados e que, quando vem de diferentes lugares, mesmo totalmente opostos, [os raios luminosos] se atravessam uns aos outros sem se atrapalharem, compreende-se que, quando vemos um objeto luminoso, isso não poderia ocorrer pelo transporte de uma matéria que venha do objeto até nós, como uma flecha ou bala atravessa o ar; pois certamente isso repugna bastante a essas duas propriedades da luz, principalmente a última. (HUYGENS apud MARTINS, 1986, p. 12).

Huygens está criticando a idéia corpuscular da luz. Se a luz fosse feita de corpúsculos, como essas partículas se cruzariam no ar sem uma atrapalhar o movimento da outra? Isso não poderia estar de acordo com os fenômenos naturais. Podemos enxergar um objeto mesmo com a luz

proveniente de inúmeros outros se cruzando pelo ar à nossa frente. Huygens propôs então que o conhecimento sobre a propagação do som poderia esclarecer a propagação da luz:

Ela [a luz] se espalha, portanto de uma outra maneira e o que pode nos conduzir a compreendê-la é nosso conhecimento da propagação do som no ar. Sabemos que, por meio do ar, que é um corpo invisível e impalpável, o som se propaga em toda a volta do lugar onde foi produzido, por um movimento que passa sucessivamente de uma parte do ar a outra. A propagação desse movimento se faz com igual velocidade para todos os lados e devem se formar como superfícies esféricas que crescem sempre e que chegam a atingir as nossas orelhas. (HUYGENS apud MARTINS, 1986, p. 12).

Como vimos, a teoria de Huygens foi desenvolvida utilizando uma analogia com o comportamento das ondas do som no ar e das ondas formadas na superfície da água. A idéia da luz como a propagação de uma vibração no éter não foi adotada apenas por Huygens, mas ele tornou-se seu defensor mais conhecido.

Para saber mais:

MARTINS, R. de A. (trad.). “Tratado sobre a luz, de Christiaan Huygens”. *Cadernos de História e Filosofia da Ciência* (suplemento 4): 1-99, 1986.

Texto 6: A teoria corpuscular de Newton

Breno Arsioli Moura³⁴

Geralmente, quando falamos de Newton e seus trabalhos em óptica, lembramos dos experimentos com prismas, das teorias sobre a heterogeneidade da luz branca, do “disco de Newton” e, principalmente, do seu papel como grande defensor da teoria corpuscular para a luz. Porém, como diria Shakespeare em *Hamlet*, “há muito mais coisas entre o céu e a terra do que sonha nossa vã filosofia”.

Os trabalhos de Newton em óptica não se resumem aos experimentos com prismas. Ele estudou muitas outras coisas relacionadas à luz e às cores, como a opacidade, transparência e cores dos objetos, as cores em bolhas de sabão, difração, dupla refração, só para citar alguns, elaborando diversas teorias para explicá-los. A síntese de seus estudos está em seu livro *Óptica*, publicado pela

³⁴ Utilizamos um texto (não publicado) voltado ao ensino médio escrito por Breno Arsioli Moura, que se dedica a estudar a óptica newtoniana desde a iniciação científica e continuou seus estudos em história da óptica no mestrado sob a orientação da Profa. Dra. Cibelle Celestino Silva. Achemos interessante fornecer aos alunos visões de autores diferentes. Infelizmente não localizamos outros textos adequados aos alunos que atendessem ao nosso propósito, portanto desenvolvemos o restante do material do curso.

primeira vez em 1704. Ele costumava repudiar outras teorias para a luz, como a de Huygens. No *Óptica*, ele disse:

Não são errôneas todas as hipóteses segundo as quais a luz consistiria em pressão ou movimento propagados através de um meio fluido? [...] Se a luz consistisse apenas em pressão propagada sem movimento real, ela não seria capaz de agitar e aquecer os corpos que a refratam e refletem. Se consistisse num movimento propagado a todas as distâncias num instante, requereria uma força infinita a todo momento, em toda partícula brilhante, para gerar esse movimento. E se consistisse em pressão ou movimento propagado ou num instante ou no tempo, ela se curvaria para a sombra. Pois pressão ou movimento não podem ser propagados em um fluido em linhas retas além de um obstáculo que intercepta parte do movimento, mas se curvarão e se espalharão em todas as direções no meio quiescente que está além do obstáculo. (NEWTON, 1996, p. 265).

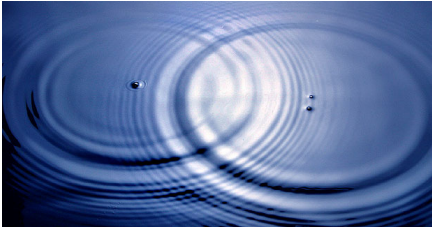
Como vemos, Newton expôs uma série de argumentos que, segundo ele, colocavam em xeque concepções ondulatórias como a de Huygens, por exemplo, a questão da propagação em linha reta da luz. Para Newton, se a luz fosse algum tipo de onda, assim que ela atingisse um obstáculo, ela se curvaria e não haveria sombra.

No mesmo *Óptica*, Newton discutiu sua concepção corpuscular para a luz, dizendo:

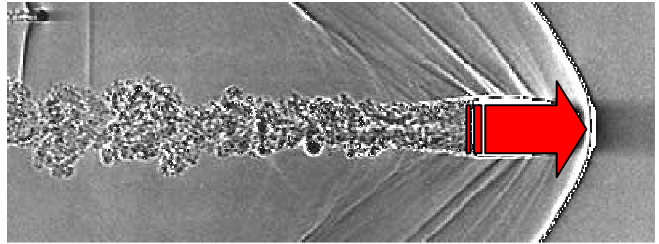
Os raios de luz não são corpos minúsculos emitidos pelas substâncias que brilham? Pois tais corpos atravessarão meios uniformes em linhas retas sem se curvar em direção à sombra, o que é da natureza dos raios de luz. (NEWTON, 1996, p. 271).

Em suma, Newton acreditava que a luz seria constituída de pequenos corpúsculos, emitidos pelos corpos luminosos, que se propagariam pelo espaço com determinada velocidade. Para ele, essa era a única idéia para a luz que explicaria por que ela caminhava em linha reta. Seria como se a luz fosse uma flecha atirada com grande velocidade. Pelo fato de ela se propagar muito rapidamente, ela sempre se manteria numa trajetória reta. Isso não aconteceria se a luz fosse uma onda, afinal, ela pode se espalhar por todos os lugares.

Uma onda se espalha...



...uma flecha em alta velocidade não.

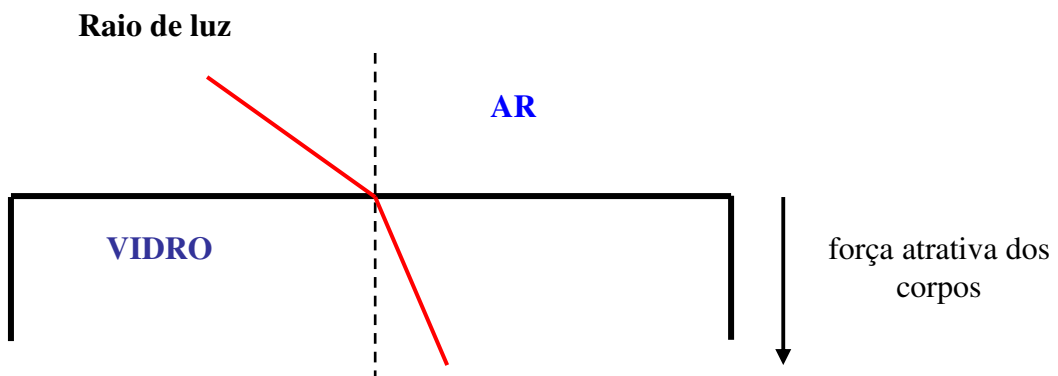


Bom, se a luz era um corpo, ela também estaria sujeita à ação de forças sobre ela, como qualquer outro corpo. Em outros trechos do livro, Newton procurou desenvolver essa idéia:

Não têm as pequenas partículas dos corpos certos poderes, virtudes ou forças por meio dos quais elas agem a distância não apenas sobre os raios de luz, refletindo-os, refratando-os e inflectindo-os [difratando-os], mas também umas sobre as outras, produzindo grande parte dos fenômenos da natureza? (Newton 1996, p. 274)

Para Newton, a luz e os corpos interagiam uns com os outros, por meio de seus “poderes”, ou seja, por forças que uns exerciam sobre os outros. Fenômenos como a refração e reflexão seriam então explicados por forças atrativas e repulsivas dos corpos sobre os raios de luz. Em outro trecho, ele explorou um pouco mais o assunto:

As substâncias transparentes agem sobre os raios de luz a distância, refratando-os, refletindo-os e inflectindo-os, e os raios agitam reciprocamente as partes dessas substâncias a distância para aquecê-las; e essa ação e reação a distância assemelha-se muito a uma força atrativa entre os corpos. (NEWTON, 1996, p. 271)



A partir de tudo isso, podemos ter uma idéia geral da concepção corpuscular de Newton: ele acreditava que a luz seria constituída de pequenos corpúsculos e esses corpúsculos estariam sujeitos à ação de forças, atrativas ou repulsivas, que explicariam os fenômenos da refração, reflexão e outros fenômenos semelhantes.

Portanto, nota-se que Newton procurou unir seus estudos sobre luz e cores com suas idéias sobre mecânica. Apesar de Newton nunca ter falado abertamente que buscava unificar várias de suas explicações, seus trabalhos evidenciam essa tentativa. Ele não somente afirmou que a luz seria constituída por corpúsculos, mas desenvolveu algumas idéias mais detalhadas ao longo de seus trabalhos, principalmente o *Óptica*.

Para saber mais:

NEWTON, I. *Mathematical Principles of Natural Philosophy. Optics*. Trad. A. Motte. [2a.ed]. Chicago, Encyclopaedia Britannica, 1952. (Col. Great Books of Western World, Vol. 34).

_____. *Óptica*. Edusp: São Paulo, 1996.

Atividade 3: O debate entre as teorias ondulatória e corpuscular

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 de Newton. Uma parte da classe será o “júri” dessa disputa. Cada grupo terá 15 minutos para expor suas idéias, argumentando a favor de sua teoria e criticando a teoria rival. Após a primeira exposição de ambos os grupos, cada um deles terá mais 10 minutos para a réplica. Depois disso, o júri se reunirá e decidirá qual das duas teorias esta mais bem fundamentada e deve ser adotada pelos homens da ciência na época.

Os grupos podem utilizar 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. Não é possível, neste momento, discutir todos os aspectos das teorias, experimentos e suas conseqüências.

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

Texto 7: A luz e o Século das Luzes

Thaís Cyrino de Mello Forato

O século XVII é geralmente considerado o auge da revolução científica no ocidente. Os historiadores costumam chamar de revolução porque muitas mudanças importantes aconteceram na

ciência. Os pensadores estavam procurando um consenso sobre o modo de investigar a natureza, pois havia muitas propostas diferentes e cada pensador utilizava certa maneira de analisar os fenômenos naturais. Todos (na área que atualmente chamamos de física) concordavam pelo menos em algumas coisas, por exemplo, a importância da matemática – e sua capacidade de fazer previsões – e de se fazerem experimentos de grande precisão técnica. Porém, variava o modo de combinar essas coisas. Muitos deles recorriam também à alquimia, maneira especial de lidar com a natureza no laboratório, que havia sido levada para a Europa por algumas tradições árabes durante a Idade Média. Os alquimistas acreditavam que a matéria possuía poderes ocultos, que podiam ser descobertos e manipulados pelos homens.

No final desse século e início do seguinte a proposta de Isaac Newton (1642-1727) acabou por predominar sobre as demais e foi considerada como o melhor método para se investigar a natureza. Newton publicou dois livros que se tornaram muito famosos e modelo para os “cientistas” durante o século XVIII. Eles acreditavam que no livro *Princípios matemáticos da filosofia natural* (1687) Newton os havia ensinado a fazer física teórica e na *Óptica* (1704) a como fazer física experimental. Entretanto, o que eles não sabiam, ou preferiram ignorar, era o que havia nos manuscritos secretos de Newton. Atualmente, os historiadores da ciência dizem que Newton não usava apenas a matemática e a experimentação em seus estudos dos fenômenos naturais. Eles descobriram em seus manuscritos que suas experiências alquímicas e seu conhecimento de antigos saberes dos sacerdotes egípcios ajudaram na elaboração de suas famosas leis científicas.

Bem, de qualquer modo, durante o século XVIII os seus seguidores (conhecidos como newtonianos) pegaram apenas a parte que eles consideravam como “científica” de seu trabalho e a utilizaram para desenvolver ainda mais a “doutrina newtoniana”. Claro que muitos deles deram suas contribuições originais também.

Pierre Simon de Laplace (1749-1827) foi um dos principais articuladores do newtonianismo na França e ajudou a desenvolver as ferramentas matemáticas fundamentais para estabelecer as bases da física a partir do legado de Newton. Ele e outros contemporâneos seus aplicaram as leis da mecânica propostas por Newton para os demais fenômenos físicos conhecidos no período, como o calor, a eletricidade e o magnetismo.

Assim, elaboraram um sistema tão completo e tão bem amarrado que parecia uma sólida construção. Aos seus olhos a física era uma ciência completa! A doutrina newtoniana explicava praticamente todos os fenômenos físicos conhecidos e, além disso, ainda ensinava como a natureza deveria ser investigada, ou seja, qual método deveria ser utilizado (mas eles ignoraram o quanto Newton utilizou outros métodos e toda teoria que havia por trás de suas experiências, por exemplo, com prismas, como vimos nos textos 4 e 6).

Essa imagem da física durante o século XVIII combinava muito bem com o que estava acontecendo na época. Na verdade, não apenas combinava, mas fazia parte da cultura daquele

período histórico. Era o Iluminismo, o “Século das Luzes”, que procurava explicações para todas as coisas adotando o pensamento científico. Para os iluministas, só através da razão o homem poderia alcançar o verdadeiro conhecimento do funcionamento do Universo. Foi esse movimento que permitiu o desenvolvimento do capitalismo e da sociedade moderna. Os homens queriam uma sociedade “livre”, com oportunidades iguais para todos. Eles achavam que as riquezas deveriam ser extraídas da terra, do mundo natural. A ciência era, portanto, o único caminho para o homem dominar a natureza.

Para isso, a física estava lá, pronta para ser utilizada em favor dos homens e dos seus propósitos. Newton havia deixado as leis e o método, bastava saber aplicá-los. Toda essa visão de mundo contribuiu para que os filósofos naturais, e futuramente os cientistas, passassem a abraçar apaixonadamente a doutrina newtoniana e procurassem estendê-la para as outras ciências. Chegou-se assim à revolução industrial, e mais do que nunca, o mundo era visto como uma máquina.

Acontece que no meio de toda essa construção teórica, estava a teoria corpuscular para a luz. Ela fazia parte dessa estrutura e era coerente com essa visão de mundo, por isso, praticamente ninguém a questionava. A luz era composta por minúsculas partículas emitidas pelos corpos luminosos que viajavam através do espaço vazio e dos corpos transparentes. Essas partículas eram atraídas ou repelidas pelas partículas dos corpos, dependendo do caso e assim as mesmas leis mecânicas que explicavam a interação entre corpos, eram usadas também para a luz.

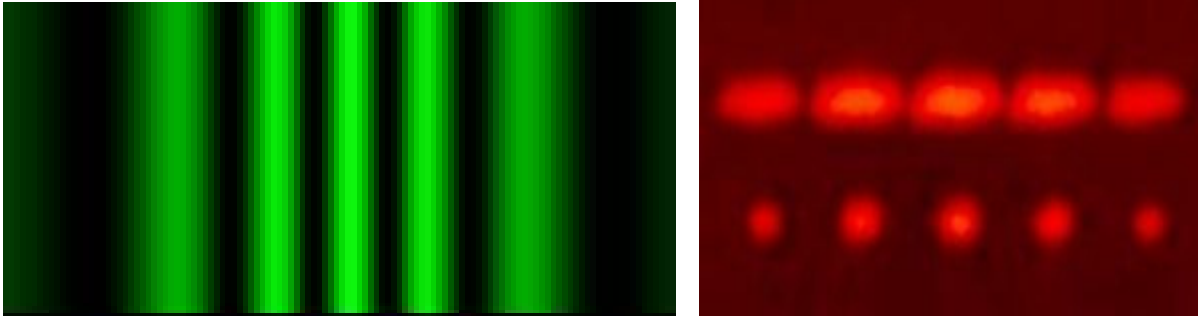
Diante de tudo isso, a teoria ondulatória foi quase esquecida durante o século XVIII e poucos eram os que ainda acreditavam nela. Porém, na virada para o século XIX, coisas surpreendentes aconteceram e fizeram renascer a velha disputa entre a teoria ondulatória e corpuscular para explicar a natureza da luz.

Texto 9: As teorias da luz e o éter luminífero no início do século XIX

Thaís Cyrino de Mello Forato

Depois de quase um século em que praticamente todo mundo achava que a luz era feita de partículas, um médico, físico e lingüista inglês chamado Thomas Young (1773-1829) retomou a teoria ondulatória de Huygens. Young estudou inicialmente o processo da visão, a voz humana e outros fenômenos relacionados ao som. Nessa época ele começou a realizar experimentos com a luz e observou um fenômeno que não poderia ser explicado pela teoria corpuscular da luz - que era a teoria predominante na época.

Quando um feixe de luz passava por uma fenda, ele projetava uma região clara de maior intensidade no centro de um anteparo, mas quando a luz passava por duas fendas, NÃO se formava na parede a imagem de duas fendas! Dois feixes de luz projetavam no anteparo várias regiões claras! Como dois feixes de partículas poderiam produzir uma imagem com regiões claras e escuras?

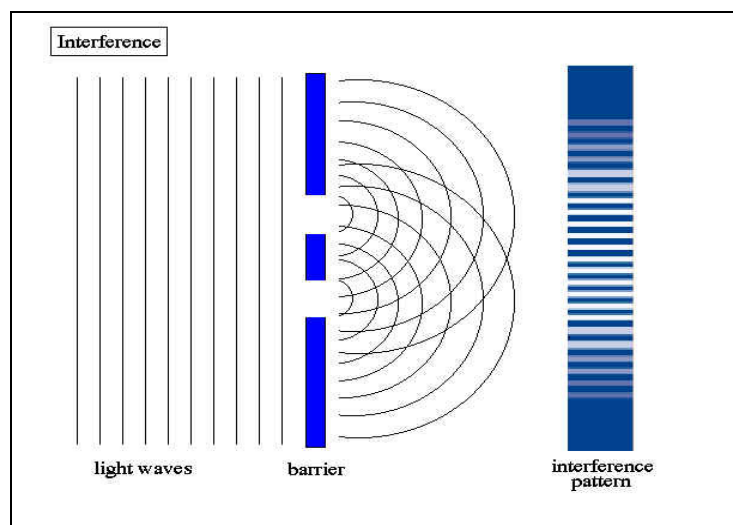


Depois de muitos estudos e muitas experiências, e inspirado por uma analogia com os fenômenos sonoros, Young percebeu que uma teoria de tipo ondulatória como a de Huygens poderia ajudar a explicar esse fenômeno. Ele partiu de algumas hipóteses:

- um éter rarefeito permeia todo o Universo, sendo muito rarefeito e elástico;
- ondulações são excitadas nesse éter quando um corpo se torna luminoso;
- a sensação de diferentes cores depende das diferentes frequências de vibração, excitadas pela luz na retina.

Ele propôs então que as ondas de luz poderiam produzir um efeito que fosse resultante da combinação dos movimentos de cada onda. Esse fenômeno é conhecido atualmente como sobreposição e interferência de ondas. Pode haver interferência construtiva ou destrutiva, dependendo de como as ondas se sobrepõem, e, assim, ele explicou o surgimento das franjas no anteparo. As ondas poderiam se “espalhar” ao passar pelas fendas, formando frentes de onda circular do outro lado. A sobreposição entre tais frentes de onda produziria regiões de interferência construtiva e destrutiva, o que causaria as regiões claras e escuras no anteparo.

Interferência



Ondas de luz barreira padrão de interferência

Entretanto, isso não convenceu a maioria dos físicos daquela época, que continuaram acreditando na teoria corpuscular. Um deles, François Jean Dominique Arago (1786-1853) realizou um experimento em 1809 em que ele esperava observar determinado efeito. Mas, para sua surpresa, o experimento não deu a observação esperada. Ele não conseguia explicar o resultado do experimento utilizando a teoria corpuscular. Alguns anos depois, algo aconteceu e contribuiu para Arago mudar sua opinião, passando a acreditar na teoria ondulatória para a luz.

A Academia de Ciências francesa havia proposto em 1817 um prêmio para o melhor trabalho sobre o fenômeno da difração. Os membros da comissão julgadora Laplace, Poisson e Biot eram todos defensores da teoria corpuscular. O resultado do concurso foi surpreendente: o vencedor do prêmio foi Augustin Fresnel (1788-1827) com um trabalho que defendia a teoria ondulatória. Arago era o presidente da Academia nessa época, e perguntou a Fresnel se era possível explicar o resultado de seu experimento de 1809, utilizando a teoria ondulatória. Algum tempo depois, Fresnel enviou a resposta em uma carta, onde, além de explicar o experimento, apresentou uma sofisticada teoria para os fenômenos da luz, baseada na idéia de a luz ser uma onda.

Os trabalhos de Young e Fresnel provocaram grande mudança nas crenças da época. Em 1820, a maioria dos físicos ainda acreditava na teoria corpuscular, porém, em 1830, a situação era oposta: a teoria ondulatória da luz passou a dominar o cenário científico. Porém essa mudança trazia consigo uma importante consequência: uma pedra provoca ondas na água, o som é uma onda no ar, mas e a luz? A luz é uma onda em que meio? Obviamente, naquela época ninguém falava em campos, em ondas eletromagnéticas, isso só foi inventado no final do século XIX. Então, quando os físicos passaram a aceitar que a luz era uma onda, conseqüentemente, eles precisaram aceitar a existência de um éter luminífero, um suporte para a luz.

É claro que essa transição não foi nada fácil! Imagine romper com a teoria corpuscular! Essa ruptura não significava apenas abandonar uma concepção corpuscular para a luz. Ela mostrava uma fragilidade na doutrina newtoniana. Os newtonianos haviam desenvolvido durante o século XVIII um sistema muito bem articulado, com as leis da mecânica de Newton sendo aplicadas a praticamente todos os fenômenos físicos conhecidos até então. Eles até faziam “vista grossa” para um ou outro detalhe que a teoria de Newton não conseguia explicar direito. A luz era explicada por esse sistema de pensamento como sendo corpúsculo e obedecendo às mesmas leis. Será que jogar fora essa concepção de luz e adotar uma proposta ondulatória poderia trazer algum descrédito para as bases da física?

Pois é! Essa mudança provocou uma revolução e abriu caminho para outros desenvolvimentos e muitos experimentos. A teoria de Fresnel possuía equações que explicava vários fenômenos naturais e adotava a existência de um éter luminífero que preenchia todos os espaços vazios do Universo. O éter de Fresnel era muito rarefeito, de modo a não atrapalhar o

movimento dos corpos, mas era suficientemente rígido para propagar uma ondulação, ou seja, a luz.

Durante o século XIX, muitos experimentos foram realizados na tentativa de verificar a teoria de Fresnel. Alguns deram resultados positivos e outros não confirmaram a teoria. De qualquer modo, até o final do século XIX, todos aceitavam a luz como sendo uma onda que se propagava no éter. No início do século XX, essa idéia seria novamente posta de lado pela teoria da relatividade. É muito ingênuo pensar que as teorias científicas possam ser comprovadas definitivamente. Quando são observados fatos que as refutem, outro modelo explicativo para o fenômeno é proposto.

Muitas teorias foram elaboradas durante a história da ciência na tentativa de explicar a natureza da luz. Algumas permaneceram aceitas por um tempo, até que outros fenômenos ou novas explicações pudessem questioná-las. O éter foi um ente não observável muito útil para algumas teorias, explicando não apenas a luz, mas também alguns fenômenos térmicos e magnéticos.

Todo esse processo dinâmico de construção do conhecimento científico ao longo dos tempos tem muito a nos ensinar sobre a natureza da ciência. As teorias não são elaboradas unicamente a partir da experiência. A observação da natureza é um fator muito importante na metodologia científica, mas não é suficiente para a elaboração de conceitos e teorias. É necessário formular hipóteses, construir modelos e acreditar em certos pressupostos que influenciarão a observação dos fenômenos. Se pudermos falar que existe um método científico, certamente ele **NÃO** é um modelo infalível “experimento-observação-teoria”.

Estudamos três episódios da história da óptica em que muitos debates envolveram os estudos da natureza da luz. Todos muito importantes para a construção do conhecimento, afinal, a ciência é produzida por meio de muitas discussões, especulações e divergências. O processo não é linear, pois muitas teorias já derrubadas são retomadas e reelaboradas em um novo contexto. A busca pela verdade sobre o funcionamento da natureza é um processo complexo, e nos conduz a uma busca sem fim no desafio de compreender o Universo.

Questões:

- 1) Observar o fenômeno da difração permite que se conclua que a luz é uma onda? Explique.
- 2) A natureza fornece evidências que permitem uma única interpretação? Explique.
- 3) As seguintes frases estão corretas ou erradas? Justifique.
 - a) “Os experimentos de Thomas Young foram suficientes para derrubar a teoria corpuscular da luz.”
 - b) “O conhecimento humano é uma busca sem fim que leva a resultados provisórios e não à verdade.”
 - c) “Falar que uma teoria foi ‘cientificamente comprovada’ pode dar uma visão errada da construção do conhecimento científico.”

- 4) Comente um exemplo histórico para a seguinte afirmação: “Não é possível tirar conclusões apenas a partir dos experimentos, mas eles são muito importantes para a elaboração das teorias científicas”.

Encerramento do curso

Avaliação Final do Curso: O éter, a natureza da luz e a natureza da ciência.

A AVALIAÇÃO É INDIVIDUAL, MAS VOCÊ PODE CONSULTAR TODOS OS TEXTOS E MATERIAIS UTILIZADOS DURANTE O CURSO.

- 1) De acordo com o que você estudou nesse módulo, as seguintes frases são verdadeiras ou falsas? Explique sua resposta.
 - a) “Observar o fenômeno da difração não foi suficiente para que todos aceitassem que a luz poderia ser uma onda, mas forneceu bons argumentos para defender a teoria ondulatória.”
 - b) “A existência de muitas hipóteses e teorias diferentes atrapalha o avanço científico”.
- 2) Comente um exemplo histórico para a seguinte afirmação: “Não é possível tirar conclusões apenas a partir dos experimentos, mas eles são muito importantes para a elaboração das teorias científicas”.
- 3) Considerando os textos que você estudou e as discussões realizadas em sala, explique:
 - e) Um argumento para defender a teoria corpuscular;
 - f) Um argumento para rejeitar a teoria corpuscular;
 - g) Um argumento para defender a teoria ondulatória;
 - h) Um argumento para rejeitar a teoria ondulatória.
- 4) Comente um exemplo de um fator não científico que pode interferir na aceitação ou rejeição de uma teoria científica.
- 5) Comente um exemplo histórico para a seguinte afirmação: “A natureza não fornece evidências que permitem uma única interpretação”.
- 6) Qual era a utilidade do éter luminífero para a óptica do início do século XIX?
- 7) Encontre dois erros no texto abaixo e explique cada um deles.

“Isaac Newton realizou vários experimentos para explicar as cores. Repetiu o famoso ‘fenômeno das cores’ com a luz do Sol atravessando um prisma. Ele observou que o feixe de luz solar entrava branca no prisma, e, na parede oposta, era projetada uma mancha alongada com as cores do arco-íris. Assim, ele provou que a luz branca do Sol é uma mistura heterogênea das outras cores. Todos os seus contemporâneos passaram a admirá-lo, pois finalmente alguém conseguia explicar o fenômeno das cores. A partir daí, todos

passaram a aceitar as idéias de Newton para a luz e acreditaram que a luz era composta de corpúsculos.”

Pesquisa:

- 1) Você perdeu algum dia de aula? Qual?
- 2) O que você achou do curso?
- 3) O que você achou do assunto?
- 4) Que tipo de atividade contribuiu para que você entendesse melhor a matéria?
- 5) O que você não gostou?
- 6) O conteúdo do curso não é normalmente tratado no ensino médio. O que você sentiu por ter aprendido sobre algo tão complexo?

C.3. Apresentação em PowerPoint – versão piloto

Episódio I: Um pouco sobre a luz na Antiguidade grega

Apresentação em PowerPoint 1: Os gregos

Lembretes importantes

- * Guarde todos os textos e traga-os com você em todas as aulas;
- * Faremos uma avaliação com consulta no final do curso;
- * Todos devem participar da redação das respostas;
- * Grupo do teatro: é MUITO importante ensaiar.
- * Grupo do debate: devem ir se familiarizando com o texto e preparando os argumentos.
- * Tragam eventos, pessoas, obras de arte para incluir na linha cronológica.

Curso: o éter, a natureza da luz e a natureza da ciência.

Um pouco sobre a luz na Antiguidade Grega

Conceito clássico de luz

*Luz como onda eletromagnética: idéia surge no final do século XIX.



Luz visível : pequena parte do espectro eletromagnético

Construindo explicações...

*Sempre foi assim?

*Como os “homens da ciência” elaboram explicações para a luz?

*Como outros povos em outras épocas explicaram a luz?

Voltando no tempo...



Como vemos as estrelas?

- Até ~ século VII a. C.: Mitos e religião;
- ~ século VI a. C.: pensamento filosófico
- Explicar a natureza pelo pensamento, pela razão.

- *Por que só enxergamos o mundo quando está claro?
- *Do que depende nossa visão?
- *O que acontece no olho e na mente para vemos os objetos?
- *Será algo que entra ou sai do olho?

Elaborando teorias...

Atomistas mais conhecidos

Leucipo de Mileto (~500 a. C.)



Demócrito (c.a. 460-370 a.C.)



Epicuro (c.a. 341-270 a.C.)



Lucrécio (c.a. 98-55 a.C.)



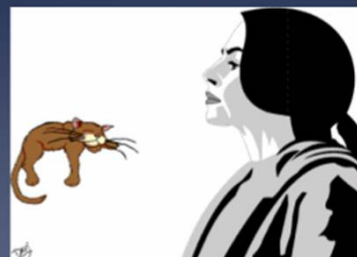
Luz para Leucipo (~500 a. C.)

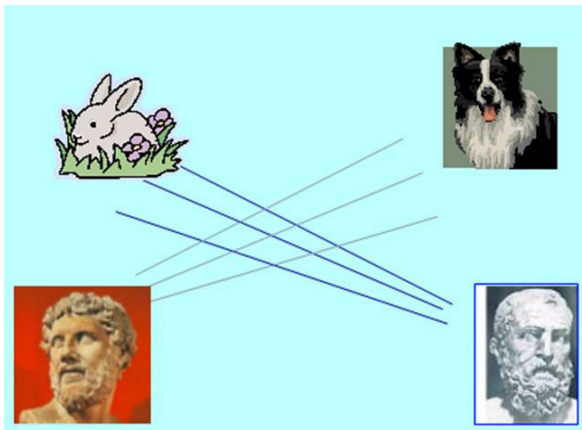
*Algo material sai dos objetos e entra no olho provocando a visão.

Emanação: forma, cor, tamanho...



Eidola de Leucipo



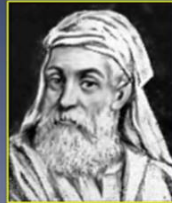
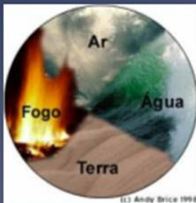


Problemas

- * Como as eidola passam umas pelas outras sem interferência?
- * Como a imagem de um objeto muito grande encolhe suficientemente para caber nos olhos?
- * Por que os objetos distantes parecem menores?

Luz para Empédocles (493 - 430 a.C.)

- * Elemento fogo;
- * Raio visual que saía do olho;
- * Tentáculos.



Problemas...

- * Se a luz sai do olho...
- * Por que não enxergamos no escuro?

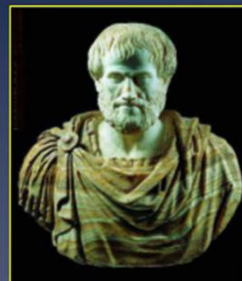
As Eidola de Leucipo... (coisas que entram nos olhos)

Fogo visual de Empédocles ... (coisas que saem dos olhos)

Haverá outra opção?

- * Será que depende do meio onde estão o objeto e o olho?

Aristóteles (384 – 322 a. C.)



- * A luz não é matéria;
- * A luz não é feita de partículas;
- * A luz não é um raio visual.

A luz para Aristóteles é...

- * Uma qualidade dos corpos transparentes;
 - * Imaterial;
 - * Instantânea;
- * Uma modificação no meio.

Meio transparente => qualidade de permitir a visão do objeto;

- A luz do Sol revela a qualidade de transparência;
- Objeto produz alteração no meio;
- O meio transmite a alteração para o olho.

Universo de Aristóteles

- * Duas partes:
 - * Celeste, à partir da Lua: quintessência ou éter;
 - * Terrestre ou sublunar, formado por água, terra, fogo e ar.
- * Não havia espaços vazios:
 - * Atmosfera até a Lua;
 - * Acima da Lua: esferas feitas de éter que se encaixavam umas nas outras.

Modelo geocêntrico



Aristóteles não aceitava o vazio no Universo...

- * Se a luz entre o objeto e o olho fosse material, como ela ocuparia o mesmo lugar que o ar?



Aristóteles considerava que a luz não podia ser uma "coisa" (substância) porque a luz passa pela luz sem nenhum impedimento.

Ela seria apenas uma propriedade adquirida pelos corpos transparentes.

Aristóteles não aceitava o vazio no Universo...

Se a luz entre o objeto e o olho fosse material, como ela ocuparia o mesmo lugar que o ar?

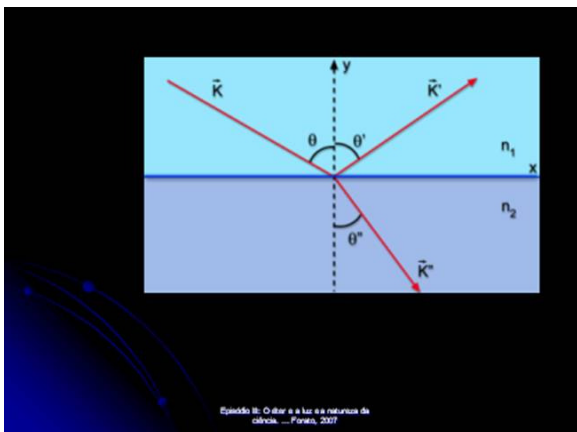
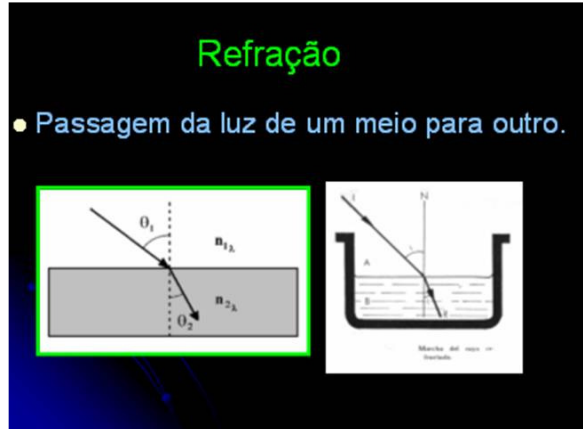
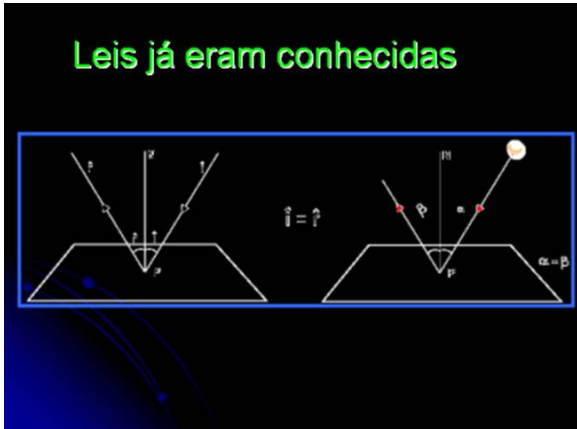
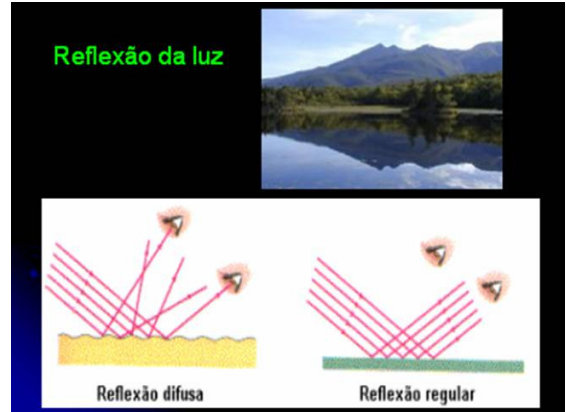
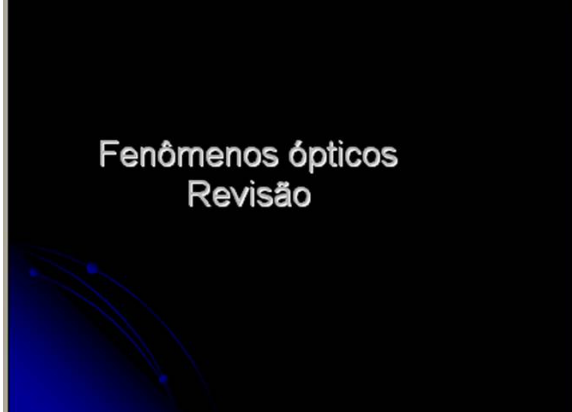
O que é a luz?

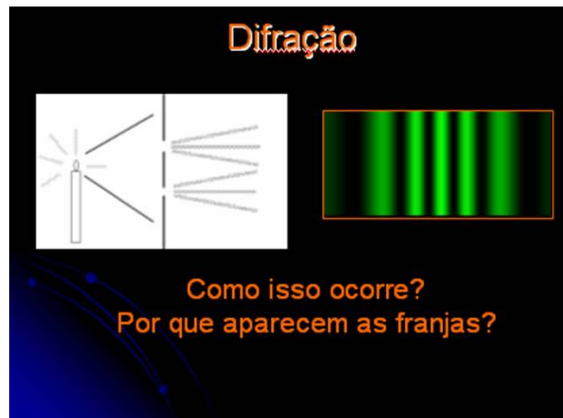
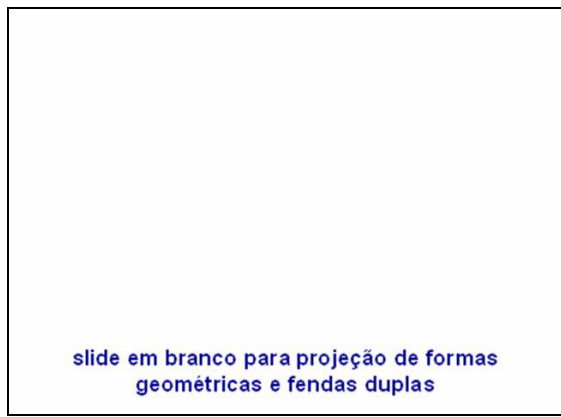
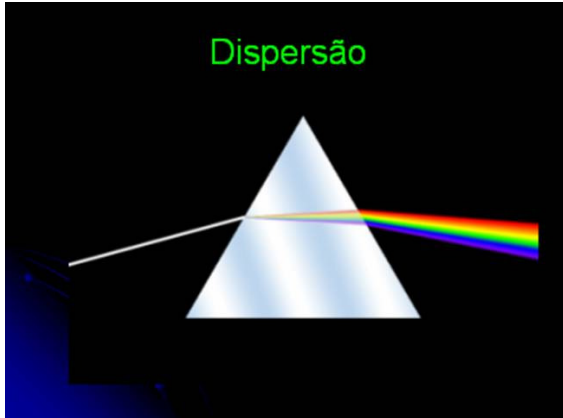
- * **Muitas teorias distintas;**
- * **Elaboradas no mesmo período;**
- * **À partir dos fenômenos naturais;**
- * **Pelo pensamento, raciocínio, analogias..**

*Será que a natureza fornece informações que permitem uma única interpretação?

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

Apresentação em PowerPoint 2a: Fenômenos Ópticos






Apresentação em PowerPoint 2b: Onda e Corpúsculo no XVII

Curso: O éter, a natureza da luz e a natureza da ciência.

Episódio 2:


Fim do século XVII: corpúsculos ou pulsos no éter?



Curso: O éter, a natureza da luz e a natureza da ciência.

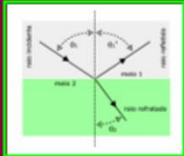

Episódio 2:

Fim do século XVII: corpúsculos ou pulsos no éter?



Fenômenos já conhecidos

- Reflexão e suas leis;
- Refração e suas leis;
- Dispersão da luz em um prisma:
 - Famoso “fenômeno das cores”

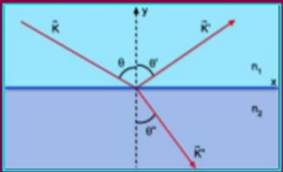
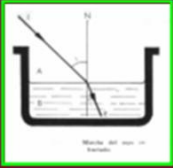



- O que é isso que chega aos nossos olhos e nos permite ver?




Refração

- Passagem da luz de um meio para outro.

- Por que o fio nos parece quebrado?




- Por que a luz “muda o caminho” quando passa para outro tipo de matéria?

FENÔMENO DAS CORES

Por que a luz entra branca e sai colorida?

O que acontece dentro do prisma?

Será que o prisma modifica a luz?



Leis da reflexão e refração:

Como a luz se comporta
 ≠
 O que é a luz?

Partículas de matéria?

Algo como o fogo?

Efeito do meio material entre o olho e o objeto?

Que meio seria esse?

a Óptica no século XVII

Não havia uma única visão para o que seria a luz

- Johannes Kepler
- Rene Descartes
- Francesco Maria Grimaldi
- Thomas Hobbes
- Robert Boyle
- Robert Hooke
- Christiaan Huygens
- Isaac Newton

Christiaan Huygens (1629 – 1695)

Suas primeiras publicações em 1651 e 1654 tratavam de problemas matemáticos

- Holandês
- Estudou Direito e Matemática

Christiaan Huygens

Patenteou seu primeiro relógio de pêndulo em 1656

Tratado sobre a luz
Escreveu em 1678
Publicado em 1690

O que é a luz?

O som é uma onda no ar...

Uma pedra jogada na água provoca ondas que se espalham em todas as direções...

Huygens

LUZ → forma de movimento da matéria

“[...] considera-se certo que a visão é excitada pela impressão de algum movimento de uma matéria que age sobre os nervos no fundo de nossos olhos e essa é ainda uma outra razão para se crer que a luz consiste em um movimento da matéria que se encontra entre nós e os corpos luminosos.”

Huygens

LUZ

Produzida na Terra pelos corpos luminosos, por exemplo, o fogo

Cada ponto do corpo luminoso possui um movimento muito rápido que provoca ondas no éter;

Ondas de diferentes objetos podem se atravessar sem se influenciar

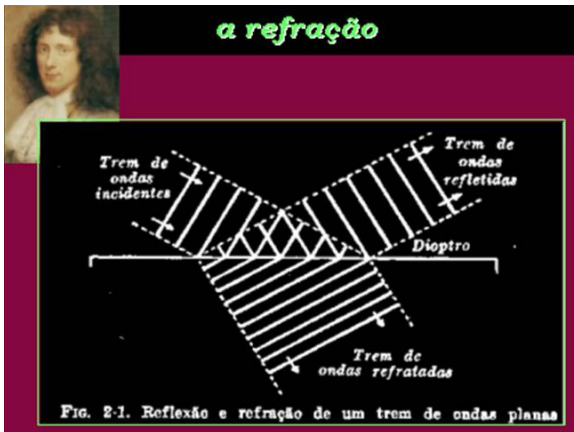
o princípio de Huygens

As ondas se unificam. A partir desse princípio, Huygens explica os fenômenos da:

- Reflexão;
- Refração;
- Refração na atmosfera.

a reflexão

Reflexão da luz por espelhos planos



Problemas...



- Podemos ouvir um sino atrás de uma montanha, mas não podemos vê-lo!





As ondas na água contornam obstáculos...

Os críticos de Huygens diziam:

Se a luz é onda, por que não contorna os obstáculos?

Huygens e as ondas no éter




Sua obra ficou esquecida por mais de um século...

Alguns anos depois, em 1704, o "Óptica" de Newton foi publicado

↓

Teoria corpuscular para a luz



a teoria corpuscular da luz de Newton

Apesar de ser mais famoso pelos seus trabalhos em Mecânica e Astronomia, **Isaac Newton (1643 - 1727)** dedicou vários anos de sua vida no estudo em outras áreas:

Óptica
Religião
Alquimia



Inspiração para a idéia de corpúsculos?

- Além da visão ondulatória, Havia visão corpuscular.

Newton, influenciado pela "filosofia corpuscular", imaginou desde o início que a luz seria constituída por corpúsculos.

FILOSOFIA CORPUSCULAR

- Baseada no atomismo grego.
- Explicam o mundo através de átomos.

Pierre Gassendi (1592-1655)



Robert Boyle (1627-1691)



a natureza corpuscular

Opção por uma teoria corpuscular para a luz



feixe de corpúsculos


LUZ

Problema:

Se a luz é feita de corpúsculos, como eles se cruzam sem interagir?



A visão de um objeto não atrapalha o outro




Final do século XVII

- Não houve consenso entre qual seria a natureza da luz.
- Duas teorias conflitantes

As duas teorias mais detalhadas, propostas no final do século XVII, para explicar os fenômenos luminosos, foram as de Newton e de Huygens.

Outra divergência

Fenômeno das cores




Estudos sobre Óptica (1661-1664)

experimentos com prismas

Primeiros estudos detalhados sobre a luz e as cores
"Sobre as cores" (1666)




"Nova teoria de luz e cores" 1672



Primeiro artigo de Newton publicado;

- 1) Explicou o funcionamento do seu telescópio refletor...
- 2) Fenômeno das cores.

Newton ganha notoriedade e é convidado a participar da Royal Society



Inicialmente: prisma modifica a luz.
Muitas experiências...
O feixe de luz branca é circular. Por que a imagem projetada no anteparo é alongada?



Formulou várias hipóteses...

Por exemplo:

“Será que a luz deixa de se mover em linha reta após atravessar o prisma?”



Depois de muitas experiências...

- análises matemáticas e geométricas associadas aos experimentos para analisar esse fenômeno das cores;

- Proporção entre:
 - tamanho do buraco;
 - tamanho da imagem colorida na parede;
 - distância entre a parede e o prisma.

...Descartou essa hipótese.

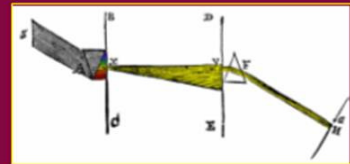
Continuou levantando hipóteses:

será...,
será...,
... será?



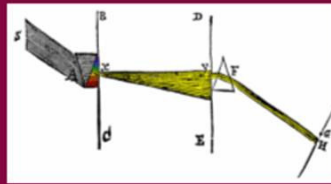
Experimento “crucis”

- Separou apenas 1 cor para o segundo prisma e ele não modificou a luz.
- Cada cor mantém o mesmo ângulo de refração sempre!



Experimento “crucis”

- O prisma não modifica, apenas separa as cores!



Newton propõe:

A luz branca é heterogênea!
O prisma separa os raios coloridos!
Cada cor tem seu próprio grau de refrangibilidade;

MAS

Só olhando o experimento é possível concluir isso?

?

Seus contemporâneos não aceitaram...

Apenas o experimento não basta!

Newton combinou experiência, hipóteses e muita análise matemática!

Hooke



Huygens



O século XVIII

É um período de riqueza, progresso, otimismo.
O “século das luzes” tomou Newton como modelo.

Principia
(1687)

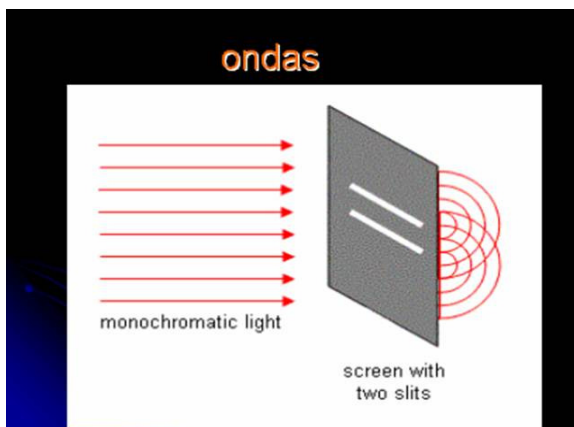
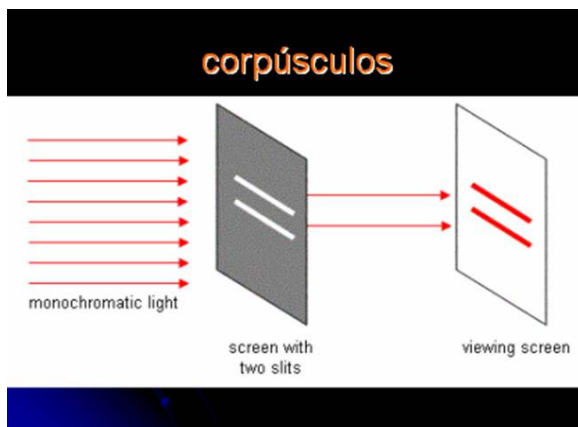
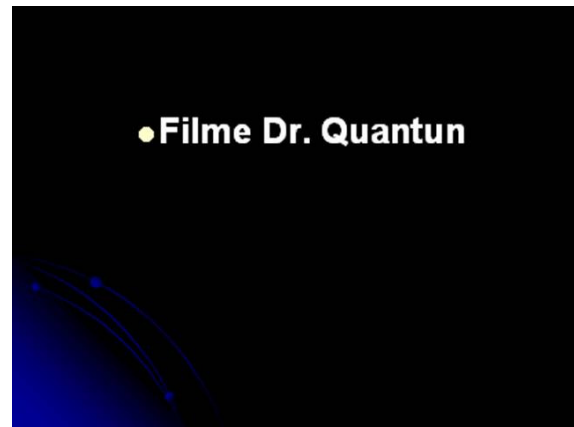


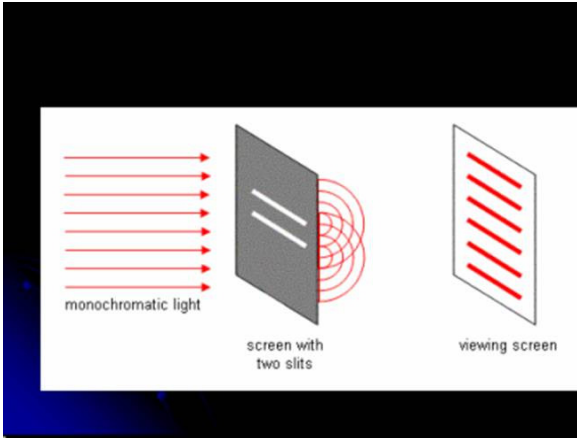
Óptica
(1704)



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

Apresentação em PowerPoint 3a: Fenômenos Ópticos XIX





Superposição

- Superposição de ondas em fase

Dos ondas EN FASE

Superposição de ondas "defasadas"

Dos ondas DESFASADAS

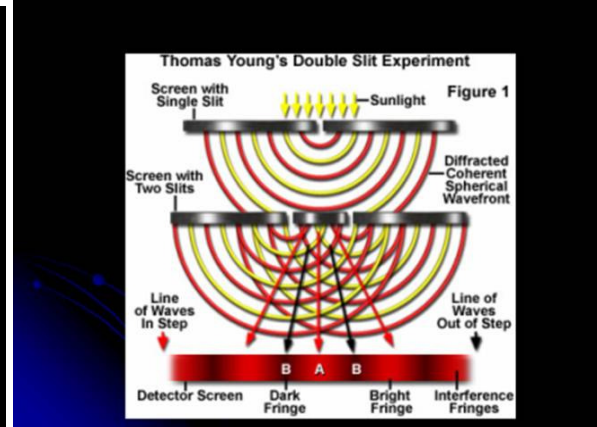
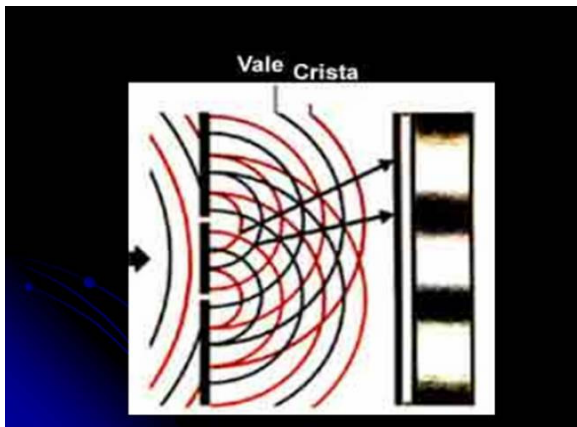
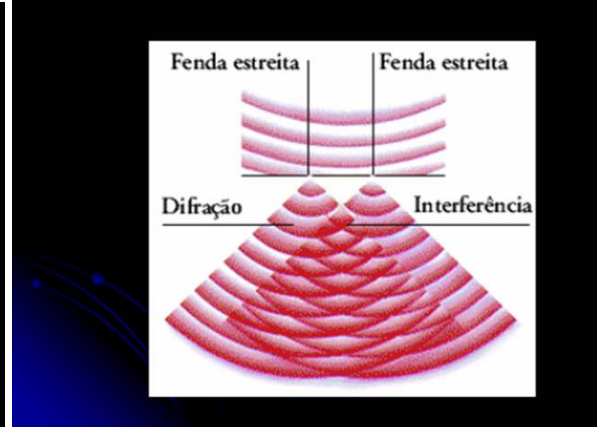
Ondas em fases opostas

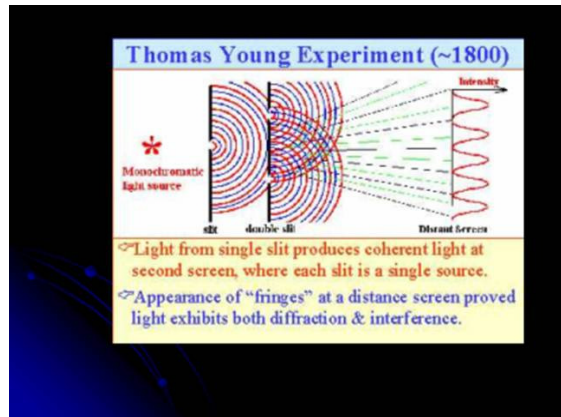
DOS ONDAS IGUAIS EN FASE OPUESTA SE CANCELAN

Dos ondas DESFASADAS

Superposição -> interferência

- Quando 2 ondas se sobrepõem surge a figura de interferência





Apresentação em PowerPoint 3b: Éter e Luz no Século XIX

Curso: O éter, a natureza da luz e a natureza da ciência.

Episódio 3:

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



Século XVIII

Durante o século XVIII quase todos aceitaram a hipótese corpuscular da luz.



Uma exceção foi **Leonhard Euler** (1707 - 1783)

Leonhard Euler

Teoria corpuscular



Em 1809 Laplace publicou um trabalho onde adotava a concepção corpuscular para a luz.

Ele era um membro influente da comunidade científica.

Laplace

Difração

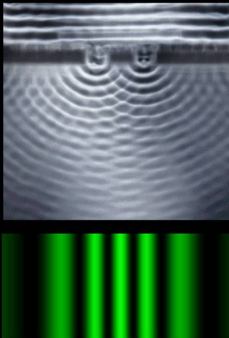
No início do século XIX parecia que a teoria corpuscular da luz poderia explicar **quase** todos os fenômenos.

Havia problemas, por exemplo, para explicar a difração de forma quantitativa.

No início do século XIX


Experimentos sobre difração e interferência convenceram os físicos de que a luz era uma onda.

A mudança de opinião ocorreu de forma praticamente completa na década de 1820.




Óptica no século XIX

Os dois pesquisadores cujos estudos levaram à aceitação da teoria ondulatória da luz foram o médico inglês Thomas Young (1773-1829) e o engenheiro francês Augustin Fresnel (1788-1827).



Thomas Young




Augustin Fresnel

Conseqüências

- Se a luz é onda : éter
- Rejeitar a corpúscularidade da luz poderia mostrar um ponto frágil na doutrina newtoniana

Thomas Young



Os trabalhos de Young são anteriores aos de Fresnel.

Nos últimos anos do século XVIII ele começou a defender a teoria ondulatória da luz.

Thomas Young

Ondas sonoras

O estudo da audição levou Young a pesquisar o próprio som.

Fez estudos teóricos e experimentais sobre ondas sonoras, que o prepararam depois para sua teoria ondulatória da luz.

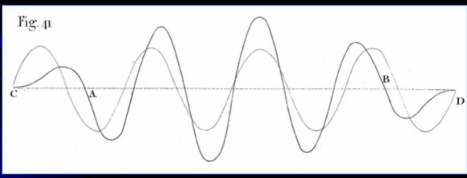
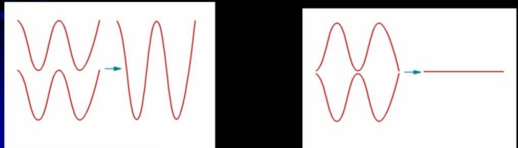


Fig. 41


Combinação de ondas

Quando duas ondulações, de diferentes origens, coincidem perfeitamente ou quase perfeitamente em direção, seu efeito conjunto é uma combinação dos movimentos que pertencem a cada uma delas.



- Young não utilizou os termos "interferência construtiva e destrutiva".
- Ele falou em combinação de ondas.
- Fresnel quem introduziu esses termos.

Thomas Young



Seus estudos foram muito bem feitos, mas não convenceram praticamente ninguém.

Thomas Young

Augustin Fresnel

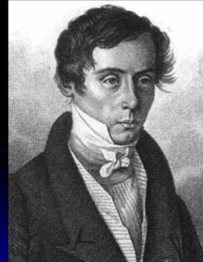


Augustin Fresnel

As pesquisas de Fresnel começaram quase 20 anos depois das de Young.

Ele não lia inglês e repetiu alguns experimentos que Young já havia realizado.

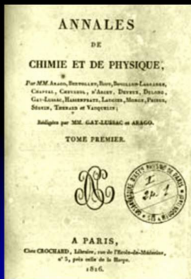
Augustin Fresnel



Estudou difração e se convenceu de que a teoria ondulatória da luz era correta.

Seu trabalho era mais sofisticado que o de Young, sob o ponto de vista matemático.

Augustin Fresnel



Fresnel publicou trabalhos sobre difração em 1815 e 1816.

Arago gostou dos trabalhos e passou a apoiar Fresnel

François Arago



Sem esse importante aliado, Fresnel provavelmente não teria nem desenvolvido suas pesquisas, nem conseguido o reconhecimento da comunidade científica francesa, que em sua maioria defendia a teoria corpuscular da luz.

Difração

Em 1817 a Academia de Ciências de Paris propôs um prêmio para o melhor trabalho que explicasse a difração de forma quantitativa.

Em vez de auxiliar o desenvolvimento da teoria corpuscular, essa competição marcou um forte ressurgimento da teoria ondulatória.

O prêmio da Academia

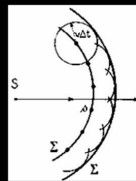
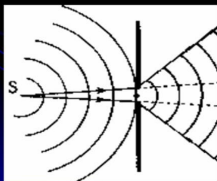
Fresnel se candidatou, com um estudo em que apresentava a teoria matemática da difração.



Difração



Para explicar os efeitos de difração, Fresnel combinou o princípio de Huygens com a hipótese de uma onda periódica, capaz de interferências, de Young.



Comissão da Academia

A comissão de julgamento do prêmio era constituída por Arago, Biot, Poisson e Laplace.



Todos (exceto Arago) eram favoráveis à teoria corpuscular da luz.



Fresnel foi o vencedor do concurso!



Augustin Fresnel
(1788-1827)

Antes de falecer, em 1827, Fresnel publicou muitos outros trabalhos deduzindo conseqüências da teoria ondulatória da luz.

Sua capacidade matemática era muito grande, e seus resultados impressionaram profundamente os físicos da época.

A morte da teoria corpuscular

Apesar de contar com defensores de peso, como Biot e Poisson, a teoria corpuscular da luz não conseguiu explicar quantitativamente os fenômenos deduzidos pela teoria ondulatória.

Na década de 1830 a teoria corpuscular contava com poucos adeptos – apenas entre os físicos mais velhos.

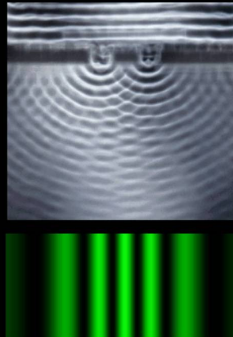


Óptica no século XIX

Na segunda metade do século XIX já não se discutia mais a natureza da luz.

Todos aceitavam que era uma onda do éter.

Porém, era difícil entender as propriedades do éter...

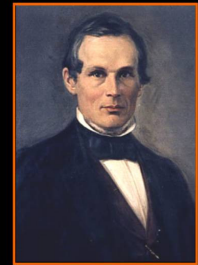


Éter

Durante o século XIX foram feitos vários experimentos para detectar a velocidade da Terra em relação ao éter.

Alguns desses experimentos deram resultados positivos.

Não existiam dúvidas sobre a existência do éter, no final do século XIX.



Anders Ångström

Alguns experimentos, como o realizado por Michelson, não conseguiram medir essa velocidade.



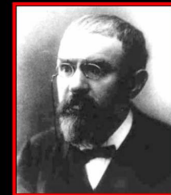
A. Michelson

Éter

Esse e outros resultados levaram vários pesquisadores, como Lorentz e Poincaré, a estudar mudanças na física clássica, introduzindo o "princípio da relatividade".



Lorentz



Poincaré

Relatividade especial

Henri Poincaré, Hendrik Lorentz e outros propuseram mudanças na física, para resolver alguns problemas.

A teoria da relatividade especial foi desenvolvida depois por Albert Einstein, Max Abraham, Herman Minkowski e outros partindo dessas e outras contribuições



(Einstein levou a fama...)

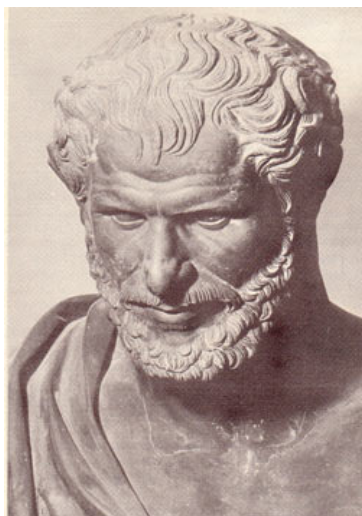


Apêndice D: Atividades para os cursos proposto e piloto

D.1. Cartões para jogo da linha do tempo

Episódio I: Um pouco sobre a luz na Antiguidade grega

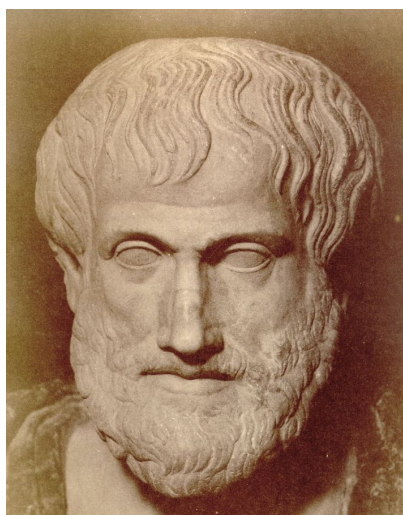
O professor deve recortar os cartões e entregá-los aos alunos. Esses, seguindo as “pistas” fornecidas devem tentar colocar os pensadores e eventos em uma linha cronológica. Fica a critério do professor incluir mais eventos históricos, personagens e dicas.



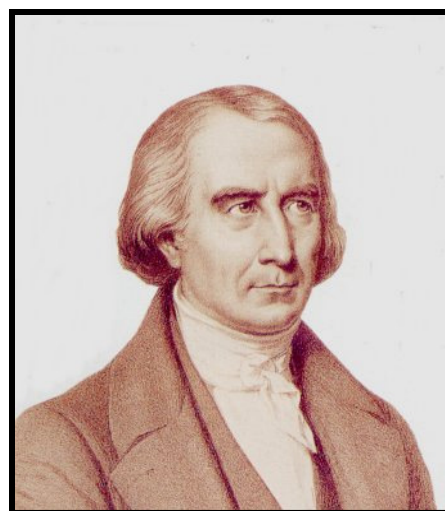
Demócrito de Abdera – filósofo grego
Foi um dos atomistas. Acreditava na existência de espaços vazios. Foi contemporâneo de Sócrates.



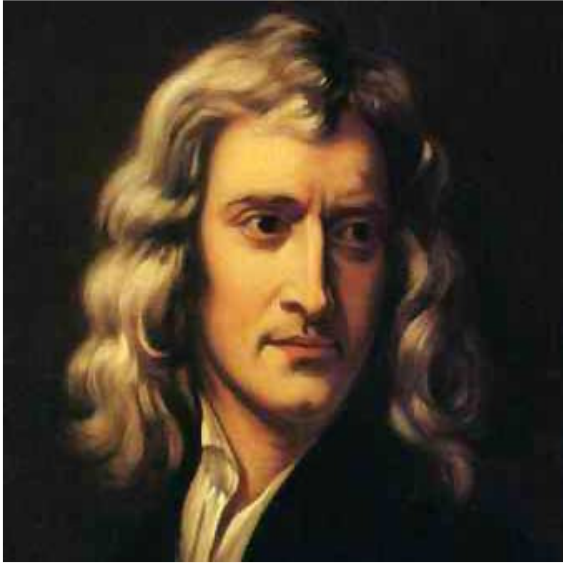
Christiaan Huygens – Físico e matemático holandês. Acreditava que o universo era preenchido pelo éter. Defendeu uma concepção ondulatória para a luz. Foi contemporâneo de Robert Hooke.



Aristóteles – Filósofo Grego
Acreditava que o mundo era formado por cinco elementos: água, terra, fogo, ar e quintessência; não acreditava na existência de espaços vazios. Foi mestre de Alexandre Magno.



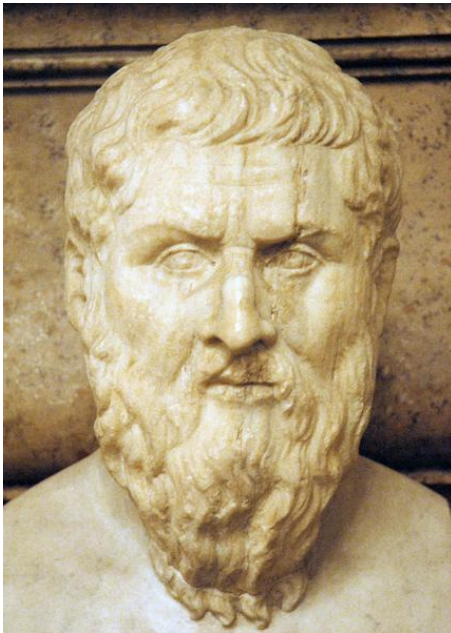
François Arago – físico francês. Realizou experimentos para tentar medir a velocidade da luz das estrelas no interior de um prisma transparente. Foi contemporâneo de Napoleão Bonaparte, imperador da França.



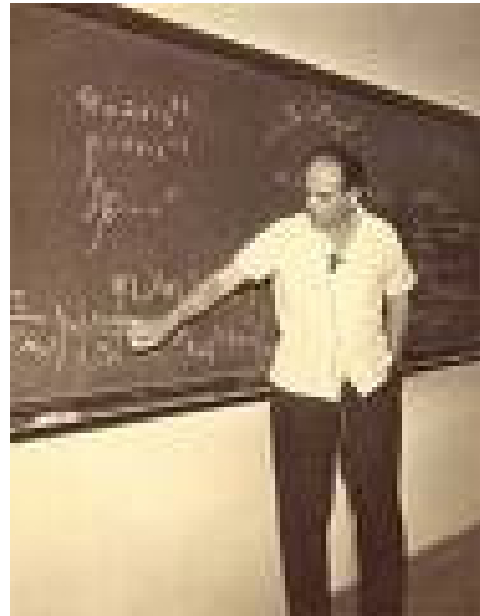
Isaac Newton
Físico, matemático, filósofo inglês.
Elaborou a lei da gravitação universal.
Nasceu no mesmo ano da morte de Galileu.



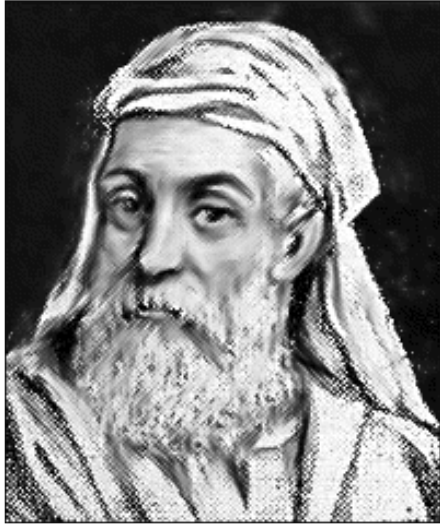
Thomas Young
Médico e Físico inglês.
Defendeu a concepção ondulatória para a luz.
Foi contemporâneo de Laplace.



Platão – filósofo grego.
Foi Aluno de Sócrates e mestre de Aristóteles.
Autor do “mito da caverna”.
Viveu depois de Pitágoras.



César Lattes - Físico Brasileiro
Participou da descoberta do méson-pi, uma
partícula elementar prevista por Hideki
Yukawa.
Foi indicado para o Nobel de Física.



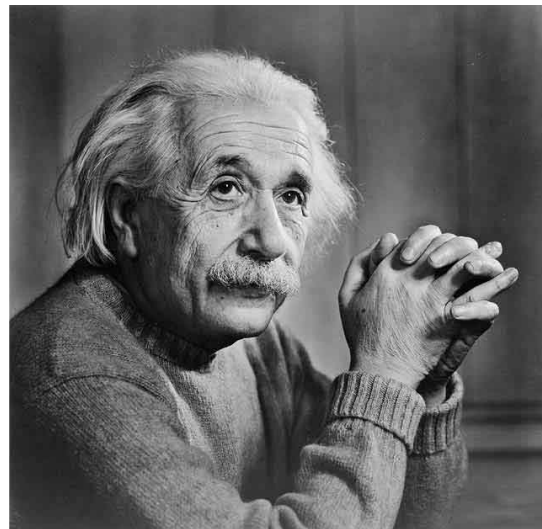
Empédocles – filósofo grego.
Quatro elementos básicos formavam o universo, que ele associava a quatro divindades: fogo (Zeus), ar (Hera), terra (Hades) e água (Nestis).
Viveu antes de Arquimedes.



Leonardo da Vinci – Pintor, escultor e inventor italiano.
Realizou estudos de anatomia, geometria, geologia, botânica, astronomia, óptica, mecânica, arquitetura, projetos bélicos, etc.
Foi contemporâneo de Copérnico.



Augustin Fresnel – engenheiro francês.
Propôs uma teoria ondulatória para explicar o fenômeno da difração da luz.
Acreditava que o éter preenchia todos os espaços vazios do universo.
Foi contemporâneo de D. João VI – Príncipe do Brasil.



Albert Einstein – Físico Alemão
Ganhou o Prêmio Nobel pela explicação do Efeito fotoelétrico.
Desenvolveu com Poincaré e Lorentz a teoria da relatividade.
Contemporâneo de Marie Curie.



Descobrimto do Brasil



Nascimento de Jesus



Vôo do 14 Bis



Guerra de Tróia



Independência do Brasil

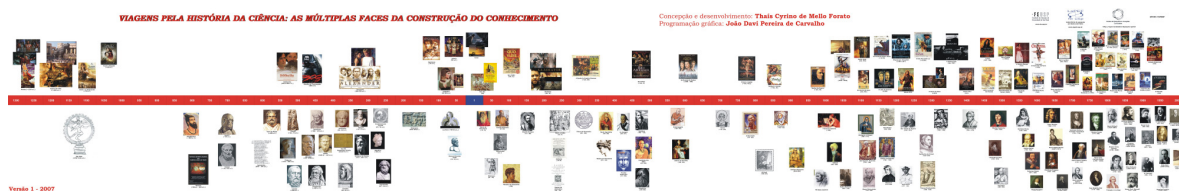


As cruzadas



**Bomba Atômica em Hiroshima
Segunda Guerra Mundial.**

D.2. Linha do tempo: Viagens pela história da ciência: as múltiplas faces



Disponível em: <<http://nupic.incubadora.fapesp.br/portal/projetos/historia-e-filosofia-da-ciencia>>.

D.3. Debate: O debate entre as teorias ondulatória e corpuscular

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

Imagine que estamos no início do século XVIII. Vamos simular um debate que poderia ter ocorrido entre dois grupos. Cada grupo terá cinco componentes. Um deles defenderá a teoria ondulatória para a natureza da luz. O outro grupo defenderá a teoria corpuscular. Vamos levar em conta aqui apenas as questões relativas à natureza da luz tratadas no curso. Não é possível, neste momento, discutir todos os aspectos das teorias, experimentos e suas consequências.

Os demais alunos serão os jurados dessa disputa. Cada grupo terá 15 minutos para expor suas idéias, argumentando a favor de sua teoria e criticando a teoria rival. Após a primeira exposição de ambos os grupos, cada um deles terá mais 10 minutos para a réplica. O júri pode solicitar esclarecimentos e fazer perguntas aos dois grupos. Depois disso, o júri se reunirá e decidirá qual das duas teorias está mais bem fundamentada e deveria ser adotada pelos homens da ciência na época. O professor será o mediador do debate. Ele poderá interferir sempre que julgar necessário.

Para construir sua argumentação, os grupos podem utilizar os textos do curso, o conteúdo das aulas, as explicações dadas pelo professor e a bibliografia recomendada abaixo. **Não é permitido usar experimentos ou informações que eram desconhecidas na época.** Lembrem-se: as teorias que aceitamos atualmente e os experimentos atuais não podem ser usados. O júri só poderá considerar os argumentos que eram utilizados no período, as idéias aceitas na época, e os exemplos adequados aos recursos que eles possuíam. O debate é sobre a natureza da luz, ondulatória ou corpuscular. Os homens daquela época **não estavam questionando a existência do éter.**

Não faça pesquisas na internet, pois é muito difícil para um “não especialista” saber quais os argumentos que eram válidos no período. Além disso, a internet está repleta de erros de

todos os tipos, inclusive erros históricos e científicos. Há muitos trabalhos sobre esse tema, e a maioria deles apresenta uma visão distorcida e pouco confiável da história da ciência.

Podem consultar caso queiram:

MARTINS, Roberto de A. (trad.). “Tratado sobre a luz, de Christiaan Huygens”. *Cadernos de História e Filosofia da Ciência* (suplemento 4): 1-99, 1986.

SILVA, Cibelle.C.; MARTINS, Roberto. de A. A teoria das cores de Newton: um exemplo do uso da história da ciência em sala de aula. *Ciência & Educação*, 9(1): 53-65, 2003

____; _____. A “Nova teoria sobre luz e cores” de Isaac Newton: uma tradução comentada. *Revista Brasileira de Ensino de Física* 18 (4): 313-27, 1996.

NEWTON, Isaac. Óptica. Edusp: São Paulo, 1996.

D.4. Peça de teatro

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

Texto 8: O éter e a natureza da luz

Autoria: *Thaís Cyrino de Mello Forato*

Colaboração: *Maria Luiza Ledesma Rodrigues*

Revisão: *Maurício Pietrocola*

Advertência:

Este texto não é um relato histórico. É um recurso didático. Ele pretende promover uma reflexão sobre alguns aspectos da natureza da ciência fazendo menção ao debate entre os defensores das teorias corpuscular e ondulatória da luz. É uma obra de ficção, inspirada em alguns episódios históricos, mas não pretende fazer uma reconstituição dos eventos. Personagens que podem nunca ter se encontrado dialogarão em cena no intuito de gerar um clima descontraído. Buscamos criar uma atividade interessante para os alunos, que desperte a curiosidade sobre o tema trabalhado em sala de aula.

Pressupostos:

Esse roteiro para o teatro deve ser utilizado no contexto do curso. As informações isoladas não atingem aos objetivos pedagógicos e epistemológicos pretendidos. É necessário que os alunos tenham estudado os textos anteriores e realizado as atividades propostas, para que esse teatro possa ser proveitoso. Ele pode ser apresentado no final do curso, antes do festiva cultural, ou antes do episódio 3 com a finalidade de despertar o interesse pelo episódio de Fresnel.

Personagens:

Aluna 1: vai levantar dúvidas, formular questões, criar polêmicas.

Narrador 1 e narrador 2: vão “responder” às questões ou colocá-las na perspectiva histórica.

Explicadora: entra algumas vezes explicando comentários de Arago e Fresnel.

Laplace; Young; Aluno 2; Aluno 3; Arago; Fresnel

O “Sol”: pessoa vestida de amarelo.

A “Terra”: pessoa vestida de azul e um pouco de marrom.

Cenário e figurino:

A peça pode ser apresentada na sala de aula ou em algum outro local adequado que a escola possua. Verificar disponibilidade dos alunos e da escola para utilizar efeitos sonoros e visuais. O cenário e o figurino devem ficar por conta dos alunos, deixando-os exercitar a criatividade. Eles podem utilizar recursos materiais, como cartazes identificando os personagens, imagens em multimídia ou a representação dos sistemas geocêntrico e heliocêntrico. Seria interessante ter um breve filme no início mostrando o céu à noite, a Via Láctea, ou cenas semelhantes. O professor pode estimulá-los a criar situações que interajam com a peça, desde que as falas não sejam alteradas, nem o conteúdo modificado. Por exemplo, na escola onde foi aplicado o curso piloto, os alunos criaram uma situação inicial em que estavam em uma aula de física. Uma das alunas dormia e a peça retratava o conteúdo do seu sonho.

CENA I

Inicialmente o “palco” está vazio e a aluna 1 entra do lado direito, vai caminhando enquanto fala até chegar do outro lado (esquerdo).

Aluna 1: Eu sempre fico pensando como o Universo é misterioso. Olhando esse céu, a Lua, as estrelas... *(pausa, olhando ao redor)*... Como vemos o mundo? *(pausa)* O que acontece nos olhos que nos permite ver as estrelas? *(pausa)* Como percebemos as cores dos objetos? *(pausa)* E os povos antigos... como será que eles explicavam essas coisas? *(pausa)* A luz das estrelas... o movimento do Sol. *(pausa maior)* Por que o Sol se levanta e se põe a cada dia?

Surgem do lado esquerdo os narradores.

Narrador 1: Desde épocas muito antigas os homens se encantavam com os fenômenos naturais e buscavam explicações para eles. Os povos antigos acreditavam que os deuses eram responsáveis por tudo que acontecia na Terra, e cada povo elaborava seus próprios mitos para contar a história do Universo e explicar como ele funcionava.

Narrador 2: A religião e a mitologia eram as formas de conhecimento que os homens da Antiguidade utilizavam para explicar os fenômenos naturais. Até que, em torno do quinto século a. C., surgiu a filosofia na Grécia, que buscava explicar a natureza pelo pensamento e pelo raciocínio.

Aluna 1: Ah!!! Então quer dizer que os filósofos gregos dessa época queriam explicar a natureza sem recorrer aos deuses ou a outros seres sobrenaturais?

Narrador 1: A religião, a filosofia e a ciência procuram atingir a verdade por caminhos diferentes.

Narrador 2: Na Antiguidade grega, na época em que viveram Tales, Anaximandro e Empédocles, os filósofos passaram a estudar a natureza usando o pensamento e o raciocínio, buscando explicações que não dependiam da ação de divindades ou de outros seres mitológicos.

Narrador 1: Depois (*pausa. Fazer pequenos círculos com a mão indicando muuuuuuito tempo*), com o passar do tempo, (*pausa*) pouco a pouco foi se desenvolvendo outra maneira de tentar entender a natureza: pela ciência.

Narrador 2: O modo de estudar os fenômenos naturais mudou bastante ao longo da história da humanidade, e mudou não apenas ao longo do tempo, mas de um povo para outro, de cultura para cultura. (*pausa*) A humanidade construiu uma ciência viva, dinâmica, que se transformou ao longo de sua história.

Aluna 1: Mas vocês ainda não responderam a minhas perguntas sobre o movimento do céu. Como os antigos explicavam o movimento do Sol pelo céu ao longo do dia?

Entram o Sol e a Terra num movimento confuso.

Narrador 1: Até o século XVII não havia exatamente um consenso sobre isso. A maioria dos filósofos naturais aceitava o geocentrismo proposto por Aristóteles, um dos filósofos gregos da Antiguidade.

Narrador 2: A Terra estaria parada no centro do Universo e os demais corpos celestes girariam ao seu redor.

A Terra pára no centro e o Sol gira ao redor. Narrador espera o movimento se completar e volta a explicar.

Narrador 1: Quase ninguém aceitava o heliocentrismo, teoria proposta por Aristarco, outro filósofo grego da mesma época. Ele defendia que o Sol estaria parado no centro do Universo e quem girava ao seu redor era a Terra e tudo o mais.

O Sol vai para o centro e a Terra começa a girar ao redor.

Aluna 1: Mas hoje todo mundo sabe que o Sol está no centro e a Terra é que gira ao seu redor. Quando isso mudou?

Narrador 2: Do final do século XVI até o início do século XVII a visão geocêntrica de mundo foi sendo **mais** questionada por alguns pensadores, por exemplo, por Giordano Bruno e por Galileu Galilei.

Narrador 1: Desde o início do século XVII, com o modelo heliocêntrico de Copérnico, até a teoria da gravitação universal de Newton, diversos filósofos naturais contribuíram para o abandono do geocentrismo.

Aluna 1: Mas *(pausa)* e a luz do Sol? *(pausa)* Como ela chega à Terra?

Saem Sol e Terra. Recurso visual com o Sol e a luz.

CENA II

Ficam no palco Aluna 1 e Narradores. Eles se movimentam pelo palco enquanto conversam.

Narrador 1: Ao longo da história da ciência essa pergunta foi respondida de muitas formas diferentes. *(pausa)* Por exemplo, no final do século XVII havia os que achavam que a luz era composta por minúsculos corpúsculos que se deslocavam pelo espaço vazio, como o inglês Isaac Newton, por exemplo.

Narrador 2: Já o holandês Christiaan Huygens, na mesma época, achava que o Universo era preenchido pelo éter e a luz era uma perturbação que se propagava nesse éter.

Aluna 1: Éter? O que é éter?

Narrador 1: A idéia de éter mudou também ao longo da história, tanto de um período para outro, como entre os diversos pensadores.

Narrador 2: Seria um tipo de matéria muito sutil, algo que não vemos, não sentimos, mas que preenche todo o espaço vazio do Universo.

Narrador 1: A existência do éter explicou muitos fenômenos físicos ao longo da nossa história.

Aluna 1: Mas afinal, *(pausa)* sobre a luz, *(pausa)* quem tinha razão, Newton ou Huygens?

Entra Laplace e sai narrador.

Laplace: Newton é claro!

Aluna 1: Quem é você?

Laplace: Ora, sou Simon Laplace, filósofo e matemático francês. *(Faz uma pequena pausa)*. Eu e meus contemporâneos achamos o Isaac Newton o máximo, você o conhece, é claro, ele é o autor dos *Princípios matemáticos da filosofia natural* e da *Óptica*.

Aluna 1: É... já ouvi falar... dois livros muito importantes!

Laplace: Claro! Se Newton diz que a luz é composta por corpúsculos, então, é assim que é! Ele é o cara! Só tem um ou outro por aí que acha que o Huygens tinha razão... A luz, um pulso? Uma perturbação no éter? Ora... imagina!

Aluna 1: Newton não acreditava no éter?

Laplace: Claro que acreditava! Mas o éter não interferia na propagação da luz do Sol até a Terra. Era uma matéria muito sutil, imponderável. Não conseguimos senti-la nem medi-la.

Aluna 1: Hum..... não atrapalhava a propagação da luz!

Laplace: Para Newton o éter não oferecia resistência aos corpúsculos da luz e eles viajavam muito rápido... Foi assim que nos ensinou o grande Newton. Sendo assim, minha cara, a luz é composta de minúsculos corpúsculos que viajam rapidamente através do éter no espaço.

Aluna 1: Mas, se a luz é composta de partículas, as leis de Newton que estudamos, tipo inércia, força proporcional à aceleração e à massa do corpo, isso vale pra a luz?

Laplace: Claro! Você entendeu!!!! A luz obedece a todas as leis da mecânica de acordo com o que propôs Newton e seus seguidores, os newtonianos...

Entra Thomas Young andando rápido e esbravejando.

Young: Calma aí, Laplace.... você já “ta” ficando gagá. Aliás, você já morreu e se esqueceu de deitar! Minha jovem, esse senhor é um desses fanáticos... Como a maioria do pessoal do século XVIII que nem conseguia mais pensar pela própria cabeça... Ficaram tão impressionados com a doutrina newtoniana que a abraçaram cegamente. O pior é que eles dominaram o cenário científico da época.

Aluna 1: Mas, e você, quem é você?

Young: Eu sou Thomas Young, médico, físico e linguísta inglês. Vou contar meu ponto de vista, e você decide quem tem razão, ok?

Enquanto Young fala da sua hipótese, Laplace continua falando sozinho, baixinho e vai saindo do palco.

Entra Arago pelo outro lado do palco e fica quieto num canto observando.

Young: Existe um éter luminoso que está completamente fixo no espaço. Ele é feito de uma matéria tão sutil, que penetra a substância de todo corpo material com pouca ou nenhuma resistência, talvez tão livre quanto o vento que passa através de um bosque. Assim, a Terra, os planetas, tudo se movimenta nesse éter sem resistência.

Aluna 1: Mas e a luz? O que o éter tem com a luz?

Young: Tudo, minha cara, tudo! Ele é o suporte para a luz, ele é o lugar por onde as ondas caminham. Essas ondas são as perturbações que se propagam nesse éter. Essas ondas são... a luz!

Aluna 1: Nossa!

Young: *(vai falando devagar, explicando)* Quando você joga uma pedra na água, não se formam ondas na superfície da água? Então, sem água não há ondas, sem o éter, como as ondas poderiam existir? Como o “nada” poderia ondular? Como a luz do Sol viria até nós?

Aluna 1: Bem, não sei... *(pausa, pensando....)* talvez se fossem corpúsculos, como eles dizem...

Entram Narradores e ficam observando o diálogo dos dois.

Young: *(enfático e um pouco exaltado)* Mas não são, não são! *(Respira... vai ficando mais calmo e falando pausadamente)*. Veja, você já ouviu falar em fenômenos luminosos como a interferência? Como eles poderiam ser explicados se a luz fosse feita de corpúsculos?

Aluna 1: Hum... não sei...*(pausa)* preciso pensar mais sobre isso...

Narrador 1: É importante lembrar que Thomas Young está explicando sua teoria da luz. Ela não era consenso entre os cientistas da época.

Narrador 2: Nem isso significa que a teoria dele esteja de acordo com as teorias que aceitamos atualmente.

Young: Venha, minha cara, eu vou te mostrar esses fenômenos ópticos de que te falei e explicar melhor minhas idéias...

Young coloca as mãos no ombro da aluna 1 e eles saem do palco.

CENA III

Dois alunos que estavam sentados na primeira fila assistindo à peça se levantam e começam a conversar. Arago continua pensativo parado num canto.

Aluno2: Papo maluco esse aí, heim, “bro”? Vem cá, você entendeu alguma coisa?

Aluno 3: É... Não!

Aluno2: Essa história de corpúsculos e ondas...

Aluno3: Bom, entendi que uns caras achavam que a luz era feita de corpúsculos e outros caras achavam que era um pulso, uma perturbação, ou uma onda, sei lá... no tal de éter...*(risos)* papo de maluco “véio”...

Aluno 2: E eu que pensava que o éter era aquele líquido lá do laboratório de química!

Aluno 3: Claro que não, meu, se manca aí, ô! Era uma coisa mais leve que tudo, que não dá pra pegar, nem beber, nem sentir... um ar que não é ar, um lance meio assim...

Aluno 2: Olha lá aquele cara, vamos perguntar pra ele sobre essa briga aí das teorias.

Aluno 3: Tio?!

Arago: Tio?..... (olhando assustado) Vem cá,... eu te conheço?

Aluno 2: Explica pra gente esse lance de ondas no éter. A gente passa pelo éter e não sente nada?

Arago: Bem, primeiro você precisa entender que estamos falando de como os cientistas pensavam sobre isso no início do século XIX, o período em que vivi. Eu posso falar desse período ou mesmo de algumas idéias que vieram antes de mim, mas não posso saber como as pessoas da sua época pensam sobre isso. Ficou claro?

Aluno 3: Mais ou menos... quer dizer... mas a ciência não é algo eterno? Isso que vocês provaram na sua época não vai valer pra sempre?

Arago: Não é bem assim. Nós, cientistas, elaboramos modelos e teorias pra tentar explicar a natureza.

Aluno 2: Modelos e teorias?

Arago: Sim. Alguns deles conseguem ótimos resultados e permanecem aceitos por muito tempo.

Aluno 3: E os outros?

Arago: Outros são aceitos pela comunidade por certo tempo, até que uma nova teoria consiga derrubá-los. Eu mesmo presenciei uma importante mudança na teoria da luz.

Aluno 2: Foi por causa dessa briga que eles estavam falando?

Arago: Não é bem uma briga, é uma disputa entre grupos que defendem teorias rivais. Cada um acha que sua teoria explica melhor os fenômenos naturais, que ela está mais bem fundamentada, essas coisas...

Congela a cena e entra a “explicadora”.

Explicadora: Por exemplo: durante muitos séculos a maioria das pessoas acreditava no geocentrismo. Somente depois do século dezessete que todos passaram a aceitar a teoria heliocêntrica!

Sai a explicadora e a conversa continua.

Arago: Cada grupo procura mostrar evidências que comprovem suas idéias e mostrem falhas na teoria do outro grupo. Isso é muito bom, pois estimula o avanço científico.

Aluno 3: É... parece importante... com mais pessoas vigiando, fica mais fácil encontrar os erros.

Entra o narrador 1 e fala pra platéia sem interferir no diálogo.

Narrador 1: Como já dizia o grande Nelson Rodrigues: “Toda unanimidade é burra”...

Sai o narrador 1.

Arago: Sim, quando uma teoria é aceita por todos, é mais fácil que os erros passem despercebidos...

Aluno 3: Mas e o éter? Todo mundo acreditava no éter? Isso não é estranho? Como alguém pode acreditar numa coisa que não vê, não sente, não mede?

Arago: Bem, isso não é muito simples de explicar, mas podemos pensar no seguinte: a ciência constrói hipóteses.

Aluno 2: o que são hipóteses?

Arago: São suposições que tentam explicar como as coisas acontecem. Os cientistas elaboram modelos, teorias pra explicar como alguns fenômenos ocorrem. Muitas vezes é necessário usar entes não observáveis pra construir essas hipóteses, como no caso do éter.

Aluno 3: O que são entes não observáveis?

(Arago explica bem devagar)

Arago: É como se fossem coisas que não podemos perceber que existem pelos sentidos, mas são úteis para a ciência. Vários fenômenos foram explicados ao longo da história da ciência supondo a existência do éter. A ciência **NÃO** parte apenas de dados experimentais, **NÃO** parte apenas de observações para depois elaborar leis que expliquem esses fenômenos.

A cena congela e entra a explicadora:

Explicadora: Se não podemos observar, não podemos provar que existe, mas também não podemos provar que **NÃO EXISTE!**

Sai a explicadora e a conversa continua.

Arago: Utilizar o éter em algumas épocas ajudou a ciência a explicar coisas que não eram possíveis de serem explicadas usando apenas o que se observava.

Aluno 2: Mas e a mudança na teoria da luz que você ‘tava falando?

Arago: Bem, é o seguinte: nos anos de 1806 e 1810 eu andei realizando umas experiências, mas o resultado não deu o que eu esperava. Eu acreditava que a luz era composta de corpúsculos, e um dos objetivos das minhas experiências era resolver uns problemas que a teoria corpuscular enfrentava na época. Porém eu não consegui explicar por que o resultado da experiência não deu o esperado.

Aluno 3: Então você passou a acreditar na teoria ondulatória?

Arago: As coisas não são tão simples assim. A teoria ondulatória também tinha seus problemas. Mas, sem dúvida, esse fracasso na explicação dos meus experimentos contribuiu para aumentar minhas dúvidas com relação à teoria corpuscular.

Aluno 2: E depois, como você resolveu isso?

Arago: Não fui eu quem resolveu. Foi Fresnel, um engenheiro francês. Ele foi o vencedor do concurso proposto pela Academia de Ciências da França em 1817. *(pausa)* Essa é uma história muito interessante... *(pausa)* O concurso era para o melhor trabalho sobre o fenômeno da difração. Faziam parte da comissão julgadora Laplace, Poisson e Biot, todos defensores da teoria

corpuscular, mas o trabalho de Fresnel defendendo a teoria ondulatória foi tão surpreendente que todos decidiram conceder-lhe o prêmio, em 1818.

Aluno 2: “Peráí”.... o cara fez um trabalho sobre a difração que defendia a teoria ondulatória?

Arago: Sim.

Aluno 3: E os caras que julgavam o concurso acreditavam na teoria corpuscular?

Arago: Sim.

Aluno 3: E mesmo assim ele ganhou o prêmio?!

Aluno 2: Pô, meu, o cara era bom mesmo...

Arago: Eu não entendo bem o seu dialeto, mas acho que é isso, o trabalho era tão bom que nós lhe concedemos o prêmio.

Entra Fresnel falando e se apresenta aos alunos.

Fresnel: Verdadeiros cavalheiros, amantes do conhecimento, nada fariam para atrapalhar o desenvolvimento da ciência. Muito prazer, eu sou Augustin Fresnel.

Aluno 2: Aí... “Mandô” bem, mano!

Fresnel: Depois do resultado do concurso, o sr. Arago (*Fresnel aponta para Arago*) consultou-me sobre os resultados dos experimentos que ele não conseguia explicar. Foi uma oportunidade muito boa para que eu pudesse apresentar a minha teoria.

Arago: Sim, Fresnel não apenas explicou o resultado do meu experimento, como apresentou uma teoria sobre a relação entre os corpos transparentes e o éter luminífero, lançando as bases para uma óptica dos corpos em movimento.

Aluno 2: Como é que é????!!

Fresnel: É muito simples, meu caro: o éter preenche todos os espaços aparentemente vazios do Universo, e nessas regiões ele está em repouso. Ele geralmente não seria movido pelos corpos que se deslocam através dele, como a Terra. Nas regiões sem matéria, a luz se propagaria sob a forma de ondas nesse éter parado. No entanto, se a luz é uma onda no éter, e se a velocidade da luz é menor dentro dos corpos transparentes (como admitido pelos defensores da teoria ondulatória), então o éter dentro dos corpos transparentes não pode ter as mesmas propriedades que possui fora deles. Aí...

Aluno 2: Péra, péra, péra... tá maluco, cara? Fala isso em língua de gente, meu!

Fresnel: Como?

(Arago fica admirando Fresnel falar).

Arago: Fresnel, meu amigo, conte-me sobre o arrastamento do éter novamente... que fascinante sua teoria...

Fresnel e Arago vão saindo juntos e falando sobre a teoria. Os dois alunos ficam no palco.

CENA VI

Aluno 2: Você viu? O cara tá doidão, aí...

Aluno3: Nem véio, é que a gente não entende ainda essas paradas.

Saem os dois alunos e entra o narrador.

Narrador 1: Com os trabalhos de Fresnel, a aceitação da teoria ondulatória foi aumentando entre os homens da ciência. Na década de 1830, praticamente todos já tinham passado a aceitar a teoria ondulatória. Um fato muito interessante nesse episódio é o papel desempenhado pelo éter luminoso. Quando os cientistas passaram a aceitar que a luz era uma onda, automaticamente, eles precisavam lidar com o éter: fluido que preencheria todo o espaço. Uma onda, ou a propagação de uma perturbação, exige um meio material para se propagar. Como alguém poderia pensar em uma onda se propagando no nada? As idéias de campo que aceitamos atualmente não eram nem sequer imaginadas naquele período. Mas quem tem razão? Os homens do século XIX, que acreditavam no éter luminífero como um veículo para luz, ou os homens do século XX, que a explicam recorrendo ao conceito de campo? Sem contar que nem falamos na dualidade da luz...

E você, o que acha? Existe só uma resposta pra essa questão?

FIM

Questões (só serão entregues aos alunos depois da representação)

- 1) O que você achou da representação?
- 2) Explique com suas palavras o que você entendeu sobre o conceito de éter luminífero ou luminoso.
- 3) Você acha que o critério que os pensadores utilizam para escolher entre as melhores teorias foi sempre igual ao longo da história da ciência? Explique citando exemplos.
- 4) Você consegue imaginar algumas razões que levam os homens da ciência a escolher uma teoria como a melhor? Justifique seu ponto de vista.
- 5) Qual a principal mensagem que a peça deixa sobre alguns aspectos do funcionamento da ciência?

Elaborada a partir dos textos:

MARTINS, Roberto de Andrade. A torre de Babel científica. *Scientific American – especial história: os grandes erros da ciência*, São Paulo, 6: 6-13, 2006.

PIETROCOLA, Maurício. Fresnel e o arrastamento parcial do éter: a influência da propagação da Terra sobre a propagação da luz. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, 10 (2): 157-172, ago. 1993.

Anexo A: Transcrição de aulas do curso piloto (setembro de 2007)

6/9/2007 – Aulas 1 e 2			
Arquivo I: Tempo total = 52 min			
Turno	Tempo	Falas	Observações
1	00:00	Professora: ... é personagens históricos não... não são só ligados à física, (<i>inaudível</i>) conhecimento geral. Só que não tem as datas. Então, pelo conhecimento que vocês têm, de... conhecimento geral, vocês vão colocar em ordem cronológica, tá? E ver o que que sai aí. Tá... Então eu vou distribuir pros grupos (<i>inaudível</i>). <i>Barulho e conversas paralelas enquanto a professora distribui os cartões para os grupos.</i>	<i>Prof. Está explicando a primeira atividade do curso. Colocar personagens e eventos numa seqüência cronológica.</i>
2	00:54	<i>Alunos arrastam carteiras para reunirem-se em grupos.</i>	
3	01:32	Professora: Gente, vocês podem mudar de lugar, se for o caso...	
4	03:24	Professora: Ó... vou dar uns 20 minutos aí pra vocês, tá?	<i>Alunos demonstram interesse.</i>
5	04:50	Professora: É... pessoal, vocês arrumem aí, na mesa de vocês, na ordem mas, por favor, não risquem nem à lápis, nem à caneta porque eu vou ter que recolher o material, tá?	<i>Professora conversa com pesquisadora e dá aviso para sala.</i>
6	6:00	<i>Equipe de gravação circula pela sala instalando microfones</i>	<i>Alunos permanecem envolvidos.</i>
7	7:15	<i>Pesquisadora tira fotos da sala</i>	
8	13:37	Prof: Pessoal, já deu?	
9	13:39	A1, A2; A3: não! Não! (<i>alunos protestam</i>)	
10	13:40	A4: a gente tá na metade ainda...	<i>Alunos continuam empenhados e animados.</i>
11	13:42	A5: Ah, professora, você é muito empolgada!...	
12	16:45	<i>Professora se aproxima e conversa com a pesquisadora</i>	<i>Atividade toma mais tempo que o previsto, mas os alunos estão demonstrando interesse e envolvimento.</i>
13	17:27	Professora: Gente, ó, mais uns 2 minutinhos.	<i>A maioria da sala continua animada, trocando informações e empenhada na atividade.</i>
14			<i>Há três alunos no fundo direito da sala</i>

			<i>que participaram bastante, mas começam a ficar quietos. As expressões sugerem um pouco de frustração. Olham pensativos para os cartões.</i>
15	20:37	Professora: É... pessoal, é... (<i>inaudível</i>) é... vamos dar, vamos dar seqüência, mesmo que faltou aí, vocês encaixarem é... alguma personalidade, algum acontecimento, agora vocês vão ver o porquê dessa atividade, tá? Então, eu só queria, assim, perguntar no geral, assim grupo por grupo, pelo menos quem foi aí o, o primeiro acontecimento da ponta, aí dessa linha cronológica que vocês montaram. Vocês já devem ter uma noção de qual seria desses que, desses que vocês têm aí, qual seria o primeiro? Fala P. Pedro: Guerra de Tróia.	
16	21:24	Professora: Guerra de Tróia? Que mais? Alunos (2 ou 3): Guerra de Tróia.	
17	21:33	A5: Nascimento de Jesus. Professora: Nascimento de Jesus? Quem dá mais? A6: Empédocles	
18	21:37	Professora: Empédocles ta na ponta... Ó, aqui é o Platão que tá no início, ta. Então... A7: Demócrito... Professora: Aqui é o Demócrito..	
19	21:56	Professora: Essas pessoas que estão aí nessa... nessa linha cronológica e alguns acontecimentos vão estar na linha do tempo que a gente vai colocar agora ta, no painel que vai ficar na sala... Esse painel vai servir de apoio pro nosso curso, porque o que nós vamos estudar é um assunto que eu vou dizer o porque dele... Então vocês depois vão tentar localizar dentro da linha que vocês montaram aí, aonde que ele se encaixa aqui na faixa que a gente vai colocar. Então eu queria aí uns 2 ou 3 alunos pra ajudar a colocar aqui a faixa na parede.	<i>Professora entrega a faixa para os alunos que vão colocá-la na parede.</i>
20	22:45	Pedro: Vamos ver qual é o primeiro. E o primeiro foi, foi... Moisés!	<i>Ambiente descontraído e de expectativa.</i>
21	23:01	<i>Alunos riem...</i>	
22	23:14	Professora: Gente, acho que eu vou precisar de um aluno aqui no meio porque isso não pode rasgar, não pode amassar... por favor...	<i>Alunos que montam a faixa e alunos que estão colando-a olham interessados e comparam com suas montagens.</i>
23	24:30	Professora: Quem sabe usar essa faixa dupla face aqui...?	
24	24:45	<i>Pesquisadora vai até a faixa para dar sugestão de colocação.</i>	

25	28:12	<i>Pesquisadora levanta e vai ajudar colar a faixa.</i>	<i>A colocação está demorando.</i>
26	28:46	Jade levanta e vai conferir imagens.	
27	30:15	Jade faz comentários com o grupo. Toca na faixa, olha a localização dos personagens e volta pra carteira pra conferir montagem que o grupo fez.	
28	30:49	Jade retorna para a faixa e continua olhando personagens e comentando com o grupo. Aproxima-se da pesquisadora e faz comentários inaudíveis.	
29	31:40	Jade: aqui ó, Leonardo da Vinci... (falando para o grupo).	
30	32:50	Jade Volta novamente para a faixa e continua comparando a seqüência da faixa com a montagem do grupo	
31	32:53	Jade: Cadê aquele lá o ... (inaudível) ?	<i>Jade conversa com os colegas que estão colocando a faixa.</i>
32	33:10	Jade conversa com os colegas sobre algum personagem.	
33	33:30	Jade volta pra carteira e volta pra faixa.	
34	34:40	Jade conversa com o grupo novamente. A montagem da faixa continua com a ajuda de seis alunos.	
35	35:10	<i>Pesquisadora levanta-se novamente para auxiliar na montagem do painel.</i>	
36	35:20	Jade retorna ao painel e faz comentários com a professora. Elas vão até a faixa e discutem a respeito das personagens da linha cronológica (inaudível).	
37	36:07	Jade fala com a pesquisadora a respeito, analisando a faixa.	
38	36:45	<i>Professora faz comentário descontraído com a turma.</i>	
39	37:02	<i>A montagem do painel inferior à faixa (de papel pardo) continua e mais dois alunos se aproximam da faixa.</i>	
40	37:43	Jade retorna a faixa, compara dois personagens/acontecimentos na linha cronológica e volta para a carteira.	
41	38:30	<i>Outro aluno (boné verde) compara uma imagem que tem nas mãos com a imagem da faixa na linha cronológica.</i>	
42	40:09		<i>Os alunos demonstram interesse e concentração ao analisar e comparar a faixa recém-colocada.</i>
43	41:29	Jade levanta-se novamente e se dirige à faixa.	
44	43:32	Professora: É... pessoal, então... (inaudível. Alunos perguntam e a professora faz comentários inaudíveis).	
45	43:34	Professora: O Demócrito aqui em (inaudível) você tem o Empédocles também, ó ele aqui. Platão, aqui, ó... (inaudível) Pessoal... é o seguinte, vamos lá, é... a ordem a gente vai achando aí... (inaudível) mas aí, conforme eu vou falando as coisas a gente vai achando na linha, tá? Bom, então é o seguinte, o que que foi essa primeira atividade e o que que ta ligado com esse painel que ta aqui	<i>Professora aponta os pensadores que estavam nos cartões na linha do tempo.</i>

		colado aqui na sala... é (<i>inaudível</i>). Vocês vão estudar nesse módulo de física, um assunto da física que é uma linha, né que nós vamos colocar, do éter e da natureza da luz. E como que esse assunto se desenvolveu aí ao longo da História, tá? Porque na verdade, assim, os livros muitas vezes trazem uma visão meio fechada, de que foi uma pessoa, né... em determinado ano que fez uma descoberta fabulosa... e na verdade, não é isso. Todas essas pessoas aqui, esses filósofos, pesquisadores, historiadores, matemáticos, físicos... todos eles, de alguma forma, deram uma contribuição pro assunto que nós vamos estudar no módulo. Então, não foi uma pessoa só que em algum momento teve uma idéia brilhante e decifrou tudo o que tinha pra decifrar e também não tem nada ainda pra gente ver, tá? Então nós vamos estudar um assunto, que é o éter e a natureza da luz, e como que ele se desenvolveu aí ao longo dessa linha. É... eu quero frisar também que na verdade não são só essas pessoas que estão aqui na parte debaixo da faixa, na verdade foi feita uma... uma seleção aí das contribuições mais importantes... mas tem muito mais gente, muito mais pesquisadores e filósofos que não coube... senão a faixa seria muito maior ou então não teria fim, né... se você for fazer uma pesquisa vocês vão achar aí pessoas que colaboraram ao longo da História... tá?	<i>Grifos nosso. Problemas na interpretação.</i>
46	46:58	Professora: É... outra coisa: a parte de cima da faixa, ela traz filmes pra mais ou menos situar a época em que esses filósofos e pesquisadores viveram. Porque às vezes a gente fala... ah, quem elaborou tal teoria foi Newton... mas Newton viveu em que época? Como é que era a sociedade naquela época... qual era a forma de pensar, o que que tinha naquela época?	
47	47:32	Professora: Então nós vamos nesse curso, fazer um link... porque na verdade o que cada um deles contribuiu, tem a ver com o momento histórico que eles viveram. Quer dizer, a cultura da sociedade em que estavam vivendo aquele momento, o que já tinha sido descoberto, é... a religião, a política... é... enfim, tudo que, ah, o contexto em que eles estavam vivendo tem a ver com a contribuição que cada um deu. Então pra vocês se situarem é que tem essas referências de filmes tá... puxa, tá aqui, é... aqui, Santo Agostinho, né... qual foi a época de Santo Agostinho... aí tem aqui os filmes de referência... Por isso que eu dei, no outro pedaço do módulo, alguns filmes pra vocês já irem se situando. Mas aí ao longo do curso se vocês forem se interessando e querendo ver os filmes... muitos deles tem no nosso acervo aqui da escola... então se tiver a oportunidade de um professor eventual, se vocês tiverem interesse, é só pedir pro professor eventual tá pedindo pra ver os filmes, tá?	<i>Os alunos permanecem em silêncio, interessados na explanação da professora.</i>
48	48:53	Professora: Bom, a Guerra de Tróia, que vocês têm aí pra colocar, ela tá aqui, ó... mais ou menos em 1200 a.C., mas na verdade, a Guerra de Tróia é uma história da mitologia grega. É... Homero aqui, né, que escreveu a Guerra de Tróia, é uma história, né, que ele conta, e ele datou a Guerra de Tróia mais ou menos nessa época aqui, mas ele viveu em 700 a.C. Então a Guerra de Tróia... lembra que eu disse pra vocês, dêem uma olhada nesse filme aqui, que vai mostrar como os homens nessa época eram muito ligados ao que os deuses falavam... Porque? Porque nessa época tudo era ordem divina dos deuses, tudo que acontecia... Então se chovia, era porque o deus responsável pela chuva tava mandando chuva pro homem... é... os trovões... tudo que acontecia na natureza era, eram os deuses que estavam comandando.	<i>A professora vai apontando os personagens e eventos na faixa.</i>
49	50:09	Professora: Só que nessa época aqui dos filósofos eles começaram a questionar alguns fenômenos. Eles começaram a perceber o seguinte... ah, chove mais numa determinada época do ano, então será que os deuses sempre querem mandar a chuva nessa época do ano? Eles	<i>Os alunos da sala ao lado fazem muito barulho, mas</i>

		começaram a se questionar porque que alguns fenômenos aconteciam... eles não se separam dos deuses imediatamente. Isso foi um processo, pra deixar de acreditar que o que acontecia era ordem... era por vontade dos deuses. Mas eles começaram a questionar como os fenômenos aconteciam. Como que a chuva caia mais em determinada época do ano... e pra eles também era interessante começar a entender isso, por causa da colheita... das plantações, é... dos trabalhos referentes à agricultura que eles tinham que entender... e eles começaram a perceber essas coisas. Então nessa época, o homem começou a querer explicar alguns fenômenos naturais, e eles começaram a fazer isso através da observação e do pensamento... eles começaram a elaborar algumas explicações para alguns fenômenos. Tá?	<i>os estudantes dessa sala continuam atentos à explicação da professora.</i>
50	51:33	Professora: Bom, a época deles aqui, como referência, ta o filme Alexandre, o filme 300, inclusive no filme Alexandre, o Aristóteles foi professor dele, tá ... vocês já viram o filme, né? Bom, mas porque <i>(acaba o arquivo gravado)</i>	

6/9/2007 – Aulas 1 e 2			
Arquivo II: Tempo total = 35 min			
Turno	Tempo	Falas	Observações
50	00:00	<p>Professora: Bom, mas porque será, né, que eles, né... que o assunto que a gente vai estudar, por que será que os gregos, eh... deram uma contribuição tão importante, <i>(buzina)</i> consegue ter alguma idéia o porquê deles...?</p> <p>A: Por quê?</p> <p>Professora: Por que que os gregos, no assunto que a gente vai estudar, que é a luz, tá, o éter e a natureza da luz, por que que eles nesse período aqui, eles deram contribuições tão importantes, não foi só com o nosso assunto, né? Na verdade eles aí deram contribuições em várias áreas, vocês têm idéia do porquê?</p> <p><i>(Barulho de conversas dispersas e inaudíveis dos alunos).</i></p> <p>Professora: Arrisca, né?</p> <p><i>(Barulho de alunos conversando)</i></p>	
51	00:42	<p>Professora: Ó, gente, nessa época aqui a Grécia ela estava numa... ela tem uma localização geográfica que permitia a troca de cultura, a troca de conhecimento, que tava havendo ali pelo Mar Mediterrâneo, ali. Então a Grécia estava numa localização geográfica que facilitava o intercâmbio de conhecimento. E aí, com isso, eles foram ganhando espaço, comparando o que que uma cultura pensava, o que eles estavam pensando, por isso que eles começaram a desenvolver aí as primeiras idéias, né, não só na... no assunto que a gente vai estudar, mas na filosofia como um todo. Então a filosofia, ela nasce nesse período aqui, em que o homem tá começando a questionar que nem tudo era a ordem divina dos deuses, tá?</p>	
52	01:39	<p>Professora: Bom, nós temos aqui também nesse período aqui ó, nós temos uma influência muito grande dos árabes pra esse assunto que a gente vai estudar. E por que os árabes, pra esse assunto que a gente vai estudar, e por que que os árabes e alguns indianos deram contribuições importantes? Porque essa foi a época em que o império árabe, né, começou a expandir seus territórios e não foi só assim com terras, com conquistas, foi também com conhecimentos, e troca de culturas.</p>	<i>Professora aponta período medieval na faixa.</i>

53	02:11	Professora: Então nessa época aqui, eh... principalmente na cultura do Alhasen foi a época que os árabes conseguiram eh... contribuir bastante com o assunto com que a gente vai estudar.	
54	02:26	Professora: Nós temos aqui também a Idade Média, né, onde nós vamos ver algumas figuras ligadas, né, algumas pessoas ligadas à Igreja, que foi a época que a Igreja Católica... lembrem do filme “O Nome da Rosa”... que a Igreja detinha o conhecimento, que tinha medo que o conhecimento entrasse em choque com que a igreja católica pregava, né? Então, mas algumas pessoas ligadas à Igreja foram as pessoas que começaram a fazer a ponte entre o conhecimento científico, aí, que já vinha se desenvolvendo e aquilo que podia já começar a ser passado para o homem e para a sociedade, porque a Igreja é que detinha a maior parte do conhecimento, né?	
55	03:12	Professora: E aqui nós temos algumas figuras, que vocês já conhecem, umas pessoas... o Newton, aqui tá o Einstein, aqui tá o brasileiro César Lattes, tá? Bom, todos essas, esses pesquisadores, esses filósofos, contribuíram com o assunto que a gente vai estudar. Só que não daria pra, em vinte aulas, a gente falar de todos. Então a gente vai fechar o curso em três épocas, a primeira época vai ser a época dos gregos, a segunda época, vai ser aqui... A: A da igreja... Professora: Focalizando o Newton e o Huygens, e depois o Young, o Fresnel e o Arago, tá? Porque não daria, né gente, pra falar da contribuição deles (<i> corte e ruídos de cadeiras arrastando</i>).	
56	04:15	Professora: Alguém quer perguntar alguma coisa da faixa? O que vocês acharam dela na aula? É uma atividade diferente, que acho que vocês não tinham visto nada disso, provavelmente. (<i> corte e ruídos</i>) E aprende física então! O que que vocês vão tá aprendendo? O assunto da física em si, que a gente vai trabalhar, e como que esse assunto se desenvolveu aí ao longo no tempo, tá?	
57	04:40	Professora: Eu vou tá distribuindo pra vocês agora uma outra atividade, em grupo. Olha é o primeiro texto que vocês vão estar ganhando. Só que esse texto que vocês vão ler, ele tá, tipo, um quebra-cabeça... (<i> ruídos devido a conversas simultâneas e cadeiras arrastando</i>).	
58	05:00	Professora: Vocês vão ter que colocar o texto em uma ordem, tá? E vão ler o texto, certo? (<i> As falas dos alunos são simultâneas e há ruídos de carteiras sendo arrastadas</i>).	<i>A professora distribui o material da atividade.</i>
59	05:52	Professora: Pode tirar o grampo, gente. (<i> ruídos persistem</i>)	
60	06:00	Alunos: Professora, professora... (<i> ruídos, tosse</i>). Tem mais um? (<i> ruídos, conversas, alunos se preparando para iniciar a atividade</i>). Aluna: Professora, o mesmo grupo?	<i>Durante a atividade a professora circula pela sala, orientando os alunos.</i>
61	16:27	Professora: Todo mundo já acabou? Alunos: Não...	
62	17:13	Professora: Pessoal, todo mundo acabou? Já? (<i> Os ruídos de conversas misturadas denotam que ainda não acabaram a atividade</i>).	
63	17:46	Professora: Todo mundo acabou, né? (<i> Os ruídos e sons de conversas continuam</i>).	
64	23:10	Professora: Pessoal, alguém ficou sem texto? Todo mundo	

		pegou?	
65	23:25	Professora: Pessoal, agora então agora é o seguinte: o objetivo desta atividade é que naturalmente vocês tiveram que ler pra colocar o texto em ordem. Apesar, que eu já ouvi é... espertinhos que tentaram ver o corte da tesoura para tentar unir... (<i>risos e conversas.</i>) Então por causa dos espertinhos, nós vamos garantir a leitura da seguinte forma: cada parágrafo um do grupo vai ler. Então começa... (<i>conversas conjuntas, confusas</i>). A: Quem daqui vai ler?	
66	24:30	Professora: Pessoal... (<i>conversas ao fundo</i>) Ó, pessoal, silêncio! O grupo do Paulo vai começar... presta atenção, que vocês não sabem quem vai ler o segundo parágrafo...	
67	24:35	Professora: Vambora... vai, Pedro (<i>Conversas. O Pedro parece iniciar o texto, mas está inaudível</i>). Vamos, menino!	
68	24:48	A1: Texto 1 para os alunos apêndice C.2	Aluno (A1) começa a ler o texto que fala da observação da natureza e seus fenômenos pelos povos antigos.
69	25:21	A2: Texto 1 para os alunos	Aluno (A2) começa a leitura do ponto onde o outro parou.
70	25:49	A3: Texto 1	
71	27:01	A4: Texto 1	
72	28:10	A5: Texto 1	
73	28:37	A6: Texto 1	
74	28:54	A7: Texto 1	
75	30:10	A8: Texto 1	
76	30:28	Professora: Vocês têm algum comentário pra fazer sobre esse texto, alguém tem alguma dúvida, algum comentário?	
77	30:32	A: Eu acho que o grupo, a gente deveria comentar (<i>risos e ruídos</i>).	
78	30:44	Professora: O texto, ele ficou como um reforço, sobre o que foi falado, aqui, né? Eh, guardem os textos, que eles serão um material de apoio pra vocês... (<i>ruídos</i>). Guardem uma cópia. (<i>ruídos</i>).	
79	31:34	Professora: Pessoal, ó, tem uma coisa aqui, que eu vou falar aqui, ó (<i>ruídos</i>). Tá vendo essa faixa aqui em baixo? (<i>ruídos</i>) Eh, presta atenção no que eu vou falar. Tá vendo essa faixa aqui debaixo? Eh, o ideal do curso, se a gente tivesse tido tempo, era vocês montarem a faixa de cima, mas devido ao módulo, não ia dar tempo, então também eu trouxe a faixa de cima pronta, mas a faixa de baixo é vocês que vão trazer todo dia, eu espero pelo menos umas quatro ou cinco colaborações, de pessoas, que não precisa ser só físico, pode ser químico, matemático, escultor, pintor, músico, quem vocês quiserem, para inserir aqui na linha do tempo, tá?	Professora orienta sobre faixa.
80	32:32	Professora: E aí a minha idéia é a seguinte, olha: vocês estão no terceiro ano, né? Esse painel, a idéia do painel de baixo já fica de lembrança para a turma do "3º A". Então é legal assim, vamos supor, quem trouxe esse daqui, né, vai tá lá o nome da pessoa, o ano que ela nasceu e morreu, mas no cantinho, escreve aqui, Gisele. (<i>ruídos</i>) Vai estar aqui, o nome da Gisele, vai ficar de lembrança no painel do 3º ano. Aí então seria legal o nome e a	

		contribuição de todo mundo formando o 3º ano. <i>(inicia-se uma conversa, onde todos falam juntos, ao mesmo tempo).</i>	
81	33:23	Professora: Oh, mas vai ter que preencher a faixa. <i>(Conversas paralelas, todos falando juntos)</i>	
82	33:44	Professora: Oh, aqui tem alguns que eu queria que colocassem, pudessem localizar direitinho o ano aqui, ó, entendeu? Vê o ano na pessoa, pra tentar localizar aqui... <i>(conversas e ruídos).</i>	
83	34:16	Professora: Pessoal, ó, no curso <i>(ruídos)</i> Presta atenção... presta atenção! Vai ter um dia <i>(inaudível)</i> que ficam com os alunos <i>(ruídos)</i> Mas num dia do curso vai ser um debate. Então vai ser assim, vai ter um grupo de alunos, uns cinco ou seis alunos, que vai defender uma idéia, assim, eu defendo esse grupo... o outro grupo que defende uma outra idéia, e o restante da sala vai ser o jurado que vai dizer qual idéia convenceu mais. Então eu preciso os grupos para o debate, quem vai ser jurado, quem vai defender uma idéia e o outro que vai defender outra <i>(ruídos e fim da gravação).</i>	

10/9/2007 – Aulas 3 e 4			
Arquivo I: Tempo total = 58 min			
Turno	Tempo	Falas	Observações
1	00:00	Professora: ...tem o éter. É uma teoria que foi se desenvolvendo ao longo do tempo. Desde 600, 500 a.C. começaram as primeiras idéias e isso foi avançando até os dias de hoje. Inclusive esse assunto, o éter, ele é polêmico até hoje. Tá? Então não... Só que não dá, nosso módulo de 10 dias, para falar da colaboração de todos eles. Não tem como! Então a gente teve que fechar e focalizar em três, que a gente chamou de três episódios. Tá? Um episódio é na época dos gregos, depois a gente vai ter que pular para o século XVII e depois para o século XIX. Mas lembrando aquela faixa, que tá na sala de aula, que todos aqueles que estão lá colaboraram e teve gente que não foi colocado lá, porque senão a faixa ia ficar muito maior do que já é. Tá? Mas a gente vai ter que focalizar em três episódios.	<i>A filmadora foi ligada quando a professora introduzia a aula. Menção à faixa e novamente a interpretação inesperada de que todos deram contribuições às teorias da luz. (grifo nosso).</i>
2	01:04	Professora: Bom! O conceito que a gente tem de luz, que vocês lembram que eu dei para vocês no módulo passado, é que a luz é uma onda eletromagnética. Certo? Bom! Aqui ó, só lembrando aquilo que eu já tinha dado para vocês, a luz visível que está aqui ó, ela pega essa... o comprimento de onda. Lembram que eu dei para vocês a definição de comprimento de onda? Que era a distância entre uma crista e outra. Então a luz visível está aqui nessa faixa, porque tudo isso daqui é onda eletromagnética. Então têm as ondas de rádio, as ondas de microondas, infravermelho, ultravioleta, raios-x e os raios gama. Como vocês podem ver aqui ó, o comprimento de onda, ele vai variando nesse espectro aqui. Olha aqui nos raios gama. Olha como o comprimento aqui... o comprimento de onda é bem pequeno, aqui está a faixa dele ó e aqui estão as ondas de rádio. Essa parte de baixo é como se fosse assim... Para vocês terem uma idéia da dimensão do comprimento de onda. As ondas de rádio, elas teriam comprimento aqui ó do tamanho de edifícios, as microondas do tamanho de uma abelha, a luz visível do tamanho de protozoários. Isso é grosseiramente. Tá gente? Os raios ultravioletas, o comprimento de onda aqui seria do tamanho de moléculas átomo e o núcleo atômico. Tá? Então tudo isso daqui é o espectro das ondas eletromagnéticas. E a luz	<i>Professora mostra uma imagem do espectro eletromagnético para os alunos usando o PowerPoint.</i>

		visível está nessa faixa aqui.	
3	02:55	Professora: Aqui é uma outra estrutura, mostrando aqui de novo o comprimento de onda. Vocês tão vendo que aqui vai diminuindo, aqui a distância entre as cristas e de novo aqui está o espectro. Aqui as ondas de radar, rádio, ondas curtas, rádio FM, microondas, infravermelho, a luz visível aqui ó, que seria a luz do Sol, tá! A luz branca. Ultravioleta, raios-x e os raios gama. Tá?	<i>Professora muda a imagem.</i>
4	03:27	Professora: Bom! Então como eu tinha falado para vocês, até o semestre passado, que foi quando a gente abordou, nós vimos que luz é onda eletromagnética. Mas será que ela sempre foi vista como onda eletromagnética? Então será que sempre foi assim? Como os homens da ciência, que são todos aqueles que tão lá naquela faixa , como será que eles explicaram o que é a luz? Como povos de outras épocas entendiam e explicavam isso? Vocês acham que todo mundo sempre deu a mesma explicação?	<i>Novamente ênfase equivocada em todos.</i>
5	04:06	Alunos: Não... (<i>alguns alunos murmuram baixo, olhado para a projeção</i>).	
6	04:08	Professora: Bom! Na época dos gregos, o que chamava muita atenção deles? A luz que vinha das estrelas. E lembrando que na época deles, lá em 500, 600 a.C, o Sol... o Universo... observar as estrelas deveria ser muito mais bonito do que é para nós hoje, por que eles não tinham interferência de poluição. Eles não tinham interferência da luz, aqui, por que eles não tinham luz elétrica. Então para eles observarem a noite deveria ser muito mais límpido do que é para nós hoje. Bom! No século VII a.C., relembro também o que eu tinha comentado, eles acreditavam que tudo era vontade dos deuses. Então se chovia, era por que o deus da chuva estava mandando chuva para os homens. Tanto eram coisas boas, como eram castigos aos homens. Lembrando do filme Tróia e aqueles filmes que estavam como referência. Tá? Só que no século VI a.C. eles começaram a questionar, a querer entender como é que os fenômenos aconteciam. Então não é que eles se separaram dos deuses. “Não! Nós... a gente não acredita mais nos deuses!”. Eles simplesmente começaram a querer entender. “Ah! Chove? Chove por vontade de algum deus. Mas o que será que é a chuva?” Então eles começaram a levantar questões para entender alguns fenômenos. Eu estou pegando a chuva como exemplo. Então no século VI a.C., que é quando nasceu a filosofia, eles estavam tentando explicar alguns fenômenos através do pensamento e da razão. E aí, para luz, que é o foco do nosso curso, eles começaram a levantar algumas questões: Então porque a gente só enxerga quando está claro? Do que depende a visão? O que acontece entre o nosso olho e a nossa mente para que a gente consiga ver os objetos? Será que sai alguma coisa do olho para gente conseguir enxergar? Ou será que entra alguma coisa no olho? Como é esse processo de visão? Então esses são exemplos de perguntas que eles começaram a se questionar. E aí eles começaram a elaborar teorias, ou elaborar explicações.	<i>Grifos nossos: retoma texto 1 e enfatiza o filme pertinente. Boa iniciativa da professora.</i>
7	06:41	Professora: Bom! Nós vamos focalizar em alguns deles. Tá? Então a gente vai citar os atomistas. Dentre eles estão o Leucipo, em 500 a.C., o Demócrito, o Epicuro e o Lucrecio. Então todos eles eram atomistas e eles começaram a elaborar as explicações para tentar entender o que era a luz e como é esse processo de visão. Bom! Para eles, que eles eram da filosofia atomista... Se vocês lembrarem das aulas de Química lá do 1º ano, quando começa a Química, o professor começa a abordar os atomistas. Que eles disseram que, que tudo, tudo que se tem de matéria, é	

		formado por átomos e que o átomo era a menor partícula. Eles não tinham ainda a idéia do elétron, nem do próton, nada, acabava no átomo. O átomo era a menor partícula, ela era eterna, imutável e se movia no espaço vazio. E que os átomos, eles se juntavam. Eles tinham assim como se fossem garrinhas, que aí eles se juntavam umas garrinhas com as outras e essa combinação de átomos é que dava todos os materiais que a gente encontra na natureza: madeira, água, ar, tudo. Tudo era formado por combinações diferentes de átomos. E eles foram os primeiros que não aceitavam um universo totalmente preenchido por matéria. Eles acreditavam que tinha lugares onde existia o vazio por completo. Tá? Então essa era a idéia dos atomistas.	
8	08:29	Professora: Bom! Nós vamos ver primeiro... Então, como eu falei, não dá tempo de abordar todos eles, a gente vai pegar alguns. Então o que era a luz para o Leucipo. Lembrando, gente, que é em 500 a.C. Tá? Então pode ser que com o que eu vá falar da idéia dele vocês fiquem meio assim, mas eu vou querer a opinião de vocês. O que o Leucipo dizia? Que a gente enxerga os materiais porque sai alguma coisa dos materiais que entra nos nossos olhos. Então um exemplo: eu enxergo a televisão porque saem miniaturas muito pequenininhas de televisão, que vêm viajando aqui, e entram no meu olho. Então eu enxergo a Gisele porque a Gisele está emitindo miniaturas de Gisele que chegam no meu olho, e aí eu enxergo a Gisele (<i>risos dos alunos</i>).	<i>O contexto indica que a professora pode ter feito um gesto para manifestar que os alunos sentiriam um pouco de dúvidas ou achariam estranhas as teorias. Os gestos de algumas alunas sugerem que elas discutem a teoria recém apresentada.</i>
9	09:31	Alunos: Isso é impossível professora!	<i>Falam baixo ou fazem gesto de negação com a cabeça, enquanto a professora apresenta o exemplo relacionado Gisele.</i>
10	09:34	Professora: Então o que era luz para o Leucipo? Algo material. Porque se são miniaturas de Gisele, é material, certo? Sai dos objetos, de tudo, da parede, da luz, da cortina e entra no meu olho provocando a visão. Então para ele a luz era uma emanção. Alguma coisa que sai dos objetos e entra nos olhos. Isso que entra nos olhos tinha forma, tinha cor e tinha tamanho. Então aqui é uma representação do que era a luz para o Leucipo. Ele deu o nome de <i>eidolas</i> . Tá? Então todos os objetos emanavam <i>eidolas</i> que seriam assim como esse gatinho aqui. Ele emana miniaturas de gatinhos iguais a ele, aí essas miniaturas chegam no olho e a gente enxerga o gato. Essa é a teoria do Leucipo.	<i>Professora mostra uma imagem que representa a teoria de Leucipo.</i>
11	10:35	Professora: Agora vem a pergunta. Vocês conseguem enxergar... Essa é a explicação dele. Mas eu quero... Lembrando, gente, que não é fácil! Se vocês parassem para pensar... Se eu perguntasse para vocês agora o que é a luz, sem lembrar daquela história que eu já dei para vocês, que... que ela é onda eletromagnética... se vocês tivessem que parar para pensar o que é a luz, com certeza cada um ia dar a sua explicação aqui. Certo?	<i>Parece uma tentativa de valorizar a idéia que eles acharam absurda.</i>
12	11:12	Jade : éh...	<i>Jade faz sinal</i>

			<i>afirmativo com a cabeça, sorri e coloca a mão no rosto.</i>
13	11:13	Professora: Mas eu quero saber de vocês o seguinte: vocês conseguem enxergar algum problema na teoria do Leucipo? (<i>A1 faz sinal de negativo com a cabeça</i>). Você acha que assim... Tá simples? Que basta essa explicação? Vocês conseguem ver algum problema nessa explicação?	<i>A1 = menina de vestido rosa e cabelo preto com franja.</i>
14	11:21	A2: A imagem ali é distorcida.	<i>A2 = menina de trança e camiseta branca</i>
15	11:23	A1: Várias...	
16	11:24	A3: Todos veriam o mesmo gato independente do ângulo? Por exemplo, se ele emite miniaturas vai ser igual para todos os lados. Então não daria para ver o gato, olhar o rosto do gato, se eu não estou aí.	<i>A3 = menino ao lado do palmeirense de boné vermelho</i>
17	11:39	Professora: Tá! Por que ele estaria emanando em todas as direções.	
18	11:42	A3: Como uma onda. Né?	
19	11:46	A4: Mas e tipo... se por acaso vêm voando um monte de miniatura, porque eu vejo uma coisa e ele vê diferente? Se são iguais?	<i>A4 = Primeira aluna da esquerda para direita, usando óculos.</i>
20	11:59	Professora: O que mais? Ó! Imagina que eu estou aqui olhando para todos vocês. Todos vocês tão emanando miniaturinhas.	
21	12:10	A1: Imagina a mistura que ia dar isso!	
22	12:13	Alunos: Ia ser uma confusão... Muitas informações....	
23	12:21	Professora: Isso... Vocês acham que isso ia ser algum problema?	
24	12:23	Alunos: Ah! Deve dar... Com certeza!	
25	12:27	Professora: Lembrando que para o Leucipo, como ele era atomista, essas miniaturas, elas são matéria. Tá? Vamos imaginar, assim, uma coisa sólida.	
26	12:41	Alunos: Nossa! Já pensou o tanto de miniaturas se batendo?	
27	12:45	Professora: As miniaturas iriam se bater.	
28	12:46	A2: Também ia furar o olho!	
29	12:49	Alunos: Nossa! Na hora que trombasse no olho! (<i>risadas</i>)	
30	12:53	A2: Lógico! Se é matéria ia furar o olho!	
31	12:57	Professora: Gente, e lembrando que se os átomos se combinavam na hora em que eles se chocavam, imagina a Gisele vindo, se chocando com a Jade ali. (<i>Os alunos divertem-se ao imaginar a situação</i>). Então quais eram os problemas da teoria do Leucipo? Como as <i>eidolas</i>, <i>eidolas</i> eram as miniaturas, passam umas pela outras sem sofrerem interferência? Então imagine eu aqui recebendo as miniaturas de todos vocês. Chega tudo bem, não se choca. Né? Ou seja, como que a gente consegue enxergar vários objetos ao mesmo tempo? Quantas <i>eidolas</i> não estavam chegando nos olhos da gente! Tá? Só que era um fato que a luz, ela se cruza. Certo? E, no entanto, a gente consegue observar os objetos e esse cruzamento de luz não interfere na hora que a gente vê os objetos. Então usando a explicação da <i>eidola</i> , isso daria uma confusão aqui no meio e, no entanto, a gente sabe que isso não acontece.	

		Certo? Bom! Então como que a imagem... quais eram os outros problemas ainda? Se eu estou... Uma montanha, por exemplo, que é enorme. Se eu estou distante, eu enxergo a montanha pequenininha. Mas se eu chegar perto da montanha, a montanha fica grande. Como é que fica essa história da <i>eidola</i> ? Então ela emite <i>eidolas</i> de vários tamanhos? Por que se eu estou longe eu enxergo a montanha pequena, se eu estou perto eu enxergo a montanha grande. E por que os objetos, se a gente estiver distante, eles acabam parecendo, assim, menores? Tá? Então esses eram problemas assim da teoria do Leucipo.	
32	14:52	Professora: Bom! Vamos ver agora a teoria de um outro agora, que é do Empédocles. O Empédocles, que tá aqui... 493 a 430 a.C. Ele dizia o seguinte. Que tudo que existe é formado pelos quatro elementos: ar, água, terra e fogo. E o que era a luz para o Empédocles? Para o Epicuro (<i>ela queria dizer Leucipo</i>) era alguma coisa que entrava no olho, para o Empédocles, não. Para o Empédocles era o seguinte. A luz vinha do elemento fogo, lembrando que para eles eram os quatro elementos: terra, ar, fogo e água. Então a luz vinha do elemento fogo. E nós enxergamos os objetos, porque sai alguma coisa do meu olho, tipo tentáculos, ou o que ele chamou de raio visual. Então sai do meu olho, vai lá bate na Gisele e traz a Gisele para dentro do meu olho. Com se fosse, gente, o tato. Para gente sentir se uma coisa é mole, dura, se está quente, se está fria, a gente não precisa pôr a mão? (<i>Alunos fazem gesto afirmativo com a cabeça</i>). Então para enxergar, para o Empédocles, tinha que sair alguma coisa do meu olho e ,tipo, apalpava os materiais e trazia a imagem dos materiais para dentro do meu olho.	
33	16:26	Alunos: Que coisa, né? (<i>A classe faz silêncio</i>) Desculpa! (<i>a aluna se desculpa porque seu comentário interrompeu a professora</i>).	
34	16:32	Professora: Gente, qual é o problema dessa teoria? Quem consegue enxergar?	
35	16:37	A4: Se eu for observar algo muito longe, até esse negócio que sai do olho chegar lá para apalpar, por exemplo, se eu vou enxergar o Sol. Até ele chegar lá, apalpar e trazer já vai estar de noite. (<i>risos dos alunos</i>).	
36	16:54	Professora: Tá! Então objetos muito distantes...Né? ...fala.	
37	16:59	A4: Se fosse assim, então não ia existir ilusão de ótica. Se ele realmente pudesse sair do olho e sentir como se fosse o tato, não iríamos enxergar coisas que não existem. Sair do olho é bem complicado, né? Mãozinhas assim (<i>faz um gesto que explicativo</i>) indo lá longe e voltando é meio estranho. E o choque entre esses tentáculos olhando para mesma coisa?	
38	17:22	Professora: Alguém enxerga mais algum problema?	
39	17:24	Alunos: Não... Eu não enxergo...(<i>risos</i>)	
40	17:31	Professora: Bom! Aí vem ó... Se é alguma coisa que sai do olho da gente, então depende do observador. Certo? Então a gente poderia ver no escuro! Não é? Por que é alguma coisa que está dependendo dos meus olhos somente. Então esse seria também um outro furo, né? Então todo mundo ia conseguir enxergar no escuro.	
41	17:54	Professora: Bom! Então a gente já viu a teoria do Leucipo, das <i>eidolas</i> , que á alguma coisa que sai dos objetos. Do Empédocles é o fogo visual que sai do olho e tateia os objetos, vamos dizer assim. Mas essas duas teorias tinham problemas. Será que tinham outras teorias? Uma terceira teoria que nós vamos ver agora é que	

		<p>não depende... não é que não depende... mas, não é culpa nem do objeto e nem do observador, mas do meio: o que está entre o observador e o objeto. Então, por exemplo, entre eu e essa parede, aqui nós temos o ar. Certo? Então uma terceira teoria alega que a gente vê os objetos por causa desse meio que é o ar. Tá? Bom! De quem era essa idéia? Era do Aristóteles. E para ele era o seguinte. A luz não era matéria, não era alguma coisa sólida, vamos dizer assim. Não era matéria. Tá? A luz não era feita de partículas e também não era o raio visual do Empédocles. Tá? O que era a luz para ele? Luz era uma qualidade dos corpos transparentes. Não era material e é uma coisa instantânea. Então deixa eu tentar explicar a idéia dele. A idéia dele é a seguinte. Para gente enxergar os objetos depende de ter um meio transparente. No nosso caso aqui é o ar. Certo? Então a luz que vem do Sol revelava essa qualidade dos corpos transparentes, no caso o ar. E o ar em contato com a parede, tipo pressionava, uma pressão assim na parede (<i>o contexto indica que a professora faz algum gesto que indica pressão</i>), e ocorria uma transformação do contato do ar com a parede e essa mudança do meio transparente é que chegava nos nossos olhos e permitia que a gente visse os objetos. Então para o Aristóteles se não tiver o meio, transparente aí no caso, a gente não enxergaria os objetos. Eu preciso do meio e eu preciso da luz do Sol. Tá? Então ó, eu preciso de um meio transparente, que é ele que tem a qualidade de permitir a visão. Eu preciso da luz do Sol, para ele revelar essa qualidade e o objeto, no caso vamos pegar a parede, produz uma alteração nesse meio transparente, que é o ar, e por isso que essa alteração chega até os nossos olhos. Tá? Então, só voltando um pouquinho, nós temos a visão do Leucipo que sai dos objetos, do Empédocles que sai do olho e do Aristóteles que não é culpa nem de um, nem de outro, é do meio. Tá?</p>	
42	20:59	<p>Professora: E o universo para Aristóteles, ele é dividido em duas partes. A parte terrestre que é abaixo da Lua e a parte celeste que é da Lua para cima. Tá? E para ele não havia espaço vazio. Então tudo que existe é formado por água, terra, fogo e ar e acima da Lua teria o éter. Por que ele acabou elaborando essa idéia de éter? Porque... a gente não consegue ver as estrelas? E eu preciso de um meio transparente para poder enxergar as estrelas. Se não tem esse meio transparente a gente não enxergava nada. E, no entanto, a gente enxerga as estrelas. E eles já tinham conhecimento de vários planetas nessa época. Então se a gente consegue enxergar é porque tem um meio transparente por todo o universo. E esse meio transparente seria a <i>quintessência</i> ou o éter. Então o Aristóteles ele foi, vamos dizer assim, um dos que defendeu essa idéia aqui da existência do éter. Então não existia espaço vazio. O éter acabava preenchendo tudo, da Lua para cima. Tá? Então, olha, o universo para Aristóteles era o seguinte. Aqui está a Lua ó. Então da Lua para baixo nós temos os quatro elementos. Aqui ó, o fogo, terra, água e o ar. Tá? Os quatro elementos aqui formando tudo que têm na Terra. Da Lua para cima nós temos o éter. Mas aqui seriam camadas de éter. Tá, gente? Em cada planeta que já se conhecia aqui ó, Mercúrio, Vênus, Marte, Saturno... ó o Sol aqui, que na época do Aristóteles a Terra que era o centro do universo. Então o Sol está aqui ó. Então cada... Como já se conhecia um pouco sobre as órbitas dos planetas, cada um com a sua velocidade, tal, o que ele fez? Ele colocou cada planeta aqui, numa esfera, numa camada de éter. Por isso ele conseguiu explicar cada um andando na sua órbita separada. Para vocês entenderem isso aqui lembrem da cebola. A cebola não é</p>	<p><i>Professora mostra imagem que representa o universo na concepção de Aristóteles</i></p>

		formada de camadas? Lembram do Shrek? Camadas de cebola? <i>(alunos fazem gesto e afirmação com a cabeça e sorriem)</i> Então aqui seriam camadas de éter.	
43	23:37	Professora: Bom! O Aristóteles não aceitava o vazio no universo, então da Lua para cima nós... o universo seria preenchido pelo éter e se a luz entre o objeto e o olho fosse material, como ela ocuparia o mesmo lugar que o ar? Essa era uma idéia que ele defendia. Que a luz não podia ser algo material porque senão na hora que a luz chega, vai empurrar o ar de lugar. Porque não têm como dois corpos ocuparem o mesmo lugar, isso eles já sabiam. E aí se ele precisava do meio transparente, como é que a luz ia chegar e empurrar o ar? Então a luz não era material. Tá? Bom! Ele considerava que a luz não podia ser uma substância porque a luz... elas se cruzam e não têm nada que impressa esse cruzamento. E precisava dos corpos transparentes, senão a gente também não ia enxergar os materiais. Bom! Então nessa época o que era a luz? Tinham muitas teorias. Um botando a culpa nos objetos, outro no observador, outro no meio. Elas foram elaboradas no mesmo período, porque eles foram meio que contemporâneos. E essas explicações, elas se deram a partir da observação de fenômenos naturais, era isso que ele faziam. E através do pensamento, do raciocínio e fazendo analogias.	
44	25:13	Professora: Aí vem uma pergunta que eu quero que vocês respondam agora. Será que a natureza, observar os fenômenos, fornece informações que permitem uma única informação? Ou seja, todos vocês observando um mesmo fenômeno natural, esse fenômeno, só na observação, fornece as informações suficientes para que todos vocês cheguem na mesma explicação? O que você acham?	
45	25:45	Alunos: Não...	
46	25:47	Professora: Por quê?	
47	25:48	A3: Cada um tem uma lógica de raciocínio. De acordo com o que ele retira do meio, ele vai utilizar o que ele já conhece para conseguir, depois, criar a sua teoria. Isso quer dizer que ela não vai ficar igual a de ninguém. Seria bem engraçado se eu colocasse algo idêntico ao da prova do Yuri, por exemplo. Pensamos igualzinho?	
48	26:08	Professora: Por isso que é legal prova dissertativa. Né? Ninguém vai responder igualzinho. E como é que... E pelo que vocês já viram até agora, que eu só acabei mostrando três teorias. Como é que fica a ciência? Falando de um modo geral: Física, Química, Biologia. Como é que vocês acham que a ciência se desenvolve?	
49	26:34	A4: Pelas diferentes opiniões? Diferentes pontos de vista?	
50	26:40	Professora: O que mais? Então ao longo da história cada um vai dando a sua...	
51	26:46	A4: Opinião sobre os diferentes <i>(inaudível. Ela parece dizer a palavra temas)</i> .	
52	26:49	A3: Bom! Naqueles... No início era tudo atribuindo aos deuses ou os dogmas. As pessoas se desprendem dos dogmas e começam a ver o mundo com mais razão. Procuram respostas para obter. Ou seja, pessoas que desafiam o conhecimento.	
53	27:13	Professora: Alguém quer fazer mais algum comentário?	
54	27:20	A5: Tipo assim professora, muitas vezes o que você pensa influencia... a tecnologia influencia, porque ela pode me ajudar a ver mais a fundo. Essas coisas da luz, tipo e tal, eu posso ver mais	A5: Aluno de boné atrás do projetor e ao

		a fundo com a tecnologia que, tipo, eu tenho hoje do que a de antigamente. Antigamente era mais... pode ver aí que algumas teorias eram meio absurdas. Assim é uma coisa que eu acho que hoje em dia ninguém teria uma teoria dessa. Acho que a tecnologia influencia nisso daí também.	<i>lado da aluna loira de blusa rosa.</i>
55	27:53	Professora: Então as teorias evoluem com o tempo. É isso? Alguém tem mais algum comentário?	
56	28:02	A3: De acordo com a teoria anterior você procura os defeitos daquela teoria e vai formando a sua teoria a partir dos descobrimentos da anterior. Por isso quanto mais passa o tempo, como o Thales falou, a teoria vai ficando mais próxima. Por exemplo, essas teorias são de 400 a.C. algumas para gente hoje parecem loucura, mas para época era algo inovador.	
57	28:25	Professora: E vocês conseguem enxergar que no fundo, parar para pensar na teoria que está lá, muitas vezes a gente enxerga coisas que quem elaborou não está enxergando. Então no fundo a divergência de idéias acaba fazendo com que a ciência vá evoluindo. Porque você imagina se todo mundo concordasse com o Leucipo, por exemplo. Não é verdade? Então a divergência de idéias é que acaba fazendo com que uma teoria vá evoluindo. Tá?	
58	29:02	Professora: Então agora vocês vão ler um texto que tem a ver... E no final do texto têm umas questões que vocês vão colocar numa folha separada para entregar para gente.	<i>De 29:14 até 58:00 acontece a leitura e discussão do texto</i>

10/9/2007 – Aulas 3 e 4

Arquivo II: Tempo total = 14 min e 25 s

Continuação da atividade em grupo de 00:00 até 14:25.

11/9/2007 – Aulas 5 e 6

Arquivo I: Tempo total = 52 min e 31 s

Turno	Tempo	Falas	Observações
1	00:00	Professora: Que que vocês acham sobre esse desacordo, ou seja, onde cada um tem uma idéia diferente... Era possível esse desacordo? Que que vocês acham? <i>(Ruído de falas dispersas. As respostas são inaudíveis).</i>	<i>Os alunos parecem muito tranquilos com o conteúdo e comportam-se como se a resposta fosse óbvia.</i>
2	00:33	Professora: Ô... pessoal! Pessoal, ó... (chamando atenção da classe) Eu preciso ouvir. Eu preciso ouvir a fala do colega. É... vamos pra outra questão, ó... Qual teoria, né, vocês (...) chegaram a conclusão, até aquela época, explicava melhor o conceito de luz?	
3	01:09	<i>Ruídos dispersos.</i> Vários alunos: Aristóteles, do Aristóteles	
4	01:14	Professora: Todo mundo chegou nesse conceito? (ruído de falas) Vocês acham que a natureza fornece informações que permitem uma única interpretação?	

		<p>Alguns alunos: Não.</p> <p>Professora: Não? Por que? O que que faltaria... do que depende?</p> <p>Tarik: Depende da forma de interpretação...</p> <p>Ruído de falas dispersas.</p> <p>Professora: (...) da cultura daquele povo, da religião, da política, né?</p> <p>Aluno: É.</p>	
5	01:45	<i>Ruídos de falas dispersas dos alunos</i>	
6	02:04	<p>Professora: Gente, olha!... A outra pergunta: A natureza possui um tipo de comportamento que pode ser entendido de maneira diferente por diversos filósofos e cientistas?</p>	
7	02:18	<p>Aluna 2: Sim.</p> <p>Aluna 3: Sim. Pausa e ruídos de falas dispersas</p>	
8	02:23	<p>Professora: De novo aquela idéia de que vai depender do pensamento, da cultura, da política e da maneira com que cada um tá vendo aquele fenômeno, né? E a última questão: Você acha que a frase... a frase de cima que eu falei, ela tá certa ou tá errada? Ou seja, vou repetir: A natureza possui um tipo de comportamento que pode ser entendido de maneira diferente pelos filósofos? (Ruídos dispersos) Ó... presta atenção na frase: Os filósofos gregos utilizavam o pensamento racional para explicar os fenômenos naturais e por utilizarem o mesmo método, eles chegaram às mesmas conclusões.</p> <p>Alunas: Errado.</p> <p>Tarik: (inaudível) eles usaram a razão, mas não chegaram ao mesmo resultado.</p> <p>Gisele: Tanto é que tinha diversas teorias.</p> <p><i>(Comentários inaudíveis)</i></p> <p>Professora: quer dizer que mesmo usando a razão eles chegavam a resultados diferentes...</p>	<p><i>Nota-se aqui que a colocação da professora pode ter contribuído para o relativismo. Entretanto, os alunos já haviam respondido às questões.</i></p>
9	03:25	<i>Ruídos de falas dispersas</i>	
10	03:38	<p>Professora: É... nós vamos para a outra parte da aula, só vou pedir pra quem der as opiniões falar um pouquinho mais alto por causa da gravação (...) entender, tá? Vou pedir o favor de apagarem a luz ali...</p> <p>Aluna: Professora...</p> <p>Professora: Espera só um pouquinho que ela quer falar... Fala.</p> <p>Aluna: ...Porque nós, seres humanos, não conseguimos enxergar no escuro. Mas existem muitos animais que só conseguem enxergar no escuro, ou... sei lá...</p> <p>Professora: Mas na.. na época dos gregos, no período que a gente viu ontem, eu não sei te dizer se na época já sabiam que tinham alguns animais que enxergam de noite, né... isso também seria uma questão, né? Por que que alguns animais conseguiam enxergar e outros não. Isso seria uma questão a ser notada também. Tá certo?</p>	<p><i>Uma aluna traz elementos novos, levanta questionamento não previsto, mas relacionado ao conteúdo.</i></p>
11	04:40	<p>Professora: Bom, gente, olha... A aula de hoje... é... ela vai ser muito importante pro pessoal do teatro e acredito pro pessoal do debate também. Tá? Então só repassando ali pra vocês... Vocês já receberam o texto um, o texto dois e o texto três. Esses textos que vocês estão recebendo, eles vão servir de apoio pra avaliação final. Então se alguém faltou, se alguém ainda não recebeu o texto, depois me avisa pra (...) todo mundo tem, tá? E é</p>	

		<p>importante que vocês leiam o texto. Por que? Essa avaliação final que vocês tem consulta, vocês não vão encontrar as respostas de bate-pronto no texto. Esses textos são apoio pra vocês formularem as respostas. Então é importante que vocês entendam e leiam, que tá sendo dado tempo até na própria aula pra vocês tarem construindo significado Bom, hoje vocês vão receber o texto quatro, ta? E... amanhã o cinco e o seis.</p> <p>Aluna: Professora... (inaudível)</p> <p>Professora: Múltipla resposta. Uma avaliação (...) ta? E essas questões que vocês estão respondendo e entregando, é... vão ser quatro. Cada uma delas vai valer oito e meio. E aí eu vou somar e vai dar uma nota de média. Tá? Bom, a aula de hoje, né? Então, lembrando o nosso curso é... fala sobre o éter, a natureza da luz e a natureza da ciência. E hoje nós vamos estudar o fim do século dezessete, que é onde ta o debate, se a luz é corpúsculo ou fluxo no éter, ta? Então ontem foram os gregos... a gente ta chamando de episódio porque a gente teve que dar um salto aí. De quinhentos antes de Cristo, agora nós vamos pro final do século dezessete, ta?</p>	
12	06:54	<i>Pausa. Burburinho na classe. Ruído de automóvel. Arrastar de cadeiras.</i>	
13	07:04	<p>Professora: Bom, gente... pra aula de hoje eu gostaria que vocês observassem aqui um fenômeno, ta? Observar o slide, e aí ao longo da... da apresentação eu vou tá comentando (...). Então aqui eu tenho um prisma, não é? E aqui eu tô usando essa fonte de luz. (<i>Agitação de comentários na classe</i>)</p> <p>Um prisma, ó... Então eu vou colocar o prisma... presta atenção... eu vou colocar o prisma aqui, próximo a uma fonte de luz.</p> <p>Aluno: Ali... Ali, professora, atrás (risos) ... Ali, ali, ali... Ali... (<i>Risos da turma</i>)</p> <p>Professora: Tá... então é o seguinte...(risos) Eu tenho uma fonte de luz branca, to colocando um prisma aqui na frente, ta? E... ta sendo projetado ali um... um espectro de luz, né, de várias cores, ali... verde, azul, cor-de-rosa, laranja... ta? E olha, aqui também, ó... eu tenho um... uma mancha branca ali também, ta? E observem também que... essa mancha ali, ó... nas cores coloridas ela tá bem alongada, certo? Bom... vamos seguir em frente.</p> <p>Professora: Calma... deixa...</p> <p>Aluno: Professora...</p> <p>Professora: Oi.</p> <p>Aluno: (Inaudível)</p> <p>Professora: (...) tá? Bom... então a ótica no século dezessete. Então no século dezessete, gente, é... foi o período em que ocorreu a invenção do telescópio e do microscópio, e isso estimulou a pesquisa sobre a luz e sobre os fenômenos da ótica. E com isso se descobriu outros fenômenos também ligados à luz. Tá?</p>	<i>A professora usa o projetor e um prisma para fazer a demonstração.</i>
14	10:06	<p>Professora: Bom... quais eram os fenômenos já conhecidos e que já tinham inclusive uma... explicação matemática pra eles, ta? Eram os fenômenos da reflexão... ta? Que é quando o raio de luz, ali ó... ele vem, bate numa superfície e se reflete... aqui é o ângulo dissidente, ta?... e aqui é o ângulo refletido. Então esse fenômeno aqui é o da reflexão e as leis da reflexão que envolviam os ângulos, a matemática que explica esses fenômenos, ela já existia, ta? A refração também... o fenômeno da refração é quando a luz</p>	<i>Indica no painel.</i>

		tá... é... ela ta vindo de um meio, aqui o meio um... e ela incide em uma superfície que separa de um outro meio. E aí ela sofre um desvio, ela atravessa o meio, né... e ela sofre um desvio ali na trajetória. Vocês podem perceber que ela não segue a trajetória que ela vinha, tem um desvio, tá? Esse fenômeno aqui, é o fenômeno da refração. Quando a luz sofre um desvio quando... é... muda o meio. Tá? E tinha o fenômeno... Esses dois fenômenos aqui, eles já tinham uma explicação matemática. Eles não sabiam... explicar como acontecia, mas a matemática pra entender o fenômeno, ela já existia.	
15	11:13	Professora: E aqui é o fenômeno da dispersão da luz no prisma, que é esse que eu mostrei pra vocês. Ou seja, a gente tem luz branca chegando no prisma e numa outra... num outro lugar do prisma ta saindo luz colorida e essa luz (ruído) ... se bem que esse desenho aqui tá errado, certo? Que vocês viram que não tem a projeção aqui, eu preciso do anteparo pra poder enxergar a... as cores coloridas. Se eu não tiver anteparo eu não enxergo. Então não é aquele feixe alongado ali. Tá?	
16	12:04	Professora: Bom... o fenômeno da reflexão é o que permite que nós... é... observemos tudo que está ao nosso redor. Por que? Porque a luz incide... é... nos objetos ou... no tudo que nos cerca e reflete, e essa imagem é formada pelo processo da reflexão. Tá? Bom, que que é a reflexão? Tem dois tipos de reflexão. Aqui eu tenho a luz chegando, ó... Se a luz, ela incidir em uma superfície irregular, ela se reflete em direções diversas, ou seja, o ângulo de... refletido não é igual ao ângulo que ela ta chegando aqui, e é graças a esse... a essa reflexão que a gente enxerga todos os objetos. Então aqui nessa sala a gente enxerga tudo porque tem luz chegando em todos os objetos e refletindo essa luz em todas as direções, por isso que a gente enxerga o todo, tá?	
17	13:16	Professora: A outra reflexão é a regular, que é quando a superfície é lisa, polida, que aí o mesmo ângulo dos raios refletidos é o mesmo do incidente. Mas o que que acontece com a reflexão regular? Nós não conseguiríamos enxergar, talvez, todos os objetos, porque a difusa aqui mostra tudo, porque ela se reflete em todas as direções. Tá?	
18	13:68	Professora: Bom... Então já tinha um entendimento do fenômeno reflexão e refração, mas ainda não se sabia o que era a luz. Então o que que é isso que chega nos nossos olhos e permite ver, lembrando que agora nós fomos pro século dezessete, tá?	
19	14:02	Professora: Bom, o fenômeno da refração, ele pode ser visto aqui, ó... O fenômeno da refração aqui nós temos esse canudo, né?... aqui eu tenho dois líquidos transparentes e a impressão que dá é que... o canudo tá quebrado, ó... né? Parece que é um outro... um outro pedaço de canudo que tá fora, e no entanto, é o mesmo canudo. Essa ilusão aqui, vamos dizer, de achar que o canudo ta quebrado, é devida ao fenômeno da refração. Por que? Porque a luz que ta chegando aqui, ela muda de direção e muda a velocidade dela aqui no meio, por isso que causa... hã... esse... essa ilusão, vamos dizer, de achar que ele ta quebrado. Tá? Bom, de novo, a refração é a passagem da luz de um meio para o outro... então ta aqui o raio de luz chegando, aqui eu tenho o meio um, aqui o meio dois, e aqui a luz atravessando... ela mudou de direção e mudou a velocidade dela também, tá? Aqui é a mesma representação, tá? Bom, aí na época, então, eles já conheciam esses fenômenos, sabiam que eles aconteciam, né... tinha as leis matemáticas pra calcular ângulo de desvio, tal... mas eles ainda tinham questões aqui: Por que que a luz muda de direção quando	

		atravessa meios transparentes? Eles não tinham resposta pra ela e nem pra essa daqui: Por que que a luz muda de caminho quando passa pra outro tipo de matéria? Aqui eu tenho o ar e aqui eu tenho a água. Tá?	
20	15:27	Professora: Bom, e esse é o fenômeno da dispersão. Então, aqui ó... ta chegando a luz branca, reflete um pouco dessa luz, aqui também, tá... continua luz branca, mas nós temos um ponto aqui em que essa luz branca é dividida num espectro de cores aqui. Então, esse fenômeno já era conhecido na época, mas não era explicado, não se conseguiu entender porque que entra luz branca e sai luz colorida. Tá? E as questões que eles tinham desse fenômeno eram essas... Por que que a luz entra branca e sai colorida?, O que que acontece dentro do prisma?, E será que o prisma modifica alguma coisa, será que alguma coisa ta acontecendo dentro do prisma? Bom, então o que é importante, assim, frisar, é que já... já conheciam alguns fenômenos, tinha uma matemática que explicava... mas uma coisa é como que a luz se comporta, o fenômeno da reflexão e refração... e outra coisa é o que é a luz. Tá? São duas questões diferentes. E na época eles se questionavam, será que luz é partícula, né... é algo que sai do fogo?... Depende do... do meio material entre o olho do observador e o objeto que ta sendo visto... hã, como é que tem que ser esse meio? Tá? Então essas eram as questões que eles levantavam na época. (Pequena pausa)	
21	16:51	Professora: Bom... então a ótica do século dezessete. Vários pensadores, vários filósofos, na época, elaboravam explicações dos fenômenos. Então aqui nós temos os nomes de alguns deles, tá... que se destacaram aí... tem mais, ta? Mas alguns deles foi o Kepler, o Descartes (...) e o Hooke. Mas não havia uma única visão pra o que era luz, cada um deles dava a sua explicação. E tinha também do Huygens e do Newton. No nosso curso não dá pra gente ver a visão de cada um deles, e a gente vai se fixar na visão desses dois aqui: do Huygens e do Newton. Aluno: professora, eram muito diferentes a visão de cada um deles?	<i>Pausa. Interferência de um aluno</i>
22	17:43	Professora: Sim... cada um tinha assim... dava a sua explicação, assim como lá na Grécia cada um explicava do seu jeito, eles aqui também... eles tinham coisas em comum, depois eu vou falar o que era, mas cada um tinha a sua explicação, tá?	
23	18:17	Professora: Bom, então vamos no Huygens, né... O Huygens ele viveu de 1629 a 1695, ele era holandês, e ele estudou Direito e Matemática. Aí vocês podem pensar assim... Nossa, mas estudou Direito e Matemática e tava se envolvendo com a óptica, né? Até aquela época... a gente tem que pensar que o conhecimento, ele vinha evoluindo, e as pessoas se dedicavam ao conhecimento geral, ao conhecimento de várias... de várias linhas. Tem épocas que o conhecimento, até por causa da cultura, da política, ta direcionado pra um certo caminho. Então, eu vou dar um exemplo. Na época lá da Segunda Guerra Mundial, é... a ênfase das pesquisas tava na física nuclear. Até o ano passado, a ênfase das pesquisas no mundo tava direcionado pro genoma, né... agora as pesquisas tão direcionadas pro... pros combustíveis, né? Então, a cultura, a política, a época em que o homem ta vivendo, ajuda também a direcionar um pouco as pesquisas. Só que nessa época, é um conhecimento meio geral, não era tão assim fracionado. Então, por exemplo, hoje... hoje em dia, ta... se você vai num médico cardiologista ele não entende nada de estômago, por que? Ele não entende nada de gástrico.	

		Porque o conhecimento é tão grande... hoje em dia, tá?... o conhecimento é tão grande, ta tão especializado, que foi fechando as especialidades. Então hoje é difícil pra uma pessoa manjar de tudo, ta? Mas naquela época o conhecimento, ele era geral... então esses pesquisadores, médicos, matemáticos, filósofos, eles se dedicavam ao conhecimento em geral. Tá?	
24	20:09	Professora: Bom, o Huygens, ele publicou esse trabalho aqui... sobre a luz, né... e ele também foi o primeiro que patenteou um relógio de pêndulo em 1656. E esse trabalho sobre a luz, ele escreveu em 1678, mas publicou só em 1690.	
25	20:38	Professora: E o que era a luz na época... eles ainda não tinham resolvido a questão, eles se questionavam a esse respeito, tá? Bom, pro Huygens, luz era uma forma de movimento da matéria, tá? E aqui ta um trecho daquele tratado que ele escreveu. Então, <i>considera-se certo que a visão é excitada pela impressão de algum movimento de matéria, que age sobre os nervos no fundo dos nossos olhos, e essa é ainda outra razão para se ter como um movimento de matéria que se encontra entre nós e os corpos luminosos.</i>	<i>Uso de fonte primária</i>
26	21:15	Professora: Então ele disse o seguinte... nós enxergamos os objetos porque tem um movimento de matéria que chega até os nossos olhos, pressiona os nossos nervos, e aí a gente enxerga os objetos.	
27	21:37	Professora: Bom, a luz pra ele era produzida na Terra por corpos luminosos, por exemplo, o fogo. E o que que o Huygens fez... ele fez uma analogia, ele afirmava que luz era... era um movimento de matéria.	
28	21:50	Professora: Então ele fez uma analogia com o som, que é uma onda que se propaga no ar... e aqui, como exemplo, olha, tal como uma pedra jogada numa superfície que... de água, tá... então a gente tem uma gota caindo aqui nessa superfície, e essa gota quando ela cai ela causa uma perturbação nesse meio, ou seja, essas ondas que se propagam aqui.	
29	22:15	Professor: Então, pro Huygens, a luz era uma perturbação como essas ondas que estão se propagando aqui na superfície da água. Era essa perturbação que chegava aos nossos olhos e pressionava os nossos nervos pra gente enxergar os objetos. Tá? Então, ele fez uma analogia com o som, ta?	
30	22:45	Professora: Então, ele dizia que luz eram ondas, né...	
31	22:47	Professora: Então aqui nós temos um ponto luminoso, uma vela, por exemplo, e aqui ó... na chama da vela, cada pontinho aqui da chama ficava vibrando e emitia uma perturbação... e aí aqui a gente tem a somatória das perturbações que seriam frentes de onda. Então essas frentes de onda aqui, pro Huygens era... a explicação do que era a... a luz. Tá? Seria uma perturbação do meio, aqui...	
32	23:17	Professora: Então, olha, cada ponto luminoso possui um movimento muito rápido que provoca ondas no éter.	
33	23:24	Professora: Então, o Huygens ele acreditava que precisa de um meio, aqui... pra que essas ondas, pra que essa perturbação consiga chegar até os nossos nervos, tá. Então, o Huygens, ele acreditava, ele defendia a idéia do éter, tá?	
34	23:44	Professora: Lembrando que o éter foi citado ontem, lá na aula do... dos gregos com Aristóteles, né... que o Aristóteles dizia que eu preciso de um meio transparente entre o observador e o objeto, e aí ele deu o nome de éter. Aqui, o Huygens, ele também hã...	

		não... a explicação dele é diferente, mas ele também se utiliza da idéia do éter pra essas ondas conseguirem se propagar aqui. Tá?	
35	24:14	Professora: Bom, com essa explicação, de que a luz seriam ondas, ele consegue... é... mostrar como que a gente consegue observar vários objetos ao mesmo tempo, porque as ondas podem se cruzar vindas de diferentes objetos, que, pelo o que já se conhecia do estudo das ondas, isso não tinha problema, uma onda não influenciava a outra. Tá? E aí... ele conseguia explicar ... (professora ajeita as lanternas para demonstração experimental)	
36		Professora: Esse fenômeno aqui, ó... que era um fenômeno já conhecido na época, tá... Aqui eu tenho um feixe de luz, né... aqui, ó... tá... e aqui eu tenho outro... ta aí... ta... olha, elas estão se cruzando e, no entanto, uma não interfere na outra. Essa daqui segue o seu sentido e essa daqui segue... elas estão se cruzando... tá? Então essa teoria do Huygens consegue explicar esse fenômeno aqui, que as ondas passam uma pela outra e... tudo bem, seguem a trajetória.	<i>Pega duas lanternas e começa uma demonstração</i>
37	25:48	Professora: Então, com... com essa teoria, o Huygens conseguia explicar o fenômeno da reflexão, o fenômeno da refração, da refração da atmosfera, e esse fenômeno que eu mostrei agora pra vocês, os raios de luz podem se cruzar e cada um segue o seu caminho. Tá? Professora: Bom, aqui eu tô... a demonstração do fenômeno da reflexão, como que a teoria do Huygens conseguiu explicar bem, ó... aqui nós temos um... frentes de ondas chegando aqui e se refletindo numa superfície, tá? Aqui nós temos uma outra... uma outra demonstração aqui, ó... aqui a reflexão, ó... frentes de ondas incidentes batendo numa superfície, se refletindo... e aqui também tem o fenômeno da reflexão, porque quando a luz vem, bate na superfície... atravessa o meio, muda de direção. E aqui vocês podem perceber que aqui a gente tem um espaço entre as ondas e, quando ela atravessa o meio, o espaço diminui porque, na verdade, a luz, ela muda a velocidade dela, ta... quando ela passa de um meio pra outro... mas eles ainda não tinham conhecimento disso.	<i>Atuação na transposição didática interna não deixa claro do que eles não teriam conhecimento.</i>
38	26:51	Professora: Bom, agora vem a pergunta. Vocês acham que a teoria do Huygens tinha alguma falha, tinha algum problema? (Pausa. Comentários dispersos)	
39	27:10	Pedro: Na verdade do que a gente viu até agora é uma incoerência.	
40	27:13	Professora: Tem certeza? Pensa bem... hã?	
41	27:17	Tarik: É... não faz sentido a luz ser uma onda... porque (<i>inaudível</i>) ela teria que ser, pra ser tipo pra ser igual a uma onda mesmo, ela teria que ser contínua... ela tinha que ter uma... um contínuo.. é igual da (<i>inaudível</i>) ela tinha que fazer essa...	
42	27:30	Professora: hum... perturbação?	
43	27:35	Tarik: que ta produzindo toda hora, em todas as direções...	
44	27:40	Professora: mas aí...	
45	27:41	Tarik: então eu acho que ela não é uma onda, e sim um feixe de luz, é um feixe... não um tipo uma onda que se propaga em todas as direções...	
46	27:48	Professora: Tá... mas você aí... você acha que a luz não é uma onda, é isso? Tarik: Isso...	<i>Poderíamos ter orientado a professora a dar espaço para</i>

			<i>suposições que não havíamos previsto.</i>
47	27:57	Pedro: Professora, esse negócio tá me confundindo, heim! (risos da classe) Uma hora eu acredito que a luz é uma onda, outra hora eu acho que luz é um corpo. No final a gente vai chegar a uma conclusão do que que é a luz? (Risos dos alunos comentários dispersos)	
48	28:14	Professora: A gente tem uma... olha... vou dar a dica. Ele fez uma analogia... é... da luz com o som.	
49	28:28	Pedro: Só que o som tem uma hora que acaba. A luz não é como o som.	
50	28:36	Daniel: (inaudível)	
51	28:40	Professora: Você tá me dizendo aqui que o som... É quase lá...	
52	28:48	Elio: (...) voltando lá ao Aristóteles. O que que era pra ele pra que houvesse, pra que se pudesse enxergar? Que o meio permitisse. Um meio transparente. Porém, se há uma parede, não há transparência entre a luz e meus olhos pra luz... o som não, ele não depende do meio... Professora: Então você tá me dizendo que, no caso, depende do meio? Elio: Isso. E a luz continua sendo uma onda. Professora: Tá... Quem mais?	
53	29:21	Pedro: Naquela época pode falar do vácuo? Agora?	
54	29:23	Professora: Tem... é... tinham os pesquisadores que defendiam o vácuo, o vazio absoluto. E tinham filósofos e pesquisadores que achavam que não, que não existe o vazio absoluto, e que aí tem o éter.	<i>Professora faz sinal com a cabeça perguntando se o aluno entendeu.</i>
55	30:12	Professora: Gente, olha... Aqui tá o problema deles, da teoria deles, tá... É... A gente... alguém ficou quase alí, ó... A gente consegue ouvir um objeto sonoro, né... um sino que estiver tocando atrás da montanha, tá. Esse sino tá emitindo um som e se eu estiver do lado de cá da montanha eu escuto o sino. Tá? Só que eu não to vendo o sino. Então se ele fez uma analogia de que a luz se comporta como o som, então aí falhou, porque eu consigo ouvir mas eu não consigo ver o sino, tá. (comentários inaudíveis de um aluno) Então, olha aqui... as ondas, como as ondas sonoras, elas batem aqui no obstáculo e elas mudam a direção e continuam se propagando. Por isso que a gente consegue... se a Clarisse fosse aí pro corredor, mesmo que a porta estiver fechada a gente consegue ouvir a voz dela, mas a gente não vê a Clarisse (alunos riem) Pela teoria do Huygens a gente teria que ver a Clarisse, se a luz se contrapõe ao som, tem que valer as mesmas propriedades e características. Tá... Bom é justamente o que eu falei, ó... os críticos da teoria dele diziam o seguinte: se a luz é uma onda, por que que ela não contorna os obstáculos? Porque aí eu teria que ver os objetos atrás dos obstáculos, ou senão eu não consigo escutar, tá... Bom... Huygens e as ondas, né... o trabalho do Huygens, gente, acabou assim... não dando... as pessoas na época acabaram não dando tanta importância, e o trabalho dele ficou esquecido por mais de cem anos, tá... E em 1704, o Newton, ele começa aí a... a mostrar um pouco do trabalho dele, no tratado de óptica, onde o Newton vai defender a teoria corpuscular da luz, tá... Ou seja, que	

		a luz na verdade é formada por partícula.	
56	32:09	<p>Bom, agora vamos pro Newton. Presta atenção que eu vou fazer a pergunta e ninguém sabe, hein... Olha, teoria corpuscular da luz do Newton, né... Então, Newton, ele viveu nesse período aqui, ele dedicou a vida dele à mecânica, à astronomia, mas ele também tem estudos na ótica, na religião e na alquimia. Foi o que eu falei, até aquela época, né, o homem se dedicava a quase todo o conhecimento, ele ainda não tinha especializado e fechado como é nos dias de hoje. Tá... Bom, por que que o Newton, né, ele decidiu pela teoria corpuscular, né... é... o que será que influenciou ele, né... Então, na verdade, o Newton, ele já vinha seguindo, tá, uma linha de outros pesquisadores que acreditavam na teoria corpuscular. Tá... Então, na verdade, ele não teve assim... ah, eu vou decidir... ele já vinha seguindo algumas pessoas que acreditavam na linha corpuscular. Então ele começou a defender essa idéia.</p> <p><i>(Risos)</i></p>	
57	33:29	<p>Professora: Então agora a gente vai na Filosofia Corpuscular. Tá... Só lembrando que quem defende a teoria corpuscular tá se baseando no atomismo grego que nós vimos ontem. Tinha uma linha de filósofos gregos que defendia que tudo no mundo era formado por átomos, e átomos são partículas, certo? Então, o Newton, ele tá, na verdade, se baseando lá naquele atomismo grego de quinhentos antes de Cristo, tá... se baseando no sentido de que tudo no mundo é formado por partículas. Tá? É... aqui ó... isso é que eu falei que ele já vinha seguindo a idéia que outros já tinham, ele veio seguindo a idéia do Gassendi e do Boyle que também defendiam a teoria corpuscular, tá...</p> <p>Professora: Bom, A Natureza Corpuscular. Aqui ó... essas bolinhas, são corpúsculos, são partículas de matéria, digamos assim, eu tenho a partícula já na matéria... então ela tá chegando, aqui eu tenho um corpo também formado por partículas... então essa luz chega, bate na superfície e... se reflete. Então, a teoria corpuscular também conseguia, de alguma forma, responder aqui a reflexão, que era um fenômeno conhecido.</p> <p>Professora: E aqui a gente tem, né, o Sol sendo uma fonte contínua de partículas, de corpúsculos... tá... Esses corpúsculos estão entrando aí... segundo a teoria do Newton... tão entrando pela janela, tão batendo em todos os objetos que têm aqui, em vocês... se refletem, chegam no meu olho e é por isso que eu enxergo vocês e tudo que tá na sala. Tá? Bom... mas será que a Teoria Corpuscular tinha problemas?</p>	
58	34:60	<p>Aluno: (...) Não sei bem <i>(inaudível)</i> falar um pouco do debate?</p> <p>Professora: Tá... Amanhã... amanhã não, quinta-feira, né... vocês vão... vocês vão, assim, argumentar, né, defender a idéia de vocês, mas não esqueçam que tem os jurados, né, que eles são os que vão avaliar, e o público só vai atizar/atestar/aceitar o debate, porque agora cada um vai procurar... é... defender sua idéia da melhor forma possível e já sabendo os problemas que <i>(tem/teve)</i> e o que vai fazer com isso... Vamos lá...</p>	
59	36:17	<p>Aluno: É assim, professora...é... como que... é... Se a luz é partícula, se uma incide na outra, por que que não influencia na trajetória da outra? Se uma tá sendo projetada, assim e a outra ... por que que uma não interfere na outra?</p> <p>Professora: Uhum... é... exatamente é um dos problemas. Se a luz é feita de corpúsculos, como é que elas se cruzam sem se interagir...? Então, aquele fenômeno que eu mostrei aqui da... da</p>	<p><i>Aluno problematiza adequadamente.</i></p>

		lâmpada, que a luz se cruza e cada um segue seu caminho... se eu pensar que a luz é corpúsculo, ela não seguiria o seu caminho sem sofrer um certo desvio. Tá? Todo mundo consegue enxergar isso, gente? Que se a luz fosse partícula elas mudariam de direção ao se cruzarem? Precisa demonstrar isso? Ahn...?	
60	37:20	<i>Ruídos inaudíveis da classe. Risos.</i>	
61	37:45	<p>Professora: Ó, vai ficar (...) Vamos imaginar que a luz são partículas. Certo?</p> <p>Aluno: Vamos jogar bolinha de gude... (<i>Ruído alto</i>)</p> <p>Aluna A: Professora, a luz seria uma coisa... (faz gesto com a mão)... Matéria...?</p> <p>Professora: Sim... matéria, tá. Lembrando que o Huygens, não. O Huygens dizia que o movimento no éter que era luz, aí não é matéria. Por isso que se cruzam dois feixes de luz e cada um vai pro seu lado. Então, ó... imaginando que a luz é partícula. Tá exagerado aqui, né... Se ninguém conseguir enxergar e quiser levantar pra ver, ó...</p> <p>Aluno: A professora brinca/tá brincando de bolinha de gude, ae... (<i>Risos</i>)</p> <p>Professora: Aqui, ó... Aqui eu vou numa direção e aqui eu vou em outra. (<i>Risos e comentários inaudíveis. Arrastar de carteiras. Euforia com a demonstração</i>)</p> <p>Professora: Aqui, ó. Ela tava aqui, a outra veio pra cá e ela foi pra lá... se ela não tivesse se cruzado ela tinha seguido... Porque quando você tem choque de matéria com matéria elas mudam de direção. E, no entanto, aqui quando eu mostrei com a... com a lanterna, não... cada um segue o seu caminho. Então é uma falha.</p>	<i>Professora, auxiliada por um aluno, faz a demonstração com bolinhas.</i>
62	39:33	<i>Risos e comentários inaudíveis na classe.</i>	
63	39:55	<p>Pedro: A teoria corpuscular tá mais clara agora pra mim... Agora que vocês demonstraram tá mais claro agora pra mim... (<i>Clima descontraído. O comentário de Pedro é irônico, pois as bolinhas se espalham e não se chocam.</i>)</p>	<i>A professora e o Elio tentam simular no chão o choque entre dois feixes de bolinhas de gude, e como está difícil a sala se diverte.</i>
64	40:00	<p><i>Risos e comentários inaudíveis na classe. Dispersão.</i></p> <p>Pedro: A teoria corpuscular está mais clara pra mim... (<i>pausa</i>) As bolinhas não se chocam... (<i>alunos pedem silêncio</i>)</p>	
65	40:31	Professora: Então, é... voltando... Gente, ó... voltando... Então, olha, a teoria, o Newton defendia a teoria corpuscular, só que essa teoria também tinha problemas, porque partículas quando se cruzam elas mudam de direção... Isso contradiz lá o... a experiência aqui da lanterna, certo? Que é aquela ali ó... que é o Newton, ta... e o Huygens. Lembrando que a teoria do Huygens é a que explicava melhor esse fenômeno. Certo? □	
66	41:11	Professora: Bom... final do século dezessete, principalmente ali, o Paulo... não houve consenso no que seria a luz. Se a luz era partícula ou se a luz era onda. Tá? As duas teorias, elas eram conflitantes. Só que essas teorias foram as mais detalhadas, vamos	

		dizer assim, foram as que mais se destacaram. Dentre todas aquelas que vocês viram, temos outras, tá...	
67	41:42	Professora: Bom... mas ainda havia outras divergências na época. Esses fenômenos que eu mostrei pra vocês... é... não tinha explicação pra eles. Por que que entra luz branca no prisma, uma parte é refletida e a outra é... sofre aqui, né, uma divisão de cores, aqui... tá? Bom... aí entra o Newton, aqui... Lembrando que esse fenômeno tava sendo muito questionado e estavam se tentando explicação pra eles.	
68	42:14	Professora: Então, o Newton, aqui, olha... aqui é uma gravura, né, uma pintura, mas o que é interessante nesse gravura é o seguinte... aqui tem um orifício por onde ta entrando a luz, e ele ta vendo ali a projeção do espectro, que foi o que eu fiz com vocês. Lembrando, que é... esse orifício aqui, ele era circular e, no entanto, essa mancha que aparece aqui, que nem foi a que vocês viram, ela é uma mancha alongada. Então, na época eles se questionavam, por que que se a luz era circular, o que que acontece que depois fica uma mancha alongada?... deveria ser uma mancha circular também, tá.	
69	42:53	Professora: O que que acontece... Tem um prisma aqui, ta, na mão do Newton, né... o que que acontece que entra luz branca e aqui eu enxergo um espectro, ta... Esses aqui são figuras dos prismas que o Newton usava na época pra estudar esse fenômeno. E ele estudou esse fenômeno por anos, tá... não foi assim que ele fez a experiência uma vez e aí ele já tirou toda a dedução dele... não, ele fez várias experiências, e ele foi mudando o tamanho da fonte de luz, ele foi mudando a distância da fonte de luz ao prisma, ele foi mudando a distância do anteparo... e ele foi associando o que ele observava e os dados da experiência com deduções matemáticas.	
70	44:02	Professora: Então, isso durou anos, esse estudo. E o Newton, ele... ele elaborou uma teoria nessa época aqui, que era a teoria sobre a curva e as cores que era o experimento aqui do prisma. Tá? Quer dizer, além de ele buscar uma explicação para o fenômeno, ele também explicou o funcionamento do telescópio... o Newton, nessa época, ele inventou um telescópio com espelhos, e na época o telescópio que tinha era com lente, e esse telescópio com lente, ele provocava aberrações no que se enxergava. E esse telescópio que ele inventou diminuía muito essas aberrações porque não usava tanto as lentes, usava mais os espelhos. E com isso, né, com esse estudo que ele fez, e com o telescópio que ele inventou aqui... ele ganhou fama, né... E ele foi convidado pra participar dessa Royal Society aqui... que era uma sociedade de filósofos naturais da época. Eram os bam-bam-bam que estavam nessa sociedade. Então, devido a esse estudo que ele fez, ele foi, né, pra sociedade. E ganhou fama, tá.	
71	45:08	Professora: Bom, inicialmente, eles achavam que esse fenômeno acontecia porque a culpa era do prisma, acontece alguma coisa dentro do prisma que é o prisma que faz... que produz alguma modificação na luz, né. E que nem eu falei, ele observava que aqui a fonte era circular e, no entanto, a figura do espectro aqui ela era alongada, isso... isso... eles não tinham explicação pra isso.	<i>Professora usa vocabulário “culpa”. Parece que essa “analogia” sintetiza a idéia e poderia facilitar a compreensão do aluno.</i>
72	45:56	Professora: Bom, o Newton, ele formulou várias hipóteses, ele fez experiências várias vezes, ta... E uma delas é a seguinte, será	

		<p>que a luz deixa de se envolver em linha reta quando ela passa pelo prisma? tá... essa era uma das questões. Bom, então depois de muitas experiências, associando aí, análises matemáticas e geométricas, né... ele foi mudando o tamanho da fonte de luz, a distância entre o prisma e a fonte... enfim. E aí, ele acabou descartando essa hipótese de que a luz... deveria passar em linha reta pelo prisma, né, e no entanto, ela tinha aquela reflexão.</p> <p>E aí, continuou questionando, questionando... e até que ele chegou num experimento que... ele conseguiu tirar algumas conclusões.</p>	
73	46:48	<p>Professora: Então o experimento é o seguinte... aqui a gente tem a luz, a fonte de luz chegando, e aqui a gente tem o prisma, e aí, nós temos o espectro que sai aqui, tá... Aí o que que o Newton fez? Ele pegou... não dividiu em várias cores?... ele pegou uma única cor... aqui no desenho, tá... amarelo, mas ele fez isso pra todas as cores... aí ele fez esse feixe amarelo passar por um outro prisma, e aí ele queria ver o que que acontecia. E aí ele percebeu que saiu luz amarela.</p>	
74	47:19	<p>Professora: Então o que que ele deduziu? Que o prisma, ele não modifica a luz, porque se ele modificasse, se ta entrando amarelo, ele deveria modificar e deveria sair aqui uma outra cor. E, no entanto, entrou amarelo e saiu amarelo. Então ele deduziu que o prisma, ele... ele por si só, não é que ele modifica... ele simplesmente separa, aqui, as luzes que compõem a luz branca.</p>	
75	47: 48	<p>Professora: Ele chegou a conclusão que a luz branca ela é heterogênea, ela é a soma das várias cores. E ele fez esse experimento pra todas... pra luz azul, ele pegou, aqui, o feixe de luz azul e fez passar pelo outro prisma, e ele percebeu que o ângulo que essa luz se refletia e a luz eram sempre a mesma. Tá?</p>	
76	48:19	<p>Professora: Então aqui, como era... ta... Então, o prisma, ele não modifica, ele apenas separa as luzes, ta.</p>	
77	48:23	<p>Professora: E aí, né, ele montou, né, toda a teoria dele, que cada cor tem o seu próprio grau de refrangibilidade, que seria a velocidade com que ela passa depois de um meio pro outro... hã...</p>	
78	48:33	<p>Professora: Mas aí vem uma pergunta pra vocês: será que só olhando o experimento, a experiência, dá pra você concluir tudo sobre como aquele fenômeno acontece? Só de você montar a experiência e ficar observando?</p> <p>Alguns alunos: Não...</p> <p>Pedro: Precisa ter a tese matemática...</p> <p>Professora: Tem todo um apoio, também, das teorias, da matemática, testando... né, pra teoria evoluir.</p>	
79	49:31	<p><i>(aluno interrompe pra fazer uma pergunta, mas muda de idéia)</i></p> <p>Professora: Bom, só que assim, gente, o Newton, ele ficou muito famoso, tá... só que tinha muita gente que divergia das idéias dele, né. Tinha, na época, os que eram adeptos da teoria ondulatória, né... e isso gerou brigas entre os filósofos, na época, cada um defendendo a sua idéia... Inclusive teve até trabalhos do Newton que ele até deixou de publicar, ele chegou a esperar um outro filósofo que divergia muito dele... esperou, não... aconteceu desse outro filósofo morrer e aí ele resolveu publicar. Ele brigava tanto com o filósofo, que ele... <i>(risos)</i> ele foi adiando a publicação pra não gerar mais polêmica ainda, tá...</p>	<p><i>Nesse momento do curso buscamos contrapor a importância dos experimentos, apesar da impossibilidade de observações neutras.</i></p>
80	49:56	<p>Professora: Então, o Newton, ele combinou a experiência dele, hipóteses que ele ia fazendo e muita análise matemática. E foi</p>	

		esse aqui, ó... ele divergia muito do Newton... lembrando que o Huygens também, né... que ele defendeu a ondulatória, né... Aluno: O Huygens era da época dele? Professora: O Huygens foi antes, né... o Huygens foi antes.	
81	50:17	<i>Aluna faz uma pergunta sobre Hooke</i> Professora: O Hooke e esse aqui eram contemporâneos... eles brigavam muito... Aluna: E eles viveram ao mesmo tempo, assim...? Professora: Não, o Huygens foi... Aluna: Foi um pouco antes... Professora: É... foi antes. Aluna: ...Aí vem o Newton... Aluno: O Hooke...	
82	50:56	<i>(várias vozes de alunos)</i> Pesquisadora: Todos são contemporâneos... Professora: Todos? Mas o Newton estava vivo ainda? Pesquisadora: ... Huygens era um pouco mais velho. Ele nasceu antes e morreu antes, mas eles conviveram uma época, trocaram idéias... Professora: Ah... Pesquisadora: Desculpe.	
83	51:22	Professora: Bom, é... o século dezoito, que é um período de riqueza, de progresso, período da revolução industrial, tal, é conhecido como o Século das Luzes e o Newton, com todos os estudos, com tudo que ele desenvolveu, né, principalmente nesses dois trabalhos aqui... lembrando, também, das contribuições dele na mecânica, da gravitação... Então, ele ficou como um modelo, de exemplo de... de ciência, na época, né... os trabalhos dele, a maneira como ele trabalhava... meio que como modelo.	
84	51:47	Aluno: Professora, por que eles usavam peruca? Professora: Por que que eles usavam peruca? Aluno: <i>(inaudível)</i> Professora: Olha... tinha a ver com a sociedade na época... Aluna A: Era chique, né, professora... Aluna B: Tinha uma época que usava uma peruca pra algum momento, né... Professora: É... era uma coisa meio... assim... de aristocracia...	
85	52:07	<i>Burburinho e fala na classe.</i> Elio: Questão inaudível. <i>Conversas paralelas.</i>	<i>Fim do arquivo aos 52:31</i>

11/9/2007 – Aulas 5 e 6

Arquivo II - Arquivo não transcrito

O arquivo 2 não foi transcrito. A professora faz uma síntese da aula nos primeiros minutos enfatizando que ambas as teorias tinham limitações. Alunos falam, uns aparentam cansaço, pois a explicação foi longa. Alguns alunos se aproximam da professora e perguntam e discutem sobre a natureza da luz. Eles querem saber se hoje a luz é considerada onda ou partícula.

Depois disso, a professora distribui o texto 4 que sistematiza a aula e avisa que fará a correção da lição, que era reconstruir o quebra-cabeça do texto 3. Os alunos fazem a leitura desse texto junto com a professora, que

interrompe a leitura algumas vezes para esclarecer aspectos do texto (dura cerca de 12 minutos). Os alunos demonstram curiosidade pela vida de Newton.
A professora realiza a leitura do texto 4 com os alunos. As questões do texto 4 ficam como lição de casa.

12/9/2007 – Aulas 7 e 8			
Arquivo I: Tempo total = 1 min e 33 s			
Turno	Tempo	Falas	Observações
1	00:06	Professora: Oi, gente, presta atenção! O que vocês estão ouvindo agora, não é só porque vai correr nota, tem muito mais questões por trás... só lembrando, que no decorrer do tempo, presta atenção! Serve para a gente, para mim, para a Thaís, para todos os professores que não estão aqui, sentir se vocês estão entendendo ou não, se os textos que vocês estão recebendo, é, sabe, quando vocês estão fazendo anotações, se estão claros pra vocês entender é, quais são as dificuldades que vocês estão tendo. A gente sabe que o assunto não é fácil. E a gente está tentando preparar o material que seja acessível para vocês, tá?	
2	00:49	Professora: Não deixem de ler, também não copiem porque, gente ninguém escreve igualzinho, vírgulas, as mesmas palavras de um texto, vocês podem discutir, vocês podem ser a favor da mesma idéia, mas redigir, cada um redige do seu jeito	
3	01:08	Professora: Outro recadinho importante: ontem aconteceu uma coisa assim, é, meio chata nas filmagens, né... (<i>ruídos</i>). Então eu vou pedir a colaboração de vocês. Vocês sabem que é proibido por lei atender celular na sala de aula e a... A: Tá.	
4	01:31	Professora: E a filmadora pega tudo...	

12/9/2007 – Aulas 7 e 8			
Arquivo II: Tempo total = 52 min e 23 s			
Turno	Tempo	Falas	Observações
5	00:00	Professora: Mas é legal assim, estar ouvindo vocês, de repente algum colega pensa diferente, (<i>ruídos</i>) então essa diferença de opinião é legal estar aparecer no vídeo, tá? Então eu vou levantar questões aqui e vocês vão trocando idéia, ta bom?... (<i>ruído</i>).	
6	00:21	Professora: Outra coisa, se alguém está faltando, quando eu lembro, eu entrego o texto, tá? Mas vocês cobrem, porque esses textos são material de apoio para o debate, para entender o teatro. Tem gente disputando vaga para ver o teatro de vocês, heim... (<i>ruídos</i>)	<i>Professora prestigia os alunos.</i>
7	00:45	Professora: Sexta-feira tem (<i>ruídos</i>) o teatro de vocês nós vamos fazer uma apresentação meio que fechada e dependendo do empenho do pessoal do teatro, isso vai passar para toda as outras salas, e tal, que...	<i>Ruídos altos que atrapalham a captação do áudio.</i>
8	00:58	Professora: Vocês vão ter que agendar esse espetáculo, então tratem de se empenhar...	
9	01:03	A1: que se empenhar também...	<i>Ruídos de falas sobrepostas.</i>

10	01:10	Professora: Outra coisa, vocês já se deram conta um pouco das pessoas, né... dos pesquisadores, dos filósofos que a gente falou, aonde que eles estão ali na faixa, quer dizer, o Epicuro, o Empédocles, o Aristóteles, né, e a gente deu um salto lá na história, porque não dá, lembra que eu falei, não dá para falar da colaboração de todo mundo e a gente deu um salto ali no século XVII, mas o Newton tá ali, o Hooke, o Grimaldi, o Huygens, então é legal vocês estarem acompanhando isso na faixa tá, gente?	<i>Menção à faixa e ênfase no recorte dos episódios.</i>
11	01:48	Professora: Eu vou ler a pergunta, e eu queria escutar de vocês... ta? Havia filósofos naturais que apresentavam explicações ou interpretações diferentes para os mesmos fenômenos? Justifique. Os filósofos naturais... (<i>ruído</i>)	
12	02:09	Professora: Os filósofos naturais, o Newton. Quer que eu leia de novo?	<i>Aluno (A2) aborda, dizendo que esta não era a seqüência certa do texto. A professora retoma a seqüência e faz a pergunta correta.</i>
13	02:25	Professora: Ah, então houve uma pequena falha técnica.	
14	02:33	Professora: Primeira pergunta: Existe uma única explicação possível para os fenômenos naturais? Comente seu ponto de vista. Lembrando que o fenômeno natural que a gente está analisando aí é a luz, certo? Mas aqui está falando de uma maneira geral, os fenômenos naturais... Existe uma única explicação possível para explicar um fenômeno natural?	
15	02:54	A3: Não	
16	02:56	Professora: Por quê?	
17	03:00	Erika: (<i>A aluna responde, inaudível</i>)	
18	03:01	Professora: Só assim, o que vocês comentarem eleva um pouquinho o volume aí senão o microfone não pega.	
19	03:12	Professora: Para os mesmos fenômenos observados em relação à luz, havia explicações ou interpretações diferentes? Justifique.	
20	03:30	Gisele: Tinha, professora, porque teve aquelas duas teorias, né... do Newton e do outro (<i>inaudível</i>).	
21	03:45	Carla: ...é justamente o processo do pensamento racional (<i>inaudível</i>). Porque se fosse só (...) religiosa, todos acreditariam nos deuses (...)	
22	03:34	Professora: Mas vocês lembram que mesmo eles que viveram na mesma época, (...) até eles já divergiam também nas idéias. Cada um observava de um jeito os fenômenos...	
23	04:01	Jade: Cada um via de um jeito um fenômeno diferente, mas... (<i>comentários inaudíveis</i>)	
24	04:10	A6: Cada um via um fenômeno diferente...(...) mas cada um...(...) sua contribuição importante.	

25	04:18	A7: <i>(Um aluno faz comentários, inaudíveis).</i>	
26	04:28	Professora: Vocês se lembram da aula de ontem onde eu apresentei a teoria ondulatória e a corpuscular, eh, embora fossem teorias diferentes, né, para explicar o mesmo fenômeno, o que aconteceu com as duas teorias? Que foi no fundo conclusão da aula de ontem?	
27	04:50	A8: Permanecem em dúvida...	
28	04:54	Professora: É... então até... elas ainda tinham duvida, não é? Elas não haviam sido dadas como ... <i>(ruídos)</i>	
29	05:04	Professora: Então olha, terceiro: Se uma pessoa fala atrás de uma parede, você pode ouvir sua voz, pois o som contorna as extremidades da parede, mas você não pode ver. Este argumento poderia ter sido usado contra que teoria?	
30	05:19	Carla: Huygens. Alunos: Huygens. Jade: A ondulatória né porque ... <i>(inaudível)</i> Alunos : Ondulatória.	<i>Alunos respondem ao mesmo tempo.</i>
31	05:29	Professora: Por quê? <i>(burburinhos inaudíveis)</i>	
32	05:34	Professora: Mas o que que ele ta querendo explicar com a analogia que ele fez aí?	
33	05:38	<i>(Alguns alunos respondem juntos...).</i> Aluna: A onda do som passa pela parede, a da luz não... então se desintegram... <i>(Comentários inaudíveis)</i> Professora: ...como se tivesse um obstáculo batendo, né...	
34	05:55	Professora: Você acha que a seguinte frase é verdadeira ou falsa? Justifique. “Para construir uma lei matemática que explique um fenômeno, basta observá-lo com cuidado. As boas experiências mostram exatamente como o fenômeno funciona”.	
35	06:18	<i>(Comentários inaudíveis.)</i>	
36	06:21	Professora: Tá certo ou tá errado? Alunos: Falso. Professora: Falso por que?	
37	06:27	Professora: Fala um pouquinho mais alto que eu não ouvi...	
38	06:32	Gisele: Eu? Ah, por causa que não é só olhar e dá uma explicação pra aquilo, porque se tudo que eu olhasse eu achasse...	
39	06:38	Daniel: Ele está levantando uma hipótese <i>(inaudível)</i> observando ele pode levantar hipótese, eles organizavam <i>(inaudível)</i> ...	<i>Falas sobrepostas.</i>
40	06:59	Jade: Ah, professora... eu acho que é verdadeiro. <i>(alunos sorriem)</i> Prof.: Defende sua idéia.	<i>Uma aluna se posiciona contrariamente às manifestações.</i>
41	07:10	<i>(aluna lê a resposta)</i> Jade: Pois muitos físicos, matemáticos e cientistas eles provavam com a matemática os fenômenos da luz sem mesmo saber o que era realmente a luz. <i>(pausa)</i> Entendeu?	<i>Alunos riem sem usar um tom de deboche. Parece que admiram a</i>

			<i>manifestação da colega.</i>
42	07:18	Professora: Você tá dizendo que com o experimento eles provavam...	
43	07:20	Jade: É, e com as, as fórmulas matemáticas que eles faziam, eles provavam que era...	
44	07:32	Professora: Então, mas... pelo, desde o começo do curso, que eu estou tentando mostrar para vocês, desde lá dos gregos, tal, você, você não está acreditando, que quando uma, um filósofo, que através de um experimento, ele monta a lei, aquilo não muda mais?	
45	07:55	Jade: Não! Pode mudar, mas eu to dizendo assim ... Ah sei, lá! <i>(risos e um comentário no fundo da sala, inaudível).</i>	<i>Jade responde "não" enfaticamente.</i>
46	07:59	Professora: Eu to querendo... entender o que você tá falando.	
47	08:00	Jade: E eu to querendo entender o que a senhora tá perguntando.	<i>Alunos riem. A colocação foi em tom amigável.</i>
48	08:02	<i>(Risos e comentários, todos falam junto. Professora e Jade trocam rápidas palavras).</i> Professora: Não. Explica, explica... O que foi que eu falei?	
49	08:12	Jade: Não, então, eu não to dizendo que muda, entendeu? Mas eu acredito que ele pode provar com o... com a sua tese que é verdadeiro, que ele tá certo, que é correto. Entendeu?	
50	08:29	Professora: Mas essa palavra provar, ela é meio forte, né. (...) Essa palavra provar é meio forte, né. Não dá a impressão de que quando a gente fala provar, que não pode ter falhas? O que você acha?	
51	08:43	Jade: Ah professora... <i>(sorri).</i>	
52	08:45	Professora: Essa palavra provar é muito forte, né? E ontem a teoria ondulatoria e a corpuscular, elas elas conseguiram dar essa prova? Você acha? Que que ce acha?	<i>Professora argumenta com as teorias discutidas na aula anterior.</i>
53	08:53	Jade: Eu acho que... sim.	
54	08:59	Professora: Mas ela conseguiu provar?	
55	09:02	Jade: Ah., tem falhas, mas é aos poucos que chega lá... <i>(Alguns alunos comentam, outros parecem não ligar para a discussão. Inaudível).</i>	<i>Provável concepção de evolução linear.</i>
56		<i>A sala ao lado faz muito barulho. Outra aluna conversa com a professora inaudível.</i>	
57	09:23	Professora: Então peraí, se eu entendi o que a Adriana falou... se for um, se, se o pesquisador ou um filósofo, vamos supor, deixa eu ver se entendi, está analisando um fenômeno, só aquele fenômeno, e ele elabora uma lei e aquela lei satisfaz a explicação daquele fenômeno, prá... você tá querendo fechar só para aquele fenômeno, que só o que ele fez foi correto, é isso?	
58	09:50	Adriana: Ah, professora, aí depende também, né? Depende do, do filósofo, e do experimento... varia, né?	
59	10:04	Professora: Então pode ser que uma teoria não consiga explicar tudo.	
60	10:05	Adriana: É pode ser... É, mas no caso ela pode ser verdadeira, né porque...	

61	10:08	Professora: Ah, você também votou na verdadeira... Adriana: Sim.	
62	10:17	Professora: Ah, então vamos fazer uma enquete aqui: Quem votou, quem votou na... que a frase era verdadeira (<i>palmas ao fundo e ruídos da outra sala</i>) levanta a mão. Vai, sem medo de ser feliz! Eu só quero saber. E quem votou que era falsa?... Pode abaixar.	<i>Parece que 5 alunos consideraram verdadeira e 9 alunos consideram falsa. Os outros não se manifestaram ou não aparecem no vídeo.</i>
63	10:35	Professora: Tá, mas tem gente que ficou em cima do muro (<i>risos</i>). Tem gente que não era nem falsa nem verdadeira... Posso entender assim? Quem não levantou a mão é porque ta na dúvida? (<i>Alguns alunos falam: não.</i>)	
64	10:48	Professora: Então quem está na dúvida é bom ficar para jurado, amanhã, né? Porque no debate amanhã nós vamos ver quem (<i>inaudível</i>) de quem vai defender a corpuscular, vamos ver com quais os argumentos, né, que vai defender, os outros a ondulatória, e aí o pessoal dos jurados é o pessoal que vai ter que decidir quem é que argumentou melhor, quem conseguiu explicar melhor as falhas, para ver qual seria a teoria mais, entre aspas, aceita... tá?	
65	11:05	<i>Aluna faz pergunta inaudível</i>	
66	11:27	Professora: Porque vocês estão levando em conta que aqui ta escrito um fenômeno, é isso? Ou vocês (...) individual?	
67	11:45	Professora: Bom, vamos para outra: Podemos afirmar que a natureza fornece evidências tão simples, que permitem uma única interpretação?... Podemos afirmar que a natureza fornece evidências tão simples, quer dizer só de olhar o fenômeno, permite uma única interpretação?	
68	12:03	Alunos: Não.	
69	12:07	Daniel: Eu acho que agora, para a gente, pode parecer simples, mas naquela época, sabe pode parecer, assim, não era... uma coisa meio complexa...	<i>Conversas e ruídos sobrepostos.</i>
70	12:26	Professora: Você consegue imaginar por quais motivos a teoria de Newton foi amplamente aceita no século XVIII?	
71	12:35	Gisele: Porque ela não tinha tantos problemas, assim... era a mais favorável...	<i>Várias alunas tentam falar ao mesmo tempo, respondendo a pergunta, mas no áudio não é possível distinguir as respostas</i>
72	13:01	Emy: (<i>inaudível</i>) entre todas, era a única que conseguia ...	
73	13:02	Pedro: Professora, mas também tem que somar do Newton, (<i>corte</i>) com esse fenômeno foi aprovado pela física...	<i>Trecho com áudio comprometido. Ruídos da sala ao lado.</i>
74	13:50	Prof: Um dos movimentos da teoria corpuscular (<i>ruídos</i>) foi por	<i>O barulho do</i>

		causa mesmo da fama (<i>corte</i>) da fama dos trabalhos dele.	<i>lado de fora da sala é intenso.</i>
75	14:15	Professora: Ó... é o seguinte... Agora eu vou distribuir para vocês o texto cinco e seis... eu acho que alguns já tem, né...	<i>Ruídos. Professora troca algumas palavras com aluno que está na frente.</i>
76	14:40	A: Professora eu não tenho.	<i>Professora vai pegar o texto. Conversas e ruídos altos na sala.</i>
77	15:07	Professora: Pessoal, quem não tem o texto que faltou ontem...	
78	15:16	A: Olha, eu faltei ontem e segunda...	
79	15:14	Professora: Bom, olha, gente, quem não tem o texto, que é o texto do debate... quem não tem? É o cinco e o seis... (<i>alunos se identificam</i>).	
80	15:26	A: Qual o nome do texto?	
81	15:28	Professora: É o (<i>inaudível</i>) do debate.	
82	15:31		<i>Vão recebendo os textos e conversando, enquanto folheiam o texto.</i>
83	16:05	Aluno no fundo da sala: Olha aí pessoal, hoje é o dia de pagar o lanche...	<i>Conversas ao fundo.</i>
84	16:21	Professora: Quem mais não tem o texto do debate?	
85	16:23	Alunos: Eu, eu, eu...	<i>Os alunos lêem o texto que receberam e se mostram um pouco dispersos.</i>
86	18:35	Professora: Fala mais alto...	
87	18:38	Professora: Todo mundo tem o texto de hoje, então?	<i>Professora continua distribuição. Alunos falando todos juntos.</i>
88	19:02	Professora: Pessoal, ó, vamos prestar atenção, a gente vai fazer essa a leitura, meio assim, eu vou aqui jogando os parágrafos, e de certa forma é pra gente ir entendendo, quem tiver dúvidas, vai perguntando. Só um a coisinha que eu queria assim, é, levantar para ver a opinião de vocês. Pelo que já foi falado, aqui né, ó, que foi uma dúvida, para um mesmo fenômeno, que foi o que a... Elaine, Elaine falou, quando você tem um fenômeno que você está estudando... Ela... ela... Dá para você repetir a argumentação que você falou? Que um, uma boa explicação, se explicasse bem o fenômeno estava tudo certo. É isso?	<i>Professora tenta reconstruir colocação da aluna. Parece que ela aceita que uma teoria explique um fenômeno apenas.</i>
89	19:50	Elaine: É, às vezes a mesma explicação não dá para vários fenômenos, mas pra um só vale.	<i>Essa concepção não havia sido prevista!</i>
90	19:57	Professora: Então eu queria fazer a seguinte pergunta: mas para	

		um mesmo fenômeno , que é o caso do que estamos estudando, a natureza da luz, do que seria a luz, a gente não está tendo várias interpretações? Porque ontem a gente viu o Huygens e o Newton, mas lembra que eu mostrei é, no PowerPoint, a foto de alguns, que tinha até mais alguns que não caberiam ali? Então, para um mesmo fenômeno eles tinham várias interpretações? E até o final desse século não tinha ainda o consenso. Lembra que a aula de ontem terminou no que seria o debate de amanhã. O que vocês, o que vocês teriam a me dizer sobre isso? Ou a própria Elaine, que foi quem perguntou...	
91	20:47	Elaine: Ah, eu não sei... (<i>risos</i>)	
92	20:48	Professora: Não... Então, eu tô querendo saber a sua opinião. Se eu entendi o certo, o que você perguntou.	
93	20:52	Elaine: Então, eu pensei na teoria da luz né...	
94		Professora: Mas você continua pensando assim, ou o que você acha?	
95	21:04	Elaine: Não, se eu olhar a teoria da luz naquela época, eu tinha várias situações, né, e não é só uma, e uma só não dá pra entender, né?	
96	21:14	Daniel: Professora, mas o que acontece é teoria, (<i>inaudível</i>) o que seria mais simples, e se a pessoa discorda dela, ela vai tentar provar que a outra tá errada... (<i>inaudível</i>)	
97	21:25	Carla: Mas depende... uma das, uma das, assim, uma das principais assim contribuições.... porque Newton ficou assim conhecido, foi porque só ele (<i>inaudível</i>) é que só ele (<i>inaudível</i>) ondulatória, só ele, (<i>inaudível</i>) e na época entendeu? porque hoje tem vários, mas na época, o Huygens ele ... (<i>inaudível</i>)	<i>O gesto da aluna sugere que Huygens não teria conseguido sucesso.</i>
98	21:54	Professora: Mas eu acho que, eu acredito que na verdade nós não temos estudado todos, mas o Newton é que de alguma forma, porque ele fez experiências várias vezes, ele acabou montando um método, que se fortaleceu por causa do prestígio dele e tudo mais... e por tudo isso que eu to falando o trabalho dele foi mais aceito. (<i>comentário inaudível de aluna</i>) Mas ele conseguiu provar? (<i>Vários alunos manifestam-se. Inaudível</i>)	<i>Alguns alunos ainda se mostram dispersos mas a turma se mostra interessada, de modo geral.</i>
99	22:18	Elio: Professora!...	<i>Ruídos do lado de fora da sala.</i>
100	22:26	Elio: Professora, uma experiência tem um prazo de validade , enquanto não apresentar defeitos... uma incógnita, digamos assim, ele vai ser uma teoria considerada correta. Quando ele deixar de explicar algum fenômeno, como é o caso da luz, já vai ser colocado em dúvida. Um... Uma falha coloca em risco toda, todo o estudo.	<i>Classificação engraçada!</i>
101	22:51	Professora: Tá, então pegando o que o ... (<i>Pedro interrompe</i>)	<i>Ruídos.</i>
102	22: 55	Pedro: Uma teoria é válida até que se prove...	
103	23:01	Professora: Agora a gente ta, de alguma forma, fechando essa discussão, direcionando para a natureza da luz... Mas e a Ciência geral, pensando na química, na biologia, a Ciência como um todo, vocês acham que este episódio que está acontecendo aqui da... da natureza da luz, aconteceu só nesse, nesse estudo, ou no geral acontece isso, na Ciência como um todo?	
104	23:28		<i>Elio faz um comentário inaudível. O ruído do lado</i>

			<i>de fora da sala é intenso.</i>
105	24:01	Professora: Vocês conseguem chegar a alguma conclusão sobre isso que vocês tão dizendo? O... o Elio estava dizendo, é, entre aspas, que... é como se a teoria tivesse uma validade, porque enquanto ela não explicar tudo, todos os fenômenos, tem um ponto de interrogação nela, é isso? Mas vocês acham que chega... numa situação, em que uma teoria consegue explicar tudo?	
106	24:28	Vários alunos falam ao mesmo tempo. Inaudível. Elio: ... uma é considerada certa.	<i>Alguns alunos acenam que não com a cabeça, outros respondem um “não” com timidez. O ruído fora da sala aumenta, comprometendo o áudio.</i>
107	24:52	Elaine: Tem várias teorias, mas uma apresenta mais falhas que a outra, e qual apresentou menos falhas vai ser aceita...	
108	25:02	Pedro: Uma teoria que tem falhas ela não pode ser aceita... A gente não pode ir pelo menor erro, a gente tem que ver o acerto...	
109	25:09	Elaine: Ah, mas nenhuma é totalmente correta, então tem uma falha...	<i>Ruídos e risos da turma.</i>
110	25:21	Professora: Essas falhas aí... vamos dizer... essas respostas, na verdade o pesquisador ainda deixa em branco... Vocês têm isso como positivo ou negativo?	
111	25:37	Alunos: Positivo.	
112	25:38	Professora: Por quê?	
113	25:40	Pedro: Porque estimula a pesquisa pra alguém... pesquisar, pra... uma nova teoria... Elio: ...Assim, se a gente pegar um exemplo... a teoria corpuscular, ela é uma teoria boa, sim... até ela deixar de explicar os efeitos da refração e da reflexão... Ou seja, fora isso, ela é uma teoria boa... (Pequeno diálogo com a professora inaudível)	<i>Áudio comprometido pelo ruído ininterrupto vindo do lado de fora da sala.</i>
114	26:24	Professora: E essa, essa caminhada aí, né, ao longo do tempo, na pesquisa de determinados fenômenos, vários povos vão contribuindo com idéias, com teorias que vão caindo, vão sendo elaboradas outras... Essa construção do conhecimento, ela acaba tendo essas limitações ao longo do tempo... E o que vocês acham que isso acaba influenciando isso ao longo do tempo? Esse questionamento, esse vai-e-vem... a elaboração de uma teoria... ela cai por terra. O que vocês acham que vem influenciando isso ao longo do tempo? Vocês conseguem enxergar?	
115	27:17	(Alunos murmuram)	
116	27:27	Professora: Olha, ao longo do tempo, que nem na época dos gregos, eles estavam pensando só com a razão . Então tinha lá a teoria que a gente viu... dos tentáculos, eles pegam outro e o outro falava que não, que eram, né, partículas muito pequenininhas, que saíam até o objeto... os chineses, os árabes... Cada povo, com a sua cultura, em um determinado momento da história, aí, foi dando as	

		suas contribuições e nenhuma delas foi uma contribuição fechada, que já respondia todas as dúvidas. E isso foi acontecendo ao longo do tempo. Então eu queria saber de vocês assim, o que vocês acham que acaba estimulando esse crescimento do conhecimento, essa construção do conhecimento. Que fatores vocês acham que acabam influenciando?	
117	28:20	<i>(Áudio comprometido por ruídos intensos dentro e fora da sala. Comentário do Pedro e da Aluna Elaine inaudíveis).</i>	
118	28:45	Professora: Vocês acham que a cultura do povo influencia? E o que mais? Olha! Curiosidade levantada aqui... que não aceito a versão que o outro colocou, então eu vou procurar uma outra saída. A cultura do povo. O que mais?	
119	29:03	Aluna: O avanço da tecnologia.	
120	29:09	Professora: O avanço da tecnologia ao longo do tempo, né, então, eh, vamos pensar aqui que na época do Newton que ele tava colocando método científico, de fazer os experimentos várias vezes, e mudar as variáveis. Lembram que eu falei que ele mudava o tamanho do orifício, mudava a distância e observava... ele ia estudando cada mudança para poder chegar onde ele queria. Então essa outra maneira de estudar os fenômenos também foi mudando ao longo do tempo, isso também influenciou, principalmente com o avanço da tecnologia. Que mais? Alguém tem mais alguma coisa? <i>(ruídos, tosse).</i>	
121	29:50	Professora: Bom, então vamos em frente. Oh, eu vou ler a atividade três aqui, para a gente definir o que nós vamos ver amanhã. Então depois a gente começa a ler o texto, tá?. Então, ó, atividade três: Imaginem que nós estamos no início do século dezoito. Então amanhã, o pessoal do debate vai tá no início ao século dezoito, tá? Vamos simular um debate, que poderia ter ocorrido entre o grupo que defendia a corpuscular e entre o grupo que defendia a ondulatória. Um deles vai perguntar da teoria do Huygens e o outro defendia a teoria corpuscular do Newton. Uma parte da classe será o júri entre os grupos. Cada grupo terá 15 minutos para expor as suas idéias, argumentando a favor da sua teoria, tá gente? Então, para começar o debate não é atacar o outro, mas é defender a sua idéia.	
122	30:56	Pedro: Ah, mas aí depois vai poder atacar...	
123	30:57	Professora: Aí depois critica a teoria rival. Aí a nova exposição dos grupos, cada um tem 10 minutos para a réplica, ou seja, para defender a sua história, a sua teoria, tá? Depois disso o júri vai se reunir... e vai argumentar porque escolher tal teoria. Então a defesa, a argumentação dos rivais vai esquentar bastante, tá? Os grupos podem utilizar o material das aulas passadas, mais o texto 5 e 6 para argumentação. Mas tem que lembrar que as teorias que aceitamos atualmente e os recursos atuais não podem ser usados como argumento. Então, falar do efeito fotoelétrico, da validade das partículas, isso não pode ser usado, tá? Lembrem que vocês estão no século dezoito, tá?	<i>A turma se mostra interessada em ouvir o regulamento do debate.</i>
124	32:03	Professora: Vamos levar em conta aqui somente as considerações relativas à natureza da luz. Não é possível neste momento discutir outros aspectos das teorias, dos experimentos e suas conseqüências. Então, alguma dúvida de como o debate vai acontecer amanhã?	
125	32:21	Aluna: Professora, os grupos podem ter duas opiniões diferentes?	
126	32:24	Professora: Ah, não. Uma por grupo, só.	

127	32:26	<i>(Conversas sobrepostas, inaudível).</i>	
128	32:37	Professora: Se entre o próprio júri tiver alguma divergência <i>(alunos falando ao mesmo tempo)</i> . Você já está achando que o juiz não vai chegar a um consenso... <i>(conversas)</i> .	
129	32:50	Professora: Bom, então vamos lá. Todo mundo com o texto 5 na mão <i>(ruídos)</i> . Vamos elevar um pouquinho a voz aí, porque, por causa do barulho da sala ao lado, tá?	
130	33:09	Pedro: Texto 5 - O estudo do éter de Huygens. Durante a década de 1690, ficava em evidência a teoria ...	
131	34:08	Professora: Tá, antes de continuar, o que que vocês acham dessa pergunta... Será que os argumentos, puramente, puramente experimentais, ou seja, será que os argumentos baseados só nos experimentos, que fizeram a balança pender para um dos lados?	
132	34:27	Alunos: Não...	
133	34:28	Professora: Vocês acham que não? <i>(ruídos)</i> . Tem influência de mais o que?	
134	34:37	<i>Alunos falam todos juntos. Discutem pontos de vista.</i>	<i>Áudio comprometido.</i>
135	34:56	<i>Pedro continua o texto.</i>	
136	36:57	Professora: Vocês estão vendo que neste parágrafo o Huygens tá defendendo a teoria dele, então na verdade esses textos estão dando apoio aí de argumentos para o pessoal da ondulatória aí... tá? Segue...	
137	37:22		<i>Pedro continua a leitura.</i>
138	38:47	Professora: Olha, pessoal, legal, tá? Então, estão vendo a teoria do Huygens, mas tinha outros filósofos que apoiavam ele. Ele não estava sozinho... certo? Quem quer ler? Quem quer, gente... voluntários! Pra descansar o Pedro...	<i>Alunos demoram a se manifestar para a leitura.</i>
139	39:00		<i>Aluna recomeça o texto.</i>
140	42:14	Professora: Espera só um ou pouquinho. Lembra, gente, que a gente estudou o ano passado, em óptica, que a gente estudava a comparação das sombras, né, que a gente fazia exercícios, aqui... que aqui estava a luz do Sol, e que aqui estava a sombra, né, os raios de luz, incidindo, e a gente resolvia exercícios por comparação aqui com os dois triângulos? Então pro Newton, se a luz fosse onda, não teria sombra, porque as ondas não batem nos obstáculos, elas não mudam de direção e não vão preenchendo todo o caminho? Então essa área que seria a sombra, em algum momento teria ondas de luz, preenchendo esse espaço aqui que seria o espaço da sombra. Então, para ele entender que a luz seria onda, então não haveria sombra na Terra, em nenhum momento. Então todos os espaços seriam preenchidos pela luz, tá? Segue, tá. Outra pessoa, outro voluntário...	
141	43:46		<i>Outro aluno reinicia a leitura.</i>
142	47:28	Professora: Eh... eu sei que vocês devem estar, assim, montando os seus argumentos, vocês devem estar querendo se preparar para o debate. Mas, mas eu queria dizer o seguinte. A ondulatória e a corpuscular, está precisando de algum reforço, de alguma dúvida, para poder ter argumentos para amanhã? Como é que vocês são? <i>(A professora tenta sanar dúvidas e ouvir alunos individualmente.)</i>	

		<i>A dispersão e o som que vem do lado de fora da sala fazem com que parte do diálogo fique inaudível)</i>	
143	48:30	Elaine: Professora, esses corpúsculos... são matéria? Mas essa matéria vem de onde... da luz...?	<i>Aluna volta a questionar a materialidade da luz.</i>
144	48:40	Professora: <i>(Respondendo dúvida da aluna)</i> Isso, lembra no PowerPoint ontem, que tinha o solzinho? Então o Sol, pensando na luz do Sol, de forma mais geral que abrange a Terra inteira... ela está emanando milhares e milhares de partículas, que são a luz, e que chegam aqui, até a Terra, vão batendo nos objetos, vão se refletindo, vão refratando nos objetos transparentes... Mas esses corpúsculos vêm lá do Sol, viajam aí por todo o...	
145	49:15	<i>Risos, aluna acha graça.</i> Elaine: Por que a gente não sente?	
146	49:21	Professora: Você tem que lembrar que os átomos são muito pequenos... é o menor divisor da matéria. (...) Mas na idéia do Newton é isso: são corpúsculos vem de lá do Sol... em alta velocidade. ... em alta velocidade. Então eles vem em alta velocidade... essa é a teoria corpuscular... Elaine: Ah.... não!....	<i>Aluna meneia a cabeça e sorri caçoando da idéia.</i>
147	49:47	Professora: Agora a teoria da ondulatória, diz que não... que entre o Sol e a Terra tem o éter, que seria uma matéria invisível como o ar, muito leve, muito sutil... a luz seria como uma onda, que vai caminhando no éter, até chegar aos nossos olhos. Mas precisa ter o éter, porque se não tiver o éter como é que a luz vai caminhar? A luz precisa de um meio e esse meio é o éter. Porque se a onda não tiver o meio, ela não caminha... Meio que forçosamente, quem defende a ondulatória, defende a existência do éter. <i>(Aluna faz um comentário inaudível)</i> A idéia é essa... Muito pequenininha, que o olho humano não consegue enxergar... lembra que a luz, aqui tá entrando luz, eu não to enxergando as partículas não, mas essa luz está batendo nas paredes, nos objetos, está refletindo, e eu estou enxergando os objetos... mas é matéria. Segundo o Newton (...)	<i>Poucos alunos estão acompanhando essa troca de idéias. Alguns alunos que participam do debate estão atentos.</i> <i>Aos poucos mais alunos começam a prestar a atenção.</i> <i>A professora começa a falar da teoria ondulatória.</i>
148	51:18	Professora: Péra só um pouquinho, eu queria só nesse momento, em que a gente acabou falando da idéia do éter , e quem vai defender a teoria ondulatória... as ondas, elas precisam de um meio para caminhar. Lembra daquela figura da perturbação de uma gota na superfície de água? Que a gota cai e forma aquelas ondas? É, a visão que o Huygens tinha é que aquela perturbação que se forma na superfície é a luz que vai chegando nos nossos olhos, só que o meio seria o éter. Então é preciso de um meio material... quer dizer, a luz não é matéria, é uma perturbação que caminha no meio material. Esse meio material seria o éter. Então a pergunta é a seguinte... Primeiro: Quem de vocês já... <i>(Acaba o arquivo gravado)</i>	<i>Todos os alunos visíveis no vídeo estão prestando atenção.</i>

12/9/2007 – Aulas 7 e 8			
Arquivo III: Tempo total = 8 min e 30 s			
Turno	Tempo	Falas	Observações
149	00:00	Professora: Quem já tinha ouvido falar do éter... antes da gente começar a discussão... é, sem ser o material que vocês receberam pro curso... Antes, se antes já tinham ouvido falar do éter ou entendiam alguma coisa?	<i>Alunos respondem e professora continua fazendo perguntas. Há muitos ruídos.</i>
150	00:50	Professora: Bom ó, gente, o éter... vocês nunca tinham ouvido falar desse outro elemento, que preencheria todo o vazio... Fala... Oh, pessoal, eu quero escutar aí... Jade: Éter comercial, éter etílico ... substância...	<i>Ruídos.</i>
151	01:16	Professora: Ah, tá, mas como uma substância química, e não como um elemento da natureza, que estaria preenchendo todo o vazio...	<i>Jade concorda.</i>
152	01:23	<i>Comentário de aluna inaudível</i>	<i>Percebe-se que a dúvida se relaciona com a substância química éter.</i>
153	01:45	Professora: Mas alguém ficou com essa dúvida que seria o mesmo éter, ou não? <i>Professora vai até a carteira de uma aluna prestar algum esclarecimento.</i>	
154	02:01	Professora: É... uma outra pergunta que eu vou fazer para vocês. Oh, presta atenção, ó! Legal... tá vendo, ninguém tinha falado do éter ainda...	
155	02:10	A: Não do éter nesse sentido...	
156	02:11	Professora: Mas vocês lembram que ... quem foi o primeiro que falou no éter? O éter é antigo, hein, gente, foi o Aristóteles, hein. O Aristóteles falava que era um meio... e foi ele que levantou a polêmica do éter lá em 400, 300 antes de Cristo. Então a trajetória do éter vem caminhando aí. A minha outra pergunta é a seguinte: Os atomistas, eles defendiam que o espaço era totalmente vazio, que isso era possível, como se num lugar, como se fosse assim, como numa cápsula de vidro, você conseguisse sugar o ar de lá de dentro e deixar o vazio completo lá. Ou seja, o nada. A primeira pergunta: vocês acham que isso é possível? Eu sugo o ar de lá e lá é o vazio absoluto. Lá não tem mais nada...? Sim ou não?	
157	03:13	Alunos: Não...	<i>Alunos discutem entre si a questão levantada.</i>
158	03:14	Professora: Por quê?	
159	03:15	<i>Alunos confabulam.</i>	<i>Parece que alguns não acreditam no vazio absoluto.</i>
160	03:17	Professora: O que que vocês acham que fica lá dentro?... Alunas: O éter. Professora: Então vocês estão apostando na idéia do éter? Aluna Daniele: Não, como você pode provar que o éter existe?	<i>Daniele participa do teatro.</i>
161	03:30	<i>Comentários inaudíveis entre alunas Daniele, Erika e Gisele.</i>	<i>Parece que já há uma separação entre quem</i>

		<i>Alunas riem e Daniel faz comentário inaudível, parece questionar o vácuo.</i>	<i>defenderá a corpuscular e quem defenderá a ondulatória.</i>
162	03:59	Professora: Oh, então, presta atenção! Presta atenção no que eu vou falar: Imagine isso, uma cápsula de vidro, onde eu suguei o que tinha lá, com uma bomba de vácuo, certo? Então o som, o som ele não vai se propagar dentro da cápsula, porque o som precisa do ar para se propagar, porque eu suguei com a bomba de vácuo então o som não vai se propagar dentro da cápsula de vidro, certo? A cápsula de vidro está sem o ar, não tem o ar, eu tirei o ar, então o som precisa do ar para se propagar então lá dentro o som não vai se propagar. Mas a gente não consegue ver através dessa cápsula de vidro?	
163	04:37	Alunos: Sim!	
164	04:38	Professora: E segundo a teoria ondulatória, a luz precisa de um meio para caminhar, que seria... (<i>alunos: o éter.</i>) Professora: Então eu queria a explicação: pensando na corpuscular e pensando na ondulatória, como é que eu consigo ver as paredes da cápsula, se lá dentro não tem mais nada?	
165	05:00	<i>Vários falam ao mesmo tempo.</i>	<i>Alguns parecem responder sobre o éter.</i>
166	05:06	Professora: Porque o som não vai se propagar, eu tirei o ar (<i>ruídos</i>). Mas eu continuo enxergando as paredes da cápsula de vidro lá dentro... Qual teoria que explica melhor isso? A corpuscular ou a ondulatória?	
167	05:21	<i>Alunos falam juntos. Perguntam, professora responde algo rápido. Inaudível.</i>	
168	05:43	Professora: Ó, cenas dos próximos capítulos... Agora é o seguinte: agora eu queria que, é... o pessoal que vai defender a corpuscular, ficasse mais no canto, o pessoal da ondulatória ficasse no outro, que eu vou dar uma passadinha, para eu ver (inaudível)... e os jurados também vão estar pensando no que vão perguntar para o pessoal da ondulatória ...	<i>Alunos se organizam para realização da atividade.</i>
169	06:07	<i>Falas sobrepostas. Professora volta a orientar que os jurados devem se preparar para as perguntas.</i>	<i>O ruídos de vozes e das cadeiras é intenso. A turma demora a se organizar.</i>
170	06:20	Alunos começam a se movimentar.	
171	06:59	Professora: Cadê uma divisão dos grupos aí? Ó... corpuscular pra cá... (<i>Ruídos e movimentação. Falas sobrepostas</i>) (<i>Acaba o arquivo gravado</i>)	<i>A classe começa a se dividir em grupos.</i>

12/9/2007 – Aulas 7 e 8			
Arquivo IV: Tempo total = 3 min e 15 s			
Turno	Tempo	Falas	Observações
172	00:00	Continuação da divisão dos grupos. Alguns alunos discutem as teorias em pé no meio da sala.	<i>Alguns alunos conversam, em pé,</i>

			<i>calorosamente, enquanto outros nem se movimentam para a formação dos grupos.</i>
173	01:41	Professora: Pessoal, todo mundo entregou o questionário de ontem? Então entrega...	<i>Continuam as conversas sobrepostas.</i>
174	02:21	<i>O grupo que discutia vem para o lado direito da sala. Eles se aproximam da professora e da pesquisadora e começam a perguntar sobre as teorias. Aluna chama a professora. (Acaba o arquivo gravado)</i>	

12/9/2007 – Aulas 7 e 8			
Arquivo V: Tempo total = 11 min e 54 s			
Turno	Tempo	Falas	Observações
175	00:13	Professora: Pessoal, olha, quem vai ser do juri, e não é nem de um grupo nem de outro, formula questões pra perguntar pra esse pessoal e como é que eles vão responder essas questões...	<i>Conversas em todos os grupos divididos pela sala. Elaine chama a professora para esclarecer dúvida.</i>
176	01:25		<i>Alunos do lado direito da sala chamam a professora.</i>
177	02:30		<i>Aluna chamando a professora.</i>
178	03:15		<i>Grupo que estava de pé se dispersa.</i>
179	03:30	<i>Grupos trabalhando na atividade.</i>	<i>Neste momento, vê-se claramente os grupos formados, alguns discutindo a atividade proposta, tirando dúvidas com a professora.</i>
180	07:20	<i>Continua discussão sobre trabalho.</i>	<i>A câmera vai passando pela sala, mostrando alunos bem compenetrados e outros totalmente dispersos.</i>
181	10:30		<i>A dispersão parece aumentar e poucos alunos</i>

			<i>continuam concentrados na atividade.</i>
182	11:30		<i>Alunos começam a levantar. Parece que acabou a aula.</i>

13/9/2007 – Aulas 9 e 10			
Arquivo I: Tempo total = 53 min			
Turno	Tempo	Falas	Observações
1	00:01	Professora: Então, nós já vamos começar... eu... faltou bastante gente hoje, né... mas, enfim... Então só lembrando. Vai ser 15 minutos, um grupo defende a sua teoria e depois rebate porque que não aceita a outra. Depois o grupo se cala eu passo pra outro grupo. A platéia tem que ficar em silêncio absoluto, de novo, por favor, tira aqueles radinhos do ouvido, celular desliga... Porque depois eles vão ter que ficar em silêncio e vocês vão ter que... Ah, queremos fazer uma pergunta do crepúsculo, tal... e no final vocês vão ter que dizer... vocês vão chegar num consenso e dizer "olha, nós aceitamos melhor tal teoria", mas não é assim ó "Aceito e tal", vocês vão ter que dizer "Eu aceito por causa disso, disso e disso..., me convenceu melhor", ta?	
2	01:10	Aluno: Professora, e se nenhuma convenceu?	
3	01:12	Professora: Ó, vocês tem que pensar que vocês tão no início do século XVIII, tá, são as pesquisas aí do momento e alguma tem que ser a mais aceitável. Vamos jogar, aí no par ou ímpar pra ver quem é o primeiro grupo. Vai...	
4	01:20	Tarik: A gente tinha decidido que eles seriam o primeiro grupo.	
5	01:22	Elio: Na verdade, os dois grupos queriam falar da teoria corpuscular inicialmente. Eles ficaram com a teoria, a gente decide quando a gente começa.	<i>Confusão de vozes, discussão.</i>
6	01:30	Professora: Quem decide sou eu, pronto. Par, ímpar.	<i>Confusão de vozes, discussão.</i>
7	01:33	Aluna: Professora, a gente ganhou, eles começam. Professora: Quem ganha começa... ué. Vocês estão disputando quem vai ficar pra depois? Aluna: Quem ganha, escolhe. Professora: Vamos decidir isso...	<i>Alunos se manifestam e jogam par ou ímpar. Levantam uma polêmica sobre o jogo. A professora decide por um dos grupos.</i>
8	02:48	Professora: Vamos fazer o seguinte: papelzinho, rapidinho... vamos sortear aqui. Aluno da platéia: Pode tirar na moedinha?.. Professora: Não... vai ser sorteio. Eu vou sortear quem vai começar, certo? Então...	<i>Professora começa a providenciar o sorteio. Comentários dispersos</i>
9	03:28	Professora: Pronto, Quem vai sortear é alguém da platéia.	<i>Alunos se prontificam para sortear o grupo. Professora</i>

			<i>escolhe um aluno para tirar o papel.</i>
10	03:44	Professora: Corpuscular. Carla: Professora, eu ouvi ele me chamando de trouxa!	<i>Alguns alunos lamentam, outros comemoram. Clima agitado, tenso.</i>
11	03:55	Pedro da platéia: Ordem no tribunal! Professora: Pessoal, vou cronometrar os seus quinze minutos. São onze horas, onze e quinze vocês terminam a defesa e entra (<i>inaudível</i>). Então, tá valendo! (<i>falas remanescentes vão diminuindo</i>)	<i>Vai acabando o burburinho e o clima tenso.</i>
12	04:20	Tarik: Vamos falar sobre a teoria corpuscular. De Newton por acaso! Newton dizia é, que a luz era feita de pequenos corpos... corpúsculos, que eram emanados dos objetos luminosos. É... esses objetos... é... esses pequenos corpúsculos incidiam sobre os objetos e... se refletem e, causando o efeito que proporciona a visão.	<i>Aluno faz expressão confiante sugerindo a autoridade de Newton</i>
13	04:35	Carla: É... uma das... assim, uma das coisas que ele enfatiza também é que apesar de serem minúsculos corpúsculos, eles tem o poder de se atrair ou de se repelir, portanto, não são todas as vezes que ele bate e reflete... ele bate assim (<i>Pausa – alunos se organizam</i>)	<i>Aluna faz gesto de colisão com as mãos.</i>
14	05:20	Aluna 1: É... Newton também estudou mais a fundo a luz, ele estudou sobre as cores, sobre a ótica, é... ele estudou muito sobre o prisma também. Ele foi um dos primeiros a colocar toda essa teoria no papel, que ele foi uma das pessoas a tá usando essas teorias, pra tá realmente se voltando pra sociedade e não tá simplesmente falando. Aluna 2: ... vários experimentos.	
15	06:17	Professora: Vocês teriam mais argumentos pra tá justificando porque a teoria corpuscular é boa? (Pausa) Pra mostrar o que é a luz? Só pra dar aí uma direção...	
16	06:30	Aluna 1: Acho que... assim, uma das principais, seria que, assim, ele realmente provou . Ele não supôs a existência de nada pra tá falando sobre a luz. Ele colocou no papel e falou, ele mostrou que realmente tem como. Ele não supôs a existência de nada pra aquilo ocorrer, pra aquilo tá ocorrendo. É um do principais pontos, assim...	<i>Alunos do grupo confabulam.</i>
17	07:01	(<i>Grupo da corpuscular pára de expor. Ficam conversando baixo entre si. Expressões sorridentes, encabuladas.</i>) Pedro: Podemos passar pro outro grupo?	
18	07:17	Professora: Agora, então, vocês já querem entrar numa justificativa do porque vocês não aceitam a ondulatória? Aluna do grupo: não, agora não. Professora: Porque se vocês estão defendendo a corpuscular é porque de alguma forma, é... a ondulatória é... vocês não aceitam. Então teria alguma coisa da ondulatória que vocês já queriam expor, alguma idéia que vocês não aceitam?	<i>Alunas do grupo não querem apresentar argumentos.</i>
19	07:36	Tarik: É... a gente não aceita a teoria ondulatória por vários motivos. Assim, é... na teoria ondulatória, eles dizem assim que é o movimento que ocorria numa matéria muito sutil. Quando ele diz assim, “material muito sutil” eu entendo como se fossem corpúsculos. Então, ele estaria se referindo também a uma parte da	

		<p>teoria de Newton. E ele... e a teoria ondulatória... caso Hyugens (não consigo falar) ... ele rebate essa teoria de corpúsculos. Então, porque ele fez uma teoria onde citava corpúsculos?</p> <p>Daniele: ...matéria sutil?</p> <p>Carla: Ou é matéria ou não é.</p> <p>Tarik: Ou é matéria ou não é.</p> <p>Carla: A gente não entende como... ou a gente não aceita o fato de falar que matéria sutil é uma coisa que não dá pra ver. Se é matéria é matéria.</p> <p>Tarik: Se é matéria, não importa... é sutil mas é matéria do mesmo jeito.</p>	
20	08:47	<p>Tarik: Se a... se a luz fosse onda, ela não produziria sombra. Ela faria igual o som mesmo, ela contornaria objetos, poderia ver através dos objetos, ela... 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 o calor.</p> <p>Carla: E, ... e assim, que tanto Huygens quanto o Newton achavam que a luz era assim, meio que um fenômeno como o fogo. Mas como que vocês explicam o fato da luz esquentar mas o som não?</p> <p>Daniele: Porque eles comparam a luz com o som.</p> <p>Tarik: Ele diz que a luz, ela age como o som. Vamos citar um 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 em pontos, na mesma velocidade, de forma circular. Se você ligar uma lanterna, ela não vai fazer isso. Ela é um feixe... reto. Ela não vai se comportar como onda.</p> <p>Daniele: <i>Colocação breve e inaudível.</i></p>	<i>Interessante esse argumento trazido pelo grupo.</i>
21	10:25	<p>Tarik: É... (pausa) É só isso. (pausa) Por enquanto é só isso.</p> <p>Daniele: Por enquanto, por enquanto...</p>	<i>Alunos lêem o texto e confabulam</i>
22	10:48	<p>Professora: Então é ... eles disseram que por enquanto eles já argumentaram o que eles queriam, então agora eu passo a vez para o grupo das ondas.</p>	
23	10:54	<p>Giovanna: Bom... posso começar?</p> <p>Prof: Pode. Só lembrando que primeiro vocês vão justificar porque que vocês são mais adeptos, digamos assim, a teoria ondulatória e depois vocês vão dizer o que que vocês não aceitam da corpuscular, tá?</p>	
24	11:53	<p>Giovanna: Bem, então, é... Huygens, né, ele propôs uma teoria bem diferente da de Newton. Ele achava que a luz se deslocava no espaço, sobre a forma de ondas e não como 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 aconteceria com as partículas. É... então, por exemplo... ela vai citar aqui um exemplo bem interessante.</p>	<i>Aluna lê argumentação e levanta os olhos encarando o júri e demonstrando segurança. Alunos confabulam antes de começar a explanação.</i>
25	11:53	<p>Talita: É... a gente pegou essa figura aqui que é bem pequenininha, mas acho que vai dar pra ver. Se uma pessoa tivesse num palco, feito de luz vindo de lugares diferentes, eles iriam se... eles iriam passar sem se cruzar, sem se bater. Iam continuar exercendo sua função individual, independente da outra luz.</p>	<i>Alunos da platéia escutam atentos a explanação.</i>

		<p>Giovanna: Pode falar...</p> <p>Erika: O Newton, ele foi infeliz na hora que ele deu esse comentário que a luz não poderia ser uma onda no éter, porque se ela fosse os obstáculos se... é... se (Gisele ajuda) se contornariam.</p> <p>Giovanna: É... ele foi infeliz nessa resposta aí porque primeiro: apesar de ambas as luzes se propagarem em forma de onda, eles se diferem em três propriedades fundamentais: sua origem, seu meio de propagação e seu modo de propagação. Ou seja, a luz 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 se propaga pelo éter que penetra toda a matéria livremente. Finalmente, o som é propagado através do ar que consiste em partículas que não estão em contato, durante a colisão, enquanto a luz é propagada pelo éter que consiste de partículas em contato.</p>	
26	13:27	<p>Elio: 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, mas da mesma forma que você não prova que existe, você também não prova que não existe. O que acontece? É... ele seria uma espécie de ar, porém, bem leve, certo? E o que significa éter? Movimento contínuo. Seria algo que nunca pára de se movimentar. Ou seja, ahn... Aristóteles defendia que a natureza abomina o vácuo. Atacar a teoria corpuscular seria atacar diretamente Aristóteles, no caso do vácuo. Não sei... vocês discordam dele? Aí... todos sabemos que, até o século XVII, muito já se fez pela Ciência, porém, algumas incógnitas ficam. O éter responde muitas dessas incógnitas. No caso de Newton, ele ataca, se o éter existisse, inicialmente, que os planetas teriam um choque com esse éter e acabariam caindo em direção ao Sol. Porém, o que acontece... ele não causa atrito, ele é muito leve.</p> <p>(Talita e Giovanna confabulam. Giovanna sinaliza para que aluna Erika continue).</p>	<p><i>Verificar de onde o aluno pode ter concluído isso.</i></p> <p><i>Elio estava “defendendo” a corpuscular?</i></p> <p><i>Alunas do grupo fazem expressão de terem percebido o “furo”.</i></p> <p><i>Parece que Giovanna está liderando a conduta do grupo.</i></p>
27	14:43	<p>Erika: No século XVIII, a partir das experiências de Young e Fresnel sobre as interferências e as medidas de velocidade da luz (<i>interrompe a leitura e faz comentário inaudível com a classe</i>) demonstraram a existência de fenômenos ópticos e nos quais a teoria corpuscular não se aplicava, mas sim uma teoria ondulatória. Young conseguiu medir o comprimento de uma onda e Fresnel mostrou que a propagação da luz nos efeitos de duração são explicados...</p>	
28	15:34	<p>Professora: É... uma pausa. Uma pausa. É... infelizmente, essa argumentação do Fresnel, ela aconteceu após, então nós não podemos usar...</p> <p>Aluno do Júri: ...retira dos autos.</p> <p>Professora: Retira dos autos...(risos). Infelizmente.</p> <p>Aluno: Mas qual seria o comentário, é porque tá sendo lido...</p> <p>Professora: Não é só que...</p> <p>Elio: Maxwell pode falar?</p> <p>Professora: Maxwell também não. Porque isso são informações do final do século XIX, né, e vocês tão no início do século XVIII. É... retira dos autos essa parte.</p>	
29	16:03	<p>Erika: Por volta de 1801, a comunidade científica ficou convencida que a luz era realmente onda, graças à experiência realizada pelo físico Young. Bom, aí ele fez uma simples experiência, né, que enfim... eu não vou falar muito porque é muito complicada. (pausa, aluna começa a ler) É... então a teoria corpuscular explicava, por</p>	<p><i>Alunas do grupo não percebem que continuam usando</i></p>

		exemplo, a formação de sombras e imagens, enfim... Nessa época, Isaac Newton aceitava as duas teorias, detalhe, tanto a corpuscular como a ondulatória. Depois, com o passar do tempo, Newton enveredou para a teoria corpuscular, provavelmente devido... né... a dificuldade aí, né...	<i>argumento do século XIX.</i>
30	16:54	<i>Pausa, alunos do grupo confabulam e manifestam “fim” por enquanto.</i>	
31	17:10	Professora: Então, mas, assim... vocês querem comentar alguma coisa do porque que vocês não aceitam a corpuscular?	
32	17:23	Talita: ah, mas aí... Giovanna: Aí pode deixar pra réplica. Elio: Enfim, bom, posso ... só um comentário inicial.	
33	17:27	Professora: Bom, vocês já podem colocar porque aí eles já vão ter a réplica deles (<i>inaudível</i>) . Seria legal você colocar porque daí eles vão ter o tempo pra se defender.	
34	17:38	Elio: Bom, fica... quanto à teoria corpuscular, é 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 ele divida o espaço com o ar, ou seja, onde há luz não tem ar? Que que eu tô respirando? Ahn... esse eu acredito que seja o maior problema da teoria corpuscular. Inicialmente é isso.	
35	18:25	Professora: É... alguém mais do grupo? Não? Então... lembrando que quando um grupo joga uma questão o outro grupo tem que pensar o que vai responder, então, o W, o E... jogou aí uma questão, não é? Se a luz é um corpo e o ar também, como é que a luz chegando vai empurrar o ar... Bom, então, vocês tem essa questão aí pra ficar pensando um pouquinho e tentar defender a idéia de vocês. Tarik (grupo corpuscular): A gente responde primeiro ou eles respondem primeiro? Professora: Não, vocês vão... vocês não deixaram pergunta no ar pra eles, né? Aí vocês respondem depois vocês jogam a pergunta pra eles.	<i>Grupo da ondulatória sinaliza que não há mais contra-argumentações. Alunos do grupo da corpuscular conversam baixo, entre si.</i>
36	19:00	Carla: Bom, é... então, em relação a dois corpos ocupando um só lugar, a gente enfatizou logo na primeira vez que a gente tava falando que os átomos tem, assim, o poder de estar se repelindo ou se juntando. Então, independente disso ou não, eles podem tá, sim, ocupando o mesmo lugar, como ah..... as ondas não podem tá fazendo, porque segundo o Huygens eles se partem, certo?	
37	19:25	Jade da platéia: Você acha que dois corpos podem ocupar o mesmo lugar? Carla: Sim. Em se tratando da luz, sim. Porque a partir do momento que os átomos podem se juntar, eles podem ir no mesmo caminho, independente de ser matérias diferentes ou não. <i>(burburinho dos alunos)</i>	<i>Jade foi a primeira a se manifestar questionando a argumentação.</i>
38	19:45	Tarik: A gente pode fazer a nossa pergunta? Professora: Agora vamos... vocês querem jogar alguma pergunta pra eles?	
39	19:53	Tarik: Assim professora, é, eles dizem, a teoria do ... não sei falar o nome desse cara, Huygens, ela se baseia no éter. Se a explicação da luz veio do éter, que o E mesmo disse que não sabe se existe, como que ele pode basear uma teoria se ele não sabe. O que que é o éter? O que que é o éter, qual a finalidade do éter e alguém pode me provar que esse éter existe?	

40	20:17	Elio: Bom, primeiramente, só sobre, voltando a... o que acontece, sobre a coisa que a Carla falou de dois corpos ocuparem o mesmo espaço, eu acredito que tenha sido Newton quem disse isso “dois corpos não ocupam o mesmo espaço”, jamais. Newton diz uma coisa para a mecânica, e outra pra (<i>inaudível</i>), ou seja, e uma pra luz? Como assim, uma contradiz a outra? Ou seja, se a luz tiver correta, dois corpos então ocupam o mesmo espaço.	<i>O outro grupo inicia a réplica. Enquanto Elio fala, aluna Erika faz comentários ajudando a argumentar.</i>
41	20:51	Talita: E Newton não colocou lá “observação: não vale sobre a luz”.	
42	20:56	Tarik: Você poderia, por favor, responder a minha pergunta pra depois argumentar?	<i>Embora em tom formal, não há hostilidade.</i>
43	20:58	<i>Tarik e Elio trocam formalmente palavras de cobrança e de ordem.</i>	<i>Tarik sorri, demonstrando saber que esse clima faz parte do debate.</i>
44	21:32	Elio: Sobre o éter. Do mesmo jeito, a Carla fez uma suposição, que os corpos se juntam no ar, a luz andando junto com o ar. Ah, então não tem ar no escuro? Ou não tem luz onde não tem ar? Espera aí, vocês dizem sobre o vácuo, já que não acreditam no éter. Então, como que a luz da estrela chega até a Terra?	<i>Elio parece desmontar grupo da corpuscular.</i>
45	21:40	Carla: Você que tá me perguntando?	
46	21:43	Tarik: Antes de você fazer essa pergunta, você poderia primeiro responder a pergunta que foi feita? Novamente?	<i>O outro grupo faz uma interrupção. Risos e descontração da turma.</i>
47	21:48	Elio: Bom, o éter... se fala de éter desde a Idade Antiga, os gregos já falavam do éter como vimos há duas aulas, creio, já como início das explicações sobre a luz. O éter, também, foi importante, ainda, né, pra obra de Pitágoras. Pitágoras, que acreditava no éter. É uma discussão sim polêmica, é. Porém, como eu disse, você não vê o ar, você, também provavelmente não vai poder sentir o ar.	<i>Comentário inesperado sobre Pitágoras. Não há menção à ele no material do aluno</i>
48	22:25	<i>(o Elio é interrompido por comentários do Tarik do outro grupo, e responde enfaticamente, meio que “dando uma bronca”)</i>	
49	22:26	Elio: Eu posso continuar falando? (<i>alunos riem</i>) Daniele: Depois dessa, pode né!!! (<i>risos</i>)	<i>A sala toda se agita, alguns dizem: calma!, outros fazem comentários jocosos.</i>
50	22:42	Elio: Desculpa Tarik... Voltando. Sobre o éter, pode-se dizer também que seria o caso, como a maioria aqui acredita em Deus, dogma que é o que a gente acredita, pode estar sendo um dogma? Uma explicação pra algo que não tem explicação? Pode. Porém, o que acontece, Newton também caiu nesse erro, Newton também chegou a acreditar no éter. Os alunos que fazem teatro, que estão no júri, sabem disso.	<i>Elio sorrindo se desculpa com o colega.</i>
51	23:20	Pedro do júri: Sim, mas o que é o éter? <i>Elio começa a responder, mas aluna Talita interrompe.</i>	<i>Alunos riem. Apesar do clima ser de bastante comprometimento e seriedade</i>

			<i>com relação ao assunto, os alunos mostram descontração e bom humor.</i>
52	23:21	Talita: O éter é uma matéria sutil e imponderável. Que ele atravessa como se fosse o vento, passando nos bosques, por exemplo. Ele atravessa toda a matéria, então ele não tem, acho que não tem... acho que densidade... acho que é isso.	
53	23:36	Elio: O éter é considerado o quinto elemento. Seria, bom, um exemplo bem simples, imaginem como se fosse um ar bem menos denso. Ele ocupa todos os espaços vagos, certo? Porém ele não causa atrito. É uma matéria... como eu poderia dizer (<i>pausa</i>) teoricamente eu poderia dizer que ela seria inútil. Não serve, além... (<i>Talita do grupo abaixa a cabeça fazendo sinal negativo e aparentando preocupação</i>) Elio: Ela tem, sim, a sua, sua utilidade, correto? Porém a utilidade principal que eu vejo é a propagação da luz.	
54	24:18	Aluna A do júri: Mas você falou que pode existir como não pode existir o éter. Então você também não acredita que existe?	
55	24:24	Elio: Eu, particularmente, acredito no éter. Eu não posso vir aqui e afirmar que o éter existe porque eu vou estar corrompendo o pensamento de vocês.	
56	24:28	Aluna do júri: E o que te leva a acreditar que o éter existe?	
57	24:29	Elio: Eu não acredito em vácuo. Pensa no nada, você consegue ver, imagina o nada! Vai na sua cabeça o nada?	
58	24:34	Talita : um lugar totalmente sem nada... Erika: um vácuo, sem nada... <i>Aluna na platéia faz comentário inaudível.</i>	<i>Alguns alunos se empolgam e alguns comentários se sobrepõem.</i>
59	24:38	Elio: <i>breve comentário inaudível</i>	
60	24:41	Aluna da platéia: Então é matéria, então é um corpo. Um corpo...	
61	24:46	Elio: Um corpo... O éter, ele é desprovido, ele é desprovido de matéria. <i>(Pedro do júri faz comentários inaudíveis)</i>	<i>Alunos do grupo da corpuscular parecem satisfeitos com a pressão no grupo rival.</i>
62	24:49	Aluno da platéia: Um lugar que não tem nada, então você tem que inventar alguma coisa pra colocar...	
63	24:50	Elio: Você pode provar que eu estou inventando a existência do éter? Aristóteles também... <i>(Falas sobrepostas inaudíveis)</i> <i>(Enquanto a sala ri e troca idéias os alunos do grupo da corpuscular trocam idéias)</i>	<i>Elio reage um tanto rudemente. A sala ri descontraída. Risos e descontração na classe. Dispersão.</i>
64	25:14	Elio: Você pode provar que ele não existe? <i>(falas sobrepostas: “ existe? Não existe, provar que existe...”)</i>	<i>Elio está sendo pressionado pelo júri.</i>
65	25:19	Aluno da platéia: Eu acho que você só pode dizer alguma coisa a partir do momento que você provar que ele existe.	<i>Alunos falam ao mesmo tempo.</i>

66	25:24	Elio: Quem sou eu pra provar que o éter existe? Sou Deus?	
67	25:27	Aluna do júri: O E, mas você tem que provar que ele existe sim (<i>inaudível</i>).	<i>O grupo da ondulatória demonstra tensão.</i>
68	25:29	Talita: Se nem os cientistas conseguem provar que existe a gente vai conseguir provar? (<i>Muitos alunos falam ao mesmo tempo. Grupo da corpuscular fala e gesticula, mas falas inaudíveis</i>)	<i>Apesar do riso e da descontração alunos demonstram desconforto com o tema.</i>
69	25:42	Aluno do júri: Nós não queremos que vocês provem, nós queremos que vocês exponham as idéias dos cientistas... Pedro do júri: <i>Inaudível</i> as idéias <i>Inaudível</i> achar uma matéria que não ...	<i>Alunos inquietos, manifestações, falas sobrepostas</i>
70	25:53	Aluna da platéia: E, mas você tem que provar que ele existe, se você está defendendo... (falas sobrepostas)	
71	25:55	Elio: O que acontece... Quantos de vocês acreditam em Deus? (<i>Alunos retrucam, falas sobrepostas. Inaudível</i>)	
72	26:09	Carla: Agora ele está se metendo em dogma da pessoa, cada um tem a sua religião. Eu acho que o que a gente tá discutindo cientificamente sem cair nesses... Pedro do júri: Eu acho que religião não vem ao caso. Carla: isso não vem ao caso.	<i>Alunos inquietos, clima tenso.</i>
73	26:12	<i>Alunos falam ao mesmo tempo.</i>	
74	26:13	Jade do júri: Você poderia pegar esses cientistas que provavam... por exemplo, Huygens, e provar, tipo, o que que ele dizia, o que ele convencia as pessoas de dizer de forma que o éter existe. Isso que a gente quer que você fale. Não que você fale “eu não sou Deus pra provar que ele existe”... lógico que você não é, mas você está estudando sobre essa teoria então você tem que explicar essa teoria.	
75	26:39	Pedro do júri: Acho que assim, foi meio estranho você falar de matéria sem densidade, como pode ser uma matéria sem densidade? Elio: .. posso... Pedro do júri: ...se não é matéria densa, o que que é?	<i>Novos ruídos. Falas dispersas. Alunos falam ao mesmo tempo.</i>
76	26:58	Elio: Concorda que cada matéria tem como propriedade uma densidade. O ar não é tão denso quanto a água. Em falar nisso, Newton acreditava que a luz se propagava mais rápido na água do que no ar. Certo? É fato também. Porém, eu não disse que o éter é desprovido de matéria. Ele possui matéria, sim. Eu disse que ele tem uma densidade quase insignificante, correto? O que não produz atrito. Pedro do júri: Ahhh	<i>Parece que o Pedro ficou satisfeito com a explicação.</i>
77	27:30	Tarik: Professora, professora! Posso falar uma coisa? Professora: Pode... Tarik: É o seguinte. Você disse que ela é matéria também. Esse éter ... na teoria de... até o final da aula eu vou conseguir falar o nome dele... a teoria dele aí, diz que esse éter é matéria sutil, ainda é matéria. E... aqui tá dizendo que a luz é o movimento desse éter, é o movimento do éter. Então, como que a luz não é uma matéria?	
78	28:07	Elio: Ó, o que acontece... <i>Ivana do grupo fala baixo</i>	<i>Parece que os alunos ficaram satisfeitos com a</i>

		<p>Talita: fala Ivana! <i>Pedro do júri faz rápido comentário.</i></p> <p>Elio: Só uma coisa: o que é uma onda? Primeiro, acho que falta essa definição, mesmo que nos já estudamos. O que acontece: é uma perturbação que se propaga através do meio, correto? Esse meio que nós entendemos é o éter. Porém, o éter não tem a ver com a luz. Ele serve, sim, para se pro... para que a luz se propague. Porém o éter não é a luz, o éter sozinho... sem as ondas... não gera luz.</p>	<p><i>explicação de Elio.</i></p>
79	29:02	<p>Erika: Tá... o que é vácuo... existe vácuo? <i>Alunos perguntam sobre o vácuo.</i></p> <p>Professora: Vácuo é o vazio absoluto.</p> <p>Pedro do júri: ... é agora... <i>(inaudível)</i> <i>Alunos dos dois grupos e do júri falam juntos.</i></p>	<p><i>Falas questionando sobre o vácuo. Ruídos dispersos Parece que a explicação sobre éter deixou o grupo da corpuscular sem argumentos.</i></p>
80	29:46	<p>Tarik: Eu não vi nenhuma resposta sendo, das minhas perguntas sendo respondidas... <i>Falas sobrepostas. Tarik pressiona sobre o éter.</i></p>	<p><i>Tarik volta a pressionar o grupo da ondulatória.</i></p>
81	30:03	<p>Clarisse: Como que você quer que nós acreditamos da teoria do éter se nós não sabemos o que seria o éter?</p> <p>Tarik: Foi justamente o que eu falei...</p>	<p><i>Júri também cobra explicações. Mais falas sobrepostas.</i></p>
82	30:06	<p>Elio: Ó, eu vou tentar re-explicar o éter, pra todos. Provavelmente eu devia ter explicado com calma. Desculpa se eu omiti a explicação de éter. Novamente, o éter é sim constituído de matéria, correto? Porém ele tem uma densidade muito baixa, quase insignificante. Correto? Não se sabe ao certo se éter existe. Eu acredito, particularmente, eu acredito no éter. Não acredito no nada, fica um pouco difícil você imaginar “nada”. Newton também acreditava no éter. Porém, para Newton, o éter só existia no Universo, não... na atmosfera, digamos assim, da Terra pra lá. Uma explicação mais simples, correto? E que não interferia na luz. Porém, Huygens acreditava que o éter existia em todo o Universo, preenchendo seus espaços vazios. Correto? O éter, assim, éter na verdade significa o que sempre se movimenta. Vem das palavras gregas (?) sempre e (?) correr, ou seja, sempre corre. Ele sempre tá em movimento, movimento perpétuo. Não foi só Huygens e Newton que acreditavam no éter, desde a filosofia grega o éter já era comentado. Aristóteles, Pitágoras, pessoas muito importantes pra nossa época já acreditavam na existência do éter.</p>	<p><i>Provavelmente Elio pesquisou sobre o significado da palavra éter e sobre Pitágoras, pois essas informações não foram dada pelo curso.</i></p> <p><i>Enquanto o Elio explica, o grupo da corpuscular confabula. Suas expressões mudam de segurança para sutil preocupação.</i></p>
83	31:46	<p>Pedro do júri: Então o éter seria algo material, extremamente... Seria matéria só que extremamente não-densa?</p> <p>Elio: Isso.</p>	<p><i>Falas sobrepostas</i></p>
84	31:58	<p>Aluna da platéia: Como que eles descobriram a existência desse éter?</p> <p>Erika: Pra explicar o que eles não puderam explicar.</p> <p>Pedro do júri: <i>Comentário inaudível, mas o “clima” sugere que a explicação de E teria sido satisfatória.</i></p>	<p><i>Falas sobrepostas</i></p>

85	32:11	Elio: É... o que acontece... Se o éter surge pra explicar o que nós, que defendemos a teoria ondulatoria, não pôde explicar, por que Pitágoras já comentava do éter? Ele já combinou com o Huygens que nem existia, “eu vou falar do éter depois você aproveita”, ou, pelo contrário, Huygens se baseou em algo que os gregos já diziam. Então, espera aí, o éter não existe? Então o Newton também errou. O que que acontece, Newton falava do éter. O éter não existe?	
86	32:41	Tarik: Você tava falando que Pitágoras dizia que o éter existe, não é? Então, Pitágoras também provou que o éter existe? Ou ele só falou “o éter existe!”? Pitágoras disse: o éter existe, passou a existir. Que haja o éter.	
87	33:04	Daniele: Aí a partir daí, o Huygens falou “opa, tem alguma coisa aí, o éter vai explicar o que eu não posso explicar?”.	<i>A utilidade do inobservável é de difícil aceitação.</i>
88	33:07	Talita: Aí eu volto com a pergunta: Por que Newton acreditava no éter? <i>Falas sobrepostas. Alunos exaltados.</i>	<i>Falas e ruídos de discussão acalorada.</i>
89	33:32	Tarik: Na teoria de Newton, estava constando o éter?	
90	33:35	Carla: Na corpuscular, na corpuscular...	<i>Polêmica. Vozes sobrepostas.</i>
91	33:38	Tarik: Os problemas que tinha na corpuscular, ele jogava toda a culpa no éter? Ele chegava assim “não, a culpa é do éter”? Não... <i>(falas sobrepostas)</i> E outra coisa também que eu gostaria que vocês respondessem... Elio: Posso tentar responder primeiro o que vocês perguntaram?	
92	33:44	Tarik: Não, porque se você não respondeu até agora, você não vai conseguir responder agora.	<i>Clima tenso, um tanto hostil.</i>
93	33:48	Elio: Eu não tenho certeza se o júri. Vocês conseguiram entender alguma coisa sobre o éter?	
94	33:49	Alguns alunos: Não! Algumas vozes: Mais ou menos...	
95	33:50	Uma voz do júri: É complicado...	
96	33:51	Elio: Realmente o éter é muito complicado.	
97	33:52	Jade do júri: O que a gente não entendeu... tudo bem, Pitágoras, o Pitágoras ele, né descobriu lá o éter, assim como Huygens é né, acreditou né, beleza... Então, eu queria saber como que Pitágoras, então descobriu essa existência do éter?	
98	34:11	Elio: Eu não posso falar que ele descobriu.	
99	34:12	Jade do júri: Tá, então como que ele sabia que existisse: o éter, então é, como ele disse, haja o éter? Elio: Não, é porque é assim... Jade do júri: Ele inventou “ah! Éter!” Tá,... um negócio passando aqui, pronto... “éter”! <i>(Gesticula enfaticamente)</i> . <i>Falas sobrepostas.</i>	<i>Ruídos e discussão intensa. Aluna Clarisse do júri levanta a mão para falar. Continua clima acalorado com alunos falando ao mesmo tempo.</i>
100	34:34	Clarisse do júri: Vocês poderiam me explicar de onde surgiu...	
101	34:35	Professora: Pessoal, ó... só um instantinho que a... não sei como é que chama a pessoa que intervém aqui. É,... as discussões tão indo bem, tal... só que eu queria que o júri tivesse assim um olhar, em que sentido... vocês tem que se basear um pouco, também, naquilo	

		<p>que foi dado de material pra vocês. Eu entendo esse questionamento do júri, mas a gente também não pode esquecer que essa polêmica que vem em cima do éter, que vem desde lá do Aristóteles, tem muito mais conhecimento que é... até mesmo por uma limitação do nosso curso nós não pudemos abordar. E, inclusive, isso é uma coisa que vai vir mais pra frente, mas o próprio Newton tinha argumentos que ele tirava o éter fora quando convinha e quando não convinha ele colocava o éter pra explicar os fenômenos. Então, eu acho legal essa polêmica em cima do éter que acontece até hoje, mas, mas... vamos tentar desfocar um pouco do éter e tentar voltar pra justificativa da luz mesmo, como corpúsculo ou como onda. Porque senão nós estamos tirando um pouco o foco lá do debate, no sentido de que o júri tá só malhando o éter. Mas tem muito mais coisa, aí dos fenômenos, reflexão, refração, sombra... e, e eu, é gostaria de, tentando voltar um pouquinho, eu como sendo uma pessoa que fica aí no meio dos dois grupos, eu tô imparcial tá?... <i>(Aluna fala: É, mediadora)</i>... Só tô querendo voltar pra luz, lá, tá? É... Eu vou jogar uma questão e eu gostaria de ouvir os dois grupos. Como que os dois grupos me explicam o que eu vou colocar. Certo? Então o que eu vou colocar é o seguinte: vocês imaginem uma cápsula de vidro, inicialmente com ar lá dentro, e aí, por um processo eu retiro todo o ar, entre aspas é... lá dentro tá o vazio completo, né... o vácuo absoluto. É... se eu tiver com essa cápsula aqui, né, com luz da lâmpada ou do Sol, eu consigo enxergar lá dentro... supostamente lá dentro tem o vazio absoluto. Então, eu quero que a corpuscular me argumente como que ela... como que eu consegui enxergar, continuar enxergando lá dentro, né? ... e depois como que a ondulatória também me explica.</p>	
102	37:35	<p>Carla: Professora, posso fazer umas observações? Professora: Pode... Carla: É... quanto ao éter eu queria dizer assim, se, por acaso, vocês mesmos argumentaram que o éter existia... se não seria tempo bastante para provarem a existência do éter, se o éter existe. E outra coisa, professora o júri é pra tá ajudando a gente, né... não é pra tá ajudando as equipes. Porque eu fiquei sabendo, eu fiquei sabendo não, eu vi, que o júri tá ajudando. Então, assim se for pra ajudar, por favor, julgue a equipe e não fique julgando a gente. ... Não eu não vou citar nomes, mas algum deles tá...</p>	
103	37:57	<p>Elio: Posso só responder... <i>Falas sobrepostas.</i></p>	<i>Comentário da aluna causa pequeno rebuliço.</i>
104	37:59	<p>Tarik: ...a gente (<i>inaudível</i>), assim como a gente não tá se voltando para o éter. A gente só usou um texto por causa que a (<i>falas exaltadas ao fundo</i>) porque a teoria ondulatória ela se baseia no éter. A gente não está voltando o debate para o éter. A gente só tá querendo saber, porque, já que se baseia a teoria no éter, então a gente queria tá dando continuidade a isso, querendo saber o que que é o éter, <i>Professora tenta falar:</i> não, mas só... (<i>Tarik continua</i>) Tarik: ... só pra fechar. Agora, voltando a sua pergunta, pra responder a sua pergunta, eu vou usar termos mesmo de Newton, porque ele explicava coisas parecidas com isso. Não bem com um cubo de vidro, mas ele explicava coisas parecidas. Na teoria de Newton, ele dizia que havia uma força de atração entre as partículas da... do corpo é... transparente, no corpo transparente, com a luz, com as partículas da luz. Aí ela penetrava o corpo transparente. A</p>	<i>Comentários sobrepostos.</i>

		teoria de Newton dizia.	
105	38:58	Professora: Então, você tá me justificando que eu consigo enxergar o que tá lá dentro da cápsula de vidro, quer dizer, porque o vidro estaria atraindo a luz, é isso? Aí a luz, ela atravessa o vidro?	<i>Professora tenta sistematizar a fala do aluno.</i>
106	39:12	Tarik: É... as partículas da luz, as partículas do corpo transparente, elas são atraídas pela luz. A luz é atraída pelo corpo.	
107	39:22	Professora: Aí a luz, pra vocês, mesmo ela sendo partícula, ela tá entrando dentro da cápsula, e por isso eu consigo enxergar dentro dela, é isso? <i>Tarik diz algo parecendo confirmar.</i> Professora: Tá... agora eu gostaria de ouvir a ondulatória...	<i>Começa uma discussão. Vozes exaltadas.</i>
108	39:39	Elio: Posso só responder dessa “ajuda” que eles dizem... Professora: Ajuda em que sentido? Elio: Bom, quanto ao júri, eu acredito que vocês tão aqui para aprender e não ajudar o grupo A ou o grupo B. Vocês tem que ser imparciais, correto? E eu acredito que todos vocês tenham opinião própria. Não precisam ser comprados ou, de qualquer jeito, ir pela amizade, conseguem entender o que a gente fala. Aliás, o que a gente fala, não... nós somos iguais a vocês, não é porque nós estudamos essas teorias que sabemos mais ou menos.	
109	40:22	Jade do júri: Deixa eu falar, realmente nós estamos aqui para aprender, sim, com vocês, tanto vocês tem que aprender com a gente. Só que a gente não tá ajudando nem um grupo, nem estamos do lado de você porque eu sou mais amiga de você, ou estamos do lado deles. Simplesmente a gente tá analisando vocês e a gente tem que escolher, sim, uma idéia... (<i>inaudível</i>) para escolher... (<i>Carla interrompe</i>). <i>Falas sobrepostas.</i>	
110	40:44	Carla: É isso que eu ia dizer... Só que eu vi, eu vi, vocês ajudando o grupo A ou o grupo B...	<i>Falas sobrepostas, ânimos exaltados.</i>
111	40:54	Tarik: O júri não tá ajudando. O que ela tá dizendo é que ela viu pessoas que estavam querendo ajudar o grupo adversário.	<i>Várias vozes comentam ao mesmo tempo.</i>
112	41:00	Professora: Tá bom, mas, é, é bom, assim, pelo amor de Deus, a idéia do debate é criar polêmica entre o assunto e não dividir a sala... é... primeira coisa... Agora assim, quando eu entrevi, eu também, assim... eu também tô tentando ser imparcial, né? Eu só tô assim, levantando a coisa do éter porque até hoje existem grupos que afirmam de alguma maneira ou acreditam, digamos assim que que ... a existência do éter e tem outros que não. E o próprio Newton, em alguns momentos, ele ficou em cima do muro... então, a minha interferência é no sentido de dizer que isso é polêmica até hoje, mas vocês teriam que ter um olhar focalizado nos fenômenos da época, lembrando da reflexão... que eu expliquei da refração... enfim, é lembrando dos fenômenos, como que cada grupo explicaria... porque se a gente focalizar assim só no éter... Deu pra entender, o que eu quero? Não precisa sair, eu sei que o éter já é polêmico, entendeu? Mas, tentar focar um pouco nos fenômenos... (<i>Aluno Daniel do júri tenta falar</i>) Porque se não a gente vai perder muito tempo do debate só tendo esse foco em cima do éter e tem bastante coisa pra vocês falarem ainda...	<i>Alguns alunos exaltados, outros sérios, outros sorriem.</i>
113	42:37	Daniel do júri: Eu tenho uma pergunta pra (<i>inaudível</i>) deles... em cima da sua pergunta e da resposta deles. Por que eles falaram da...	

		<p>que a luz se propaga através do ar, não é isso? Mas se você comentou que todo o ar foi retirado... como ela se propaga?</p> <p>Daniele: No ar ela não se propaga... ela se reflete.</p> <p>Pedro do júri: Então, vocês poderiam explicar melhor?</p> <p>Tarik: Então, foi o que eu falei. Na teoria de Newton diz que as partículas de cor transparente, elas são atraídas, elas atraem as partículas da luz que são os corpúsculos que a gente vê dentro aí, é o que acontece elas se refratam no corpo transparente. A teoria de Newton diz isso.</p>	
114	43:16	<p>Pedro da platéia: Mas se eu tirei o ar, que corpo transparente ficou?</p> <p>Daniele e Carla: O corpo transparente, a cúpula...</p> <p>Tarik: Ele não tirou o corpo, o corpo ainda tá lá... tá penetrando no corpo, independente do que tiver lá dentro.</p>	<i>Parte da discussão inaudível.</i>
115	43:36	<p>Daniel do júri: Ele provou isso? Que o corpo transparente, é... como eu posso dizer...</p> <p>Daniele: Não, a gente tá dando uma explicação...</p> <p>Tarik: Tá claro?</p>	
116	43:58	<p>Aluno do júri: Não. Desculpa, a gente falou que a do éter não tinha ficado claro... também não ficou claro.</p>	
117	44:02	<p>Carla: Assim, a luz ela não... ela se reflete no corpo, ou seja, Então a gente tem a cápsula, tiraram tudo de dentro do corpo, mas a matéria, a cápsula, tá ali ainda. O Newton diz que o corpo transparente tem átomos que puxam, (<i>aluna Daniele ajuda: atraem</i>) que atraem a luz. Entendeu? Então, eles se refletem, eles não entram lá. É o que Newton diz.</p> <p>Aluno do júri: Mas se eles se refletem, eles batem e voltam. Como que eles atravessam a cápsula transparente (<i>inaudível</i>).</p> <p>Carla: Pelo... o vácuo.</p> <p><i>Comentários inaudíveis do grupo entre si.</i></p>	<i>Percebe-se, como em outros momentos, a cooperação entre os alunos do grupo.</i>
118	44:47	<p>Tarik: Vou ler direitinho o que tá, depois eu explico as palavras dele... Havia uma força de atração entre as partículas da luz e das partículas do corpo... do corpo luminoso, desculpa... do corpo transparente. Aí ele penetrava nesse corpo transparente... que que ele quer dizer, ele fala que os átomos... ele é atomista, né... ele disse que os átomos desse corpo transparente ele atrai, só isso, ele atrai os átomos da luz, fazendo com que eles penetrem no corpo.</p> <p><i>Daniele faz comentários inaudíveis.</i></p> <p>Tarik: A luz incidindo nesse corpo, ele dá... dá a possibilidade que você possa ver esse corpo.</p> <p><i>Alunos riem.</i></p> <p>Pedro do júri: Olha...(risos) desculpa, mas... pra mim ainda não foi. Se ela vai refletir no corpo, ela vai bater e vai voltar, queria saber como que ela atravessa. Assim... não sei se vocês conseguiriam, talvez desenhando...</p>	<p><i>Risadas.</i></p> <p><i>Ruídos inaudíveis</i></p>
119	46:02	<p>Carla: Talvez... ela não atravessa...</p> <p>Tarik: Eu não entendi, assim, é porque, ó... É porque você é diferente das outras pessoas, não tão questionando isso, então eu não consigo falar pra você o que não ficou claro. Mas, o que que você questiona mesmo?</p> <p>Pedro do júri: Por exemplo, tem uma cápsula de vidro, agora imagina, eu tirei todo o ar de dentro, certo? Se eu jogar luz, parte da luz volta e a outra parte refrata, vai pra dentro. Não reflete, refrata.</p>	<i>Conversas misturadas e ruídos inaudíveis.</i>

		Como que esse corpo refrata essa luz?	
120	46:35	<p>Carla: Então, é... assim....</p> <p>Daniele: Imagina essa mesa. Essa mesa é opaca... ela não passa a luz... porque os átomos são muito grudados. Agora, na cápsula é diferente, os átomos não tão grudados, entendeu? Aí o feixe de luz atravessa... (<i>inaudível</i>) e não tem como entrar, entendeu?</p> <p>Jade do júri: ...Porque a cápsula é transparente.</p>	
121	46:57	<p>Daniele: Exatamente. E a mesa não, entendeu?</p> <p>Pedro do júri: Como éter que atravessa todas as matérias?</p> <p>Carla: Oi?</p> <p>Aluno do júri: Como o éter que atravessa todas as matérias?</p>	<i>Falas sobrepostas inaudíveis.</i>
122	47:03	<p>Carla: Pois é... A gente não pode falar isso porque a gente tá defendendo a teoria do Newton. Seria uma competição.</p> <p>Daniele: Na cápsula os átomos não estão tão grudados como numa mesa, por exemplo.</p> <p><i>Alguém no júri faz breve comentário inaudível.</i></p> <p>Carla: Entendeu?</p> <p><i>Pedro do júri gesticula sugerindo que entendeu a questão.</i></p> <p><i>Falas sobrepostas.</i></p> <p><i>Tarik do grupo da corpuscular faz pergunta inaudível.</i></p>	<i>Alunas Carla e Daniele sorriem e se cumprimentam como que comemorando. Não percebem que a explicação foi falha e incompleta. Não conseguiram diferenciar a explicação da refração e da reflexão mediante uma concepção corpuscular, e nem a propagação da luz no interior da cápsula, sem a necessidade do éter, que seria o argumento forte nesse momento.</i>
123	47:22	<p>Professora: Agora, o pessoal da ondulatória... É...você vão responder a pergunta do mediador.</p>	<i>O grupo da ondulatória permanece cabisbaixo.</i>
124	47:42	<p>Elio: Bom, eu vou voltar à Aris... não vou pegar a teoria de Huygens, vamos voltar a Aristóteles. Desde aquela época já se sabia que o que era preciso para que... pra que eu pudesse enxergar, é que houvesse um meio transparente para isso. Eu vejo lá dentro porque a cápsula é transparente, correto? Para nós, por ser onda, a luz atravessa o corpo, correto? E se propaga no éter que é oposição ao vácuo, mesmo se tudo tivesse sido retirado ainda existiria o nosso éter. É somente isso mesmo. Eu acredito que inicialmente é isso.</p> <p>Aluno do júri: Então, a luz está se propagando de novo no éter?</p>	<i>Comentários inaudíveis no júri.</i>
125	48:43	<p>Talita: Se a luz se propaga no ar e dentro da cápsula não tem ar, como é que a gente vai ver através da cápsula? Não tem luz dentro da cápsula, eu posso ver através dela.</p> <p>Elio: O que você tem que pesar pra enxergar lá dentro, é que essa cápsula seja transparente.</p>	

		<p>Pedro do júri: Mas essa (<i>pergunta inaudível</i>).</p> <p>Elio: Esses potinhos de azeitona, de palmito, qualquer coisa... quando você coloca assim, continua iluminado. Por que? Existe luz lá dentro.</p> <p>(<i>Pausa. Conversas paralelas</i>)</p>	
126	49:28	<p>Elio: Agora assim, só uma pergunta do outro grupo... Nesse caso aí, da pergunta do mediador... se a luz não atravessa, apenas reflete o que tem lá dentro... se eu tivesse uma cápsula grande... Vamos pensar num aquário fechado. Se eu colocar ele aqui... você tem uma cápsula completamente de vidro... que é o material transparente agora... Eu vou continuar vendo lá dentro, certo? Se o vidro é corpo também, e a matéria vem, bate nesse corpo e volta, como o Paulo disse... Por que eu enxergo todo, tudo que há dentro desse aquário, e não apenas parte? Obviamente algum lugar deveria ficar mais escuro.</p> <p>Aluno do júri: Eu não entendi a sua pergunta.</p> <p>Outros alunos: Eu também não.</p> <p>Aluno do júri: Reformula a pergunta.</p>	<i>Pergunta inaudível direcionada ao grupo.</i>
127	50:26	<p>Elio: Vou tentar reformular. O que acontece... Vamos imaginar um aquário, correto? Você continua enxergando dentro dele, você vai continuar enxergando no todo, não vai existir partes escuras, se ele receber luz, óbvio. Se a luz fosse um corpo, como que esse corpo iria até o aquário... digamos, ele vem até o aquário, vai bater no vidro e vai voltar, e vai refletir. Por que que ele reflete um todo? Tudo que tem lá dentro ele consegue refletir e não apenas algumas partes? A densidade do vidro é indiferente?</p>	<i>Alunos em geral manifestam incompreensão com relação à questão levantada.</i>
128	51:15	<p>Tarik: Assim... apesar de não ter entendido, de novo... eu vou tentar responder porque a gente não falou que reflete.</p> <p>Elio: Vou explicar de novo...</p> <p>Tarik: Se você quiser explicar de novo, explica. Havia uma força de atração entre as partículas da luz e as partículas transparentes. Aí o que acontece... A luz, ela vai incidir no corpo inteiro. Esse corpo transparente do aquário, ele tá atraindo as partículas da luz, o que vai... se a luz tá incidindo nesse corpo transparente você vai conseguir ver.</p> <p>Aluno da platéia: E a luz tá passando entre os átomos...</p> <p>Aluna 1: O corpo transparente...</p> <p>Aluna 2: No vácuo, a luz consegue penetrar no vácuo...</p>	

13/9/2008 – Aulas 9 e 10			
Arquivo II: Tempo total = 29 min			
Turno	Tempo	Falas	Observações
129	00:00		<i>Ruídos e falas sobrepostas inaudíveis.</i>
130	00:05	Jade do júri: ...Porque assim, ó... se a luz fosse algum tipo de onda, assim que ela atingisse algum obstáculo, ela se curvaria e não haveria sombra?	
131	58:00	<p>(<i>Elio começa a responder. Pedro e professora falam também</i>).</p> <p>Elio: Assim... eu não vou conseguir nada aqui que faça sombra.</p>	

		<i>(falas inaudíveis).</i> Pedro: Seu próprio corpo faz uma sombra.	
132	01:02	Elio: Enfim, o que acontece... Ele vai estar recebendo energia, correto? Ele vai estar sendo bombardeado pela luz. O que acontece, vai ter um obstáculo entre eles, que forma sombra. Porém, a sombra não é a ausência total de luz. Aqui... tá totalmente escuro nessa sombra? Não, ainda existe luz, mesmo que seja pouca, correto? As sombras que existem embaixo das cadeiras, se fosse completamente escuro eu não veria, enfim... a cor... enfim, a cor do piso. Eu acredito, nós acreditamos, que... o que acontece... quando vem a luz até esse obstáculo, ela vai bater, a onda... correto?... vai voltar e... vai continuar pro outro lado. Porém, as que passam, depois do obstáculo, elas voltam a se propagar... fazendo, assim, com que não fique completamente escuro e você possa enxergar, ainda na sombra.	<i>Elio tenta justificar a pouca iluminação que a região de sombra recebe refutando a crítica à teoria ondulatória da época. Interferências inaudíveis dos alunos do júri.</i>
133	02:06	Daniele: Mas se ela ta se propagando deveria tá claro, se ela se propaga... não deveria ter sombra...	<i>Interferência da aluna do grupo.</i>
134	02:09	Elio: Ahn... espera aí. Pedro do júri: Você se contradiz... Elio: O que acontece.... <i>(pensativo, pausa).</i> Pedro do júri: Calma! Elio: Primeiro, você não enxerga onde não tem luz. Se realmente, não tivesse luz nenhuma, eu não estaria vendo aquilo. Eu não estaria vendo o piso ali, eu vejo porque ali existe luz... correto?	<i>Elio coloca a mão no rosto e faz expressão pensativa. Aluno 2 indica a sombra embaixo da cadeira. O grupo confabula e existem algumas vozes dispersas vindas da platéia.</i>
135	03:05	Elio: Ó... aí, voltando... o que acontece... só que eu tenho uma dúvida da teoria de vocês. Pedro do júri: Desculpa Elio, mas acho que... Jade do júri: É... acho que você se deu mal nessa... Elio: O que acontece... a luz ta voltando, a luz ta voltando a se propagar. Tem um obstáculo. O obstáculo existe. Eu não posso falar que a luz é igual em todos os pontos dessa sala, correto? Isso é óbvio. Quando ela volta a se propagar, obviamente ela vai ser mais fraca. Porém, com um espaço, nem que seja de milímetros, que seja de milímetros ela vai voltar a se propagar. Porém, ela não se propaga... ela se propaga rápido, porém, não instantaneamente... “ah, agora ela passou o obstáculo, agora ela se propaga de novo”... fica difícil isso, você não acha? Daniele: Então você diz que não tem tanta intensidade? Elio: Ela vai perder intensidade, e é por isso que vai formar sombra. Porém, a luz ainda existe. Daniele: Tá, mas ela ainda vai ta se propagando lá... Tipo, pra mim, se ela ta se propagando, ela ta produzindo luz. Jade do júri: Elio (inaudível) Elio: O que acontece... o obstáculo, ele não saiu dali... não é uma única, não é uma única onda de luz, são várias... as que passaram, voltaram a se propagar. Assim como as outras que estão vindo, porém, o obstáculo continua no mesmo lugar.	<i>Os alunos ficam exaltados. Vozes altas. Risos e falas sobrepostas. Interferência inaudível de uma aluna da platéia.</i>

		<p>Daniele: Tá, mas se ta vindo mais ondas não é motivo pra produzir mais luz?</p> <p>Elio: Elas... elas vem da mesma trajetória.</p> <p>Daniele: Mas elas tão ali... elas tão...</p> <p>Elio: Vocês tão conseguindo entender?</p>	
136	04:50	<p>Professora: Nós vamos fazer o seguinte... Bom, é... em primeiro lugar eu gostaria de agradecer as, os dois grupos, porque... eu reconheço que essa discussão não é fácil. Que não é nem pra ondas nem pra corpúsculos, porque eu imagino assim o quanto é difícil pra vocês, porque vocês meio que tomaram conhecimento desse assunto nesse módulo, né... No geral, não só de éter, de ondas, de teoria da luz, de tudo... é tudo novidade pra todos da sala. Então, assim, é... pra mim foi... é lógico que eu tinha a minha aposta em vocês, né... mas, pra mim foi muito bom. Porque eu senti que ambos os grupos se empenharam dentro das suas limitações, de buscar e não poder entrar no que foi descoberto no século XIX, tudo isso é complicado aí... da própria limitação da onde vocês conseguiram ver, né... Então eu agradeço aos dois grupos, e também a platéia que também, é, participou questionando e tal... tá... Segunda coisa que eu queria falar... quando eu levantei essa polêmica da cápsula de vidro, na verdade, tanto a corpuscular quanto a ondulatória explicam esse fenômeno. Então, é uma situação de um fenômeno que tanto uma teoria quanto a outra satisfazem, tá... Porque, pela refração mesmo da luz sendo corpúsculo, ela vai atravessar o vidro, como foi falado, da situação dos átomos, ela vai refratar... como o Paulo lembrou... e lá dentro ela vai refletir, quando ela encontrar a outra parede de vidro, ela vai refletir e vai refratar também... uma parte reflete, outra parte refrata, e é por isso que eu, mesmo estando do lado de fora, eu consigo enxergar. E a ondulatória também consegue explicar isso por causa do éter. Porque não existindo o vácuo absoluto, o éter estando lá dentro, a luz se propaga no éter, por isso que eu consigo enxergar. Então, na verdade, eu dei esse exemplo pra mostrar que existem fenômenos que tanto uma teoria quanto a outra, mesmo elas sendo divergentes, digamos assim, elas conseguem explicar. Agora, também tem fenômenos que uma explica melhor, que a outra não consegue explicar e vice-versa. E, na verdade, essa polêmica, né... ela acontece na Ciência como um todo, né... na química, na biologia, em outros assuntos da física, tá... Então, as teorias... o que eu queria frisar é que as teorias, na Ciência como um todo, elas são limitadas. Num determinado período de tempo elas satisfazem melhor um espectro de fenômenos, mas, num determinado momento da História, alguém enxerga um determinado fenômeno, ou uma determinada visão, que há algum tempo antes ninguém tava enxergando. E é essa... esse movimento de idéias, né... os observadores, os pesquisadores que vão, ao longo do tempo, olhando os fenômenos é o que faz a Ciência crescer. Então, o que eu queria deixar claro é que as teorias, elas tem limitações. Isso não é só no caso da luz, na Ciência como um todo, na biologia, na medicina, tudo...</p> <p>Jade do Júri: Até na filosofia, tudo? ... eles buscam uma</p>	<p><i>Professora interrompe.</i></p> <p><i>Retorno positivo aos alunos. Professora incentiva e valoriza os alunos em vários momentos do curso.</i></p>

		explicação até morrer...	
137	08:55	<p>Professora: Então, na filosofia não tinha lá o que achava que a luz saia do olho, o outro que achava que vinha do objeto... Mas essas divergências, elas são positivas, porque são elas que fazem a Ciência crescer, ir pra frente... E uma, um termo, assim, que é complicado, a gente entende... pra vocês... mas a visão que vocês tem de Ciência até hoje, é que os pesquisadores, eles provam. Essa palavra provar, ela é um meio forte, porque parece que quando ele prova ninguém mais pode ter dúvida, ninguém pode mais questionar, porque é fato consumado. E, na verdade, o cientista ele não prova, ele monta um experimento, que foi o que o Newton fez muito, os trabalhos do Newton eles tiveram um aprofundamento porque ele valorizou muito a experiência... ele mudava as variáveis, ele estudava tanto aquele experimento, ele modificava tanto... e ele argumentava com análise matemática, e ele elaborava uma teoria que satisfazia o experimento e a análise matemática... tudo tinha que bater. Então, o Newton ele foi muito bom nisso, né... Então por isso que ele, de alguma maneira, fundamentou o nome dele na história da Ciência. Mas as teorias dele também tinham limitações, mesmo ele sendo um cara famoso que contribuiu... Então, essa visão de que as teorias são limitadas, que na verdade o cientista, ele não prova... ele elabora uma teoria que satisfaz os resultados do experimento, aí ele tem que fazer uma análise matemática... tudo tem que bater. E mesmo batendo tudo, continua tendo limitações. Porque se você pensar que a limitação não existe, então acabou? Então aquele assunto não pode mais ser explorado? Será que aquele assunto explica tudo? É complicado, né... Então, eu só queria de novo retomar essa discussão de Ciência como um todo, e... enfim... tá bom?</p> <p>Jade: É... (<i>inaudível</i>) que fala do provar, né...</p> <p>Professora: Ah, do provar, né... é complicado a gente falar, tal cientista provou... É complicado isso. A palavra “provou” dá uma, uma, assim uma idéia de que é fato consumado. Então na verdade não é... olha, entra a observação do pesquisador, entra o conhecimento que ele tem até a época, entra a tecnologia, os recursos de tecnologia que ele tem, entra o status político dele, né... o status que ele tem na sociedade, se ele tem verba pra investimento, é... a própria sociedade da época, se ela ta passando por crise econômica ou não... a religião interfere... Então, são tantos fatores que interferem em cada pesquisador... que é por isso que não se diz assim “ah, tal pesquisador provou”, né, é complicado... tá bom?</p>	<p><i>Interferência breve da aluna da platéia. A professora complementa a fala da aluna.</i></p>
138	12:25	<p>Professora: Bom, então agora eu queria que o júri, se manifestassem em dizer... é... vocês querem se reunir, que nem um jurado mesmo?</p>	<p><i>Alunos do júri/platéia se mobilizam arrastando as carteiras e se movimentando para uma pequena reunião. Começam logo a confabular e há um ruído contínuo de vozes sobrepostas.</i></p>
			<i>Os alunos do júri discutem</i>

139	14:14		<i>com interesse. As falas são inaudíveis por estarem sobrepostas.</i>
140	15:30		<i>A professora se aproxima e dá alguma recomendação a um aluno. A discussão se estende.</i>
141	16:40		<i>A discussão se organiza e os alunos revezam em suas argumentações. As falas continuam inaudíveis.</i>
142	16:48	<p>Pedro: Eu, particularmente, acredito mais na corpuscular. Mas a que eu me senti mais convencido foi pela outra, não é questão da teoria é questão da maneira ... Assim, tudo bem, uma pessoa é mais tímida a outra não é, tudo bem... mas na hora aqui, cara, você tem que... você não pode falar “ih, eu sou tímido, então...”... ou você fala ou você vai perder.</p> <p>Jade: ... a corpuscular é isso, isso e isso, entendeu? E eles não...</p> <p>Elaine: ... e eles falaram muito pra gente, eu acho muito pouco.</p> <p>Denis: ... as perguntas da professora...</p> <p>Pedro: Assim, a pessoa que ela não citou o nome, eu senti, assim... cem por cento que fui eu. Não sei se vocês sentiram da mesma forma... eu falei “está se questionando muito a ondulatória e eu queria que se discutisse mais a corpuscular...”.</p> <p>Elaine: ...eu tinha pergunta pra fazer, mas nunca chegava...</p> <p>Clarisse: ... o grupo da ondulatória foi mais claro, deixavam mais firme o assunto, mais fixo... do que o outro grupo. O outro grupo deixava muita coisa assim... questões, assim, “ah, isso nós não podemos provar...”.</p> <p>Elaine: Mas também nós não abordamos muito eles...</p>	<p><i>Os comentários são entrecortados e a captação de áudio faz com que alguns trechos fiquem obscuros.</i></p> <p><i>Alguns comentários voltam a ficar inaudíveis.</i></p>
143	18:22	<p>Denis, Clarisse, Jade, Elaine: <i>Falas sobrepostas.</i></p> <p>Pedro: ...A proporção do jeito que a gente jogou em cima da... da ondulatória, do jeito que a gente jogou em cima da corpuscular, se você fosse analisar, se a gente tivesse jogado igual pros dois, qual você acha que teria se apresentado melhor hoje?</p> <p>Aluna: ondulatória. <i>Falas sobrepostas.</i></p> <p>Clarisse: ...mas eles tinham a firmeza... não de provar aquilo, mas eles mostravam os argumentos que podiam chegar a comprovar isso, entendeu? Coisa que a teoria do Newton não comprovava, entendeu?</p> <p>Daniel: acho que ondulatória, que vocês acham?</p> <p>Jade: ondulatória. <i>Vários alunos votam na ondulatória.</i></p> <p>Elaine: Se a gente tivesse mais tempo, poderia até mudar de idéia... mas, agora ondulatória.</p> <p>Denis: <i>inaudível.</i></p>	<p><i>Comentários inaudíveis.</i></p> <p><i>Novas falas sobrepostas. Alunos diferenciam a sua tendência pessoal dos argumentos apresentados na explanação.</i></p>

		<p><i>Os alunos param de falar aos poucos e olham para alguém não aparente no vídeo. Os alunos voltam a prestar atenção no Denis.</i></p> <p>Denis: <i>inaudível.</i></p> <p><i>Clarisse e jade falas sobrepostas. Denis volta a falar. Parece que ele considera que o grupo da ondulatória saiu-se melhor.</i></p>	
144	19:55	<p>Professora: Pessoal, deixa eu fazer dois (...) Independente da... da... enfim, da pessoa, vocês tem que levar em consideração o conhecimento que vocês têm, adquiriram desde o começo do curso e levar em conta a apresentação realmente. Porque é como se vocês estivessem realmente assistindo a dois grupos, e qual dos dois grupos convenceu melhor.</p> <p>Elaine: Então, é isso que a gente ta comentando...</p> <p>Professora: Independente aí, se entrou em conflito com o que vocês acreditavam, no fundo o conflito ele é ótimo, é positivo... mas vocês não podem esquecer que ambas as teorias tinham coisas que satisfaziam, mas ambas tinham divergências em algumas questões... mas que vocês tem que levar em conta a preparação do grupo. Quem estava melhor preparado, porque isso faz parte do debate. Porque em termos de limitação, nas duas teorias tinham, nenhuma das duas era perfeita, enfim... certo? Então, vocês como jurados do tribunal aqui, tem que levar em conta qual teoria convenceu melhor.</p> <p>Pedro: Até porque (...) No tribunal, por exemplo, você vai ter uma só opção... ou você vai absolver ou você vai culpar...</p> <p>Professora: E vai depender de quem, do promotor e do advogado de defesa, quem fizer a melhor, enfim... apresentação dos argumentos é que vai convencer, certo? E, na verdade, o júri, ele não ta dizendo “ah, essa teoria é a que deve ser aceita”... nesse momento, acho que é até legal falar né... e eu queria que você falasse em nome dos jurados...</p> <p>Clarisse: Eu?</p> <p>Professora: você está se (<i>inaudível</i>) muito bem. Então, mais alguns minutinhos pra vocês decidirem aí... que vai acabar a aula, tá?</p>	<p><i>A professora faz uma interferência.</i></p> <p><i>Parece que “a pessoa” é Newton.</i></p>
145	22:00	<p><i>Falas sobrepostas.</i></p> <p>Denis: ...A gente ficou mais na ondulatória, mas quando eles perguntavam <i>inaudível</i> pro Tarik umas três vezes pra ele... “ah, mas e o éter?”, ele não conseguia responder...</p> <p>Clarisse: eu acho que eles focaram muito no éter pra defender a teoria deles.</p> <p>Elaine: O argumento é que o éter tava errado...</p> <p>Denis: Eles queriam que eles provassem a teoria deles de ondas, mas não queriam provar a deles.</p> <p>Pedro: Entendeu? É como por exemplo, prova que sua tá certa <i>inaudível</i>... foi isso que eu senti, entendeu? Foi isso que eu senti deles, eu queria apenas que mudasse o assunto, foi esse o sentido. Eu tinha questionado a ondulatória ... foi esse o sentido de ajudar, você muda o assunto, eu tenho perguntas pra fazer. Da mesma forma</p>	<p><i>Os alunos do júri/platéia voltam a discutir entre si.</i></p> <p><i>Os diálogos voltam a ficar inaudíveis em alguns momentos. Parece que eles comentam a falta de argumentos do grupo para defender a corpuscular e a ênfase em criticar o éter.</i></p>

		como, desde o início, eu fiz perguntas pra ondulatória. Desde o início eu perguntei, não entendo, não entendi, vamos bater em cima do éter ...	
146	22:57	Professora: Gente, é... meio-dia e dez. A gente tem que finalizar isso... Já tem o veredicto? Eu vou mandar eles entrarem, aí... Pedro: Professora: Pessoal, eles já tem o veredicto.	<i>Os alunos desfazem o grupo de discussão e dão a argumentação por encerrada.</i>
147	23:32	Professora: O júri... o júri tem uma representante, aí... vai dizer qual foi a decisão né... Clarisse: De certa forma, o júri estava dividido entre as duas teorias, porque algumas pessoas já acreditavam em uma, e como os argumentos foram mostrados, apresentados, foram modificando suas idéias... A gente analisou mais o grupo que estava mais preparado, o grupo que estudou mais o assunto, e, de certa forma, também, analisamos aquilo que a gente acreditava. Teve muita gente que acreditava numa coisa e que, de certa forma, por causa do debate, passou a acreditar em outra coisa. De certa forma, nós nos baseamos principalmente nos argumentos mostrados. Na qualidade... não na qualidade dos grupos, mas naquilo que os grupos mostraram pra gente, que poderiam afirmar mais o que estavam defendendo. De certa forma, nós escolhemos, o júri escolheu a ondulatória, porque de certa forma estava mais preparados... os argumentos que provariam mais, de certa forma, o que eles estavam dizendo... Tudo bem, vocês se basearam mais na teoria de vocês, eles na deles... mas de certa forma, eu achei que vocês focaram muito em cima do éter, pressionando, pra que de certa forma, o grupo não tivesse espaço pra explicar o que eles realmente queriam explicar. De certa forma, a ondulatória ficou mais clara, e a gente acreditou no Huygens porque de certa forma Newton, de certa forma Newton também se baseava no éter, por mais que o éter não era provado que ele existia, Newton, de certa forma, também acreditava nele, quando ele queria. Por isso nós optamos pela ondulatória, que foi os argumentos mostrados de forma mais clara, que chegou até mesmo a mudar muitas das opiniões. É isso.	<i>Os alunos da explanação voltam à sala de aula e todos retomam seus lugares.</i> <i>Os alunos aplaudem a decisão comum do júri. Euforia.</i>
148	25:29		<i>Quando a câmera focaliza os grupos vê-se Giovanna chorando, enxugando as lágrimas.</i>
149	25:32	Professora: Então, eu só gostaria de dar um parecer... É o seguinte... Gente, olha... nessa época em que aconteceu o debate, que o povo da ondulatória foi invadir lá o século XIX, né, é... Então, pra vocês verem como pesa assim, né... é... a argumentação das pessoas, né... Então, é difícil você chegar assim e falar “ a teoria está provada e ela não vai mudar mais”, os pesquisadores não provam , né... Ele usa de argumentos, ele monta experimentos. Ele, pesquisador, tem suas limitações pra estar enxergando os fenômenos, e ele vai caminhar até onde as limitações dele próprio podem chegar. Então, na verdade o que é importante nesse curso vocês estarem pensando, é nessa história de provar. Será que o cientista ele realmente, ele prova? Na verdade, ele não prova , ele estuda um	<i>Ênfase nas “provas.</i> <i>Ênfase nos aspectos não científicos.</i>

		fenômeno, ele elabora uma explicação... isso vai depender de verba de pesquisa, da sociedade, do status dele, do que está acontecendo na sociedade, da religião, de tudo... porque, se tudo isso não interferisse todo mundo estaria provando e como é que faz com as teorias que são divergentes? E é como eu falei, essas divergências não aconteceram só com a luz ou com as partículas... ela acontece em todos os ramos da Ciência e é isso que faz a Ciência evoluir. Tá legal? Mas assim... Júri, turma do corpuscular e turma das ondas, vocês estão de parabéns, eu estou muito feliz com o curso, estou muito feliz por vocês, que vocês estão se empenhando, a gente sabe das limitações de vocês... eu também, como professora, também tenho a minha limitação. Então, tá legal porque a gente tá aprendendo junto, vocês estão levantando questões, isso tá sendo muito legal e o empenho de vocês também está sendo muito legal. É aquela coisa que eu não apostei em vocês a toa. Então, o que eu ia pedir pra vocês, amanhã, estarem afiados desse jeito com o teatro... eu vou entregar pra vocês um texto, que é a base do que o pessoal do teatro... eles estão com algumas coisas na cabeça por causa do tal do script lá... Mas vocês que vão assistir tem que ter uma base para entender o teatro.	<i>Professora elogia a classe.</i>
150	28:38	<i>A professora começa a distribuir o texto de base para o teatro.</i>	<i>Os alunos começam a ficar dispersos com a proximidade do final da aula.</i>

14/9/2007 – Aulas 11 e 12

Teatro – Arquivo não Transcrito

Aula não transcrita.

Alunos apresentaram a peça duas vezes, a primeira só para a turma, a direção e coordenação da escola. A segunda vez para a turma novamente e para outras salas de terceiro ano da escola.

17/9/2007 – Aulas 13 e 14

Arquivo I: Tempo total = 53 min

Turno	Tempo	Falas	Observações
1	00:00	Professora: Só que hoje, né? A gente tem que continuar com a história. A1: Ah não... Professora: Depois no finalzinho tem mais uma surprezinha. Hein? <i>(Ruídos falam ao mesmo tempo cantam parabéns)</i>	<i>Professora atende alguém na porta.</i>
2	02:08	Professora: Ó gente vamos lá, vai. Na aula de hoje a gente tem é duas apresentações aí em PowerPoint, temos um filminho pra ver e depois tem mais coisas. Então eu sei que hoje é uma puxada, mas (inaudível) Pra/praticamente o conteúdo termina hoje. Praticamente, vamos dizer assim, tá? Depois é um reforço. Lembrando quinta feira vocês não podem faltar que é a nossa provinha.	<i>Falas sobrepostas.</i>

		<p>A1: o módulo não termina quarta?</p> <p>Pedro: Não. Tem feriado</p> <p>A1: que dia que é o feriado?</p>	
3	02:54	<p>Professora: Gente... Gente olha... de novo é... desliguem celulares... Vai ter um filminho, que depois vai parar a projeção pra passar,... só que a caixinha de som não está lá essas coisas, então assim até a respiração de vocês vai ter que ser assim,... sem barulho.</p> <p>Pedro: a gente promete não respirar, professora.</p>	
4	03:30		<i>Ruídos conversas. A professora parece aguardar algo</i>
5	04:19	<p>Professora: é... Pessoal, vocês são assim... é... Depois eu vou dar um reforcinho. Vocês pegam a mancada assim, né, Thais? que eu estou sempre batendo na mesma tecla, assim, sabe e isso vai ajudar pra responder às questões na quinta-feira. Vocês vão poder estar com todos os textos, mas já vou avisando as questões não são aquelas que ah deixa eu procurar no texto que é esse parágrafo que eu vou copiar.Vai entrar muito o que realmente vocês entenderam do todo pra responder. Então os textos vão ajudar. Mas é vocês mesmos que vão elaborar as respostas, tá? A prova é na quinta.</p> <p>Professora: Já vou avisar que respostas... vocês podem ter a mesma opinião, mas cada um exprime a opinião do seu jeito.</p> <p><i>(Conversas, manifestações)</i></p> <p>Professora: Ah lógico...</p>	<i>Contrato didático bem evidente voltado à avaliação.</i>
6	05:32	<p>Professora: Oh, oh. Vamos fazer o seguinte, vou só... voltar um pouquinho. Oh começou a nossa filmagem pshhhh, Só retomando lá, né? o que a gente trabalhou até agora... lembrando lá da nossa faixa que tá na sala de aula, estamos fazendo um recorte de um assunto da física, como que esse assunto veio evoluindo, como que as teorias foram sendo elaboradas, umas foram caindo por terra porque num determinado período se achou que elas eram absurdas, porque elas não conseguiam explicar de uma maneira coerente os fenômenos. Então desde lá dos gregos, como é que os homens começaram a querer explicar os fenômenos naturais utilizando a razão, o pensamento. Nós pegamos e fizemos um recorte pra o que seria o estudo da natureza da luz, ou seja, estudar o que é a luz. Eu to frisando que a gente fez um recorte porque na verdade, gente, quantos ramos da própria física, quantos assuntos da física, da química, da biologia, da medicina não estavam caminhando paralelamente a esse estudo aí da luz ao longo da história. Então nós fizemos um recorte dentro da história da ciência pra luz, mas pensando na ciência como um todo: medicina, química, biologia como tudo não vinha caminhando nessas idas e vindas das teorias.</p>	
7	11:25	<p>Professora: E os gregos, nós frisamos também por causa daquela teoria do Aristóteles, que na verdade ele não foi o primeiro que falou no éter, tá? Lá na faixa, tem uma figura de uma deusa indiana muito anterior ao Aristóteles e na mitologia dos indianos eles já falavam que não existia o vazio que existia uma substancia muito sutil que preenchia tudo, que no caso era o éter. Então Aristóteles não foi o primeiro que falou em éter. Muita gente antes dele que já falava do éter.</p>	

8	11:48	<p>Professora: Vocês viram que o éter vem caminhando aí ao longo da história dando suporte pra se entender como que alguns fenômenos aconteciam, mas tinha sempre aquele ponto de interrogação, né? Como vamos provar? Que foi até o que vocês levantaram no debate. Como é que prova que o éter existe? O éter, ele serviu de suporte para explicar os fenômenos e até então, como as próprias teorias pra explicar, que nem no nosso caso a natureza da luz, ainda vinham num processo aí de... de uma reformulação pra poder conseguir explicar todos os fenômenos e como o éter vem caminhando aí ao longo da história, o próprio Newton ele acreditava no éter, mas ele usava o éter quando precisava, né? Porque o éter tem esse ponto de interrogação: a gente usa ele quando necessário.</p>	
9	12:33	<p>Professora: Bom então, retomando, tá? Vocês... eu preciso recordar hoje.</p> <p>Os fenômenos da reflexão e da refração, tanto a teoria corpuscular quanto a teoria ondulatória, elas conseguiam explicar esses dois fenômenos. As duas conseguiam garantir a explicação pra esses dois fenômenos, tá? Então eu vou dar uma... uma reforçada aqui na idéia. Então oh... Pensando na luz como partícula, tá? Tá aqui as partículas de luz, chegando na superfície, né? E elas sofrendo reflexão. Então não tinha problema nenhum com os corpúsculos, tá? Chegavam, o ângulo de incidência aqui igual ao ângulo de reflexão, então a teoria corpuscular não tinha problemas pra explicar a reflexão. E a teoria ondulatória, aqui é uma frente de ondas, também não tinha problema: as ondas vêm batem numa superfície, se refletem com ângulo aqui de reflexão igual ao de incidência. Então ambas teorias eram satisfatórias pra esse fenômeno. Reflexão.</p> <p>Bom e o fenômeno da refração? Refração é quando a luz atravessa meios transparentes. Então tanto a teoria corpuscular, como a teoria ondulatória também explicavam a refração: as partículas chegavam aqui num meio transparente. Existia uma força de atração que fazia com que essas partículas penetrassem no meio, só que devido a essa força de atração, elas mudavam aqui, ó, ah. o sentido/a direção, ó aqui da trajetória. Então elas sofriam uma deflexão, aí na saída aqui do material transparente, por causa dessa força de atração do material transparente, elas eram atraídas de novo, por isso que elas sofriam de novo uma mudança aqui na direção da trajetória delas, mas elas passavam pelo material sem problemas. E a teoria ondulatória também não tinha problema pra explicar a refração: o trem de ondas chega, o material, é... permite a passagem das ondas, aqui as ondas saem, então a refração também é explicada por ambas as teorias, tá?</p>	
10	13:20	<p>Professora: Bom, a formação de sombra, pras duas teorias também não era problema. Corpos opacos não permitem a passagem de luz, mas nós temos luz vindas aqui de outras fontes, né? então mesmo tendo a sombra aqui do gato aqui a gente consegue ver os tijolos aqui, né? porque tá vindo luz de outras fontes, tá? Então a sombra também conseguia ser explicada, é... tanto pela corpuscular como pela ondulatória.</p> <p>Bom agora eu vou fazer uma... vou mostrar um/um fenômeno aqui pra vocês, tá?</p> <p>Ali vocês estão vendo, é uma fenda, né? na forma de um losango, na frente de uma lâmpada, né? então vocês estão vendo que forma aqui ó, a figura, né? que é um losango, certo? Aqui a gente tem uma fenda, né? Por onde está passando a luz do projetor,</p>	<p><i>A professora faz a experiência usando a lâmpada do data show.</i></p>

		então também, sem problemas, a luz passa pela fenda e chega no anteparo. Mas e se a gente tiver duas fendas? O que será que acontece?	
11	13:53	Professora: Olha, duas fendas que eu digo, são duas aberturas, tá? em linha reta. Olha o que acontece ali, no anteparo, tá? Temos aqui a formação de... franjas né? Linhas onde a luz está chegando, e esses lugares escuros aqui onde a luz não tá chegando, tá? Então só pra mostrar aqui, o papel pra vocês, é um papel onde eu tenho dois rasgos aqui, tá? É por esses dois rasguinhos que se formou ali aquela figura ali.	
12	14:15	Professora: Bom. Então, lembra daquela figura da gota caindo numa superfície de água? Quando a gota caía formava a perturbação na superfície da água, certo? Então aqui eu tenho uma superfície líquida, tá? Onde tá se formando uma perturbação aqui que vem chegando, aqui eu tenho dois obstáculos, tá? e aqui eu tenho uma fenda muito pequenininha. Então esse trem de ondas que está chegando aqui... eu estou numa superfície de água tá? Chega, aqui bate no obstáculo, então vai retornar, mas como eu tenho essa abertura aqui, esse trem de ondas que tá chegando aqui, aqui vai passar pela abertura e vai, vai formar uma nova perturbação desse lado aqui ó. Então, na verdade, essa fenda, ela funciona como uma nova fonte é...de perturbação, tá? Porque ela tá chegando aqui, tá conseguindo passar e a perturbação tá caminhando aqui. Então observem bem a forma né, da perturbação circular, tá?	
13	14:27	Professora: Ali eu tava numa cuba com água, agora vocês vão ver um filminho... vamos ver se a caixa de som está melhor, Então observem bem que é meio rápido, mas depois nós vamos reforçar as idéias.	
14	14:41		<i>Inicia o filme os alunos assistem atentamente em silêncio</i>
15	16:24	Professora: Vocês querem ver de novo?	
16	16:31	Professora: Dá pra passar de novo?	
17	16:35	Professora: Então só pra reforçar: Ele está mostrando a teoria corpuscular e a ondulatória, certo?	<i>Enquanto isso o filme recomeça.</i>
18	18:23	Professora: Bom, então, a finalidade aí do filminho é mostrar pra vocês que tinha esse fenômeno da... difração que no caso, a teoria corpuscular que era aquela que... era mais aceita, né? pela comunidade científica. Se você fosse pensar como corpúsculo, que as bolinhas que ele estava jogando ali, deveria passar pela fenda, e fazer um risco só, que é o que se observava, mas quando se põe duas fendas, que foi o que eu fiz aqui, o que desaparecia era aquela frente, né? Vários riscos de luz e se você pensar na teoria corpuscular, a teoria corpuscular não conseguia explicar esse fenômeno, tá? Então, vamos seguir em frente. Então reforçando: pensando na luz como corpúsculo, como matéria, como bolinha, tá? Então aqui eu tenho uma fonte de luz monocromática, ou seja, não a luz branca, mas ou a luz azul ou a luz vermelha, tá? Então essa luz tá chegando, aqui eu tenho as duas fendas, então pensando como partícula, como corpúsculo, a luz vai passar pela fenda e ela vai formar aqui no anteparo, é... dois riscos referentes a essas duas fendas aqui, pensando na teoria corpuscular. tá?	

19	20:53	<p>Professora: Bom pensando na luz como onda, então tá chegando uma frente de onda aqui, cada é..., fenda dessa vai se comportar como uma fonte emissora de... de onda, cada uma delas, vai formar aqui a sua frente de ondas, aqui é quando elas estão uma interferindo na outra.Certo? E aí o que que acontece quando a gente é... pensa na luz como onda, né? O que deve aparecer do lado de lá são vários riscos aqui, né, várias franjas de luz, aqui luz, aqui escuro, aqui luz, aqui escuro. Então a teoria ondulatória ela consegue explicar, ser satisfatória aqui pra explicar também a existência dessas franjas aqui que foi a que vocês viram também, tá? Bom então agora eu vou explicar porque que isso acontece.</p>	
20		<p>Professora: Bom então aqui eu tenho uma onda, tá e aqui eu tenho outra onda. Elas têm amplitudes diferentes.Olha essa onda aqui é maior do que essa. Só que elas estão em fase. O que que é estar em fase?A parte de baixo aqui da onda... essa daqui também tá na parte de baixo, tá vendo? Elas estão em fase. Quando aqui tá em cima aqui também tá em cima. Isso é estar em fase. Só que elas são de amplitudes diferentes, certo? Essa é menor e essa aqui é maior. Quando elas estão em fase, o que que vai acontecer? Elas vão se somar, ou seja, a intensidade, a amplitude aqui vai aumentar, ó, elas se somaram: a parte de baixo com essa parte de baixo, terá essa parte de baixo aqui... aumentada, né? E quando elas estão defasadas? Ou seja, nessa onda aqui eu to com a crista aqui, mas a debaixo eu to com um vale e quando aqui eu to com um vale, eu to aqui com a crista. Então elas estão defasadas. Quando isso acontece, meio que elas se subtraem.Então vocês vejam que essa daqui que é maior é como se ela subtraísse esse pedaço então ela se apresenta menor aqui, tá?</p>	
21	22:13	<p>Professora: Bom e quando elas estão é... defasadas, então aqui ó, uma tá com a crista e a outra tá com o vale, certo? Só que elas têm o mesmo tamanho, a mesma amplitude, elas são ondas iguais. O que acontece é que quando elas se subtraem a onda desaparece, tá? Elas se cancelam, vamos dizer assim. Isso, não sei se vocês já perceberam em balada, quando vocês vão, tem certos lugares lá do salão que tá acontecendo a balada, que parece que a luz tá/o som, tá mais alto, em alguns lugares da balada, e em outros parece que o som tá mais baixo, então, os engenheiros de som né, esse pessoal que... vai colocar as caixas de som, eles têm que ver muito bem onde eles vão colocar as caixas porque isso é normal, porque quando... as ondas têm o mesmo tamanho, certo? Tão sendo emitidas pela mesma fonte, então lugares em que essas ondas vão se cancelar, o som vai dar uma diminuída básica. Não diminui de tudo porque a gente não pode esquecer que o som tá batendo nas paredes, nas pessoas, e tão se refletindo, em várias direções. Mas o som dá uma diminuída quando a intens/...como elas são ondas iguais, elas se cancelam naquele ponto lá, num determinado lugar da balada.. então se eles não souberem estudar onde eles vão colocar as caixas, esse problema é mais enfatizado. E tem lugares em que o som aparece mais alto, por que? Porque é quando elas estão se somando, tá?</p>	
22	23:55	<p>Professora: Bom então nós estamos vendo sobreposição ou interferência das ondas, né/ quando duas ondas se sobrepõem surge a figura de interferência. Lembra que no finalzinho do segundo bimestre quando eu recordei ondas com vocês foi justamente pra chegar nesse ponto, tá? Então vamos pensar aqui ó na...na experiência da difração. Aqui eu tenho o obstáculo com duas fendas e eu tenho ondas chegando aqui. Cada fenda dessa vai é...funcionar como uma fonte emissora de ondas. Então, cada</p>	

		fenda vai emitir aqui a sua frente de ondas, e vai ter regiões aqui que essas ondas vão se sobrepor, elas vão se encontrar aqui ó, então vai ter lugares em que elas vão se somar, que é onde vai aparecer a luz lá no anteparo, e lugares aonde elas se cancelam, é onde aparece o escuro, lá naquela experiência, tá? Então aqui ó, por essa figura vocês podem ver ó, lugares onde elas se sobrepõem, aparece a luz mais intensificada, e lugares onde elas se cancelam, é onde aparece escuro. E por isso que a gente tem a formação das franjas aqui: luz, escuro, luz, escuro, luz, escuro, tá?	
23	24:15	Professora: Bom, na verdade essa experiência aqui, com uma fonte de ondas, as ondas aqui passando por uma fenda e depois por uma fenda dupla, é a experiência do Thomas Young, que era médico , e que é... estudando o som, como ele era médico, ele se... ele quis estudar. Ele se aprofundou no estudo do som e aí ele fez a analogia depois com a luz. Ele pensou na luz também como uma onda como o som já era conhecido. E aí ele fez essa experiência, ele percebeu por causa do estudo das ondas que tem lugares que as ondas se cancelam e tem lugares que as ondas se intensificam, por isso que por duas fendas a gente vê aquela figura aqui no anteparo, tá? Aqui, ó é uma outra figura também mostrando a experiência do Thomas Young, né? Lugares que elas se sobrepõem e nós temos aqui é... aquele espectro das...da luz aqui no anteparo. tá?	<i>Alunos demonstram interesse na explicação.</i>
24	26:20	Professora: Bom agora nós vamos pro outro PowerPoint. Então assim, o que é importante aqui é que na verdade o fenômeno da difração era uma pedrinha no sapato também. O Newton ele explicou a reflexão, a refração, quando chegava na difração, ele dizia assim: ah, mas a gente ainda tem tempo pra explicar esse fenômeno, né? Então porque ele e os seguidores dele defendiam a teoria corpuscular, então uma hora a explicação aparece, né? Tudo a seu tempo. Bom, então no século XVIII, quase todos aceitavam a hipótese de que a luz era partícula, que a luz era... corpúsculo, né? Baseados, lá no... nas teorias do Newton que ele tinha todo, né? o status dele, como inventor, como... é pesquisador, porque... o Newton, é... a gente não vai tirar a importância dele aí ao longo da história, porque ele foi a pessoa que elaborou na época o que se pensava que era fazer ciência porque ele observava, ele montava experimento, ele estudava aquele experimento de tudo quanto era jeito, vai, lembra da experiência do prisma? Naquele espectro que ele mudava a distância do prisma, o tamanho do prisma, o tamanho da fonte, então ele era uma pessoa muito detalhista, ele era um cara que esmiuçava aquilo até não dar mais, aí ele juntava a análise matemática, e elaborava uma teoria em cima. Então era como se ele não deixasse assim, fiozinho né? pra ninguém falar nada, do que ele tinha feito. Então ele era uma pessoa muito admirada, ele era um inventor, né? ele inventou o telescópio, aí ele foi convidado para a Academia de Ciências. Então ele chegou num apogeu. Vamos dizer assim que pra alguém contestar, né? o Newton, também tinha que ter um embasamento muito bom. Porque ele soube fazer a coisa muito bem, né? E ele tinha lá os seus seguidores, ou seja, aqueles outros pesquisadores que apoiavam o trabalho dele e tudo o que ele já tinha feito, né? Então no século XVIII ninguém tinha dúvida que a luz era corpúsculo. A não ser o Euler né? Que ele ainda era uma pessoa que pensava na luz como onda, tá?	

25	28:53	<p>Professora: Bom em 1809 o Laplace publicou um trabalho adotando e reforçando né, a teoria lá de Newton, de que a luz era corpúsculo. E ele era um membro influente aí da comunidade científica. Bom, mas tinha essa pedra no sapato, que era a difração, né? Que era esse fenômeno que vocês viram ali. Então, no século/início do século XIX parecia que a teoria corpuscular explicava quase todos os fenômenos. Tinha aí a difração que era um fenômeno que precisava ser explicado, ainda, né? Bom. Início do século XIX: aqui nós temos uma foto aí do fenômeno da difração, as duas fendas aqui produzindo aqui os trens de ondas e aqui a figura que se observava no anteparo, tá?</p>	
26	30:02	<p>Professora: Então experimentos sobre difração e interferência começaram a convencer os físicos de que a luz então era uma onda, porque se pensar a luz como onda, explicava o fenômeno da difração, coisa que se pensar a luz como corpúsculo não explicava, como vocês viram no filminho. Pensando na luz como corpúsculo só podia aparecer... duas fendas e, no entanto o que se observava era isso aqui ó. Então, a teoria ondulatória explicava favoravelmente aqui o fenômeno da difração. Só que a mudança, né, da opinião começou é... a ter é... só a partir ali da década de 1820, né? Bom.</p> <p>Dois pesquisadores é que foram muito importantes aí pra aceitação da teoria ondulatória da luz que foi o médico Thomas Young que foi ele que começou a fazer esses experimentos de fenda dupla, por que ele era médico, ele queria estudar o som, aí ele começou a fazer uma analogia com a luz e aí ele começou a montar aquela experiência e a observar o que estava acontecendo e o Fresnel, como vocês viram no teatro, também.</p>	Faz gesto.
27	31:09	<p>Professora: Bom. Conseqüências: aceitar a teoria é... ondulatória... isso causou duas conseqüências importantes, tá? Uma delas é a aceitação do éter, porque como a gente viu, pensar na luz como onda, a luz na verdade é a perturbação do meio, então eu preciso acreditar no éter, senão não tem como, certo? E a outra conseqüência, foi que isso causou um impacto na comunidade científica, né? Porque, por causa que todo mundo acreditava nas idéias do Newton e o Newton era o defensor aí da teoria corpuscular. Então, vocês imaginem na época o que era, é... chegar com uma teoria, né? na verdade retomar, lá as idéias do Huygens né? De mais de cem anos atrás, quer dizer num determinado período da história o Huygens foi esquecido porque a teoria ondulatória não encontrou força dentro da comunidade científica pra se manter e seguir aí com os estudos dela, então a corpuscular é que foi mais aceita. Agora imagine depois disso a retomada e o que ia acontecer com quem acreditava na teoria corpuscular, tinha que mudar de opinião, né?</p>	
28	32:32	<p>Professora: Bom. O Thomas Young, né, como eu falei, ele era médico e aí ele começou a defender a teoria ondulatória da luz. Só que o Young ele fez o experimento, ele se dedicou ao estudo, mas é... faltava pra ele um pouco mais de aparato matemático pra poder explicar é a luz como onda, né? Então ele lançou a idéia, ele fez os estudos, os experimentos, ele elaborou a teoria, mas faltou pra ele é... Vamos dizer assim alicerce matemático mesmo pra ele conseguir defender mesmo a idéia dele. Bom ele conseguiu isso estudando o fenômeno das ondas, né? a sobreposição então ondas em fase, elas se somam, e ondas em fase oposta, elas se cancelam. O Young ele não usou o termo interferência construtiva e destrutiva, destrutiva é quando a onda se cancela. É... ele falava de combinação de onda e foi Fresnel que introduziu</p>	

		esses termos aqui. É... os estudos dele foram bem feitos, mas na época não convenceu ninguém, também. Ele fez os estudos, ele publicou, mas ainda não levantou a polêmica sobre o assunto. Foi o Fresnel, que ele 20 anos depois do Young que ele começou a estudar o mesmo experimento da fenda dupla, da difração, e ele era um excelente matemático, então aí ele teve, né? Todo o aparato que a matemática precisava pra explicar o fenômeno. Então ele abraçou, né? a idéia de que a luz na verdade é onda, né? E ele foi que conseguiu explicar a teoria é... o fenômeno da difração utilizando o/a teoria ondulatória. Esse aqui é o trabalho que ele publicou, tá? e... o Arago, ele foi é... a pessoa que deu todo o apoio pro Fresnel, porque inclusive ele era o editor aqui, dessa... desse artigo, né? Ele que ajudou o Fresnel a poder publicar isso aqui, o trabalho dele, tá?	
29	35:02	<p>Professora: Bom quem era o Arago? O Arago ele era o presidente daquela Academia de Ciências, ele era corpuscularista, tá? Como a maioria das pessoas que freqüentavam lá a Academia de ciências, né? Mas ele começou a ter um olhar pra teoria ondulatória e pros trabalhos do Fresnel, e ele começou a incentivar o Fresnel, a dar todo o apoio que o Fresnel precisava pra continuar com as pesquisas dele, com a teoria dele, tá? E o Arago, ele tinha prestígio, porque ele era o presidente lá da Academia de Ciências, né? Então em 1817, a Academia de Ciências propõe um prêmio pra quem explicasse melhor o fenômeno da difração, tá? De forma quantitativa porque tinha que ter além de uma teoria bem elaborada, a análise matemática dela também. Bom, só que o fenômeno da difração, é, vamos assim, o tiro saiu pela culatra, né, quer dizer, é, o prêmio era pra quem explicasse a difração, era esse fenômeno aqui, só que o estudo, em vez de é... ser mais um apoio pra teoria corpuscular, na verdade fez ressurgir a teoria de Huygens da teoria ondulatória.</p> <p>Bom, o Fresnel, com o apoio do Arago, ele se candidatou, apresentou o estudo dele, né? com toda teoria matemática que explicava a difração. é... na verdade, só recapitulando né? foi o Huygens que lançou primeiro a idéia de que a luz seria onda, quase cem anos depois o Young retomou os experimentos e o Fresnel, né? Manteve contato, ele não leu os trabalhos do Young, mas ele manteve contato com o Young, trocaram idéias, e aí ele deu o reforço aí matemático que a teoria do Young estava precisando. Bom a comissão julgadora lá do prêmio era formada pelo Arago, que foi quem incentivou o Fresnel a colocar o trabalho dele né? na competição aí do premio, tinha o Biot, o Poisson e o Laplace, só que todos eles eram seguidores do Newton, todos eles apoiavam a teoria corpuscular da luz, tá? Mas mesmo assim, né? O Fresnel, o trabalho do Fresnel era tão bom que ele conseguiu mostrar que na verdade a luz era uma onda né? e ele ganhou o premio.</p>	<i>Alunos continuam atentos.</i>
30	38:12	<p>Professora: Bom, ele publicou outros trabalhos com o apoio do Arago, e que chegou à conclusão então do reforço aqui né? pra se aceitar a teoria ondulatória pra luz. Foi graças à capacidade matemática que ele tinha que ele foi que conseguiu explicar o fenômeno da difração com todo o apoio da teoria da matemática.</p> <p>Bom com isso teve aí a morte da teoria corpuscular, é o Biot aqui e o Poisson, eles eram... mesmo assim eles continuaram batendo o pé que talvez a luz fosse corpúsculo, mesmo, só que na década de 1830 só aqueles físicos mais velhos assim é que ainda continuavam defendendo a teoria corpuscular.tá?</p>	

31	38:38	Professora: Bom. A óptica do século XIX: Já não se discutia mais o que que a luz era, se era partícula ou era onda: já se aceitava a natureza ondulatória pra luz. Com isso todos tiveram que começar a aceitar que a luz era uma onda, né, no éter. Mas aí o que começou a ser a pedrinha no sapato não era mais a difração porque estava explicada, mas as propriedades desse éter, porque aceitando que a luz era uma onda, temos que aceitar o éter, tá?	
32	39:12	Professora: Bom aí, a comunidade científica,... ó eu com os aí, né, a comunidade científica começou a questionar essas propriedades do éter, e começaram então é a incentivar as pesquisas em cima do éter, pra detectar o éter, no caso como que é a velocidade da Terra em relação a esse éter, porque lembrando que o éter é uma matéria muito sutil, muito leve, que os nossos sentidos de visão, de tato não conseguem detectar, mas o éter ta envolto aí em todo o Universo. Então, pensando no nosso planeta, como que o nosso planeta aí executa os movimentos dele, em relação a esse éter. Seria como pensar assim num navio no mar, pensar no movimento de um navio em relação ao mar, e pensar no movimento da Terra em relação a esse éter. Então muitos experimentos começaram a dar resultados e já não se tinha dúvidas sobre a existência do éter no final do século XIX. Mas nem todos os experimentos davam certo, tá? Então o experimento do Michelson não conseguia detectar aí a velocidade da Terra em relação ao éter.	<i>Apesar da longa exposição os alunos permanecem atentos.</i>
33	40:26	Professora: Mas as pesquisas continuaram, né, o Lorentz, o Poincaré, começaram a estudar que tudo que se sabia de física que era o que chamamos de física clássica que a .. todas as teorias que se tinha na física clássica não conseguisse é... responder a todos os fenômenos da natureza. Então eles começaram a introduzir a idéia do principio da relatividade e de uma nova mudança dentro da física, tá? Então o Poincaré, o Lorentz e outros pesquisadores começaram a propor mudanças na física pra resolver outros fenômenos que a física clássica não conseguia responder. Além deles o Einstein, o Abraham e o Minkowski e outros aí começaram a pesquisar, mas quem levou a fama foi o Einstein. Então também não vamos tirar o mérito do Einstein, que foi ele o que elaborou a teoria, tudo, mas o que a gente tá querendo dizer com essa frase aqui é que não foi só ele. Ele veio é... ele aprimorou a teoria, mas que outros, que o Poincaré, o Lorentz, que esse Minkowski aqui já vinham também falando e propondo, então eu também não sei se vocês conseguem ter a idéia que tem um cara que ele chega e parece que ele consegue ter a visão do que os outros todos já fizeram, e aí ele consegue fazer a... juntar as coisas, e aí ele elabora de um jeito que parece o que os outros ainda não conseguiam elaborar e aí às vezes ele... e ele acaba levando a fama, tá?	
34	42:18	Professora: Bom essa entrada ai no Einstein, foi só pra dizer que a coisa continuou. Mas o nosso curso em si ele acaba no Fresnel, tá? Em termos de/de conteúdo na verdade ele foi o cara que é... desbancou a teoria corpuscular e que o premio da Academia que era pra estudar a difração, na verdade, a intenção do premio não era derrubar a teoria corpuscular, era arrumar uma explicação para a difração, mas na verdade a explicação veio e teve a consequência de derrubar a corpuscular, tá?	
35	42:58	Professora: Bom: alguém quer fazer alguma pergunta? Todo mundo entendeu a difração gente? Que é o fenômeno das duas fendas, então se a gente pensar na onda como corpúsculo	

		não explicava aquelas várias fendas ali, que apareciam, e o Newton já tinha conhecimento desse fenômeno, mas enfim ele dizia, não, calma gente que a gente vai conseguir explicar, entendeu? Isso não derruba a teoria corpuscular, mas derrubou depois, com Fresnel, tá?	<i>Faz gesto</i>
36	43:37	Professora: Bom agora, eu queria saber de vocês quem não tem o texto do teatro? A1: Eu A2: Eu Professora: O texto do teatro, ele... Quem não tem o texto do teatro porque a gente vai repassar agora, eu queria que os atores seguissem porque nós vamos repassar as falas do teatro, porque ali, né?... na hora da encenação, toda, e tal, passou muita frase meio que batida, vamos dizer assim, que agora a gente está retomando o assunto pelo qual o teatro [...], isso é mais um texto pra vocês. Vão distribuindo aí...	<i>Entrega textos</i>
37	44:48	Professora: Os atores têm o texto, né? A: Professora? A2: Pega um pra mim também.	
38	45:06	Professora: Como... o Felipe faltou... Quem quer fazer a fala do Felipe? o Felipe era o aluno 1 ou o aluno 2?	
39	45:37	Professora: Ninguém quer fazer o papel? Eu que vou ter que fazer o papel do Felipe?	<i>Conversas dos alunos</i>
40	46:08	A1: O Fernando era o aluno 2 A2: Professora, heim, dá um?	
41	46:36	Pesquisadora: Solange, não sei se esse... é melhor seguir esse aqui...	
42	46:42	Professora: Bom... então olha gente a função da gente estar repassando o diálogo, tudo bem teve aquela... é... atividade legal, de se enturmar de quebrar aquela [...] mas o teatro também teve a intenção de reforçar essas idéias que a gente está estudando. Por isso que a gente vai repassar ele, tá? Então eu queria que os personagens fossem lendo bem alto as suas falas, tá? Atenção, começa... Começa aqui na cena 1, né? Aluna 1 vamos lá... A1: Nossa a Camila lendo vai ser show hein? Professora: Aluna 1 quem é?	
43	47:33	A: Eu (<i>acaba o arquivo gravado</i>)	<i>A aluna inicia a leitura.</i>

17/9/2007 – Aulas 13 e 14			
Arquivo II: Tempo total = 36 min			
Turno	Tempo	Falas	Observações
44	00:00	<i>Continuação da leitura do texto do teatro.</i>	
45		Professora: Eu queria só reforçar umas idéias com vocês, o seguinte... aqui no texto do teatro, fala da teoria geocêntrica e heliocêntrica. Então é mais um exemplo de como é... muitas vezes durante um certo período da história, os homens, devido à cultura, devido à sociedade, à religião, à tecnologia, enfim, vão aceitando uma certa teoria até determinado tempo, até que é... um	

	10:19	<p>outro grupo de pesquisadores, que vem defendendo uma outra idéia conseguem numa determinada época, é... através da observação, das hipóteses, dos experimentos, elaborar uma nova teoria que acaba satisfazendo melhor as explicações dos fenômenos. Então Isso que nós vimos com a luz, que começou lá com o negócio de onda, partícula, onda, partícula, aí por causa do prestígio do Newton, a teoria corpuscular é... foi mais aceita, a teoria ondulatória foi colocada de lado. Aí depois a ondulatória é retomada pelo Young, mas o Young não tinha apoio. Vamos dizer assim que ninguém deu bola pro trabalho do Young, certo? Ele não teve, talvez por ele ser médico, não sei, mas enfim, ele não encontrou uma pessoa que fosse lá e investisse: Oh, Young, vamos lá, você tá precisando de um reforço aí na matemática, não, o Young ficou lá. Vinte anos depois, o Fresnel começou a estudar os experimentos de difração, entendeu, ele conversou, ele trocou idéias com o Young, só que o Fresnel teve uma diferença:</p> <p>A: Ele é mais inteligente. (Fala ao mesmo tempo que a professora)</p> <p>Professora: Ele teve o apoio do Arago. Pra vocês verem como o prestígio, né? De quem é... pode estar fornecendo aquele apoio, aquela verba pra pesquisa... Não vamos esquecer que o pesquisador, pra ele parar lá anos e anos pra ficar estudando um experimento, ele tem que ter alguém que banque ele também, né?</p>	
46	12:26	<p>A: Professora, o Fresnel ele tinha dinheiro?</p> <p>Professora: Aí eu não sei te dizer, mas o que eu sei é que o Arago deu apoio, não só incentivo, mas condições de trabalho pra ele. O Arago foi uma peça importante porque foi ele que apoiou o Fresnel pra se candidatar ao prêmio, e tudo mais, entendeu? Se, talvez, né? A gente não sabe a história como...mas e se o Fresnel não tivesse tido o apoio para fazer, será que sozinho ele tinha chegado lá, né? Então, é importante vocês pararem pra pensar, no apoio tá?que às vezes os pesquisadores precisam ter.</p>	
47	13:2	<p>Professora: Bom agora, atenção em tudo o que eu falei na aula de hoje, vocês vão entregar umas questõezinhas.</p> <p>Alunos: Ah não! Professora!</p> <p>Professora: Dez e vinte, dá tempo!</p> <p>Alunos: Ah não, professora!</p> <p>A1: Amanhã a gente faz.</p> <p>Professora: Vamos começar hoje.</p>	<i>Distribui a folha com as questões</i>
48	14:04	Professora: Põe nome e entrega	
49	14:35	Professora: Todo mundo tem as questões?	
50	15:12	Professora: Pessoal, depois da aula de hoje, vocês acham que o teatro deu pra entender melhor? Aquelas questões do Arago, (<i>ininteligível</i>), o que vocês acham? A aula de hoje deu uma esclarecida melhor no assunto? Todo mundo tem?	
51	15:19		<i>Os alunos começam a fazer as questões</i>
52	16:06	<p>Professora: Vocês estão vendo como na verdade as idéias não podem ser totalmente rejeitadas, né? O coitado do Huygens, lá, ninguém deu valor pra ele...</p> <p>A2: Professora...</p>	
53	17:14	A3: Professora... é pra responder aqui?	

		Professora: Só não esqueça de por o nome, hein?	
54	17:21		<i>Os alunos respondem individualmente com pouca conversa entre eles.</i>
55	18:19	A4: Professora (<i>inaudível</i>). Professora: Qual que é? A4: A 2. (<i>parece que ela lê a questão 2</i>). Professora: Como é que... você ainda tem dúvidas? (<i>inaudível</i>). Normal. É... Ainda tem aqueles que defendem o éter... (<i>inaudível</i>).Põe o que você entendeu, tá?	
56	22:07	Professora: Pessoal, só um instantinho que eu quero falar com vocês... é... Vai funcionar assim: quem quer e quem gosta, né? e quem não gosta fica pra julgar de novo, como foi no debate. Mas, no ultimo dia que é a quinta-feira, A: É prova. Professora: Então, pra não acumular tudo pra quinta-feira, vou dar a idéia, pera aí: na quinta, pra quem gosta de lidar com esse negocio de musica, tem mais uma atividade, que vocês podem fazer o que vocês quiserem: ou pegar ai sei lá, uma musica e vocês mudam a letra, né? (<i>inaudível</i>). Como é que chama? A: Paródia. Professora: Paródia? Isso, ou vocês fazem tudo novo, musica e tudo, mas a lê/...pode ser hip erre hip hop, pagode, sei lá, serenata, sei lá, o que vocês gostam, certo? O estilo é de vocês, mas a letra tem que falar sobre essa coisa que nós trabalhamos, da guerra aí da teoria corpuscular, da teoria ondulatoria, entendeu? Do trabalho do Fresnel, da base do nosso (<i>inaudível</i>). Então aí vocês se juntem, certo? Façam aí um grupo, né? aí depois vocês... A: Vai ter nota? Professora: Tudo tem nota. Até quando dormem na minha aula tem nota. A: Tem? Professora: Uhh!	<i>Risos</i>
57	24:05	A: É bom saber. Professora: É bom saber.	
58	24:08		<i>Professora fala com a pesquisadora</i>
59	24:31	Professora: Ah sim e vai ter um prêmio surpresa. A2: É de comer? Professora: É vai ter um premio. A2: É de comer? A: Esse pessoal só pensa em comer... (<i>Falam junto com a professora</i>). Professora: a melhor música aí pode ter um instrumento, pode ter... Então outra coisa, eu e a Thais estamos imaginando que não vai ter um grupo só de musica, né? Nós estamos imaginando que vai aí ter três ou quatro pra gente julgar, Então, vocês acham que tem que ter a necessidade... porque a quarta feira, o dia da quarta	

		<p>feira, seria é... pra fazer uma re...visão. Vocês acham que tudo que eu já falei pra vocês, os textos que vocês têm precisa ter um dia pra fazer revisão?</p> <p>A: Não.</p> <p>Professora: Vocês já estão carecas de saber, né? Eu acho. Então, a provinha, então, as perguntas que vocês vão responder vai ser na quarta, e aí na quinta é o show de música... aqui. Jóia? Ou seja, vocês fazendo a letra da música, vocês não estão deixando de reforçar, de estudar, né?</p> <p>A: Professora (<i>ininteligível</i>).</p> <p>Professora: Não, não. Grupos. Você e ele podem fazer um hip hop, a Gisele com a Daniele vai fazer, sei lá, um pagode, um sertanejo, é. Entendeu? Pode ser um trio, aí, mas tem que ter pelo menos 3 ou 4 né? É um concurso de música. Pra concorrer sozinho não tem graça, é um concurso de música.</p> <p>A: Tem que cantar?</p> <p>A2: Queria saber o premio.</p> <p>A: Tem que cantar?</p> <p>Professora: Sei lá?... Como é que nós vamos ouvir?</p>	
60	25:53	<p>Professora: Vocês se saíram tão bem no teatro. Agora nós queremos ver os dotes musicais. Então, olha, lembrando. Quarta feira ninguém pode faltar, porque vai ser a... a provinha, e na quinta é o fechamento do curso.</p> <p>A2: Então amanhã pode faltar...</p> <p>Professora: Amanhã pode faltar. Amanhã ainda tem mais um último texto de apoio e aí eu acabo fazendo a revisão também, tá?</p>	<i>Risos</i>
61	26:23	<p>Professora: Ah eu queria um voluntário, porque eu estou sempre chegando pra dar aula pra vocês. aí senão Eu só chego pra dar aula pra vocês. Eu estou com... com... personagens aí pra colocar na nossa faixa, que vai filmar e a nossa faixa aí como tá?</p> <p>Pedro: Hei Diogo, cadê a foto?</p> <p>Professora: Amanhã vocês precisam trazer gente lá. Porque eu trouxe alguns, eu queria é deixar com alguém.</p> <p>A: Deixa que colo. ... Eu colo.</p> <p>Professora: A Thais vai arrumar depois aquele CD com as fotos, é que ela ainda vai bater mais fotos, aí depois o cd com as fotos ela vai me arrumar ai uma copia pra quem quiser, tá? Quem eu posso deixar? É o meu monte aqui... quem eu posso deixar?</p>	
62	27:32	<p>Professora: Então olha eu vou reservar a sala de vídeo aqui pro show de musica da quinta-feira, tá?</p>	<i>A professora sai da sala</i>
63	32:24	<p>Professora: Aí num dava tempo?</p>	<i>A professora retorna à sala. Vários alunos estendem a mão para entregar as questões.</i>
64	35:35	<p>Professora: Deixa eu só fazer uma pergunta: vocês tinham idéia que a ciência, ao longo do tempo acontecia essas coisas, quer dizer, uma hora é uma teoria que está sendo mais aceita, depois ela cai por terra porque ela não consegue explicar tudo, aí vem uma outra, Vocês tinham noção de que era assim?</p> <p>A: Não.</p>	<i>Vários falam ao mesmo tempo.</i>
65	35:55	Fim do arquivo.	<i>Levantam falando</i>

			<i>para sair.</i>
--	--	--	-------------------

18/9/2007 – Aulas 15 e 16			
Arquivo I: Tempo total = 52 min e 30s			
Turno	Tempo	Falas	Observações
1	00:05	Professora: ...A resposta... mas quem vai corrigir, vai falar se a resposta ta certa ou não vai ser o outro grupo que eu vou chamar...	
2	00:10	<p>Professora: E aí o outro grupo é que vai ter que argumentar... “Eu aceito, a resposta ta completa...” ou “Eu acho que é diferente, assim assado...” tá bom? Só que antes eu queria fazer uns comentários até pra ajudar vocês... na prova...</p> <p>Pedro: Vai ter um outro debate aqui na hora?</p> <p>Prof: É... vai ser um mini debate improvisado, tá? Mas eu queria... dar uma orientação assim pra vocês, não só pra ajudar na prova de amanhã, como pra ajudar mesmo no geral... eu acho que o que eu vou falar vai ajudar aí... até vocês que vão prestar vestibular aí... e vocês sabem que a redação vai ter um peso muito grande, né... na... no vestibular, né... Então, é o que eu queria comentar aqui com vocês. Lendo aquela primeira atividade, que era aquela do texto dos gregos, do Aristóteles, do (?) e tal... As questões eram assim, de alguma forma, pra vocês darem a opinião de vocês. Então eu não tenho, por exemplo... eu não posso dar errado pra uma pessoa que achou que a melhor teoria era a do (?)... porque ele achou, pra ele, que era uma teoria melhor que a do Aristóteles. A opinião de vocês tem que ser respeitada... não tem um certo ou um errado. Agora como que eu to avaliando uma questão pessoal como essa? É como que vocês argumentam pra aceitar que a teoria do Aristóteles ou do (?) era a melhor. Então é o que vai pesar, eu acredito que é o que pese assim numa redação, a opinião de vocês... como vocês argumentam. Então até dando um toque pra vocês, amanhã, pra provinha de amanhã é o que vocês vão enfrentar aí na vida de vocês, pra emprego, pra vestibular... Bom, muitas respostas que eu encontrei tava assim “ah, eu acho que a melhor teoria é a de Aristóteles porque a teoria dele é menos ridícula, é menos absurda, é menos irreal, é mais surreal, é mais concreta, mais certa, menos confusa, é mais definitiva, foi mais importante pra época... Então, assim... cuidado com esses adjetivos porque... é... vocês teriam que ta argumentando, assim, “eu aceito a teoria de Aristóteles porque... dentre as que eu conheci...”... vamos lembrar que não foi só as três, as três foi as que deu tempo de mostrar pra vocês, mas quantas outras teorias não tinha na época? Então vocês fazerem uma afirmação do tipo assim... “é a melhor teoria da época”, pra fazer uma afirmação dessa vocês teriam que ter visto as outras, né... tá? É... colocar assim “é menos ridícula”, vocês não tão argumentando... “ah, a teoria dele é aquela que apresentava uma coerência melhor...”, entendeu? São adjetivos meio... meio pesados, assim, porque vocês não tão argumentando, vocês tão qualificando a teoria deles. E a argumentação mesmo pra dizer “eu aceito essa por causa disso...” vocês não tão fazendo, ta? Então, assim, eu não sou professora de português mas eu acredito que dentro de um vestibular que vocês venham a enfrentar, é uma dica que eu to dando pra vocês... quer dizer, vocês darem adjetivos não significa que vocês tão argumentando</p>	<p><i>Professora faz revisão do conteúdo e orienta os alunos sobre as questões abertas, como argumentar, como redigir, etc.</i></p>

		porque que vocês fizeram aquela escolha, tá?	
3	04:38	<p>Professora: Uma outra coisa que eu queria perguntar pra vocês pra gente até reforçar essa idéia... Tudo que a gente viu, né... Vocês acham que um pesquisador, um filósofo, ele consegue é... provar que algum fenômeno funciona de acordo com a lei que ele elabora? Ele prova? O que vocês acham? Agora eu queria, assim, ouvir vocês...</p> <p><i>Comentário inaudível do aluno na primeira fileira.</i></p> <p>Professora: Então vamos... vamos recapitular então... Nós vimos que começou aquela história com os gregos, que eles começaram a questionar os fenômenos, cada um começou a dar uma explicação diferente, né... depois nós tivemos que pular pro século XVII, onde tinham aqueles que defendiam a teoria corpuscular, outros defendiam a idéia que a luz era uma onda, né... no final do século XVII não tinha um consenso, mas a teoria corpuscular teve uma aceitação melhor por causa do Newton... e depois veio o trabalho do Young, veio o trabalho do Fresnel que acabou consolidando uma outra idéia. Então, ao longo do que a gente viu, os pesquisadores, eles conseguem provar que a teoria deles é correta?</p>	<p><i>Professora problematiza a questão do provar e pede que os alunos se posicionem. Retoma o conteúdo de cada episódio fazendo uma síntese dos aspectos mais relevantes. Ela fala de conteúdos históricos mas enfatizando indiretamente a natureza da ciência.</i></p>
4	05:43	<p>Jade: Bom professora, provar não é a palavra correta, mas eu diria explicar, né, é uma palavra melhor... pra que, na época era ... não a melhor, mas, seria a certa, a correta.</p>	<p><i>A aluna Jade posiciona-se demonstrando que compreendeu esse aspecto de NDC que pretendíamos:</i></p>
5	06:26	<p>Professora: A mais aceitável?</p> <p>Jade: A mais aceitável.</p>	
6	06:30	<p>Professora: Então, na verdade, outra coisa que é bom vocês lembrarem, tanto a teoria corpuscular como a ondulatória, elas explicavam a reflexão, explicavam a refração, mas elas tinham fenômenos que eram inexplicáveis. Ambas elas tinham. Tanto que a refração ficou pra ser explicada depois... o próprio Newton dizia “ah, com o tempo a refração vai ser explicada”... Então, na verdade, quando um pesquisador monta uma teoria, ele não ta provando... ele monta um experimento, pra poder estudar o fenômeno... ele, é... faz várias variações, ele elabora segundo as idéias dele, o que ele tem de tecnologia, de informação, com o recurso financeiro que ele tem de apoio de outros pesquisadores...</p>	<p><i>Professora comenta limitações das teorias, enfatizando requisitos para sua elaboração, como experimentos, levantamento de hipóteses, o uso da tecnologia, recursos financeiro, apoio de outros pesquisadores ou instituições.</i></p>
7	06:52	<p>Professora: O prestígio dele interfere... aí ele elabora uma explicação que pode ser a mais aceitável. Mas a Ciência, ela também vai evoluindo... então vão sendo conhecidos novos fenômenos que antes ninguém tinha olhado e começa a ser observado... aí aquela explicação já não é mais satisfatória... nenhuma delas pode ser jogada fora, a contribuição de todos eles foi importante... mas às vezes ela precisa sofrer uma reestruturação e assim a teoria vai caminhando... certo?.</p>	
8	07:30	<p>Professora: Então cuidado quando vocês usarem esse termo, assim... “tal cientista provou que tal coisa é assim...”. Essa palavra provou dá a impressão de uma coisa definitiva, que ela não vai mudar mais... e na verdade, isso não acontece, tá?</p>	<p><i>Ela ressalta novamente o cuidado que se deve ter com a palavra “provou”.</i></p>

9	08:00	<p>Professora: Agora, assim, uma coisa que eu não tinha comentado antes, tá? Cuidado com as informações que vocês tiram da internet. Nesse curso que foi dado pra vocês, é... a internet distorce muito, até mesmo por causa das palavras que são usadas, como é... como que os acontecimentos realmente aconteceram. Então, muitas vezes os textos da internet, muitas vezes eles não passam por revisão e eles trazem coisas erradas. Então, só desse assunto que foi apresentado pra vocês, a Thaís fez um levantamento junto com o grupo de pesquisa dela, e ela encontrou muitos textos que trazem informações erradas. Então quando vocês forem fazer uma pesquisa, de qualquer assunto, né... não é só na física, na química, enfim, qualquer assunto... é muito importante vocês observarem a fonte. Se é uma fonte de Universidade, de pesquisadores... porque hoje em dia a internet, ela é um canal aberto pra todo mundo colocar informação do jeito que enxerga ou do jeito que sabe... e infelizmente tem muita coisa errada, principalmente nessa área científica aí. Então, vocês tão indo pra faculdade, pro campo de trabalho, cuidado com as fontes de internet que vocês usam, porque a internet tem muita coisa errada. Tá?</p>	<p><i>Prof. orienta sobre pesquisas distorcidas na internet</i></p>
10	09:35	<p>Professora: Tomar cuidado também com a mídia, com as informações que estão sendo passadas. Porque, hoje em dia, a televisão, tem muita idéia errada. Então vocês também tem que estar sempre com um pontinho de interrogação, sempre procurar ver as informações que são passadas com uma certa reserva, não acreditar assim de cara. Porque infelizmente, como vocês viram na época... não vou dizer que é o caso do Newton, mas vocês viram como o prestígio dele na época influenciou pra teoria dele ser a mais aceitável... no entanto, ela também tinha as divergências, as coisas que ela não explicava naquela época. Então, isso hoje também acontece, e a televisão passa muita informação errada. Bom, então eu queria que vocês comentassem... eu fico na dúvida e eu queria ouvir de vocês, sobre essa idéia do provar. Porque na verdade os livros não só de física, como os de química, de biologia, trazem duas idéias, assim, muito erradas de ciência, né... uma que se vocês... é que a gente não tem livro, né... mas os livros de física, vamos supor, vai ter uma coisa lá sobre óptica. Aí eles vão por duas fotos, vamos supor, do Newton e do Hyugens, como se só os dois tivessem contribuído pra tudo que foi é... todos os avanços da ótica. E isso não é uma verdade... Então, esse olhar eu queria que vocês tivessem sempre... Porque, na verdade, a idéia desse curso é mostrar pra vocês, que ao longo da História, muitos contribuíram pra que a ciência fosse desenvolvida. Não só em termos de teoria, que elas não são definitivas, elas não provam, elas explicam um fenômeno... então durante um certo tempo ela é aceitável depois outro tipo de explicação pode ser elaborada. E na verdade é contribuição de todo mundo ao longo da História. A mesma coisa que finalizou a aula de ontem, pra quem perdeu, né?</p>	<p><i>Advertências sobre idéias divulgadas na mídia, principalmente a TV.</i></p> <p><i>Professora reforça o prestígio de Newton.</i></p> <p><i>Problemas nos livros didáticos.</i></p>
11	12:02	<p>Professora: Quando os trabalhos do Young e do Fresnel foram aceitos e isso derrubou a teoria corpuscular, isso deu um novo caminho pra ciência, porque, primeiro... eles quiseram detectar o tal do éter, então. Porque se você aceita a teoria ondulatória, você tem que aceitar o éter. Não que o éter já não fosse aceito, mas aí começou uma busca pra se tentar descobrir essas propriedades do éter. Porque o éter também era aceito em outras teorias. Então, olha como a história do éter veio caminhando. Então, eu acho importante, assim, eu queria ouvir um pouquinho</p>	<p><i>Professora falando sobre o éter: As mudanças geradas pela aceitação da teoria ondulatória</i></p>

		vocês... o que que mudou na visão de vocês, de ciência, de física... essa história de “provar” isso não é só na física. Eu queria ouvir um pouquinho de vocês, antes da gente entrar no texto.	
12	13:02	Professora: Mudou essa idéia de provar pra vocês... vocês tinham essa idéia antes?	<i>Pergunta novamente o que sobre “provar uma teoria”.</i>
13	13:09	Tarik: Eles provam que a teoria deles tem fundamento, eles não provam que é a verdade absoluta, é isso.	
14	13:16	Professora: Eles acabam elaborando dentro da visão que ele ta conseguindo ter, ele coloca o que para ele seria uma explicação mais razoável, que ta conseguindo contornar aquilo que ele ta enxergando... Mas a gente não pode esquecer que o ser humano, ele também tem falhas, né? A gente não pode acreditar que todos esses pesquisadores eram perfeitos. Assim como eu encontrei respostas aqui que a idéia do Empédocles era absurda, a idéia dos tentáculos que saíam... A gente tem que pensar que eles, na época eles estavam no século IV, V a.C., eles acreditavam que tudo eram os deuses... e aí eles começaram a parar pra pensar, o que é que eles tinham de tecnologia? O que é que eles tinham de recurso? Então isso é um avanço... mesmo pensar que era tentáculo que sai do olho... Pra cada um de vocês, pra pensar agora... Se vocês, sem nada, sem saber que é corpúsculo, que é onda, nada disso, agora tivessem que dizer pra mim o que vocês acham que é a luz? Cada um ia apontar a sua idéia diferente? E talvez, alguém achasse que é alguma coisa que sai do olho.	<i>Continua retomando aspectos mais relevantes sobre a natureza da ciência. Provável reforço na concepção da superioridade da ciência atual devido à tecnologia.</i>
15	14:32	Professora: Então, isso na época deles não era absurdo. Hoje, né, que a gente já conhece... a gente entende isso. Mas na época, não. Jade: ...A gente não pode criticar uma coisa que... Professora: Pra não chegar argumento, por exemplo, do tipo “ah, eu não aceito porque é ridículo, porque é absurdo...”. Então, cuidado com essas argumentações que vocês colocaram, ta? Gente, vamos falar... o que que mudou da visão de vocês... vocês gostaram de saber isso ou não... Jade: Acho que esclareceu mais as nossas idéias, né, tá ajudando bastante a gente a crescer a ter uma visão melhor das coisas. Acho que antes a gente não tinha essa visão toda.	<i>Observação de Jade.</i>
16	15:25	Professora: Então, vocês viram, depois que o Fresnel, né, ele ganhou aquele prêmio... Ó, uma coisa interessante nessa história do Fresnel... o concurso era pra explicar o fenômeno da difração. Não era pra criticar a corpuscular nem pra derrubar, então, na época, todo mundo aceitava a corpuscular e tava tudo certo. O concurso foi pra explicar o fenômeno da difração. E, no entanto, o concurso deu uma outra reviravolta que pra explicar a difração, na verdade, se aceitou o Fresnel, a teoria ondulatória, que a corpuscular não conseguia explicar... aí ficou a corpuscular, isso deu uma revolução na época.	<i>Professora relembra sobre o concurso que era pra explicar a difração e deu uma reviravolta com a teoria ondulatória defendida por Fresnel</i>
17	16:30	Pedro: O tiro saiu pela culatra.	<i>Professora brinca, alunos riem.</i>
18	16:40	Professora: É... sabe aquela coisa, o tiro saiu pela culatra... Então, olha o que acontece na Ciência também. Pedro: Newton tava vivo nessa época aí?	<i>Será que se a faixa com a linha do tempo tivesse sido mais utilizada haveria ainda esse tipo de dúvida?</i>

19	17:00	Professora: A comunidade científica acreditava que não ia mais ter problema e, no entanto, olha a volta que deu Todas as pesquisas começaram a se voltar pra encontrar propriedades do éter, essa matéria sutil, muito leve, porque é matéria, tá gente, o éter é matéria, só que é uma coisa muito leve, que a gente não enxerga, que a gente não sente, mas ela precisa existir senão não tem como a luz caminhar nela.	
20	17:09	Professora: Lembrando que a gente viu até aí, na verdade o Einstein, quando estudou o efeito fotoelétrico quando eu dei pra vocês, ele dá uma retomada na luz como partícula, e aí que vem o que a gente aceita hoje, a luz é uma onda eletromagnética e tem esse comportamento dual onda-partícula.	
21	17:42	Professora: Vocês viram como a coisa deu uma retomada depois com o próprio Einstein?	
22	17:58	Professora: Ninguém quer comentar mais nada?	
23	18:02	Professora: Então, tudo que eu falo tá aceito?	<i>Professora questiona</i>
24	18:03	Pedro: Até chegar algum professor e falar que não tá, né! Professora: Bom... professor de física, só se for fazer (<i>inaudível</i>). Ninguém aqui se encantou com a física, tal...? Bom, o meu consolo é que quem for fazer engenharia, alguma área dessa vai ter que ver... <i>Alunos fazem comentários inaudíveis entre si.</i> Professora: Pessoal, vocês desculpem a gente estar tendo aula aqui, mas é que lá é muito barulho. E eles precisam escutar na filmagem... e interfere. Professora: É nunca se sabe! No meio de vocês pode ter um pesquisador aí...	<i>Alunos riem, professora ri, o clima é descontraído.</i>
25	20:00	Professora: Então vamos começar, primeiro voluntário... Todo mundo já tem o texto né? <i>Aluna começa a leitura do texto.</i>	<i>Professora propõe leitura conjunta do texto.</i>
26	21:39	Professora: Então, pausa. Então é o seguinte, olha... essa figura que vocês tão vendo aqui, é... na verdade, é assim, vocês tem uma fonte de luz, e vocês tem assim... duas fendas de luz muito pequenas por onde essa luz vai passar. E se a gente pensar na teoria corpuscular, as partículas passando por essas fendas, na projeção da parede deveriam aparecer duas faixas de luz. Mas na verdade não é isso que eles observaram, eles observaram isso daqui ó... várias fendas, várias... é... faixas de luz. Esse fenômeno é o fenômeno da difração, que era um ponto de interrogação na época, porque a corpuscular não consegui explicar. Pela corpuscular deveria aparecer duas faixas de luz... e no entanto, o que se via, experimentalmente, era a formação dessas faixas aqui. Então foi por isso que a Academia de Ciências lançou o concurso porque eles queriam que explicassem esse fenômeno, tá? Então, continuando... <i>Aluna retoma a leitura do texto.</i>	<i>Professora interrompe a leitura e explica figura.</i>
27	24:50	Professora: Então... só uma coisa, ó... vocês tão vendo aí que o Arago, ele defendia a teoria corpuscular. Mas o pesquisador, ele tem que ter uma mente aberta também... ele tem que defender uma teoria que para ele é a mais aceitável... mas ele tem que ter a mente aberta pra ouvir outras teorias... porque, assim, a ciência tem que avançar, então, eu não posso bancar o teimoso, e falar	<i>Professora interrompe novamente para enfatizar aspectos epistemológico.</i>

		<p>assim “eu aceito essa e pronto, e estou fechado pra aceitar qualquer outra explicação” porque aí a ciência não anda e aí? Eu vou ser o perito na história? Então o Arago, ele defendia a teoria corpuscular mas ele era um cara de mente aberta. E assim vocês também têm que ser. Quando eu falo “olha as informações que vocês vêm na internet traz, passem a olhar de maneira crítica, não são verdades absolutas...” né? E mesmo as informações que vocês têm, lógico, vocês têm que olhar fundamentação, vocês têm que olhar o histórico daquilo tudo... mas sempre ter a mente aberta. Porque no começo, quando a gente começou a ter as discussões, tinha muita coisa assim “ah, a teoria corpuscular é a que está certa!”... Então, vocês vêm que ao longo da história não dá pra ser assim tão fechado.</p> <p><i>Aluna retoma a leitura do texto.</i></p> <p><i>Outro aluno reinicia a leitura do texto.</i></p> <p>Professora: Então, na verdade, o que ele ta dizendo é o seguinte... não basta observar o fenômeno. Como os gregos que eles ficavam lá só observando os fenômenos e iam elaborando lá, as idéias deles, né... Então a gente tem que observar o fenômeno, tem né, o pesquisador, que montar experimentos... mas tem que ser experimentos que possibilitem várias variações, pra assim, testar todas as variáveis possíveis... é... elaborar uma teoria, elaborar hipóteses, e, juntando isso tudo, ainda recursos na pesquisa... é... muitas vezes, né, se essa nova teoria que ele ta elaborando, vai bater de frente com uma outra que ta muito consolidada, isso vai ter repercussão... varia da sociedade da época, a própria tecnologia, os recursos que ele tem... Então quanta coisa depende... não é só o pesquisador... quantos fatores estão influenciando pra uma teoria ser aceita ou não numa determinada época.</p>	
28	33:00	<p>Professora: Eu só queria assim, passar uma idéia pra vocês que é assim... Embora a ciência seja isso, idéias que são descartadas, novas teorias sendo elaboradas, assim assado... não é uma bagunça, ta gente. Porque nós não podemos deixar de entender tudo o que o conhecimento humano veio proporcionando pra nós... pra vocês mesmos que gostam aí do celular, televisão, satélite, cabo, motores, o combustível, os avanços na medicina... então, as conseqüências do conhecimento adquirido vem trazendo muitos benefícios para o homem. Então, esse avanço do conhecimento é importante, o homem tem tido benefícios com esse avanço ao longo do tempo. Então ciência não é, se alguém tá com essa idéia, não é uma bagunça. Ah, uma idéia que vai que vem, é uma briga de pesquisador pra todo lado, não, não é. Na verdade, isso faz parte da construção do conhecimento ao longo do tempo, todos os fatores que beneficiam a sociedade..</p>	
29	34:55	<p>Professora: Então, assim, na verdade esse curso ta sendo bem diferente pra vocês, porque ele não englobou só física, né gente. A gente viu aí a natureza da luz, vocês ganharam o conhecimento da física, no que se refere a éter, a natureza da luz, como esse assunto evoluiu ao longo do tempo, as várias idéias... é... mas também, eu quis mostrar um pouco de como isso acontece na história</p>	
30	35:26	<p>Professora: Bom, então agora vocês vão ganhar um tempinho aí pra responder as questões que eu vou entregar. Mas não vai ser muito tempo porque depois a gente vai discutir outras questões... Agora, o seguinte, quem faltou ontem, que é ela, ele e ele... eu</p>	<p><i>Os alunos que perderam a aula anterior escutam a explicação do</i></p>

		queria que vocês viessem ver o filme aqui no laptop porque vai precisar depois pra... E ó, essa é, na verdade, a última batelada de questões antes da prova, então isso vai ajudar pra amanhã <i>Professora orienta os alunos a resolverem as questões do texto 9 e chama os alunos que faltaram na véspera para assistir ao filme Dr. Quantum. Pedro pede pra assistir de novo.</i>	<i>conteúdo dada pela pesquisadora. Foi uma estratégia que ambas decidiram juntas para que os alunos não ficassem prejudicados</i>
31	38:20	<i>Professora passa pela sala auxiliando os alunos com as questões que foram distribuídas. De forma geral, os alunos se mostram concentrados na resolução do exercício.</i>	
32	41:50	<i>Pedro chama a professora para esclarecer uma dúvida pessoal. A classe continua concentrada. Logo depois, a professora abrange a explicação também para a aluna Jade que se mostra interessada e levanta questionamentos.</i>	
33	47:58	<i>Professora faz abordagem de uma questão específica. Alguns alunos se mostram atentos. Aluna Jade contra argumenta. Inaudível.</i>	
34	50:00	Professora: Ó... vou dar uma refrescada na memória de vocês aí... Quem começou a estudar isso foi o Young. Ele que começou a estudar o fenômeno da difração luminosa. E ele fez os experimentos, mas o que faltou pro Young, a base matemática. Lembra que pra você fazer uma teoria tem que observar o fenômeno, fazer experimento, levantar hipóteses, mostrar... e a análise matemática. O que é a análise matemática? A matemática é infalível, se ele não fizer tudo dentro da análise matemática. Então o que faltou pro Young? Faltou a base matemática que pelo fato dele ser médico ele não tinha... então ninguém deu valor pro trabalho dele. Passaram-se vinte anos, aí que o Fresnel começou a estudar o fenômeno.	<i>Professora reforça a visão da aula que o Young era médico, estudou a luz por meio de uma analogia com o som. Repete a mesma abordagem sugerindo que Young não sabia matemática.</i>
35		<i>Trechos inaudíveis Retoma vários passos na formulação da teoria, e como os experimentos, as hipóteses e enfatiza a base matemática. Além disso, ao falar sobre Fresnel, ela comenta que ele era um excelente matemático.</i>	

18/9/2007 – Aulas 15 e 16			
Arquivo II: Tempo total = 31 min e 43s			
Turno	Tempo	Falas	Observações
36	00:00	<i>Aluno Paulo argumenta com a professora a respeito de algumas questões a respeito do conteúdo. O mesmo acontece com alguns outros alunos. O áudio desse trecho está comprometido. Aluna Jade chama a professora para solucionar uma dúvida.</i>	<i>Alunos continuam respondendo questões.</i>
37	04:35	<i>Alunos continuam respondendo as questões. A professora volta a sanar dúvidas individualmente.</i>	
38	14:10	Professora: Ó... fazendo uma analogia com essa palavra aqui, ó... “provar”, né... quando acontece um crime você... <i>Trecho inaudível. Ruído de vozes.</i>	
39	17:30	<i>Alguns alunos já se mostram um pouco dispersos, aparentemente a maioria terminou a atividade.</i>	
40	21:10	<i>Professora soluciona dúvidas no fundo da sala. A maioria dos alunos já estão dispersos. Parece que a atividade está terminando.</i>	

41	21:57	<p>Professora: Olha... quem ainda não terminou de responder as questões, qualquer coisa, se não der tempo entrega amanhã... Mas eu preciso ouvir um pouquinho a opinião de vocês quanto às questões... Porque isso daqui, gente, pode ajudar um pouquinho amanhã... porque amanhã eu não tiro dúvidas, hein?!</p> <p><i>Alunos protestam de forma descontraída.</i></p> <p>Professora: Então, olha, a questão número 1. Observar o fenômeno da difração... olha as palavras... observar o fenômeno, permite que se conclua que a luz é uma onda?</p> <p>Alunos: Não...</p> <p>Professora: Explique...</p> <p>Pedro: A senhora só perguntou uma coisa... <i>(tom de brincadeira)</i></p> <p>Aluna: Não, porque é preciso montar experiência, observar o fenômeno, elaborar cálculos matemáticos e formular hipóteses, antes de se concluir alguma coisa.</p>	
42	23:06	<p>Professora: Alguém concorda, discorda... quer complementar?</p> <p><i>Alunos dão a entender que a resposta da colega foi satisfatória.</i></p>	
43	23:15	<p>Professora: Vamos ouvir a resposta aqui...</p> <p>Aluna: Não, a natureza (?) muito importante (?) não era suficiente para (?).</p> <p>Professora: Só que você precisa colocar “observar a natureza”, se você colocar “natureza” não é suficiente em relação (?) . Então, observar a natureza não é/era suficiente.</p>	<i>Professora enfatiza a palavra observar.</i>
44	23:40	Professora: Frase 2, vamos lá. “A natureza fornece evidências que permitem uma única interpretação? Explique.”	
45	23:45	<p>Alunos: Não.</p> <p><i>Vários alunos falam ao mesmo tempo respondendo à questão.</i></p>	
46	23:52	<i>Professora e alunos riem dos comentários.</i>	
47	23:58	Professora: E aí, quem é que explica isso?	
48	23:59	Pedro: Nãaaaaaaooooo... Eu explico. Depende da interpretação de cada um pra fazer as teorias.	
49	24:00	Professora: Tá, e que mais?	
50	24:10	<p>Tarik: Ah, depende de várias coisas.</p> <p><i>(Pedro interrompe o Tarik e brinca:)</i></p> <p>Pedro: Ah, mas aí é outra pergunta! <i>(alunos e professora riem).</i></p>	
51	24:20	Tarik: Depende da <i>(inaudível)</i> , depende do fenômeno, depende da época ...	<i>Alunos riem e falam alto, quase não se ouve o que Tarik diz.</i>
52	24:32	Adriana: Na época dos filósofos, eles não acreditavam, eles tinham... como fala... teorias diferentes. Eles falam cada um uma coisa, como pode...	
53	24:40	Professora: Então, mas aí é legal também lembrar que não depende também só da visão que cada um tá tendo, depende dos recursos que ele tem, depende da época, <i>(apontando para Tarik:)</i> , da tecnologia ...	<i>Tarik fala da tecnologia desde o episódio dos gregos. Manifestou esse ponto de vista</i>

			<i>em vários momentos. A professora endossou. (tecnologia e ciência: ponto para análise futura).</i>
54	24:55	Professora: As seguintes frases são corretas ou erradas?	
55	25:00	Professora: Primeira frase: “Os experimentos de Thomas Young foram suficientes pra derrubar a teoria corpuscular?”	
56	25:08	Alunos falam junto: não... errado... (<i>inaudível</i>)	
57	25:10	Tarik: (<i>inaudível</i>) eu acho que foi o... Carla: Eu acho que ele não derrubou a teoria, ele fortaleceu a teoria, mas ele não derrubou totalmente, ainda tinha aqueles que acreditavam... Tarik: Ele meio que abriu o olho pras pessoas questionarem a teoria corpuscular, mas foi o ...	<i>Atitude dos outros alunos (brincando, sorrindo, ou acompanhando seriamente) sugere que concordam com o ponto de vista dos colegas.</i>
58	25:39	Carla: Ele deu início, né... digamos assim... e conseguiu fortalecer a teoria ondulatória <i>inaudível</i> Fresnel ...	
59	25:45	Prof: Outra frase: “O conhecimento humano é uma busca sem fim que leva a resultados provisórios e não à verdade.”	
60	25:52	Alunos: Correto.	
61	22:53	Professora: Explica.	
62	25:55	Pedro: Aí já uma outra pergunta. <i>Risos e falas sobrepostas.</i>	
63	22:57	Professora: Peraí eu não tô ouvindo a Jade.	
64	26:00	Jade: Coloquei assim... Correto. “Os humanos buscam resultados sempre, e nunca param pois sempre há resultados para complementar o que está se estudando no momento. Mas, há falhas em certas teorias, que, ao longo do tempo, vão se descobrindo, tendo outra verdade”. Entendeu? É que ta meio confuso, mas...	<i>Aluna Jade insiste no termo “outra verdade” e tanto a professora como os colegas insistem: “outra explicação”.</i>
65	26:20	<i>Alunos riem. Comentários sobrepostos.</i>	
66	26:24	Professora: Eu só não gostei do final “a outra verdade”, né? Outras teorias, outros... Jade: (<i>inaudível</i>) Tipo, há sempre uma verdade? Não, sempre vão descobrir outras verdades. E se Huygens (<i>inaudível</i>) Mas aqui tá dizendo verdade, então é verdade... Pedro: Não, a verdade é a verdade, Jade. Explicação é explicação.	<i>Interessante, pois parece que o problema é no vocabulário. Houve essa confusão também em algumas respostas escritas por ela. (Linguagem: oportunidade para análise futura)</i>
67	27:03	Jade: Mas aqui ta dizendo verdade, gente... Aluna: Tá bom Jade, mas...	<i>Seria necessário explorar o</i>

		Jade: Então, não pode falar verdade?	<i>vocabulário. Obstáculo Imprevisto.³⁵</i>
68	27:14	Professora: Não, mas a sua explicação está certa. Mas, a maneira como você colocar as suas palavras, não. Mas a sua explicação tá certa. Jade: Mas então eu uso verdade como explicação? Denis: Ô Jade, ... ô Jade, (<i>comentário inaudível, mas alunos riem</i>).	<i>Isso motivou uma interessante discussão, e ao final, parece que a aluna entendeu o ponto de vista da professora.</i>
69	27:21	Professora: Ó... “Falar que uma teoria foi cientificamente comprovada pode dar uma idéia errada da construção do conhecimento?”	
70	27:28	Alunos: Sim... Professora: Explique. <i>Professora vai até o fundo da sala e recolhe a folha de um dos alunos.</i>	
71	27:50	Tarik: Porque a ciência não funciona dessa forma. Ela é construtiva, mutável... Se você falar que provou é... provou, acabou, entendeu? Significa que não vai nunca modificar (<i>inaudível</i>). <i>(Denis dá a mão para Tarik cumprimentando-o pela resposta.)</i>	
72	28:02	Professora: Agora é que eu to achando que ta dando confusão aí... vamos reavivar a memória...	
73	28:12	Professora: Comente um exemplo histórico pra afirmação: “Não é possível tirar conclusões apenas a partir dos experimentos, mas eles são muito importantes para a construção do conhecimento científico.	
74	28:23	Professora: Ó, vamos ouvir a Gisele.	
75	28:36	Gisele: (<i>Inaudível</i>), o Newton ele tinha uma visão, (<i>Inaudível</i>) tem que ser sete. (<i>Inaudível</i>) tem que ser sete cores. (<i>Inaudível</i>) sete. Não, ele é o cara, mas aí o Hooke questionava: “não, você tem que (<i>Inaudível</i>) ter uma teoria. Ele não, pra ele o que ele observava era sete. <i>Resposta da aluna Gisele é predominantemente inaudível.</i>	<i>Parece que ela está falando do experimento do prisma de Newton e sua proposta das sete cores do arco-íris.</i>
76	28:55	Pedro: <i>inaudível</i>	
77	28:56	Professora: Sim, mas vocês conseguem além do prisma, tem um outro exemplo na história aí?	
78	28:58	Carla: <i>inaudível.</i>	
79	29:04	Jade: O Young, eu coloquei do Thomas Young. Ele tinha o experimento, mas ele não conhecia de matemática. Por isso ele não conseguiu convencer as pessoas sobre a teoria ondulatória.	<i>Comentários paralelos de Tarik dizendo que colocou o mesmo exemplo.</i>
80	29: 27	Carla: Ele tinha os experimentos, mas ele não conseguiu o	<i>Parece que Carla</i>

³⁵ Nossa preocupação era preparar a professora para lidar com os conteúdos da história e epistemologia, mas muitos momentos do curso indicaram que seria necessário discutir metodologias e dinâmicas para lidar com as situações imprevistas que surgiram.

		reconhecimento da sociedade, assim, pela falta de base matemática. Mas aí aceitaram o Fresnel, porque ele tinha essa base e tinha o experimento , né, que era o que precisa...	<i>entende que matemática e experimento era só o que precisava para provar a teoria. Verificar respostas escritas dessa aluna para analisar melhor.</i>
81	29:42	Pedro: Professora, eu coloquei o Big Bang.	<i>Alunos riem, brincam.</i>
82	29:44	<i>Aluno Pedro diz que colocou sobre o Big Bang e todos riem. Alunos falam ao mesmo tempo. Pedro levanta a mão.</i>	
83	29:56	Pedro: Eu tenho uma explicação pra isso: o tiozinho lá chegou e olhou lá os experimentos e falou: “teve uma explosão que gerou o Universo”. Aí beleza, só que ele não provou matematicamente. <i>(inaudível)</i> ai os caras lá, os engenheiros da Bell Air chegaram e viram o <i>(pega algo na mão e diz: que isso?)</i>	<i>Alunos passam o microfone para Pedro segurar.</i>
84	30:15	<i>Sala interrompe rindo, aluno faz outros comentários</i>	
85	30:20	Pedro: ...Chegaram e viram o mesmo fenômeno nas antenas. Aí começaram a pesquisar, fizeram um monte de conta matemático e ganharam Nobel, o Prêmio Nobel.	<i>Colegas riem.</i>
86	30:42	Tarik: Eu coloquei assim... porque o Newton, ele faz muitas experiências, né... aí eu coloquei que as experiências dele é <i>(colegas interrompem para dar o microfone ele sorri, mas não pega e continua:)</i> que as experiências dele foram boas pra consolidar o que ele tava falando, pra mostrar que tinha, que o que ele tava falando tinha fundamento. Só que não era, não foi <i>(Tarik gesticula batendo uma mão na outra indicando que não foi definitivo)</i> não foi... como eu posso dizer... pra provar que a teoria corpuscular e as outras teorias dele eram verdadeiras, eram <i>(inaudível)</i> compensando...	<i>Tarik responde sobre os experimentos de Newton, falando de sua importância, mas também de sua limitação.</i>
87	31:07	<i>Aluna Jade interrompe diz que acabou a aula. Barulho, alunos falam juntos. Brincam : AHHHHHHHHH (sugerindo que pena que a aula acabou!) Riem.</i>	

19/9/2007 – Aulas 17 e 18 – Arquivo não transcrito
Avaliação com consulta – sem transcrição.

20/9/2007 – Aulas 19 e 20 - - Arquivo não transcrito
Festival Cultural – sem transcrição.