

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

Apêndice A: Conteúdo histórico para o professor	1
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
Apêndice B: Curso proposto	25
B.1. Planejamento pedagógico da sequência 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
Apêndice C: Curso piloto – Aplicado em setembro de 2007	62
C.1. Planejamento pedagógico da sequência 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 O éter e a natureza da luz	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 sequência 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 Lucrecio (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 Lucrecio. (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 idéia 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 Lílían 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, distinguiam 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 Lucrécio 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 Lucrécio, e algumas vezes utilizada para defender uma visão ateuista 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 prinquípiã, 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 sequência 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/~ghc/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 sequência 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 “Gregos”.</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 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 sequência 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 dos <i>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.	2,5
	Debate entre os grupos e veredicto do júri. Comentários do professor.	
	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.); retroprojektor; 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 retroprojeter 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 retroprojeter 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.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

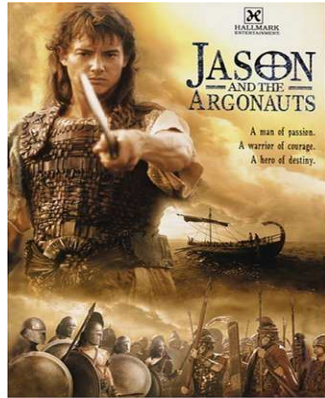
Texto 1: A filosofia e as explicações para o funcionamento da natureza

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/~ghtc/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).

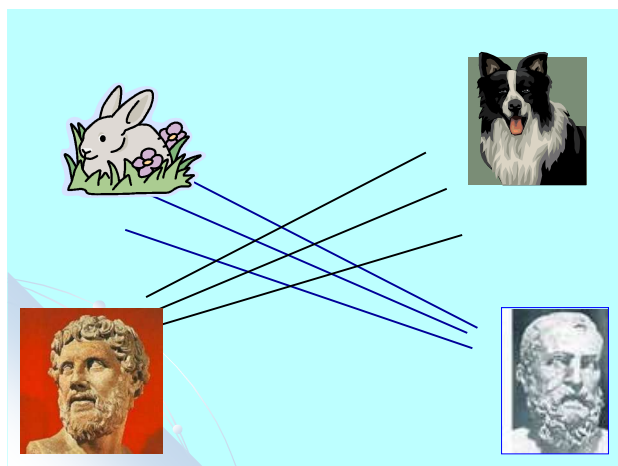
Os estudiosos acreditam que os filósofos teriam começado a indagar qual seria a “verdadeira” explicação para o funcionamento do mundo, por exemplo, sobre a luz, e sobre a visão. Talvez eles formulassem perguntas do tipo: por que as estrelas brilham? Como vemos as estrelas? Por que não as vemos durante 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?



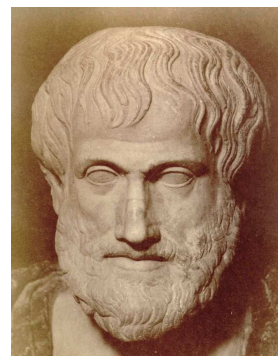
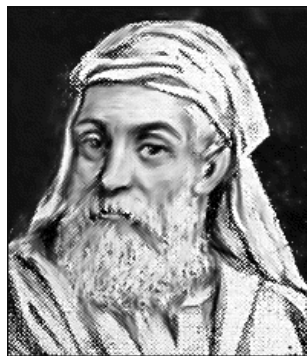
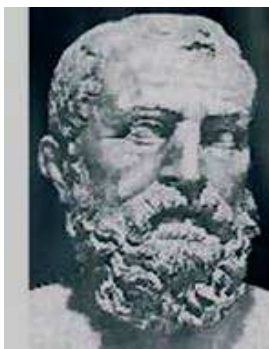
O tamanho dos objetos era também um problema para a teoria atomista: como a imagem de um objeto muito grande encolhe suficientemente para caber nos olhos? Como as *eidola* de uma montanha podem caber nos olhos? Por que os objetos distantes parecem menores? Algumas dessas dúvidas ocorreram a pensadores 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/~ghc/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.



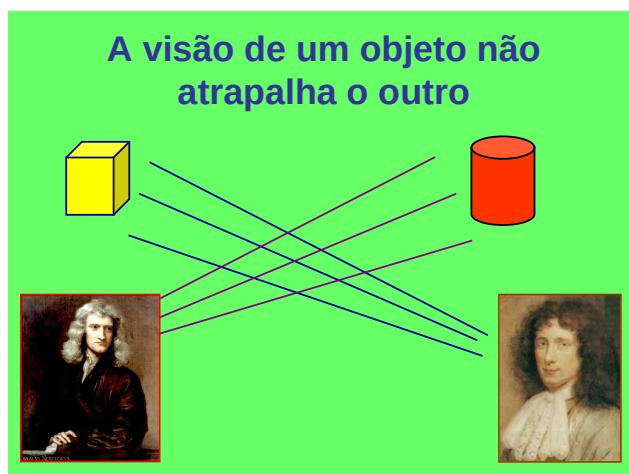
Christiaan Huygens (1629-1695)

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:

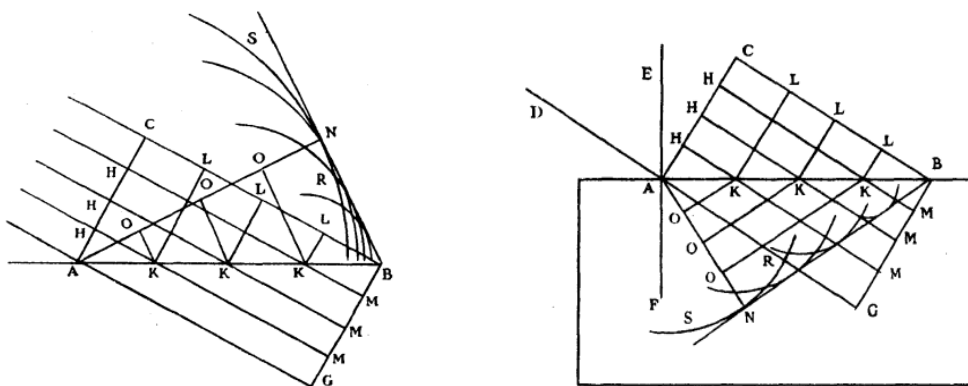
Ela [a luz] se espalha, portanto de uma outra maneira e o que pode nos conduzir a compreendê-la é nosso conhecimento da propagação do som no ar. Sabemos que, por meio do ar, que é um corpo invisível e impalpável, o

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 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.**

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, Waldir 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

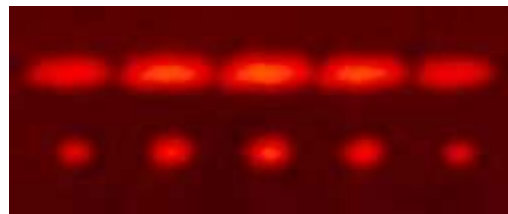
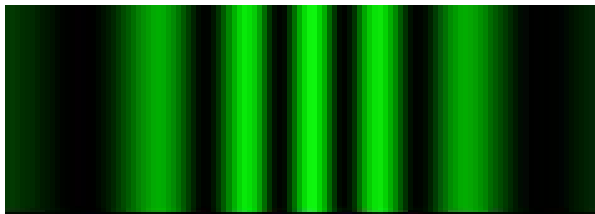
³² Reprinted as Vol. 7 in the series *The history of modern physics, 1800-1950*. Thomas Publishers/American Institute of Physics, 1987.

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.

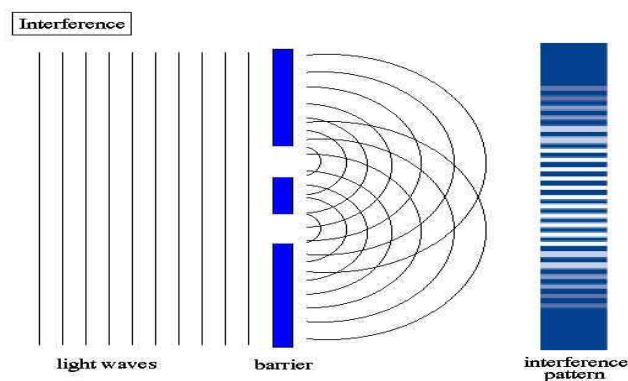
Quando um feixe de luz passava por uma fenda, ele projetava uma região clara de maior intensidade no centro de um anteparo, mas quando a luz passava por duas fendas, NÃO se formava na parede a imagem de duas fendas! Dois feixes de luz projetavam no anteparo várias regiões claras! Como dois feixes de 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

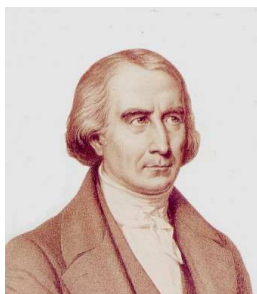
padrão de interferência

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, Waldir 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

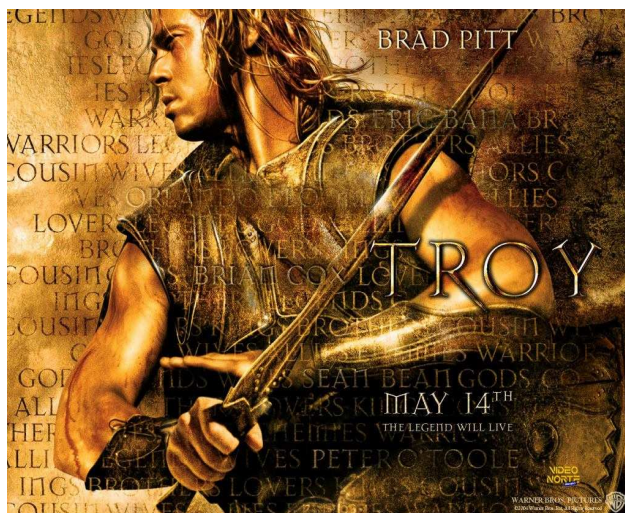
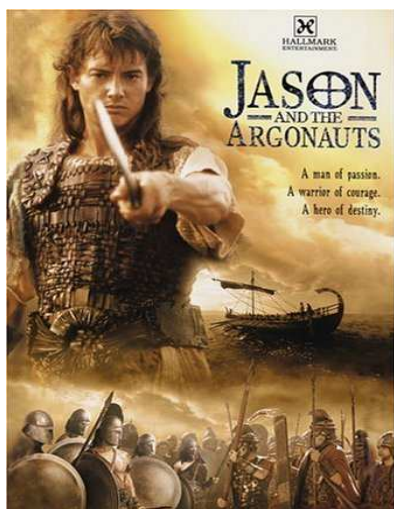
Thaís Cyrino de Mello Forato

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/~ghtc/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? Umas 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?

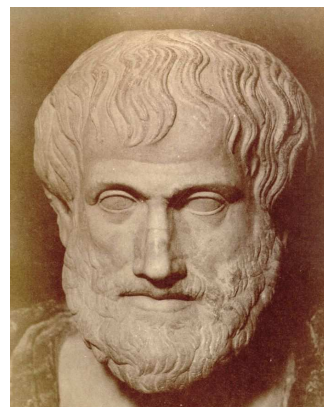
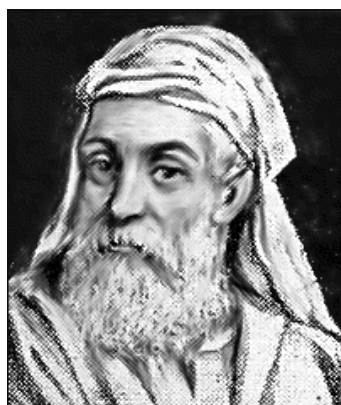
Já que a teoria atomista deixava tantas perguntas sem resposta, será que outra teoria não explicaria melhor o fenômeno visual? O filósofo grego Empédocles (493-430 a.C.)

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/~ghhc/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:

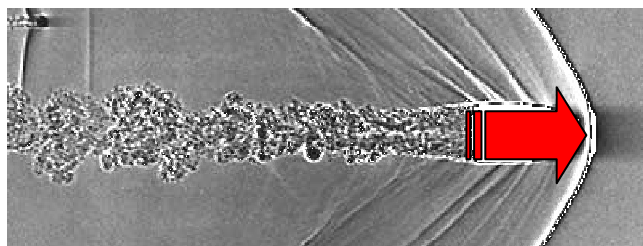
Os raios de luz não são corpos minúsculos emitidos pelas substâncias que brilham? Pois tais corpos atravessarão meios uniformes em linhas retas sem se curvar em direção à sombra, o que é da natureza dos raios de luz. (NEWTON, 1996, p. 271).

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.

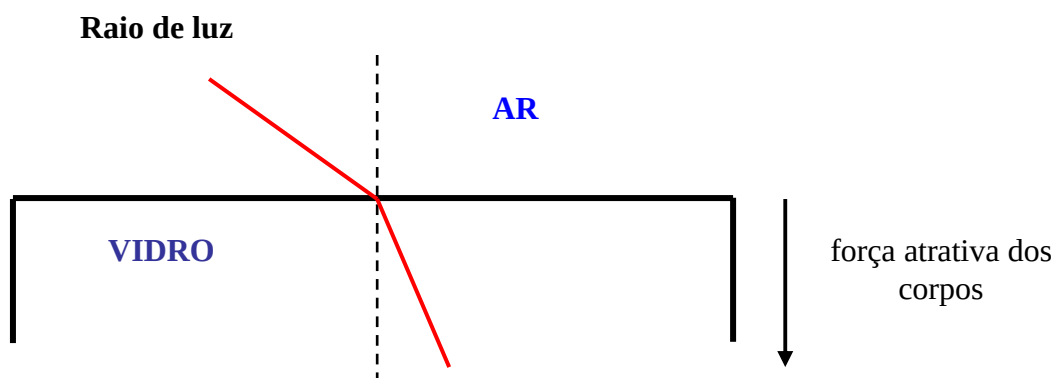


Bom, se a luz era um corpo, ela também estaria sujeita à ação de forças sobre ela, como qualquer outro corpo. Em outros trechos do livro, Newton procurou desenvolver essa idéia:

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.

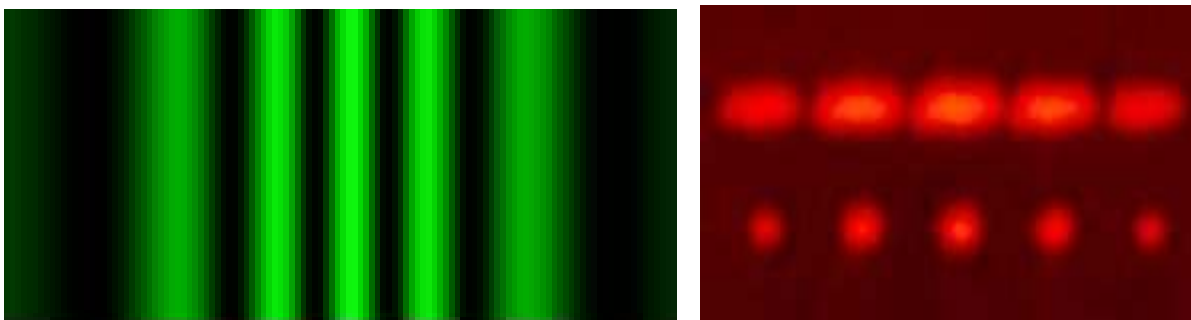
Diante de tudo isso, a teoria ondulatória foi quase esquecida durante o século XVIII e poucos eram os que ainda acreditavam nela. Porém, na virada para o século XIX, coisas surpreendentes aconteceram e fizeram renascer a velha disputa entre a teoria ondulatória e corpuscular para explicar a natureza 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?

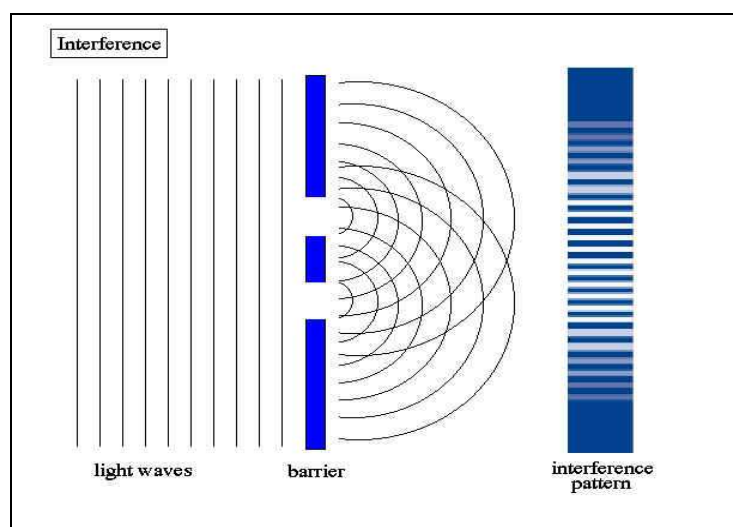


Depois de muitos estudos e muitas experiências, e inspirado por uma analogia com os fenômenos sonoros, Young percebeu que uma teoria de tipo ondulatória como a de Huygens poderia ajudar a explicar esse fenômeno. Ele partiu de algumas hipóteses:

- 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 vermos os objetos?
- *Será algo que entra ou sai do olho?

Elaborando teorias...

Atomistas mais conhecidos

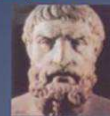
Demócrito (c.a. 460-370 a.C.)

Leucipo de Mileto (~500 a. C.)



Lucrécio (c.a. 98-55 a.C.)

Epicuro (c.a. 341-270 a.C.)



Luz para Leucipo (~500 a. C.)

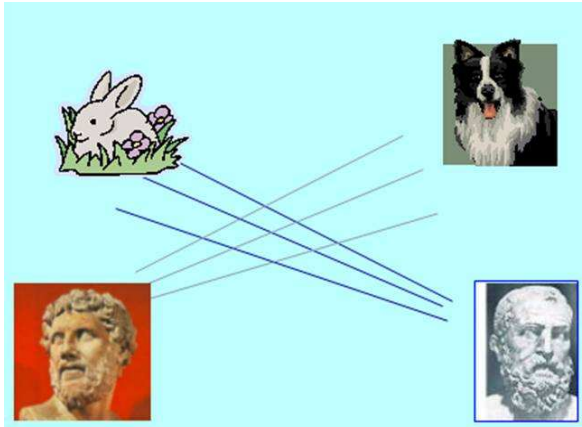
- *Algo material sai dos objetos e entra no olho provocando a visão.

Emanação: forma, cor, tamanho...



Eidola de Leucipo



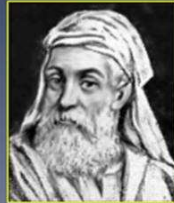


Problemas

- *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?

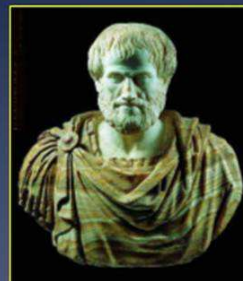
As Eidola de Leucipo... (coisas que entram nos olhos)

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?

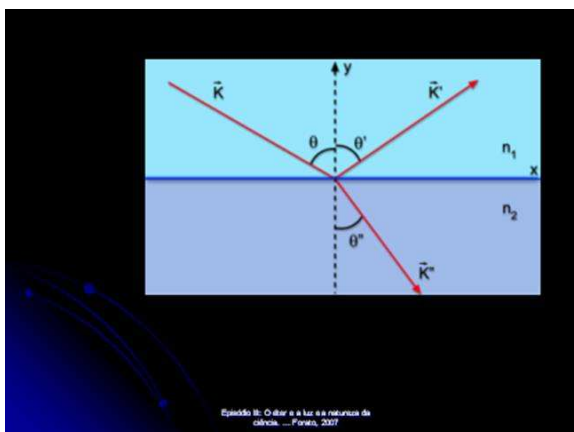
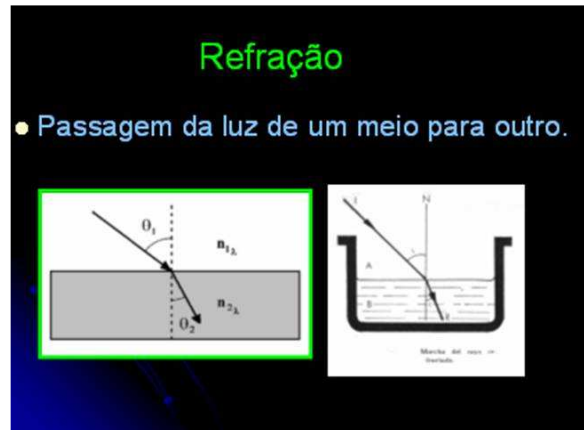
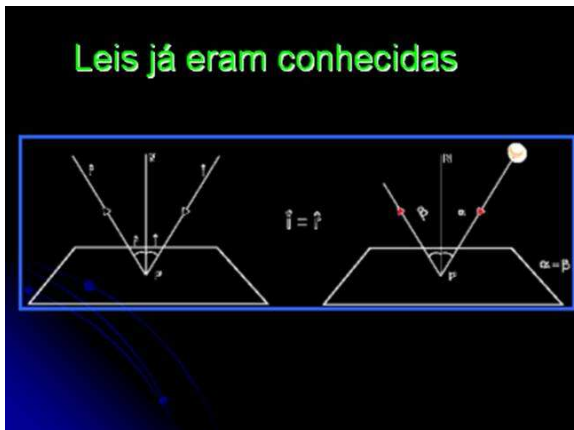
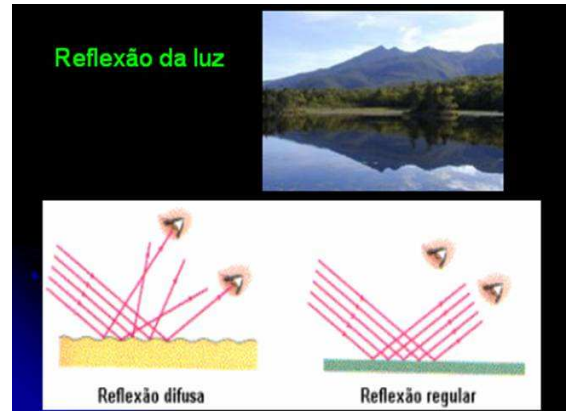
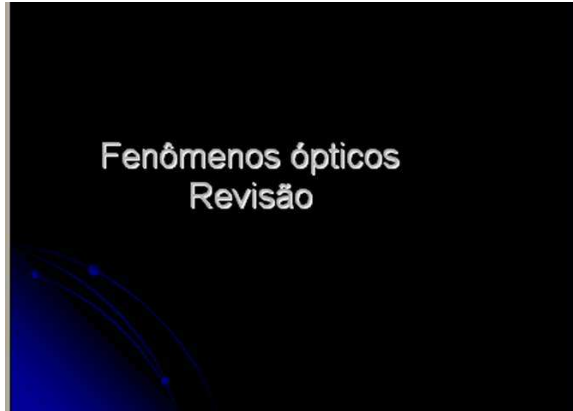
O que é a luz?

- * 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?

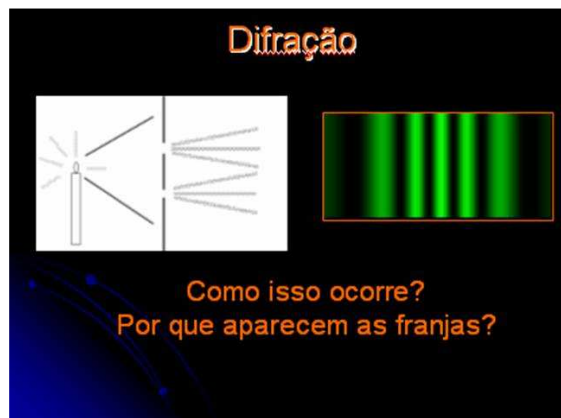
Episódio II: A natureza da luz para alguns pensadores do século XVII

Apresentação em PowerPoint 2a: Fenômenos Ópticos





slide em branco para projeção de formas
geométricas e fendas duplas



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.

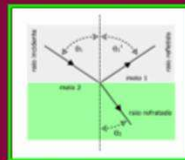
Episódio 2:

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”

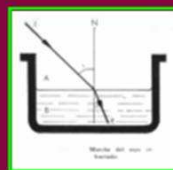
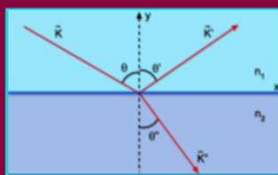


- O que é isso que chega aos nossos olhos e nos permite ver?



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
 $\neq$

O que é a luz?

Partículas de matéria?

Algo como o fogo?

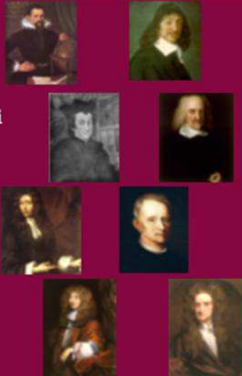
Efeito do meio material entre o olho e o objeto?

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

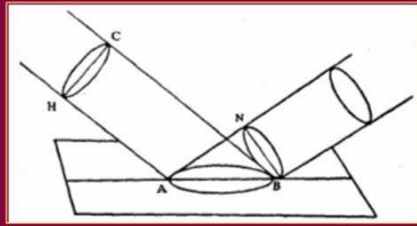
As ondas se unificam.
A partir desse princípio, Huygens explica os fenômenos da:

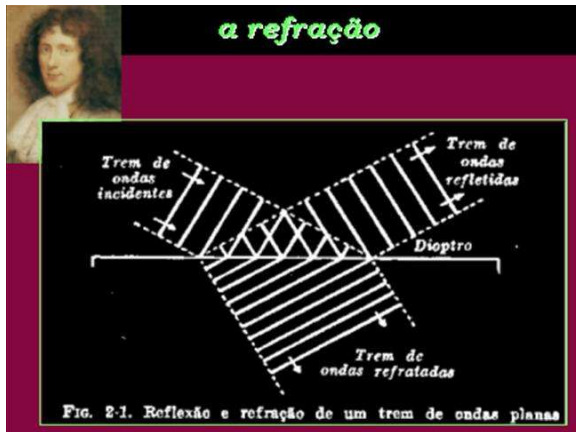
- Reflexão;
- Refração;
- Refração na atmosfera.



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
Alquímia



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



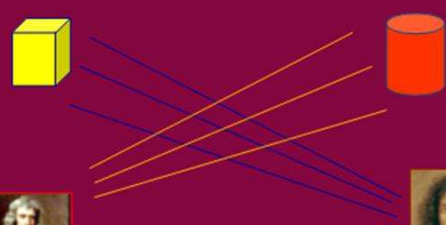



Problema:

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

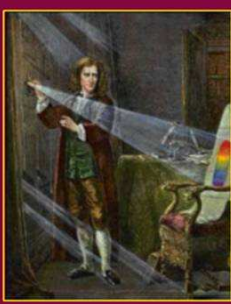
Fenômeno das cores



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.

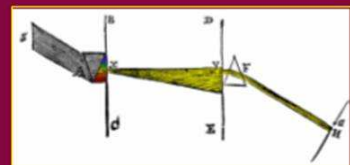
Continuou levantando hipóteses:

será...,
será...,
... será?



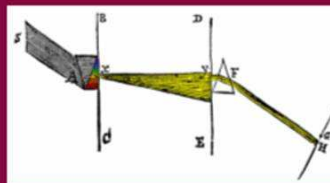
Experimento “crucis”

- 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



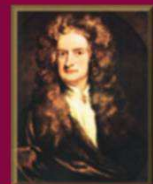
O século XVIII

É um período de riqueza, progresso, otimismo.

O “século das luzes” tomou Newton como modelo.

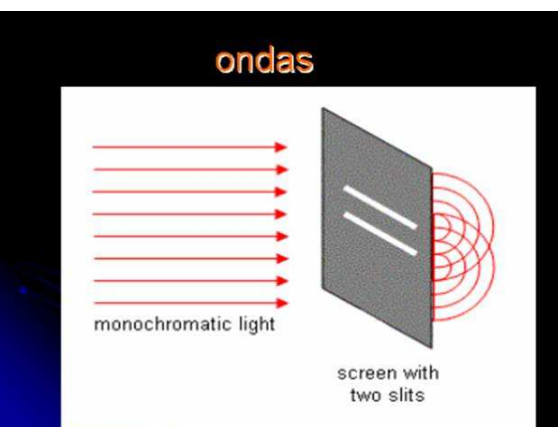
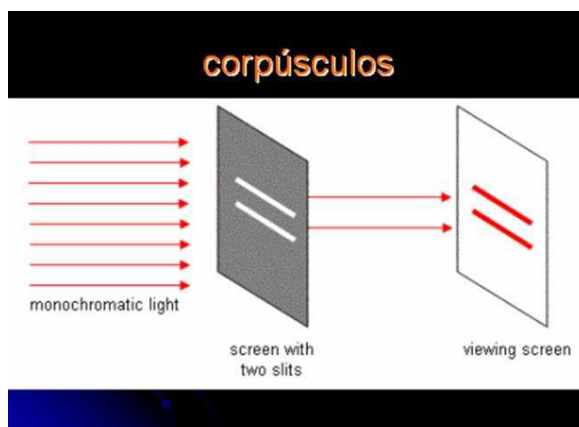
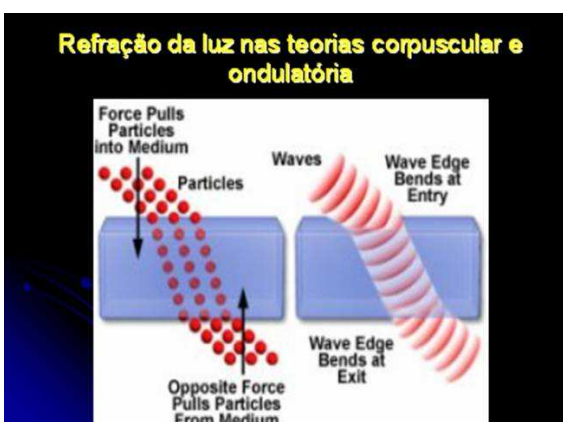
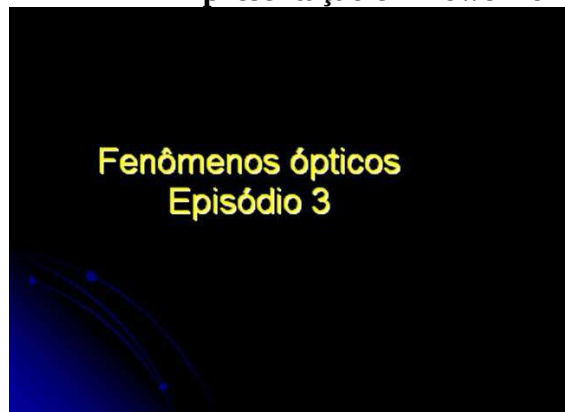
Principia
(1687)

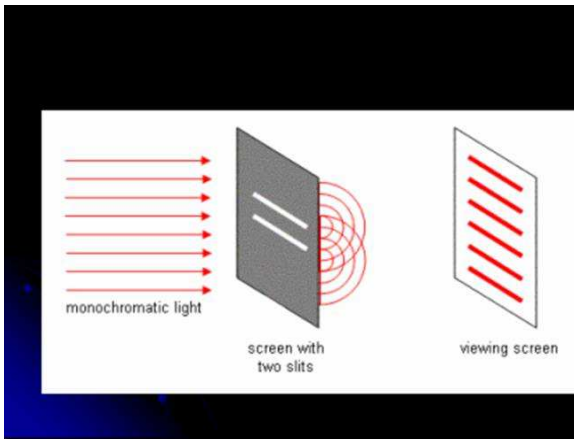
Óptica
(1704)



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

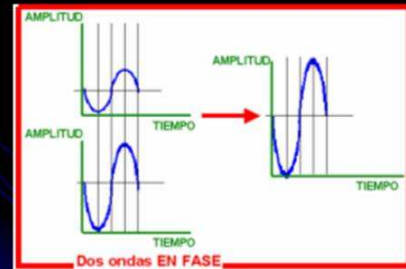
Apresentação em PowerPoint 3a: Fenômenos Ópticos XIX



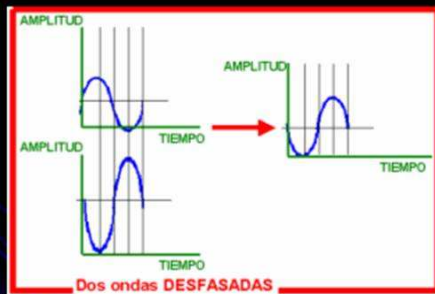


Superposição

- Superposição de ondas em fase



Superposição de ondas "defasadas"

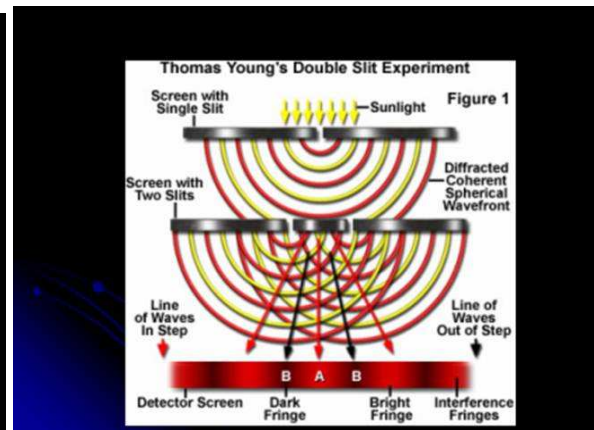
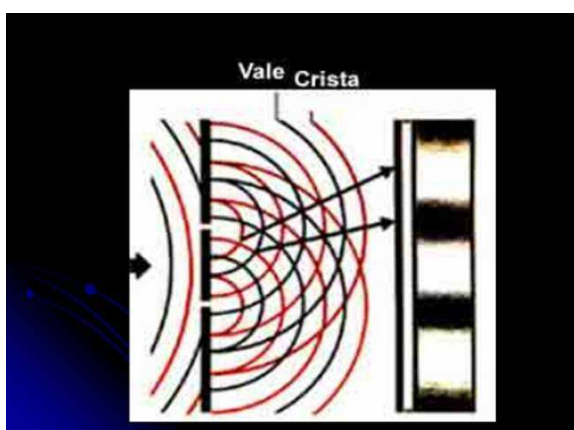
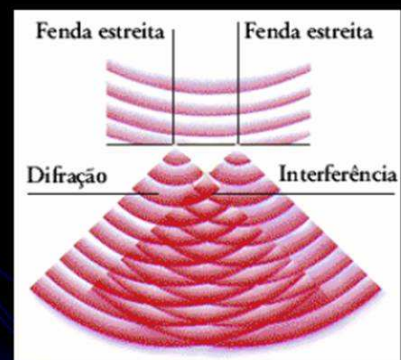


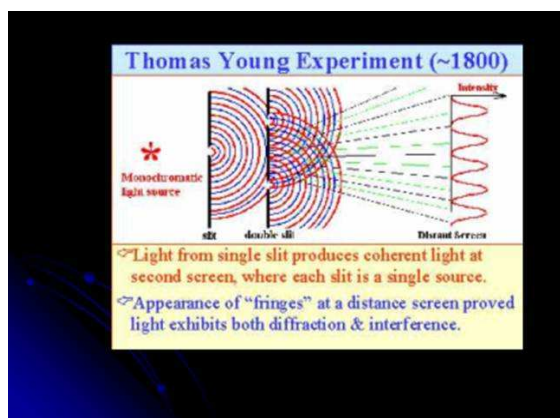
Ondas em fases opostas



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:

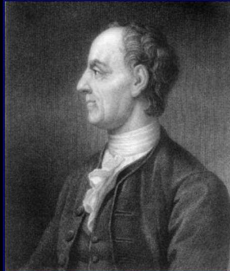
As teorias da luz e o éter luminífero no início do século XIX



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



Laplace

Em 1809 Laplace publicou um trabalho onde adotava a concepção corpuscular para a luz.

Ele era um membro influente da comunidade científica.

Difração

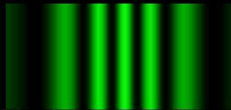
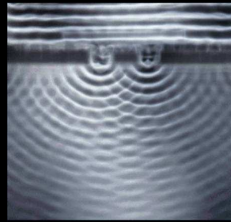
No início do século XIX parecia que a teoria corpuscular da luz poderia explicar **quase** todos os fenômenos.

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

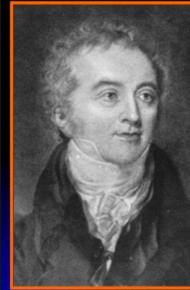


Augustin Fresnel

Consequências

- Se a luz é onda : éter
- Rejeitar a corpuscularidade da luz poderia mostrar um ponto frágil na doutrina newtoniana

Thomas Young



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.

Ondas sonoras

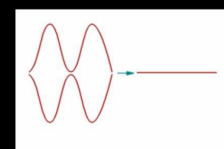
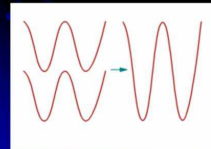
O estudo da audição levou Young a pesquisar o próprio som.

Fez estudos teóricos e experimentais sobre ondas sonoras, que o prepararam depois para sua teoria ondulatória da luz.



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.



Thomas Young



Thomas Young

Seus estudos foram muito bem feitos, mas não convenceram praticamente ninguém.

- Young não utilizou os termos "interferência construtiva e destrutiva".
- Ele falou em combinação de ondas.
- Fresnel quem introduziu esses termos.

Augustin Fresnel

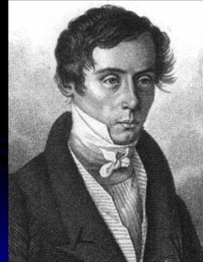


Augustin Fresnel

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.

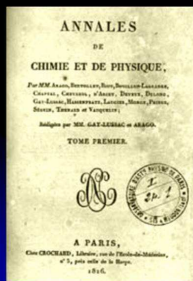
Augustin Fresnel



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

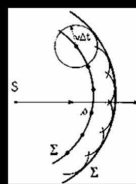
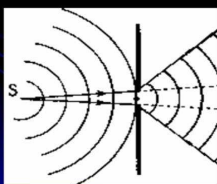
Fresnel se candidatou, com um estudo em que apresentava a teoria matemática da difração.



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.

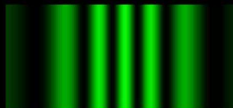


Óptica no século XIX

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...

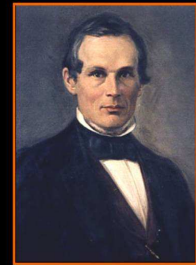


Éter

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.



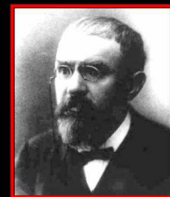
A. Michelson

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...)

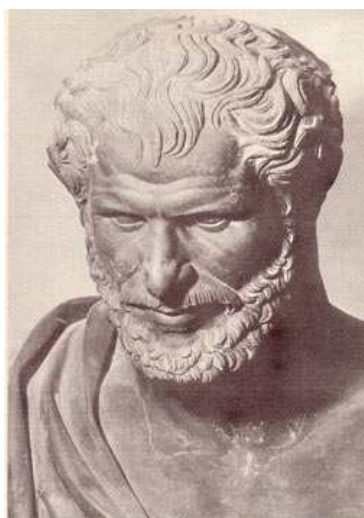


Apêndice D: Atividades para os cursos proposto e piloto

D.1. Cartões para jogo da linha do tempo

Episódio I: Um pouco sobre a luz na Antiguidade grega

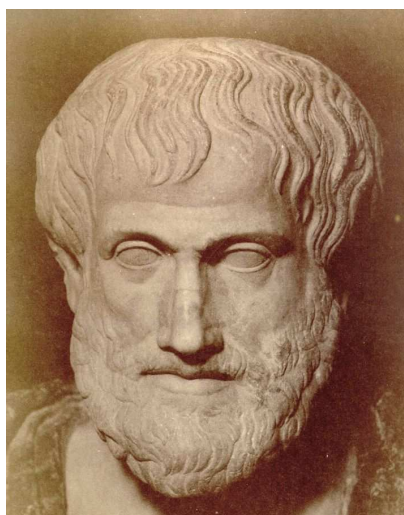
O professor deve recortar os cartões e entregá-los aos alunos. Esses, seguindo as “pistas” fornecidas devem tentar colocar os pensadores e eventos em uma linha cronológica. Fica a critério do professor incluir mais eventos históricos, personagens e dicas.



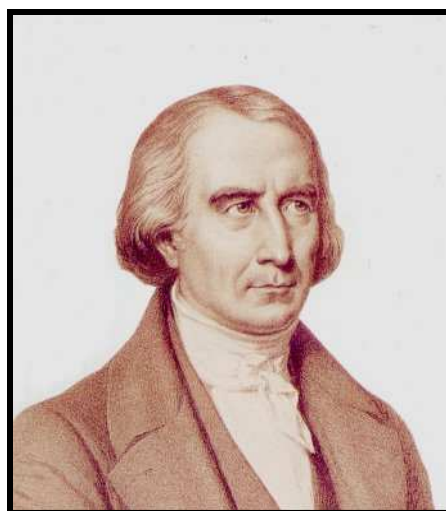
Demócrito de Abdera – filósofo grego
Foi um dos atomistas. Acreditava na existência de espaços vazios. Foi contemporâneo de Sócrates.



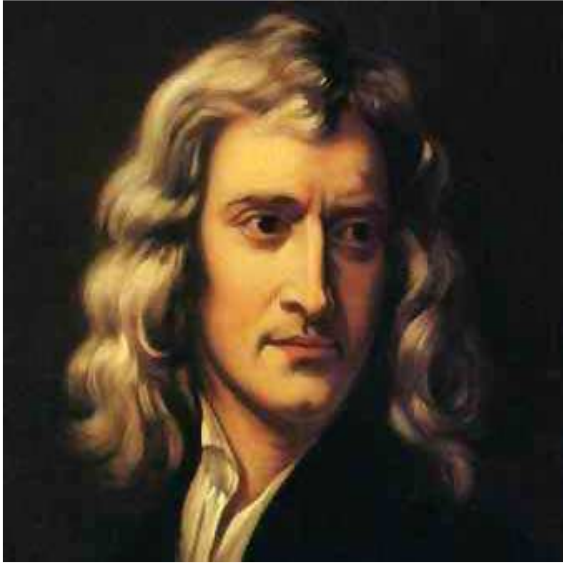
Christiaan Huygens – Físico e matemático holandês. Acreditava que o universo era preenchido pelo éter. Defendeu uma concepção ondulatória para a luz. Foi contemporâneo de Robert Hooke.



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.



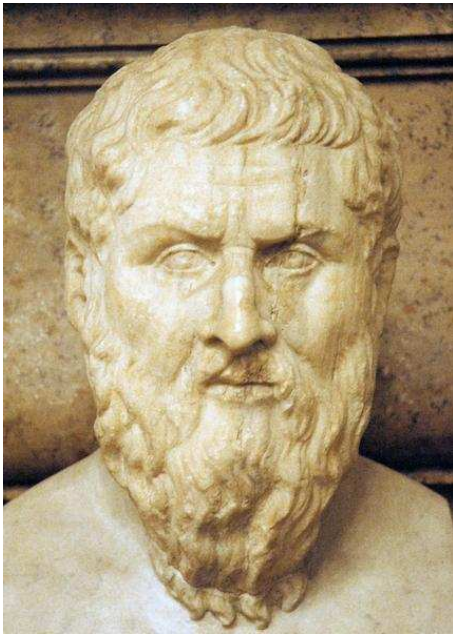
François Arago – físico francês. Realizou experimentos para tentar medir a velocidade da luz das estrelas no interior de um prisma transparente. Foi contemporâneo de Napoleão Bonaparte, imperador da França.



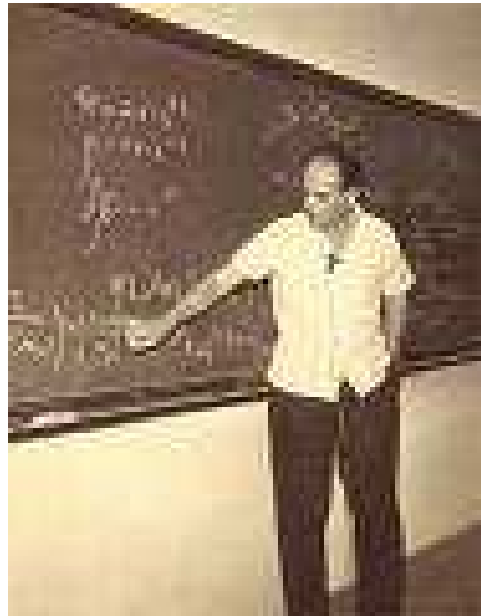
Isaac Newton
Físico, matemático, filósofo inglês.
Elaborou a lei da gravitação universal.
Nasceu no mesmo ano da morte de Galileu.



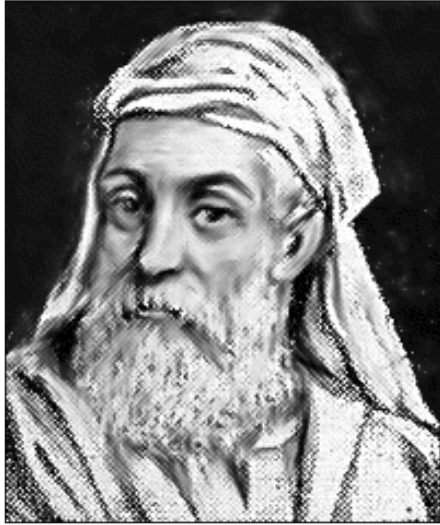
Thomas Young
Médico e Físico inglês.
Defendeu a concepção ondulatória para a luz.
Foi contemporâneo de Laplace.



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.



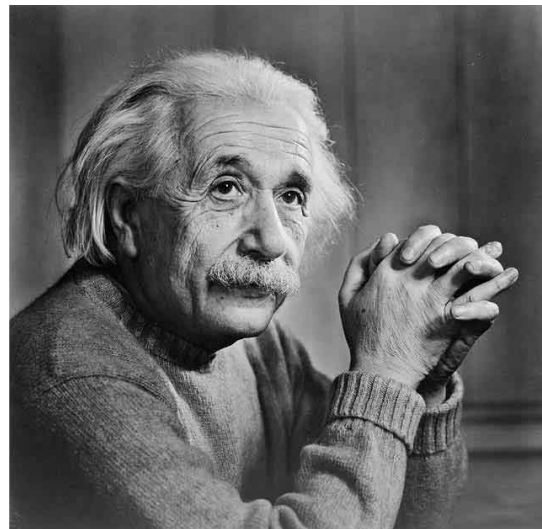
Empédocles – filósofo grego.
Quatro elementos básicos formavam o universo, que ele associava a quatro divindades: fogo (Zeus), ar (Hera), terra (Hades) e água (Nestis).
Viveu antes de Arquimedes.



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.



Descobrimento do Brasil



Nascimento de Jesus



Vôo do 14 Bis



Guerra de Tróia



Independência do Brasil



**Bomba Atômica em Hiroshima
Segunda Guerra Mundial.**



As cruzadas

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: “Perái”.... 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 sequência 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... (inaudível) é... vamos dar, vamos dar sequência, 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 separaram 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, tá 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	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...? A: Por quê? 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? <i>(Barulho de conversas dispersas e inaudíveis dos alunos).</i> Professora: Arrisca, né? <i>(Barulho de alunos conversando)</i>	
51	00:42	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?	
52	01:39	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.	<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> .	A professora distribui o material da atividade.
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?	Durante a atividade a professora circula pela sala, orientando os alunos.
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 conversação, 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.</i> <i>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 relembRANDO 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 (risos dos alunos).	<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? (A1 faz sinal de negativo com a cabeça). Você acha que assim... Tá simples? Que basta essa explicação? Vocês conseguem ver algum problema nessa explicação?	A1 = menina de vestido rosa e cabelo preto com franja.
14	11:21	A2: A imagem ali é distorcida.	A2 = menina de trança e camiseta branca
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.	A3 = menino ao lado do palmeirense de boné vermelho
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?	A4 = Primeira aluna da esquerda para direita, usando óculos.
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...(risos)	
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	

		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?	
42	20:59	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	<i>Professora mostra imagem que representa o universo na concepção de Aristóteles</i>

		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
<i>Continuação da atividade em grupo de 00:00 até 14:25.</i>

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?	

		Alguns alunos: Não. Professora: Não? Por que? O que que faltaria... do que depende? Tarik: Depende da forma de interpretação... Ruído de falas dispersas. Professora: (...) da cultura daquele povo, da religião, da política, né? Aluno: É.	
5	01:45	<i>Ruídos de falas dispersas dos alunos</i>	
6	02:04	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?	
7	02:18	Aluna 2: Sim. Aluna 3: Sim. Pausa e ruídos de falas dispersas	
8	02:23	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. Alunas: Errado. Tarik: (inaudível) eles usaram a razão, mas não chegaram ao mesmo resultado. Gisele: Tanto é que tinha diversas teorias. (Comentários inaudíveis) Professora: quer dizer que mesmo usando a razão eles chegavam a resultados diferentes...	<i>Nota-se aqui que a colocação da professora pode ter contribuído para o relativismo. Entretanto, os alunos já haviam respondido às questões.</i>
9	03:25	<i>Ruídos de falas dispersas</i>	
10	03:38	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... Aluna: Professora... Professora: Espera só um pouquinho que ela quer falar... Fala. Aluna: ...Porque nós, seres humanos, não conseguimos enxergar no escuro. Mas existem muitos animais que só conseguem enxergar no escuro, ou... sei lá... 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?	<i>Uma aluna traz elementos novos, levanta questionamento não previsto, mas relacionado ao conteúdo.</i>
11	04:40	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	

		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. Aluna: Professora... (inaudível) 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?	
12	06:54	<i>Pausa. Burburinho na classe. Ruído de automóvel. Arrastar de cadeiras.</i>	
13	07:04	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. (Agitação de comentários na classe) Um prisma, ó... Então eu vou colocar o prisma... presta atenção... eu vou colocar o prisma aqui, próximo a uma fonte de luz. Aluno: Ali... Ali, professora, atrás (risos) ... Ali, ali, ali... Ali... (Risos da turma) 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. Professora: Calma... deixa... Aluno: Professora... Professora: Oi. Aluno: (Inaudível) 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?	A professora usa o projetor e um prisma para fazer a demonstração.
14	10:06	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	Indica no painel.

		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>	Uso de fonte primária
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 ta 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 ta 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 ali, 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	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. (Risos)	
57	33:29	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... 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. 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?	
58	34:60	Aluno: (...) Não sei bem (<i>inaudível</i>) falar um pouco do debate? 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 atestar/aceitar o debate, porque agora cada um vai procurar... é... defender sua idéia da melhor forma possível e já sabendo os problemas que (tem/teve) e o que vai fazer com isso... Vamos lá...	
59	36:17	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? 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	<i>Aluno problematiza adequadamente.</i>

		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	Professora: Ó, vai ficar (...) Vamos imaginar que a luz são partículas. Certo? Aluno: Vamos jogar bolinha de gude... (<i>Ruído alto</i>) Aluna A: Professora, a luz seria uma coisa... (faz gesto com a mão)... Matéria...? 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... Aluno: A professora brinca/tá brincando de bolinha de gude, ae... (<i>Risos</i>) 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>) 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.	<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	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>)	<i>A professora e o Elio tentam simular no chão o choque entre dois feixes de bolinhas de grude, e como está difícil a sala se diverte.</i>
64	40:00	<i>Risos e comentários inaudíveis na classe. Dispersão.</i> Pedro: A teoria corpuscular está mais clara pra mim... (<i>pausa</i>) As bolinhas não se chocam... (<i>alunos pedem silêncio</i>)	
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	

		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. E aí, continuou questionando, questionando... e até que ele chegou num experimento que... ele conseguiu tirar algumas conclusões.	
73	46:48	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.	
74	47:19	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.	
75	47: 48	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?	
76	48:19	Professora: Então aqui, como era... ta... Então, o prisma, ele não modifica, ele apenas separa as luzes, ta.	
77	48:23	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...	
78	48:33	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? Alguns alunos: Não... Pedro: Precisa ter a tese matemática... Professora: Tem todo um apoio, também, das teorias, da matemática, testando... né, pra teoria evoluir.	
79	49:31	<i>(aluno interrompe pra fazer uma pergunta, mas muda de idéia)</i> 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...	<i>Nesse momento do curso buscamos contrapor a importância dos experimentos, apesar da impossibilidade de observações neutras.</i>
80	49:56	Professora: Então, o Newton, ele combinou a experiência dele, hipóteses que ele ia fazendo e muita análise matemática. E foi	

		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 sequência certa do texto. A professora retoma a sequência 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 dúvida, 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 tô 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 tô querendo... entender o que você tá falando.	
47	08:00	Jade: E eu tô 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 tô 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 ondulatória e a corpuscular, elas elas conseguiram dar essa prova? Você acha? Que que você 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 saiam 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	(Conversas sobrepostas, inaudível).	
128	32:37	Professora: Se entre o próprio júri tiver alguma divergência (alunos falando ao mesmo tempo). Você já está achando que o juiz não vai chegar a um consenso... (conversas).	
129	32:50	Professora: Bom, então vamos lá. Todo mundo com o texto 5 na mão (ruídos). 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? (ruídos). Tem influência de mais o que?	
134	34:37	Alunos falam todos juntos. Discutem pontos de vista.	Áudio comprometido.
135	34:56	Pedro continua o texto.	
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		Pedro continua a leitura.
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...	Alunos demoram a se manifestar para a leitura.
139	39:00		Aluna recomeça o texto.
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		Outro aluno reinicia a leitura.
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 tão? (A professora tenta sanar dúvidas e ouvir alunos individualmente.	

		<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 ideia 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 ideia.</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 ideia 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 ideias. 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 ideia 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", tá?	
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.</i> <i>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 dos 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	

		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? Daniele: ...matéria sutil? Carla: Ou é matéria ou não é. Tarik: Ou é matéria ou não é. 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. Tarik: Se é matéria, não importa... é sutil mas é matéria do mesmo jeito.	
20	08:47	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. 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? Daniele: Porque eles comparam a luz com o som. 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. Daniele: Colocação breve e inaudível.	Interessante esse argumento trazido pelo grupo.
21	10:25	Tarik: É... (pausa) É só isso. (pausa) Por enquanto é só isso. Daniele: Por enquanto, por enquanto...	Alunos lêem o texto e confabulam
22	10:48	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.	
23	10:54	Giovanna: Bom... posso começar? 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?	
24	11:53	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.	Aluna lê argumentação e levanta os olhos encarando o júri e demonstrando segurança. Alunos confabulam antes de começar a explanação.
25	11:53	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.	Alunos da platéia escutam atentos a explanação.

		Giovanna: Pode falar... 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. 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.	
26	13:27	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. (Talita e Giovanna confabulam. Giovanna sinaliza para que aluna Erika continue).	<i>Verificar de onde o aluno pode ter concluído isso.</i> <i>Elio estava “defendendo” a corpuscular?</i> <i>Alunas do grupo fazem expressão de terem percebido o “furo”.</i> <i>Parece que Giovanna está liderando a conduta do grupo.</i>
27	14:43	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...	
28	15:34	Professora: É... uma pausa. Uma pausa. É... infelizmente, essa argumentação do Fresnel, ela aconteceu após, então nós não podemos usar... Aluno do Júri: ...retira dos autos. Professora: Retira dos autos...(risos). Infelizmente. Aluno: Mas qual seria o comentário, é porque tá sendo lido... Professora: Não é só que... Elio: Maxwell pode falar? 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.	
29	16:03	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	<i>Alunas do grupo não percebem que continuam usando</i>

		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 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. (burburinho dos alunos)	<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: breve comentário inaudível	
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 (inaudível).	<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? (Muitos alunos falam ao mesmo tempo. Grupo da corpuscular fala e gesticula, mas falas inaudíveis)	<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: Inaudível as idéias Inaudível 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? (Alunos retrucam, falas sobrepostas. Inaudível)	
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>

		Talita: fala Ivana! <i>Pedro do júri faz rápido comentário.</i> 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.	<i>explicação de Elio.</i>
79	29:02	Erika: Tá... o que é vácuo... existe vácuo? <i>Alunos perguntam sobre o vácuo.</i> Professora: Vácuo é o vazio absoluto. Pedro do júri: ... é agora... (inaudível) <i>Alunos dos dois grupos e do júri falam juntos.</i>	<i>Falas questionando sobre o vácuo. Ruídos dispersos</i> <i>Parece que a explicação sobre éter deixou o grupo da corpuscular sem argumentos.</i>
80	29:46	Tarik: Eu não vi nenhuma resposta sendo, das minhas perguntas sendo respondidas... <i>Falas sobrepostas. Tarik pressiona sobre o éter.</i>	<i>Tarik volta a pressionar o grupo da ondulatória.</i>
81	30:03	Clarisse: Como que você quer que nós acreditamos da teoria do éter se nós não sabemos o que seria o éter? Tarik: Foi justamente o que eu falei...	<i>Júri também cobra explicações.</i> <i>Mais falas sobrepostas.</i>
82	30:06	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.	<i>Provavelmente Elio pesquisou sobre o significado da palavra éter e sobre Pitágoras, pois essas informações não foram dada pelo curso.</i> <i>Enquanto o Elio explica, o grupo da corpuscular confabula. Suas expressões mudam de segurança para sutil preocupação.</i>
83	31:46	Pedro do júri: Então o éter seria algo material, extremamente... Seria matéria só que extremamente não-densa? Elio: Isso.	<i>Falas sobrepostas</i>
84	31:58	Aluna da platéia: Como que eles descobriram a existência desse éter? Erika: Pra explicar o que eles não puderam explicar. Pedro do júri: Comentário inaudível, mas o “clima” sugere que a explicação de E teria sido satisfatória.	<i>Falas sobrepostas</i>

85	32:11	Elio: É... o que acontece... Se o éter surge 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?	
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	

		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.	
102	37:35	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...	
103	37:57	Elio: Posso só responder... <i>Falas sobrepostas.</i>	Comentário da aluna causa pequeno rebuliço.
104	37:59	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	Comentários sobrepostos.

		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...	

		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? Daniele: No ar ela não se propaga... ela se reflete. Pedro do júri: Então, vocês poderiam explicar melhor? 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.	
114	43:16	Pedro da platéia: Mas se eu tirei o ar, que corpo transparente ficou? Daniele e Carla: O corpo transparente, a cúpula... Tarik: Ele não tirou o corpo, o corpo ainda tá lá... tá penetrando no corpo, independente do que tiver lá dentro.	<i>Parte da discussão inaudível.</i>
115	43:36	Daniel do júri: Ele provou isso? Que o corpo transparente, é... como eu posso dizer... Daniele: Não, a gente tá dando uma explicação... Tarik: Tá claro?	
116	43:58	Aluno do júri: Não. Desculpa, a gente falou que a do éter não tinha ficado claro... também não ficou claro.	
117	44:02	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. Aluno do júri: Mas se eles se refletem, eles batem e voltam. Como que eles atravessam a cápsula transparente (<i>inaudível</i>). Carla: Pelo... o vácuo. <i>Comentários inaudíveis do grupo entre si.</i>	<i>Percebe-se, como em outros momentos, a cooperação entre os alunos do grupo.</i>
118	44:47	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. <i>Daniele faz comentários inaudíveis.</i> Tarik: A luz incidindo nesse corpo, ele dá... dá a possibilidade que você possa ver esse corpo. <i>Alunos riem.</i> 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...	<i>Risadas.</i> <i>Ruídos inaudíveis</i>
119	46:02	Carla: Talvez... ela não atravessa... 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? 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.	<i>Conversas misturadas e ruídos inaudíveis.</i>

		Como que esse corpo refrata essa luz?	
120	46:35	Carla: Então, é... assim.... 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? Jade do júri: ...Porque a cápsula é transparente.	
121	46:57	Daniele: Exatamente. E a mesa não, entendeu? Pedro do júri: Como éter que atravessa todas as matérias? Carla: Oi? Aluno do júri: Como o éter que atravessa todas as matérias?	<i>Falas sobrepostas inaudíveis.</i>
122	47:03	Carla: Pois é... A gente não pode falar isso porque a gente tá defendendo a teoria do Newton. Seria uma competição. Daniele: Na cápsula os átomos não estão tão grudados como numa mesa, por exemplo. <i>Alguém no júri faz breve comentário inaudível.</i> Carla: Entendeu? <i>Pedro do júri gesticula sugerindo que entendeu a questão.</i> <i>Falas sobrepostas.</i> <i>Tarik do grupo da corpuscular faz pergunta inaudível.</i>	<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	Professora: Agora, o pessoal da ondulatória... É...você vão responder a pergunta do mediador.	<i>O grupo da ondulatória permanece cabisbaixo.</i>
124	47:42	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. Aluno do júri: Então, a luz está se propagando de novo no éter?	<i>Comentários inaudíveis no júri.</i>
125	48:43	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. Elio: O que você tem que pesar pra enxergar lá dentro, é que essa cápsula seja transparente.	

		Pedro do júri: Mas essa (<i>pergunta inaudível</i>). Elio: Esses potinhos de azeitona, de palmito, qualquer coisa... quando você coloca assim, continua iluminado. Por que? Existe luz lá dentro. (<i>Pausa. Conversas paralelas</i>)	
126	49:28	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. Aluno do júri: Eu não entendi a sua pergunta. Outros alunos: Eu também não. Aluno do júri: Reformula a pergunta.	<i>Pergunta inaudível direcionada ao grupo.</i>
127	50:26	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?	<i>Alunos em geral manifestam incompreensão com relação à questão levantada.</i>
128	51:15	Tarik: Assim... apesar de não ter entendido, de novo... eu vou tentar responder porque a gente não falou que reflete. Elio: Vou explicar de novo... 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. Aluno da platéia: E a luz tá passando entre os átomos... Aluna 1: O corpo transparente... Aluna 2: No vácuo, a luz consegue penetrar no vácuo...	

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	(<i>Elio começa a responder. Pedro e professora falam também</i>). Elio: Assim... eu não vou conseguir nada aqui que faça sombra.	

		(falas inaudíveis). 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.</i> <i>Interferências inaudíveis dos alunos do júri.</i>
133	02:06	Daniele: Mas se ela tá 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.... (pensativo, pausa). 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.</i> <i>Aluno 2 indica a sombra embaixo da cadeira.</i> <i>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 tá voltando, a luz tá 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 tá se propagando lá... Tipo, pra mim, se ela tá se propagando, ela tá 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.</i> <i>Vozes altas.</i> <i>Risos e falas sobrepostas.</i> <i>Interferência inaudível de uma aluna da platéia.</i>

		Daniele: Tá, mas se ta vindo mais ondas não é motivo pra produzir mais luz? Elio: Elas... elas vem da mesma trajetória. Daniele: Mas elas tão ali... elas tão... Elio: Vocês tão conseguindo entender?	
136	04:50	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... Jade do Júri: Até na filosofia, tudo? ... eles buscam uma	<i>Professora interrompe.</i> <i>Retorno positivo aos alunos. Professora incentiva e valoriza os alunos em vários momentos do curso.</i>

		explicação até morrer...	
137	08:55	Professora: Então, na filosofia não tinha lá o que achava que a luz saía 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? Jade: É... (inaudível) que fala do provar, né... 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 tá 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?	<i>Interferência breve da aluna da platéia. A professora complementa a fala da aluna.</i>
138	12:25	Professora: Bom, então agora eu queria que o júri, se manifestassem em dizer... é... vocês querem se reunir, que nem um jurado mesmo?	<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>
			<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	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. Jade: ... a corpuscular é isso, isso e isso, entendeu? E eles não... Elaine: ... e eles falaram muito pra gente, eu acho muito pouco. Denis: ... as perguntas da professora... 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...”. Elaine: ...eu tinha pergunta pra fazer, mas nunca chegava... 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...”. Elaine: Mas também nós não abordamos muito eles...	<i>Os comentários são entrecortados e a captação de áudio faz com que alguns trechos fiquem obscuros.</i> <i>Alguns comentários voltam a ficar inaudíveis.</i>
143	18:22	Denis, Clarisse, Jade, Elaine: <i>Falas sobrepostas.</i> 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? Aluna: ondulatória. <i>Falas sobrepostas.</i> 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? Daniel: acho que ondulatória, que vocês acham? Jade: ondulatória. <i>Vários alunos votam na ondulatória.</i> Elaine: Se a gente tivesse mais tempo, poderia até mudar de idéia... mas, agora ondulatória. Denis: <i>inaudível.</i>	<i>Comentários inaudíveis.</i> <i>Novas falas sobrepostas. Alunos diferenciam a sua tendência pessoal dos argumentos apresentados na explanação.</i>

		<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> Denis: <i>inaudível.</i> <i>Clarisse e Jade falas sobrepostas. Denis volta a falar. Parece que ele considera que o grupo da ondulatória saiu-se melhor.</i>	
144	19:55	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. Elaine: Então, é isso que a gente tá comentando... 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. Pedro: Até porque (...) No tribunal, por exemplo, você vai ter uma só opção... ou você vai absolver ou você vai culpar... 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 tá 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... Clarisse: Eu? Professora: você está se (<i>inaudível</i>) muito bem. Então, mais alguns minutinhos pra vocês decidirem aí... que vai acabar a aula, tá?	<i>A professora faz uma interferência.</i> <i>Parece que “a pessoa” é Newton.</i>
145	22:00	<i>Falas sobrepostas.</i> 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... Clarisse: eu acho que eles focaram muito no éter pra defender a teoria deles. Elaine: O argumento é que o éter tava errado... Denis: Eles queriam que eles provassem a teoria deles de ondas, mas não queriam provar a deles. 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	<i>Os alunos do júri/platéia voltam a discutir entre si.</i> <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>

		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 afiadados 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>

		A1: o módulo não termina quarta? Pedro: Não. Tem feriado A1: que dia que é o feriado?	
3	02:54	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. Pedro: a gente promete não respirar, professora.	
4	03:30		<i>Ruídos conversas.</i> <i>A professora parece aguardar algo</i>
5	04:19	Professora: é... Pessoal, vocês são assim... é... Depois eu vou dar um reforquinho. 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. Professora: Já vou avisar que respostas... vocês podem ter a mesma opinião, mas cada um exprime a opinião do seu jeito. <i>(Conversas, manifestações)</i> Professora: Ah lógico...	<i>Contrato didático bem evidente voltado à avaliação.</i>
6	05:32	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.	
7	11:25	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.	

8	11:48	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.	
9	12:33	Professora: Bom então, retomando, tá? Vocês... eu preciso recordar hoje. 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. 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?	
10	13:20	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. Bom agora eu vou fazer uma... vou mostrar um/um fenômeno aqui pra vocês, tá? 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,	<i>A professora faz a experiência usando a lâmpada do data show.</i>

		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	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.	
20		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?	
21	22:13	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/ó 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?	
22	23:55	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	

		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 sobrepoem, 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 sobrepoem 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	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?	
26	30:02	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. 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.	<i>Faz gesto.</i>
27	31:09	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?	
28	32:32	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	

		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	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. 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 prêmio, 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 prêmio.	<i>Alunos continuam atentos.</i>
30	38:12	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. 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?	

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 (acaba o arquivo gravado)	<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	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: A: Ele é mais inteligente. (Fala ao mesmo tempo que a professora) 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?	
46	12:26	A: Professora, o Fresnel ele tinha dinheiro? 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.	
47	13:2	Professora: Bom agora, atenção em tudo o que eu falei na aula de hoje, vocês vão entregar umas questõezinhas. Alunos: Ah não! Professora! Professora: Dez e vinte, dá tempo! Alunos: Ah não, professora! A1: Amanhã a gente faz. Professora: Vamos começar hoje.	<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	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... A2: Professora...	
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	

		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? A: Não. 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? A: Professora (<i>ininteligível</i>). 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. A: Tem que cantar? A2: Queria saber o premio. A: Tem que cantar? Professora: Sei lá?... Como é que nós vamos ouvir?	
60	25:53	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. A2: Então amanhã pode faltar... Professora: Amanhã pode faltar. Amanhã ainda tem mais um último texto de apoio e aí eu acabo fazendo a revisão também, tá?	Risos
61	26:23	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? Pedro: Hei Diogo, cadê a foto? Professora: Amanhã vocês precisam trazer gente lá. Porque eu trouxe alguns, eu queria é deixar com alguém. A: Deixa que colo. ... Eu colo. 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 aí uma copia pra quem quiser, tá? Quem eu posso deixar? É o meu monte aqui... quem eu posso deixar?	
62	27:32	Professora: Então olha eu vou reservar a sala de vídeo aqui pro show de musica da quinta-feira, tá?	<i>A professora sai da sala</i>
63	32:24	Professora: Aí num dava tempo?	<i>A professora retorna à sala. Vários alunos estendem a mão para entregar as questões.</i>
64	35:35	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? A: Não.	<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	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... Pedro: Vai ter um outro debate aqui na hora? 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, tá? 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	<i>Professora faz revisão do conteúdo e orienta os alunos sobre as questões abertas, como argumentar, como redigir, etc.</i>

		porque que vocês fizeram aquela escolha, tá?	
3	04:38	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... <i>Comentário inaudível do aluno na primeira fileira.</i> 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?	<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>
4	05:43	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.	<i>A aluna Jade posiciona-se demonstrando que compreendeu esse aspecto de NDC que pretendíamos:</i>
5	06:26	Professora: A mais aceitável? Jade: A mais aceitável.	
6	06:30	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...	<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>
7	06:52	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?.	
8	07:30	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?	<i>Ela ressalta novamente o cuidado que se deve ter com a palavra “provou”.</i>

9	08:00	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?	<i>Prof. orienta sobre pesquisas distorcidas na internet</i>
10	09:35	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?	<i>Advertências sobre idéias divulgadas na mídia, principalmente a TV.</i> <i>Professora reforça o prestígio de Newton.</i> <i>Problemas nos livros didáticos.</i>
11	12:02	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	<i>Professora falando sobre o éter: As mudanças geradas pela aceitação da teoria ondulatória</i>

		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, tá? 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>

		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 vêem que ao longo da história não dá pra ser assim tão fechado. <i>Aluna retoma a leitura do texto.</i> <i>Outro aluno reinicia a leitura do texto.</i> Professora: Então, na verdade, o que ele tá 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 tá elaborando, vai bater de frente com uma outra que tá 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.	
28	33:00	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, tá 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..	
29	34:55	Professora: Então, assim, na verdade esse curso tá 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	
30	35:26	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	<i>Os alunos que perderam a aula anterior escutam a explicação do</i>

		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	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?! <i>Alunos protestam de forma descontraída.</i> 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? Alunos: Não... Professora: Explique... Pedro: A senhora só perguntou uma coisa... <i>(tom de brincadeira)</i> Aluna: Não, porque é preciso montar experiência, observar o fenômeno, elaborar cálculos matemáticos e formular hipóteses, antes de se concluir alguma coisa.	
42	23:06	Professora: Alguém concorda, discorda... quer complementar? <i>Alunos dão a entender que a resposta da colega foi satisfatória.</i>	
43	23:15	Professora: Vamos ouvir a resposta aqui... Aluna: Não, a natureza (?) muito importante (?) não era suficiente para (?). 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.	<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	Alunos: Não. <i>Vários alunos falam ao mesmo tempo respondendo à questão.</i>	
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: Nãaaaaaaoooo... Eu explico. Depende da interpretação de cada um pra fazer as teorias.	
49	24:00	Professora: Tá, e que mais?	
50	24:10	Tarik: Ah, depende de várias coisas. <i>(Pedro interrompe o Tarik e brinca:)</i> Pedro: Ah, mas aí é outra pergunta! <i>(alunos e professora riem).</i>	
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?	vocabulário. Obstáculo Imprevisto. ³⁵
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> aí 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.