

INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS  
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA

FELIPHE DE SOUZA FERREIRA

NATUREZA CORPUSCULAR E ONDULATÓRIA DA LUZ: Uma  
Sequência de Ensino Investigativa para promover  
Alfabetização Científica

VOLTA REDONDA

2019





FELIPHE DE SOUZA FERREIRA

NATUREZA CORPUSCULAR E ONDULATÓRIA DA LUZ: uma  
Sequência de Ensino Investigativa para promover  
Alfabetização Científica

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação de Mestrado Profissional em Ensino de Física da Universidade Federal Fluminense, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador:

Wagner Franklin Balthazar

Volta Redonda

2019

FELIPHE DE SOUZA FERREIRA

NATUREZA CORPUSCULAR E ONDULATÓRIA DA LUZ: uma  
Sequência de Ensino Investigativa para promover  
Alfabetização Científica

Orientador:

Wagner Franklin Balthazar

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa  
de Pós-Graduação de Mestrado Profissional em  
Ensino de Física da Universidade Federal  
Fluminense, como requisito parcial à obtenção do  
título de Mestre em Ensino de Física.

Aprovada em 30 de agosto de 2019.

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. Wagner Franklin Balthazar – IFRJ

---

Prof. Dr. José Augusto Oliveira Huguenin – UFF

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Mônica Abrantes Galindo – UNESP

Volta Redonda

2019

Ficha catalográfica automática - SDC/BAVR  
Gerada com informações fornecidas pelo autor

F383n    Ferreira, Felipe de Souza  
          Natureza Corpuscular e Ondulatória da Luz : Uma Sequência  
          de Ensino Investigativa para promover a Alfabetização  
          Científica / Felipe de Souza Ferreira ; Wagner Franklin  
          Balthazar, orientador. Volta Redonda, 2019.  
          119 f. : il.

          Dissertação (Mestrado Nacional Profissional de Ensino de  
          Física)-Universidade Federal Fluminense, Volta Redonda, 2019.

          DOI: <http://dx.doi.org/10.22409/PROFIS.2019.mp.14454753750>

          1. Natureza da luz. 2. Sequência de Ensino Investigativa.  
          3. Alfabetização Científica. 4. Produção intelectual. I.  
          Balthazar, Wagner Franklin, orientador. II. Universidade  
          Federal Fluminense. Instituto de Ciências Exatas. III.  
          Título.

CDD -

Bibliotecária responsável: Ana Claudia Felipe da Silva - CRB7/4794

### ***DEDICATÓRIA***

*Dedico este trabalho ao meu pai Sebastião Ferreira que, em vida, sempre me apoiou e por mim torceu. Agradeço a ele pelos ensinamentos e valores passados. Saudades eternas!*

## *AGRADECIMENTOS*

*A minha mãe, Ana Cristina, e a minha irmã, Fernanda, que estiveram sempre presente me apoiando e dando força para que eu pudesse seguir em frente.*

*Ao professor Dr. Wagner Franklin Balthazar pela paciência, orientação e confiança durante a realização deste trabalho.*

*Aos professores do MNPEF polo 15, pelo rico conhecimento compartilhado nas disciplinas.*

*Aos colegas de turma pelos momentos de apoio, motivação e parceria durante todo o curso de mestrado.*

*Aos alunos que participaram e colaboraram na aplicação desta proposta.*

*A todos aqueles que direta e indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.*

## **RESUMO**

### **NATUREZA CORPUSCULAR E ONDULATÓRIA DA LUZ: Uma Sequência de Ensino Investigativa para Promover Alfabetização Científica**

Felipe de Souza Ferreira

Orientador:

Wagner Franklin Balthazar

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física

Este trabalho propõe uma Sequência de Ensino investigativa (SEI) que busca promover a Alfabetização Científica em alunos do ensino médio a partir de um problema histórico para discutir a natureza da luz. Em geral, o ensino da óptica no ensino médio é concentrado na óptica geométrica, que apesar de explicar satisfatoriamente fenômenos como a reflexão e refração da luz, limita-se quando a discussão é sobre sua natureza ondulatória. Isso não permite discutir fenômenos como a difração e interferência, consequentemente, a discussão sobre a natureza da luz é relegada a um segundo plano. Nesse sentido, nossa proposta de ensino investigativo a partir de atividades experimentais busca estudar o limite entre o modelo corpuscular newtoniano e a teoria ondulatória da luz.

Palavras-chave: Natureza da luz, Sequência de Ensino Investigativa, Alfabetização Científica.

Volta Redonda

2019

## **ABSTRACT**

### **CORPUSCULAR AND ONDULATORY NATURE OF LIGHT: a Sequence of Investigative Teaching to Promote Scientific Literacy**

Felippe de Souza Ferreira

Supervisor:

Wagner Franklin Balthazar

Abstract of master's thesis submitted to Programa de Pós-Graduação no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF), in partial fulfillment of the requirements for the degree Mestre em Ensino de Física.

This work proposes a Sequence of Investigative Teaching that seeks to promote scientific literacy in high school students from a historical problem to discuss the nature of light. In general, the teaching of optics in high school is concentrated in geometric optics, which despite satisfactorily explaining phenomena such as the reflection and refraction of light, is limited when the discussion is about its wave nature. This does not allow discussing phenomena such as diffraction and interference, consequently, the discussion about the nature of light is relegated to the background. In this sense, our proposal of research teaching from experimental activities seeks to study the boundary between the newtonian corpuscular theory and the wave theory of light.

**Keywords:** Nature of Light, Sequence of Investigative Teaching, Scientific Literacy.



## Sumário

Capítulo 1 Introdução .....	9
Capítulo 2 Fundamentação Teórica .....	14
2.1 Sequência de Ensino Investigativa (SEI).....	14
2.2 Desenvolvimento da SEI para promover Alfabetização Científica (AC).....	20
2.2.1 Indicadores de Alfabetização Científica .....	22
Capítulo 3 Modelo Corpuscular e Ondulatório da Luz .....	26
3.1 Introdução Histórica .....	26
3.2 O Modelo Corpuscular de Newton .....	28
3.3 A Natureza Ondulatória da Luz .....	32
3.4 A Difração da Luz .....	39
Capítulo 4 Metodologia .....	45
4.1 A Pesquisa .....	45
4.2 Contexto da Aplicação.....	48
Capítulo 5 Desenvolvimento da SEI .....	49
5.1 A Sequência de Ensino Investigativa .....	49
5.1.1 Atividade 01 – Problematização Inicial.....	51
5.1.2 Atividade 02 – Compartilhamento de Ideias .....	53
5.1.3 Atividade 03 - Sistematização do Conhecimento.....	54
5.1.4 Atividade 04 - Nova Situação: O ponto claro de Fresnel .....	55
5.1.5 Atividade 05 – Difração da luz e o diâmetro do fio de cabelo .....	56
5.1.6 Atividade 06 – Ondas Eletromagnéticas .....	57
5.1.7 Atividade 07 – Avaliação Somativa .....	57
Capítulo 6 Aplicação e Avaliação .....	59
6.1 Narrativa da Aplicação .....	59
6.1.1 Atividade 01 – Problematização Inicial.....	59
6.1.2 Atividade 02 – Compartilhamento de Ideias .....	62
6.1.3 Atividade 03 – Sistematização do Conhecimento .....	66
6.1.4 Atividade 04 – Nova Situação: O ponto claro de Fresnel .....	68
6.1.5 Atividade 05 – Difração da luz e o diâmetro do fio de cabelo .....	70
6.1.6 Atividade 06 – Ondas Eletromagnéticas .....	72
6.1.7 Atividade 07 – Avaliação Somativa .....	72
6.2 Análise de Falas em Busca de Indicadores de AC.....	74

Capítulo 7 Considerações Finais .....	79
Apêndice A – Produto Educacional.....	82
Apêndice B – Apresentação Contextualização Histórica .....	98
Apêndice C – Texto para o Professor .....	107
Apêndice D – Avaliação Somativa.....	111
Referências .....	116

# Capítulo 1

## Introdução

Nas últimas décadas, muito se tem discutido sobre o Ensino de Física no Brasil. Um reflexo disso são as mudanças curriculares propostas nos documentos que norteiam o ensino, os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN) e a Base Nacional Comum Curricular (BNCC, 2018), que estabelecem conhecimentos, competências e habilidades que se espera que todos os estudantes desenvolvam ao longo da escolaridade básica.

A BNCC da área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias propõe um aprofundamento nas temáticas Matéria e Energia, Vida e Evolução e Terra e Universo. Os conhecimentos conceituais associados a essas temáticas constituem uma base que permite aos estudantes investigar, analisar e discutir situações-problema que emergem de diferentes contextos socioculturais, além de compreender e interpretar leis, teorias e modelos, aplicando-os na resolução de problemas individuais, sociais e ambientais. (BRASIL, 2018, p. 548)

O PCN+ destaca que devemos “[...] construir uma visão da Física voltada para a formação de um cidadão contemporâneo, atuante e solidário, com instrumentos para compreender, intervir e participar na realidade [...]” (BRASIL, 2006, p. 60). Assim, precisamos inserir os estudantes como agente atuante no universo das ciências podendo intervir de forma crítica no meio em que está inserido e no desenvolvimento das ideias e do trabalho científico.

Essas mudanças impactaram, por exemplo, o currículo de Física no Estado do Rio de Janeiro, com a proposta de um currículo mínimo de 2012 que visa uma nova perspectiva para o Ensino de Física que, tradicionalmente, é mecânico e quantitativa, centrado numa ideia de resolução de problemas, que não discute conceitos, mas reproduz algoritmos para solução de problemas que, em sua maioria, tratam de operações algébricas. Nesse contexto, num ensino com pouca reflexão crítica, conceitos fundamentais que norteiam as discussões científicas, a própria natureza da ciência e a importância desse conhecimento para nossa sociedade, são deixados de lado.

No cenário atual as pesquisas em Ensino de Física defendem a formação de um aluno capaz de atuar de forma consciente fora de seu contexto escolar, sendo capaz de olhar para os problemas do mundo elaborando estratégias e desenvolvendo suas próprias hipóteses e ideias crítica para lidar com os fenômenos da natureza.

Sabemos das dificuldades de mudança, pois muitos professores não têm a formação apropriada em física para abordar certos conteúdos e, mesmo para os que possuem formação na área, seus recursos em geral são escassos. No caso das atividades práticas, por exemplo, muitas escolas não possuem estrutura que possibilite a criação de um laboratório de ciências, o que também pode causar uma desmotivação dos professores para realização de experimentos, refletindo na formação dos alunos.

Ainda, sobre as práticas de laboratório, elas, em geral, são percebidas pelos estudantes com o objetivo de testar uma lei física e/ou ilustrar ideias e conceitos aprendidos em sala de aula. Por isso, não há uma análise crítica e interpretação dos resultados que possam trazer significados para o trabalho em ciências. Sendo assim, vê-se a necessidade do desenvolvimento de novas estratégias para o ensino de Física.

A imagem que as pessoas têm da Física é geralmente criada na escola, resultado do ensino ali praticado. O que prevalece, na prática pedagógica da maioria dos professores, é o formalismo, enquanto o contato com a fenomenologia, esse lado da Física que as pessoas consideram mais atrativo, é pouco valorizado, e por vezes até mesmo esquecido por completo. Enfatiza-se demasiadamente uma Física matemática em detrimento de uma Física mais conceitual, mais experimental e com mais significado para a vida das pessoas. (BONADIMAN, 2005, p.1)

Neste contexto, pesquisas em torno do Ensino de Física e de Ciências defendem as inovações no ensino em que ele deve ir além do trabalho com conceitos e ideias científicas. Assim Carvalho (2011) aponta que há a necessidade de a escola inserir os estudantes no universo das Ciências desenvolvendo habilidades para a atuação consciente e racional fora do contexto escolar.

Conforme apontado por Zompero (2012), muitas das reformulações e tendências no ensino não tiveram de início uma relevância significativa no Brasil, mas sim em países da Europa e nos Estados Unidos. No final do século XIX, é destacado o surgimento do movimento progressista cujos adeptos defendiam que o ensino deveria ser centrado na vida, aliando teoria e prática valorizando a participação ativa dos estudantes e enfatizando as interações socioculturais na aprendizagem. O filósofo e pedagogo americano John Dewey foi precursor das ideias progressistas.

Dentre as ideias da filosofia progressista de Dewey que se relacionam com o ensino de ciências, destaca-se a “experiência” vivenciada pelo estudante antes de chegar

a escola. Para o filósofo, que viveu em meados do século de XIX e início do século XX, experiência e aprendizagem não devem ser separadas.

Uma das partes mais mal compreendidas do trabalho de Dewey é sua noção de experiência. Antes de descrever uma visão mais geral de aprendizado e ensino, primeiro esclarecemos o que esse termo destinado a Dewey. Professores e pesquisadores em educação frequentemente usam a "experiência" de Dewey como o antídoto pedagógico para a aprendizagem mecânica; por exemplo, os alunos devem aprender experiência em vez de apenas sentar e memorizar. O nome de Dewey foi usado para justificar atividades de aprendizagem extraescolar, aprendizado baseado em projetos, aprendizado e assim por diante porque todos eles supostamente envolvem aprendizado através da experiência. (WONG; PUGH; UNIVERSITY, 2001, p.319)

De acordo com Wong, Puch e University (2001), os termos experiência, ideias, interesse e hábitos se destacam na teoria de Dewey e devido aos aspectos socioculturais na aprendizagem, é possível fazer relações entre os trabalhos de Dewey e Vygostky.

As ideias progressistas de John Dewey serviram de influência para o estudo do ensino por investigação, conhecido também como *inquiry*. O ensino com base no *inquiry* possibilita a cooperação, além do raciocínio e do desenvolvimento das habilidades cognitiva dos alunos, podendo destaca-los como objetivos da educação científica. Assim a filosofia de Dewey pode ser notada, a partir da década de 1970, com a ascensão do cognitivismo. Seu nome é associado à aprendizagem por projetos e por resolução de problemas, onde os estudantes, por meio da utilização do método científico, deveriam procurar soluções para questões sobre os fenômenos da natureza que aliavam a teoria e a prática e que eles não sabiam a resposta.

Ainda em meados do século XX, conforme apontado por Krasilchik (2000), a medida em que a Ciência e a Tecnologia passaram a ser reconhecidas como essenciais para o desenvolvimento da economia, o ensino de ciências foi crescendo em importância. A partir da Guerra Fria, anos 60, surgiram os primeiros projetos para o ensino de Física, Química, Biologia e Matemática, com imenso apoio de cientistas e acadêmicos renomados da época, para o ensino médio a fim de incentivar e identificar jovens talentos para as carreiras científicas. Dentre esses projetos, para a Física, pode-se destacar o *Physical Science Study Committee* e o Projeto *Harvard* nos EUA que influenciaram o Projeto de Ensino de Física (PBEF) e o Projeto Brasileiro de Física (PBF) no Brasil. O

desenvolvimento dessas propostas influenciou o ensino de Física, uma vez que propõe um ensino com base na experimentação.

Naturalmente, a utilização dos projetos americanos no Brasil influenciou nosso ensino e a utilização dos experimentos em sala de aula tem sido amplamente discutida. Os Parâmetros Curriculares Nacionais para Ensino Médio (PCNEM) destacam como competências e habilidades para o ensino de Física a investigação e compreensão em que o estudante deve ser capaz de questionar os processos naturais e tecnológicos, observar, fazer hipóteses, testar, prever, avaliar e analisar previsões. Além disso, os PCN+ destacam que a “Física deve apresentar-se, portanto, como um conjunto de competências específicas que permitam perceber e lidar com os fenômenos naturais e tecnológicos, presentes tanto no cotidiano mais imediato quanto na compreensão do universo distante” (BRASIL, 2006, p.59).

Para entender o atual contexto brasileiro, pode-se destacar as Sequências de Ensino Investigativas (SEI), uma abordagem estudada por Carvalho (2006, 2011, 2013), Zompero (2012), Sasseron (2013), Solino e Sasseron (2018), Scarpa, Silva e Sasseron (2017) Terrazan, Hernandez e Clement (2002), Campos e Nigro (1999).

Quando falamos em investigação, temos como pressuposto as ações e as atitudes que permitem a resolução prática de um problema e as ações e atitudes envolvidas no processo de compreensão das ações práticas executadas” (SCARPA; SILVA; SASSERON, 2017, p.15).

Atividades investigativas no ensino de Física possibilitam o desenvolvimento de situações argumentativas pelos alunos, sendo atividades essenciais para o processo de aprendizagem.

Com o intuito de promover a Alfabetização Científica dos estudantes, essa abordagem de ensino visa superar o modelo de educação propedêutica, baseada na transmissão de conteúdos isolados e desconexos do seu processo de produção e possibilitar a inserção dos estudantes na cultura científica (SOLINO; SASSERON, 2018, p.105).

Nessa perspectiva do ensino por investigação, propomos um trabalho cujo objetivo é discutir o problema histórico da natureza da luz, destacando os limites entre o modelo corpuscular newtoniano e no modelo ondulatório. Ao destacarmos o ensino de óptica, percebemos que este encontra-se basicamente concentrado na óptica geométrica que é capaz explicar satisfatoriamente fenômenos como reflexão, refração e dispersão da luz. Entretanto, tal modelo limita-se quanto a discussões em torno de na natureza

ondulatória. Sendo assim, este tipo de abordagem não permite discutir fenômenos como a difração e interferência, conseqüentemente, a discussão sobre a natureza da luz é relegada a um segundo plano. Estando a luz presente em todas as atividades no cotidiano do homem e em diferentes fenômenos, é coerente dizer que discussões e compreensões em torno de sua natureza são de bastante relevância no ensino das ciências naturais.

Sendo assim, acompanhando pelas discussões que visam mudanças no ensino de Física, propomos uma SEI para discutir o problema histórico da natureza da luz com o intuito de promover a Alfabetização Científica (AC) em estudantes do ensino médio. Neste contexto, a SEI aqui proposta aborda o problema da difração da luz e suas implicações na sociedade e no desenvolvimento do trabalho científico para a compreensão de sua natureza.

Partindo deste problema, os estudantes são levados a investigarem e a utilizarem de suas habilidades argumentativas possibilitando a análise crítica levando a solução do problema e à construção de significados. Assim, esta sequência investigativa é planejada para estudar através do desenvolvimento de práticas experimentais os limites entre os modelos corpuscular newtoniano e ondulatório da luz. Por fim, é verificado os possíveis indicadores de AC presente durante o processo argumentativo dos estudantes.

Os referenciais teóricos que subsidiam este trabalho estão distribuídos em dois capítulos. No capítulo 2, discutimos o desenvolvimento de uma SEI sob a perspectiva de diferentes autores e a utilização desta metodologia no ensino de Física podendo possibilitar a alfabetização científica.

No capítulo 3, é apresentado o problema histórico da natureza da luz, em que trazemos a relevância do modelo corpuscular de Newton, bem como suas limitações levando ao fortalecimento da teoria ondulatório no meio científico.

No capítulo 4, apresentamos a metodologia utilizada neste trabalho. São expostos os objetivos da pesquisa neste trabalho bem como as etapas que levaram ao desenvolvimento desta SEI.

No capítulo 5, apresentamos as etapas da SEI, após a elaboração e planejamento desta proposta que fora aplicada em uma turma do 2º ano do ensino médio.

No capítulo 6 é narrada a aplicação. Neste, também é feita uma análise qualitativa dos resultados por ela obtidos.

Por fim, no capítulo 7, é feita nas considerações finais uma reflexão sobre os resultados obtidos e as implicações desta pesquisa no ensino de Física.

## Capítulo 2

### Fundamentação Teórica

#### 2.1 Sequência de Ensino Investigativa (SEI)

Segundo Carvalho (2011), é necessário que o ensino de ciências seja planejado para ir além do trabalho com conceitos e ideias científicas. A escola precisa introduzir os alunos no universo das Ciências, proporcionando a eles, na sala de aula, o desenvolvimento de habilidades que lhes permitam atuar consciente e racionalmente fora do contexto escolar. Desta forma, o ensino por investigação fornece ao aluno oportunidade para olhar os problemas do mundo elaborando estratégias e plano de ação, a medida em que são ensinados a construir conhecimento desenvolvendo suas próprias hipóteses e organizando suas próprias ideias buscando explicações para os fenômenos da natureza.

O ensino investigativo, conforme afirma Zompero (2012) tinha como objetivo inicial levar os estudantes a aprender determinados procedimentos, como observar, anotar, manipular, descrever, fazer perguntas e tentar encontrar respostas para as perguntas. Tais propostas passadas tinha como função fazer o aluno reproduzir a prática científica. No entanto, a autora destaca que, em uma nova perspectiva o ensino investigativo defende atualmente o desenvolvimento das habilidades cognitivas dos estudantes. Sua finalidade atual é levar ao levantamento de hipóteses, análise de dados e o desenvolvimento da capacidade de argumentação dos alunos.

Campos e Nigro (1999) defendem que a investigação no ensino de ciências é capaz de superar as evidências do senso comum, pois introduzem o pensamento mais crítico e criativo nos estudantes. Em uma proposta de ensino investigativa, deve existir um problema a ser analisado pelos alunos possibilitando o levantamento de novas hipóteses para solucioná-lo a fim de obter novas informações. “Frente a uma situação ou problema concreto, deve-se reconhecer a natureza dos fenômenos envolvidos, situando-se dentro do conjunto de fenômenos da Física e identificar as grandezas relevantes, em cada caso” (BRASIL, 2006, p.66). Watson (2004) apud Zompero, afirma que:



As atividades investigativas devem proporcionar o conhecimento dos processos da Ciência. [...] os alunos devem perceber evidências e que esse conceito precisa ser desenvolvido com os educandos, pois os procedimentos científicos são baseados nelas. [...] nas atividades investigativas, os alunos podem, a partir da situação problema, desenvolver planejamento de resolução, reunir evidências, elaborar inferências. Além disso, durante as atividades, é possível aos alunos desenvolverem a argumentação.

Dessa maneira, as atividades investigativas devem envolver o uso da imaginação para a elaboração de explicações sobre o mundo natural possibilitando o desenvolvimento do raciocínio científico. De acordo com Newman (2004), quando os alunos estão engajados na investigação, eles descrevem objetos e eventos, fazem perguntas, constroem explicações e expõem essas explicações para os demais alunos.

Desta forma, vale destacar que, segundo Bellucco e Carvalho (2014), o processo de construção do conhecimento científico apresenta dentro de suas principais características a linguagem argumentativa.

Nas atividades de ensino de ciências por investigação, quando ao estudante é dada a oportunidade de relacionar dados com afirmações, de estabelecer relações entre variáveis e construir explicações para fenômenos naturais, na verdade, ele está sendo envolvido em atividades argumentativas. (SCARPA; SASSERON; SILVA, p. 17, 2017).

Carvalho (2014) defende que uma Sequência de Ensino Investigativa (SEI), baseada na resolução de problemas, favorece ao estudante o desenvolvimento de suas habilidades de conversação, troca de ideias, interpretações e reinterpretções dos fenômenos. Desta maneira, a prática argumentativa é integrante fundamental para natureza do trabalho científico estando presente em várias etapas como em elaborar um desenho experimental ou interpretar dados, no interior dos grupos de pesquisa, na comunidade científica mais ampla, e por fim no domínio público, em que os cientistas apresentam suas teorias na mídia. Dentre os elementos presentes no processo argumentativo, destaca-se a abdução, a indução e a dedução como formas de raciocínio. Entretanto, os alunos devem trazer certa bagagem teórica envolvendo os conceitos relacionados.

Em síntese, podemos considerar três etapas que caracterizam uma SEI segundo Carvalho (2014):

1. Problematização inicial;

2. Sistematização da Resolução do problema;
3. Contextualização do Conhecimento.

A primeira etapa contempla a distribuição do material e proposição do problema pelo professor dando a oportunidade aos alunos a solução do problema em pequenos grupos, a partir de suas concepções. A segunda etapa abrange a sistematização coletiva dos conhecimentos nos grupos como o levantamento de dados para a resolução do problema e a construção de uma justificativa para os fenômenos e da argumentação científica. Por fim, a terceira etapa abrange a contextualização e aprofundamento do conteúdo trazendo suas aplicações.

Sendo assim, uma SEI deve ser introduzida pela apresentação de um problema inicial, o qual a resposta é desconhecida pelo aluno. Um problema de sala de aula, experimental ou teórico, é uma situação conflituosa e, assim sendo, sua resolução não é evidente. “Um problema pode ser resolvido manuseando materiais práticos, ou utilizando lápis e papel; pode, ainda, ser resolvido na discussão que se faz com os colegas e professor” (SCARPA; SASSERON; SILVA, 2017). A partir deste, os alunos devem levantar hipóteses expondo suas ideias prévias a respeito do assunto. Dessa maneira, é possível que reflitam sobre o que pensam a partir do problema encontrado.

Em sequência, a SEI deve ser seguida pela etapa de sistematização do conhecimento. Tal momento pode ser realizado a partir de uma atividade prática ou por pesquisas bibliográficas, através da leitura de texto relacionados a atividade. Assim, os alunos são possibilitados a observar e analisar dados e discutir hipóteses para que possam chegar a uma conclusão a uma conclusão efetiva.

Por fim, deve-se propor uma atividade para que os alunos sejam capazes de relacionar os conhecimentos adquiridos com situações cotidianas, podendo constatar aplicações práticas das ideias científicas. Sendo assim, devemos destacar que os problemas trazidos durante em uma SEI devem estar contidos na cultura dos estudantes e serem interessantes para a busca de uma solução para que ao sejam possibilitados à contextualização do conhecimento científico com a prática cotidiana e social.

Neste sentido, a maneira como as ações são desenvolvidas e a aproximação que elas possuem com a ciência é o que difere uma abordagem investigativa de um ensino tradicional. Sendo assim, o papel do professor, em uma proposta investigativa é de gerenciador de um espaço de debate, sendo uma autoridade epistêmica, propondo novas questões para que a investigação siga em diante. Assim, através das discussões e dos

relatórios produzidos pelos alunos em grupos ou individualmente pode-se concluir as atividades. “Por meio de texto escrito, é possível verificar a compreensão dos alunos sobre os conhecimentos que foram adquiridos em função da atividade investigativa realizada” (ZOMPERO, 2010, p.15). As conclusões devem ser socializadas afim de possibilitar pensamentos mais rigorosos e crítico para os alunos.

[...] a investigação em sala de aula deve oferecer condições para que os estudantes resolvam problemas e busquem relações causais entre variáveis para explicar o fenômeno em observação, por meio do uso de raciocínios do tipo hipotético-dedutivo, mas deve ir além: deve possibilitar a mudança conceitual, o desenvolvimento de ideias que possam culminar em leis e teorias, bem como a construção de modelos. (SASSERON, p. 58, 2015)

Dessa maneira, segundo Carvalho (2011), a elaboração de SEI leva em consideração alguns pontos relevantes para a construção do conhecimento como a relevância de um problema para iniciar a construção do conhecimento; a transição da ação manipulativa para a ação intelectual; a importância da consciência dos atos para a construção do conhecimento; e as diferentes etapas da explicação científica.

Nesse contexto, Carvalho (2006) classifica a atuação do professor e do aluno em diferentes níveis de envolvimento em uma atividade investigativa propondo uma graduação para estudar o grau de liberdade oferecido aos alunos. A tabela 2.1 apresenta a graduação, onde P refere-se ao professor e A refere-se ao aluno.

GRAU	I	II	III	IV	V
Problema	P	P	P	P	A/P
Hipóteses	P	P/A	P/A	P/A	A
Plano de trabalho	P	P/A	A/P	A	A
Obtenção de dados	P	A/P	A	A	A
Conclusão	P	A/P/Classe	A/P/Classe	A/P/Classe	A/P/Sociedade

Tabela 2.1 - Graus de liberdade professor/aluno na aula de laboratório. Fonte: CARVALHO, 2006, p. 83. (adaptado)

Pode-se observar que o grau I existe apenas a participação do professor, o que não caracteriza um trabalho investigativo possibilitando a construção de conhecimento pelos alunos. Com o grau II, o professor propõe o problema possibilitando um enfoque na cultura científica, mas o plano de trabalho é realizado pela orientação do professor. O

grau III e IV dão uma maior liberdade aos alunos e o grau V seria aquele em que o aluno é capaz de pensar em um problema livremente e solucioná-lo.

O quadro enfatiza a utilização de atividades práticas ou de laboratórios. Neste contexto, quando falamos de uma prática de laboratório, o aluno, tradicionalmente, realiza atividades práticas que envolve observações e medidas em torno de fenômenos previamente determinados pelo professor. Geralmente, os alunos seguem as instruções de um roteiro e tal atividade tem por objetivo testar uma lei física e/ou ilustrar ideias e conceitos aprendidos em sala de aula. Devido ao fato de que muitas vezes estas atividades passam sua maior parte envolvendo a montagem de equipamentos e a coleta de dados, não estando efetivamente relacionados aos conceitos físicos, os estudantes dedicam pouco tempo para análise e interpretação dos resultados que possam trazer significado para a atividade. Em geral, essas atividades práticas são percebidas pelos estudantes com o objetivo de chegar à “resposta certa”. Capecchi e Carvalho (2006), destacam que a maneira com que as atividades de laboratório são realizadas tradicionalmente podem contribuir para a construção de uma visão distorcida do trabalho científico, relacionando-o à aplicação de um método científico único, que possibilita descobrir leis absolutas sobre a natureza

Uma atividade experimental investigativa, utilizando problemas práticos abertos nos quais os alunos devem resolver sem direções impostas por um roteiro estruturado pelo professor, pode ter um alcance maior na formação do aluno por proporcionar o desenvolvimento de habilidade de pensamentos diretamente relacionada aos processos científicos.

Nesta proposta metodológica, investigação experimental a partir de roteiros abertos, o papel do professor e do aluno sofrem mudanças significativas: o professor deve saber muito mais do que a matéria que está sendo ensinada, é o responsável em lançar desafios, estabelecer perturbações, provocar no aluno a insatisfação e o desejo em querer buscar explicações. O professor é o mediador entre o tranquilo e a inquietude, entre o senso comum e o conhecimento científico. O aluno deve sair da postura passiva de ouvinte e passar a participar ativamente das aulas, fazendo perguntas, expondo suas ideias, apresentando sugestões para a solução de problemas. (HERNADES; CLEMENT; TARRAZZAN, 2002, p.3)

Neste contexto, Borges (2002) apresenta um quadro contrapondo o laboratório didático tradicional para o laboratório investigativo em três aspectos: grau de abertura, o objetivo da atividade e atitude do estudante, conforme descrito na tabela 2.2. O grau de

abertura como visto em um laboratório tradicional é determinado por um roteiro que fornece uma tarefa específica para o aluno com o objetivo de comprovar leis pré-determinadas. Por outro lado, uma proposta investigativa proporciona através de problemas abertos uma maior liberdade ao estudante para explorar os fenômenos físicos. “Entre esses dois extremos que determinam quem tem o controle ou a responsabilidade por certas etapas da atividade prática, há um número de possibilidades com divisão dessas tarefas entre o professor e os estudantes” (BORGES, 2002, p.314).

<b>Aspectos</b>	<b>Laboratório Tradicional</b>	<b>Atividades investigativa</b>
Quanto ao grau de abertura	Roteiro pré-definido Restrito grau de abertura	Variado grau de abertura Liberdade total no planejamento
Objetivo	Comprovar leis	Explorar fenômenos
Atitude do Estudante	Compromisso com o resultado	Responsabilidade na investigação

Tabela 2.2 - Contraposição entre o laboratório didático tradicional e o laboratório investigativo Fonte: BORGES, 2002, p.304. (Adaptado)

Baseado nisso, “sugerimos que as investigações devam ser inicialmente simples e feitas em pequenos grupos” (BORGES, 2002). Neste sentido, em um laboratório investigativo o professor atua como um mediador entre o grupo e a tarefa, vindo a intervir em momentos de indecisão, em que há falta de clareza e indecisão, monitorando o progresso do grupo. Seu objetivo deve ser deixar com que os grupos progridam e assumam o controle sobre a atividade. Desta forma, “uma proposta de laboratório investigativo com problemas abertos não se trata, portanto, de uma aula de laboratório com um guia de procedimentos que conduz a uma resposta específica” (VENTURA; NASCIMENTO, 1992, p.54).

Entretanto, uma atividade investigativa nem sempre necessita ser somente com a utilização de experimentos e demonstrações. “O importante não é a manipulação de objetos e artefatos concretos, e sim o envolvimento comprometido com a busca de respostas/soluções bem articuladas para as questões colocadas, em atividades que podem ser puramente de pensamento” (BORGES, 2002, p.295).

Sendo assim, uma SEI tem por objetivo aproximar a ciência escolar do trabalho científico na prática. Tal proposta visa superar o modelo de ensino propedêutico, possibilitando o desenvolvimento de situações argumentativas pelos estudantes através da resolução de problemas práticos explorando os conceitos físicos a fim de promover a

alfabetização científica. Apoiados por esta ideia, este trabalho propõe um produto educacional que visa discutir o problema histórico da natureza da luz e suas implicações para o desenvolvimento do trabalho científico. Desta forma, são desenvolvidas atividades investigativas experimentais que possibilitem aos alunos o levantamento e teste hipóteses e a utilização da prática argumentativa para explicar o problema da difração da luz.

## **2.2 Desenvolvimento SEI para promover Alfabetização Científica (AC)**

O uso de propostas didáticas que envolvam a prática de investigação vem com o objetivo de desenvolver o pensamento científico dos estudantes. Conforme afirma Vasconcelos *et al* (2007), há uma atual necessidade de desenvolver nos jovens competências de pensamento potencializando a capacidade de aprender a aprender, a fim de garantir sua adaptação aos desafios da sociedade moderna. Na educação contemporânea, o ensino de ciências tem se tornado ferramenta indispensável para o desenvolvimento das relações entre a natureza e o ser humano, possibilitando o cidadão a posicionar-se de forma crítica e ativa às questões do mundo atual. Neste sentido, os Parâmetros Curriculares Nacionais reforçam que o ensino de Ciências deve colaborar para “a compreensão do mundo e suas transformações, para reconhecer o homem como parte do universo e como indivíduo” (BRASIL, 1998, p.21).

Nesse contexto, “o ensino de Ciências deve propiciar aos alunos diversas situações de aprendizagens para desenvolver a capacidade de construção de conhecimentos de diversos fenômenos, formular hipóteses, experimentar e raciocinar sobre diferentes fatos, conceitos e procedimentos” (CABRAL; SEPINI; MACIEL, 2014, p.5). Assim, a AC consiste em um conjunto de conhecimentos a fim de facilitar uma leitura do mundo em direção a uma visão mais crítica da realidade. A escolha pela expressão “alfabetização”, segundo Sasseron e Carvalho (2008), pode ser justificada pela perspectiva freiriana. Segundo o pedagogo, a alfabetização é mais do que o domínio das técnicas de ler e escrever. Freire (1967) defendia uma alfabetização como um ato de criação capaz de desencadear outros criadores, possibilitando ao homem o desenvolvimento da impaciência, da vivacidade, tornando-o capaz de intervir de forma ativa *em* sua e *com* sua realidade. Neste sentido, “a alfabetização deve ser possibilitar ao analfabeto a capacidade de organizar seu pensamento de maneira lógica, além de auxiliar na construção de uma

consciência mais crítica em relação ao mundo que o cerca” (SASSERON; CARVALHO, 2008, p.334).

“A Alfabetização Científica pode ser considerada como uma das dimensões para potencializar alternativas que privilegiam uma educação mais comprometida” (CHASSOT, 2003, p.91). Desta forma, Solino e Sasseron (2018) defendem que o desenvolvimento de práticas investigativas no ensino de ciência visa alcançar a Alfabetização Científica a medida em que este tipo de abordagem busca inserir os estudantes na cultura científica a partir da apropriação das práticas utilizadas pela ciência, tais como: pensar logicamente, observar, coletar e analisar dado, refletir, argumentar e comunicar ideias.

Carvalho *et al* (2013) propõe, quando se referem ao desenvolvimento de uma SEI para que estudantes sejam alfabetizados cientificamente, um ambiente investigativo em salas de aula de ciências de tal forma que seja capaz de ensinar (conduzir/mediar) os estudantes no processo simplificado do trabalho científico para que possam ampliar gradativamente sua cultura científica. Conforme descrito anteriormente, a SEI deve ser iniciada por um problema, experimental ou teórico, que introduz o tópico desejado e ofereça condições para que os estudantes pensem e trabalhem com as variáveis relevantes do fenômeno científico. Assim eles reúnem dados e apresentam explicações científicas baseadas em seus conhecimentos prévios e nos conhecimentos que conseguem reunir com o auxílio do professor. Em uma abordagem adicional, proposta pelo educador Joseph Schwab (1960, 1966, apud Concil *et al*, 2000), denominada “investigação sobre a investigação”, o professor pode oferecer aos estudantes relatos sobre investigações científicas, em uma perspectiva histórica e epistemológica para discutirem os aspectos essenciais de uma investigação.

Desta forma, Machado e Sasseron (2012) defendem que durante a resolução de uma situação-problema, as perguntas postas pelo professor no processo de investigação permitem aos alunos construir significados, buscando sentido aos acontecimentos do fenômeno desde a apresentação do problema inicial até a identificação de questões científicas e ferramentas necessárias para sua solução. Sendo assim, Solino e Sasseron (2018) reforçam que a construção de significados durante o processo investigativo pode ser justificada pela perspectiva de Vygostky. Sabe-se que o psicólogo dedicou parte de seu trabalho às investigações sobre os aspectos que envolvem a formação de conceitos nas crianças relacionados aos processos de significação.

Neste contexto, Vygostky (2008) destaca que a partir do momento que a criança percebe que tudo tem um nome, cada novo objeto que surge representa um novo problema que ela resolve atribuir um nome. Faltando-lhe a palavra para nomear o novo, a criança recorre ao adulto. “Tais significados adquiridos funcionam como embriões para formação de novos conceitos mais complexos. Sendo assim, o significado pode ser visto igualmente como fenômeno da linguagem, por sua natureza, e como fenômeno do campo do pensamento” (IVIC, VYGOSTKY, 2010). Portanto, nota-se que a investigação do problema é diretamente relacionada ao sentido da linguagem e do significado da palavra. Neste sentido, o uso da linguagem argumentativa e da troca de informações em grupos como integrantes de uma SEI torna-se essencial para o processo de significação dos conceitos contribuindo para a Alfabetização Científica dos estudantes.

Sasseron (2013) afirma que ao oferecer condições para que os estudantes tomem decisões conscientes sobre os problemas do mundo que estão relacionados com os conhecimentos científicos pode possibilitar o processo de Alfabetização Científica. Tal aspecto pode ser evidenciado quando a autora concebe a AC como um processo em constante desenvolvimento, permitindo aos alunos discutir temas das ciências e a maneira como eles influenciam sua vida e a sociedade. Sendo assim, pode-se notar que os problemas enfrentados no ensino por investigação carregam consigo a perspectiva da alfabetização científica.

### **2.2.1 Indicadores da Alfabetização Científica**

Sasseron e Carvalho (2011) propõem *três eixos estruturantes* que devem ser considerados na idealização e no planejamento de uma proposta didático-pedagógica que visa introduzir os estudantes no processo de Alfabetização Científica. Esses *Eixos Estruturantes da Alfabetização Científica* são:

- I.** A compreensão básica de termos, conhecimentos e conceitos científicos fundamentais;
- II.** A compreensão da natureza da ciência e dos fatores éticos, políticos que circundam a sua prática;
- III.** A compreensão das relações entre ciência, tecnologia, sociedade e meio ambiente.



Sendo assim, esses três eixos estruturantes da AC destacam a necessidade de se compreender conceitos-chave a fim de entender até mesmo pequenas informações do dia-a-dia. Deste modo, podemos encontrar subsídios para o exame de problemas do cotidiano que envolvam conceitos científicos ao nos defrontarmos com informações e novas circunstâncias que nos exigem reflexões e análises. O terceiro eixo estruturante perpassa pelo reconhecimento de que sociedade, ciência e tecnologia se relacionam mutuamente, de forma que essa inter-relação influenciado diretamente nossa vida e o mundo em que vivemos. Motokane (2015) destaca que a AC não tem como objetivo a formação de cientistas, mas sim como um processo capaz de promover o acesso a uma forma de produção de conhecimento. Nessa perspectiva, “o acesso a essa cultura promove a inserção do indivíduo na lógica e na prática científica e lhe proporciona a chance de entender o mundo sob o ponto de vista da ciência” (MOTOKANE, 2015, p.125).

Assim, Sasseron e Carvalho (2008) propõem indicadores para inferir se a AC está em processo no decorrer de uma prática investigativa. Tais indicadores são competências próprias das ciências e do fazer científico. Para isto, as autoras reforçam que o ensino de ciências deva ocorrer por meio de atividades abertas e investigativas para que os estudantes possam atuar como pesquisadores. Eles são arranjados em três grupos em que cada um representa um bloco de ações quando há um problema a ser resolvido, como organizado na Tabela 2.3.

<b>Grupo</b>	<b>Indicador</b>	<b>Descrição</b>
<b>Grupo 1</b>	Seriação de informações	Surge quando se almeja listar os dados para o problema a ser investigado.
	Organização de informações	Aparece quando pretende-se preparar os dados para a investigação arranjando as novas informações e as já estabelecidas anteriormente.
	Classificação de Informações	Visa estabelecer características para os dados obtidos, podendo classificar as informações conforme uma hierarquia ordenando os elementos a serem trabalhados.
<b>Grupo 2</b>	Raciocínio lógico	Relaciona-se à maneira como as ideias são desenvolvidas e apresentadas.
	Raciocínio proporcional	Refere-se a maneira como as variáveis se relacionam entre si, mostrando a interdependência entre elas.

<b>Grupo 3</b>	Levantamento de hipóteses	Refere-se as suposições acerca de certo tema, podendo surgir como afirmação ou sob a forma de pergunta.
	Teste de hipóteses	Refere-se à etapa em que as suposições levantadas são postas em prova.
	Justificativa	Aparece quando em uma afirmação qualquer proferida lança mão de uma garantia para o que é proposto tornando-se mais segura.
	Previsão	Surge quando se afirmam fenômenos que sucede associado a certos acontecimentos.
	Explicação	Refere-se ao momento em que se busca relacionar as informações às hipóteses levantadas que sucedem uma justificativa para o problema.

Tabela 2.3 - Indicadores de Alfabetização Científica. Fonte: SASSERON e CARVALHO, 2011 (adaptado)

O grupo 1 representa os indicadores relacionados ao trabalho direto com os dados empíricos. O grupo 2 está relacionado à estruturação do pensamento e à construção de ideias lógicas que moldam os discursos durante as aulas de ciências. O grupo 3 compreende os indicadores vinculados diretamente à procura do entendimento da situação analisada caracterizado pelo trabalho que busca relações capazes de descreverem as situações para contextos semelhantes.

As autoras ainda destacam que durante as argumentações em que os estudantes procuram explicar uma ideia no processo investigativo, os indicadores podem demonstrar suporte e apoio a explanação que é feita, pois a presença de um indicador não inviabiliza a manifestação de outro. Neste contexto, o planejamento de SEI torna-se um caminho interessante para ensinar não só conhecimentos científicos, mas também as características que compõem a construção deste conhecimento. Logo, Ratcliffe e Grace (2003) defendem que a alfabetização científica, quando voltada à otimização do conhecimento produzido pela ciência, prioriza a assimilação de conceitos científicos; voltada à formação cidadã, prioriza o desenvolvimento de atitudes e valores.

Seguindo este fundamento, propomos neste trabalho uma SEI para discutir o problema histórico da natureza da luz almejando a Alfabetização Científica de alunos do ensino médio. Neste contexto, trazemos no capítulo 3 uma abordagem histórica sobre a natureza da luz que serviu de fundamentação para nossa proposta. Nos capítulos

seguintes, trazemos a metodologia utilizada e os resultados obtidos com a aplicação deste produto.

## Capítulo 3

### Modelo Corpuscular e Ondulatório da Luz

Neste Capítulo, faremos apresentação em torno do problema histórico da natureza da luz. Tal abordagem faz-se necessária como fundamentação para a SEI que propomos em nosso produto educacional, visto que ela visa discutir os limites entre o modelo corpuscular newtoniano e o modelo ondulatório para a natureza da luz. Este capítulo será dividido por uma breve introdução histórica, pela apresentação do modelo corpuscular de Newton e pelo modelo ondulatório. Para tal discussão, utilizamos como referências principais BASSALO (1986, 1987 e 1989).

#### 3.1. Introdução histórica

Desde o mundo antigo, houve-se a constante procura pelo saber. Pensadores da antiguidade dedicavam parte do seu tempo para a observação e explicação quanto ao comportamento da natureza. “É na Grécia antiga que são feitos os primeiros estudos “científicos” sobre os fenômenos da natureza. Surgem então, os “filósofos naturais”, interessados em racionalizar o mundo sem recorrer a intervenções divinas” (OLIVEIRA, 2005, p.2). Dessa maneira, estudos científicos foram sendo desenvolvidos no decorrer dos séculos, como, por exemplo, as propriedades da propagação da luz.

Resumidamente, pode-se dizer que a luz está presente em todas as atividades do cotidiano humano em diferentes fenômenos; entretanto, compreensões sobre sua natureza sempre foi tema de grandes discussões e controvérsias na comunidade científica.

A luz sempre foi objeto de interesse por parte do Homem, desde que tomou consciência de que a noite era ausência da luz do Sol, assim como quando percebeu a existência de pontos brilhantes no céu escuro. Por outro lado então, logo que dominou o fogo, o Homem percebeu que havia uma relação entre a luz e o fogo, já que ambos aquecem e iluminam. (BASSALO, 1986, p.138)

Foi na Grécia Antiga que a luz passou a ter uma realidade objetiva, quando os gregos perceberam que deveria existir algo no espaço compreendido entre nossos olhos e os objetos vistos. Entretanto, a grande questão estava em entender se a luz vinha dos

objetos que são vistos ou se saía dos olhos para os mesmos. Conforme destacado por Silva (2006), o primeiro indício sobre especulação em óptica é encontrado com o filósofo Homero (século IX a.C.) que acreditava que os raios luminosos, que eram constituídos por partículas, partiam dos olhos e encontravam o objeto a ser observado. Refutando a ideia de Homero, Pitágoras (580 a.C. a 500 a.C.) defendia que os olhos que recebiam os raios luminosos emitidos por objetos luminosos, tais como: astros, chamas, etc., ou resvalados por objetos não-luminosos. O autor ainda destaca que Euclides (325 a.C. a 265 a.C.) também descreveu a luz como raios que partiam dos olhos para os objetos. Em seu tratado “Optica”, foi o primeiro a notar que a luz viajava em linha reta e descreveu a lei da reflexão. Em sua obra Catoptrica, Heron de Alexandria (10 d.C. a 70 d.C.) mostrou geometricamente que um raio de luz segue o caminho mais curto quando refletido por um espelho plano. Ptolomeu (90 d.C. a 168 d.C.), conforme apontado por Lima (2012) estudou a refração e a reflexão demonstrando de forma experimental que a luz viajava em linha reta.

Assim, a contribuição dos gregos para a natureza da luz implicou na definição da trajetória retilínea de raios luminosos levando assim o desenvolvimento de estudos relacionados a óptica geométrica.

No século XI, o cientista árabe Ibn al-Haitham (963 – 1039), conhecido na Europa como Alhazen, foi o primeiro a destrinchar a luz de visão, retirando a óptica como aspecto subjetivo do que os olhos veem. Assim como descreve Ribeiro *et al* (2015), Alhazen rejeitou a ideia de raio visual para explicar fenômenos como a refração da luz do sol e reflexão em espelhos. Além disso, fez uma discussão detalhada do olho humano e estudou espelhos esféricos e parabólicos, chegando a construir sistemas ópticos com lentes e espelhos cônicos. Desta forma, Martins (2015) destaca que o árabe se tornou uma figura de grande importância para o estudo da óptica desde a antiguidade até o século XVII.

Os séculos XVI e XVII, período renascentista, foram marcados pela invenção de instrumentos ópticos. Neste período a óptica teve um desenvolvimento muito rápido e suas propriedades físicas passaram a ser compreendidas. Conforme destacado Ribeiro *et al* (2015), por ter sido um período rico em experimentação, uma consequência foi a invenção do telescópio e seu aperfeiçoamento. Em 1609, Galileu Galilei (1564 – 1642) construiu seu próprio telescópio permitindo-lhe fazer observações e descobertas astronômicas fundamentando eventualmente as ideias de Copérnico para o Heliocentrismo. Johannes Kepler (1571-1630) explicou o princípio que envolvia a

utilização de lentes em microscópios e com o telescópio descreveu as leis do movimento planetário. Nesse momento, muito se discutia sobre a geometria da luz e a utilização das lentes, entretanto, pouco se sabia sobre sua natureza.

Os trabalhos relacionados a natureza da luz despertaram o interesse do físico inglês Isaac Newton (1642-1727) que começou seus estudos em óptica por volta de 1666, estudando a dispersão da luz branca concluindo que a luz solar era constituída por luz de diferentes cores. “Foi Newton quem deu a primeira explicação racional de tais cores, após o estudo sobre a dispersão da luz branca do Sol nos prismas” (BASSALO, 1986, p.141). Em sua obra, *Opticks* (1704), o estudioso defendeu a ideia de que a luz é constituída por corpúsculos formando raios que viajam em linha reta. Assim, os fenômenos relacionados à óptica geométrica são muito bem compatíveis com esta teoria corpuscular defendida por ele.

Em contrapartida, seu contemporâneo Christiaan Huygens (1629–1695) propunha um caráter ondulatório para a luz. Em sua obra *Traité de Lumière* (1690), numa analogia com o som, o holandês propôs uma hipótese vibracional para a luz. Nessa teoria a luz excita ondas elementares em cada ponto do espaço, explicando assim a velocidade reduzida da luz em meios mais densos.

Dessa maneira, durante o século XVII dois modelos para a natureza da luz balançavam o cenário da óptica. O primeiro, corpuscular, associado ao nome de Isaac Newton, que sustentava a ideia de que a luz era composta por partículas, e o segundo, ondulatório, em que Christiaan Huygens se destacava.

## **2.2 O Modelo Corpuscular de Newton**

Em meados do século XVII, os problemas relacionados à luz despertaram o interesse de Sir Isaac Newton. Influenciado pelos trabalhos de Robert Hooke (1635 – 1703) e Robert Boyle (1627 – 1691), Newton iniciou, em 1666, seus estudos em óptica, estudando as cores exibidas por películas finas, conhecido como anéis de Newton. Moura e Silva (2006) apontam que, apesar de o tema central do livro *Experiments and Considerations touching colours* de Boyle, publicado em 1664, não ser exatamente óptica, e sim as relações entre a matéria e suas propriedades ópticas, incluindo a cor, este descrevera sobre a teoria atômica e fizera algumas observações de cores em películas

finas. Silva (2008) aponta que Hooke, em sua obra *Micrographia*, publicada em 1665, apresentara um estudo objetivo sobre este fenômeno a partir da ideia de que a luz era um pulso propagando no éter causado pelo movimento do corpo luminoso, constatando a periodicidade da formação das cores.

Newton (1704), em *Opticks*, foi capaz de explicar diferentes fenômenos físicos relacionados a luz. Nesta obra, podemos interpretar a luz como fluxo de corpúsculos que formavam raios viajando em linha reta. Conforme apontado por Martins e Silva (2015), o inglês apoiava a teoria corpuscular da luz e uma teoria atômica da matéria pelas influências da leitura do trabalho de Boyle. Tal ideia o agradava por se encaixar em seu modelo mecânico e determinista de corpos materiais em movimento.

O livro é dividido em três partes abrangendo uma gama de assuntos relacionados ao comportamento da luz em que ele os apresenta em suas observações experimentais. O livro I apresenta algumas definições como raio de luz, refringência, reflexibilidade, ângulo de incidência e ângulo de reflexão e refração e aborda essencialmente a decomposição da luz branca nas cores do espectro ao atravessar um prisma. No livro II é abordado as cores produzidas por corpos delgados, conhecidas como anéis de Newton, apresentando os comentários sobre suas observações e proposições relacionando os fenômenos das lâminas transparentes, baseando-se nas propriedades do corpúsculo e suas interações com o meio. Como é colocado pelo próprio autor, tal discussão é considerada a mais difícil.

Foi observado por outros que substâncias transparentes, como vidro, água e ar, quando muito finos, sendo formadas por bolhas ou formadas por lâminas, exibem várias cores de acordo com sua espessura, embora em uma espessura maior pareçam muito claras e incolores. No Livro I, absteve-se de tratar dessas cores, porque elas trazem uma consideração mais difícil, e não eram necessários para estabelecer as Propriedades de Luz no discurso lá abordado. Elas podem conduzir a novas descobertas completando a Teoria da Luz, especialmente quanto à constituição das partes dos corpos naturais, das quais então as cores ou transparência dependem. Eu tenho aqui estabelecido algumas delas. Para tornar esse discurso curto e distinto, descrevi o princípio de minhas observações e então as considerei e fiz uso delas (NEWTON *et al*, 1952, p.193, tradução nossa).

No livro III, são apresentadas suas experimentações sobre a inflexão (difração) da luz observada inicialmente por Francesco Maria Grimaldi (1618 – 1663). Este livro contém apenas uma parte e ao final pode ser lido a seguinte passagem.

Quando fiz as observações anteriores, planejei repetir a maioria delas com mais cuidado e exatidão, e fazer algumas novas para determinar a maneira como os raios de luz são encurvados ao passar pelos corpos, formando as franjas de cores com linhas escuras entre elas. No entanto, eu fui então interrompido e agora não posso pensar em levar essas coisas a considerações mais distantes (NEWTON *et al*, 1952, p.338, tradução nossa).

Ao descrever suas experiências com superfícies polidas, Newton (1704) considerou a existência de uma força refratante, observando que quando o corpúsculo de luz incide sobre a superfície gera a reflexão da mesma. Martins e Silva (2015) apontam que, baseado nos trabalhos de René Du Perón Descartes (1596 – 1650), que em seu “Discurso sobre o Método” deu um tratamento matemático para a refração da luz, ele chegou à conclusão de que o corpúsculo de luz quando passa de um meio para outro sofre desvio devido a sua variação de velocidade, conforme figura 3.1. Para tais fenômenos, pode ser suposto um modelo análogo ao de uma esfera colidindo em uma superfície para explicar a reflexão, e o modelo em que a esfera altera sua velocidade ao mudar o meio de propagação para explicar a refração. Vale destacar que Newton, assim como Descartes, considerou que a velocidade da luz no ar é menor que a velocidade da luz na água.

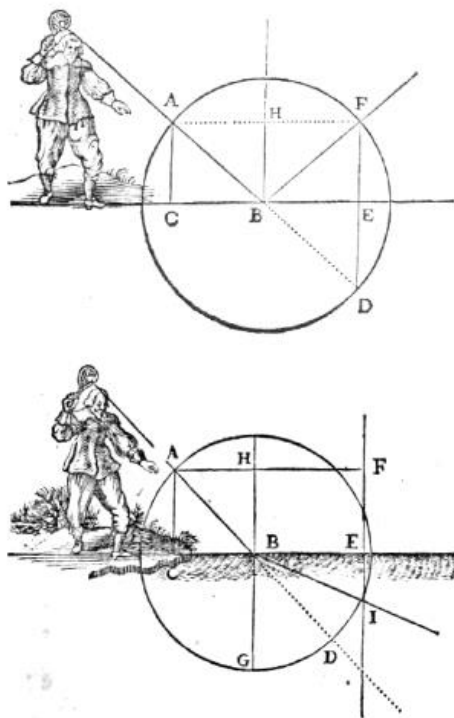


Figura 3.1 - Ilustrações da Dióptrica de Descartes, onde o autor compara a reflexão e a refração da luz com o movimento de uma bola lançada por uma raquete. Esta ilustração traz a explicação corpuscular para a reflexão e refração da luz. Fonte: MARTINS; SILVA, 2015, p. 4.



Em suas experiências sobre as cores, Newton (1704) descreveu o fenômeno da dispersão da luz, isto é, verificou que a luz branca ao passar por um prisma, forma um espectro colorido. “Assim, para fortalecer sua hipótese de que a luz branca seja composta de diferentes cores, realizou um outro tipo de experiência na qual fez passar essas cores do arco-íris por um segundo prisma invertido em relação ao primeiro, reproduzindo, dessa forma, e em uma tela, a luz branca original” (BASSALO, 1986, p.142).

O fenômeno da dispersão da luz por ele descrito mostrou que os telescópios convencionais - o de Galileu e o de Kepler - apresentavam limites de aplicabilidade, pois formavam sombras coloridas em torno das imagens dos astros que eram cada vez mais acentuadas conforme se tentava obter maiores aumentos com esses telescópios, formando assim imagens turvas. Tal observação, permitiu a Newton a invenção do telescópio refletor, em 1668, que concentrava a luz vinda dos astros depois de ser refletida por um espelho parabólico, ao invés da refração através de uma lente, não havendo assim a formação de aberração cromática.

Apesar de ser reconhecido como grande defensor da concepção corpuscular da luz, Newton (1704) frequentemente utilizara as palavras “raio de luz” em sua obra. Mesmo defendendo a ideia de que a luz se propagava de forma retilínea, o matemático reconheceu que a luz produzia efeitos de borda colorida ao incidir sobre uma película fina. Para explicar tal fenômeno dos anéis de interferência observado em suas experiências com lâminas finas e interfaces, foram adotados certos aspectos vibracionais causados pela luz. Suas primeiras observações sobre os anéis foram registradas em 1666 no ensaio “*Of Colours*”, mas não publicado na época. Neste trabalho foram descritas diversas condições em que o fenômeno ocorria e ele buscou, sem muito sucesso, calcular a espessura da película de ar que causava a formação dos anéis. “Nesse ensaio, Newton não desenvolveu nenhum modelo explicativo para esse fenômeno, se restringindo a discutir algumas observações” (MOURA; SILVA, 2008, p. 220). Em 1675, ele enviou a Royal Society de Londres dois trabalhos contendo estudos mais detalhados sobre os anéis. Nestes trabalhos, Newton descreveu suas observações e explicou o fenômeno por meio do modelo de vibrações no éter.

Sua explicação para este fenômeno é dada pela colisão dos corpúsculos de luz com as interfaces produzindo ondas secundárias que seriam ondulações do éter, mas que não constituem por si mesmas a luz. Esses corpúsculos, ao atingirem a segunda interface

em fase com esta onda, tem acesso para penetrar no meio, caso contrário elas são refletidas. Os comprimentos dessas ondulações dependem da cor da luz.

Fosse eu presumir uma hipótese, ela seria esta, se proposta em termos mais gerais, de modo a não determinar o que é luz além de [dizer] que ela é uma ou outra coisa capaz de provocar vibrações no éter [...] presumo que a luz não seja nem esse éter nem seu movimento vibratório, porém algo de natureza diferente, propagado por corpos luminosos. Quem o assim desejar poderá presumi-la como um agregado de várias qualidades peripatéticas. Outros poderão supô-la como uma multidão de corpúsculos inimaginavelmente pequenos e velozes, de tamanhos diversos, brotando dos corpos luminosos a grandes distâncias uns dos outros, mas sem nenhum intervalo perceptível de tempo, e continuamente impulsionado por um princípio de movimento [...]. (COHEN; WESTFALL, 1995, p. 39).

Neste sentido, Newton explicou a existência de uma periodicidade implícita nas vibrações no éter, isto é, conforme elas se propagam pelo meio, ora são condensadas ora são expandidas, assim a luz provoca vibrações no meio etéreo dependendo da intensidade das vibrações. Neste contexto, pode-se dizer que a teoria de Newton para a natureza da luz é corpuscular contendo alguns aspectos vibracionais.

“Desta forma, *Opticks* de Newton é uma obra extraordinária. Relata seus resultados sobre a decomposição espectral da luz branca e as observações de efeitos ondulatórios, como os anéis de Newton, incluindo determinações precisas de comprimento de ondas” (NUSSENZVEIG, 1998, p.1).

### 3.2 A Natureza Ondulatória da Luz

Em 1665 foi publicado o livro póstumo *Physico-Mathesis de Lumine, Coloribus et Iride* do monge Francesco Maria Grimaldi (1618 – 1663) que descrevia a observação experimental do desvio relativamente da luz ao se propagar para além de um obstáculo, caracterizado como difração. Conforme descreve Bassalo (1987), Grimaldi notou que se um feixe de luz branca passa através de dois estreitos orifícios, situados um atrás do outro, e em seguida atinge um anteparo branco, ocorre neste uma região iluminada, como se a luz se “encurvasse” ao passar pelos orifícios. Observou ainda que, nas bordas das regiões iluminadas, havia uma ligeira coloração avermelhada e azulada. Tal fato não deveria ocorrer se a luz se propagasse em linha reta, ideia aceita na época.

Bassalo (1987) ainda aponta que o físico inglês, Robert Hooke, na mesma época de Grimaldi, observara a presença de luz na sombra geométrica de um objeto iluminado e a presença de cores produzidas por uma lâmina fina e transparente ao ser iluminada por luz branca. Ele mostrou também a ocorrência de anéis coloridos quando uma das faces da lâmina é uma superfície esférica, fenômeno também observado por Robert Boyle. Desta forma, Hooke esteve diante dos efeitos da difração e interferência da luz. No entanto tais fenômenos não podiam ser explicados pela concepção vigente de raio luminoso.

Diante deste cenário, Robert Hooke propôs uma nova hipótese ondulatória para a natureza da luz em seu *Micrographia*, trabalho já mencionado anteriormente. O físico trouxe a ideia de que a luz consistia em rápidas vibrações que se propagavam instantaneamente em alta velocidade e em qualquer distância, não sendo a frente dessa “onda” perpendicular a direção de propagação em um meio homogêneo. Hooke acreditava que cada vibração geraria uma esfera que cresceria constantemente. “Por outro lado, ele afirmava também que em um meio transparente opticamente denso, a velocidade da luz aumentava” (BASSALO, 1987, p. 144). Os trabalhos de Hooke e Boyle influenciaram os estudos de Newton e Huygens.

Isaac Newton, como descrito na seção anterior, a fim de explicar os fenômenos por ele observado experimentalmente, propunha uma hipótese corpuscular para a natureza da luz. Em contrapartida, o físico holandês Christiaan Huygens (1627 – 1695) reconsiderou a proposta de Hooke para explicar os fenômenos de reflexão, refração e difração da luz. Lima (2012) aponta que Huygens, nascido na Holanda, foi convidado por Luis XIV para ser membro da Academia de Ciência da França. Em 1678, ele apresentou sua mais importante contribuição para o progresso da Física à academia francesa, o trabalho intitulado “*Traité de Lumière*” que descrevia sua teoria ondulatória para a luz, mas só fora publicado em 1690, em Leyden.

Lima (2012) descreve que, em sua proposta para explicar os fenômenos já descritos, Huygens formulou uma hipótese de que a luz era uma onda longitudinal (que ondula na direção de seu deslocamento), semelhante às ondas sonoras. Sua concepção exigia um meio de propagação que permeie o universo, o hipotético éter. Huygens idealizou um princípio, que mais tarde ficou conhecido como Princípio de Huygens – “Cada ponto da frente de onda no éter é tomado como o centro de uma nova vibração que se propaga na forma de ondas esféricas. Essas ondas secundárias combinam-se formando uma nova frente de onda em um tempo posterior” - Com seu modelo, ele foi capaz de

demonstrar as leis da reflexão e refração da luz e chegou a conclusão de que a velocidade da luz na água era menor do que no ar, contradizendo a hipótese de Newton, defensor da teoria corpuscular. Para a refração da luz, o físico holandês defendeu que a velocidade da luz diminui em meios mais densos em que os múltiplos pontos de emissão na interface produzem uma onda que se aproxima da direção normal. Desta forma, em seu modelo, a matéria interage com o éter para modificar a velocidade da luz.

Christian Huygens havia proposto uma teoria ondulatória da luz, segundo a qual ela consistiria de vibrações de uma substância sutil, a que se chamou éter luminífero. Mas a teoria de Huygens não era suficientemente precisa e expressa com nitidez, e foi ofuscada pela teoria corpuscular de Newton, que prevaleceu durante todo o século XVIII. (LIMA, 2012, p.67).

Em 1801, o físico e médico inglês Thomas Young (1773 – 1829) apresentara seus trabalhos à Royal Society sobre óptica no qual exaltara a teoria ondulatória da luz. Bassalo (1989) afirma que, estimulado pelas experiências ligadas a interferência de ondas de água de ondas sonoras, Young cogitou a hipótese de que o mesmo poderia ocorrer para a luz. Ao ler a obra de Newton, ele rejeitou sua teoria para explicar os anéis de interferência e apresentou um novo conceito em sua teoria, o então chamado Princípio da Interferência – “Quando duas ondas, provenientes de pontos diferentes, coincidem perfeitamente ou quase, em um ponto, o efeito resultante é uma combinação dos movimentos independentes de cada onda. Esta combinação pode ter caráter de aniquilação (interferência destrutiva) ou pode ter caráter de reforço (interferência construtiva)”.

Em seu famoso experimento da dupla fenda realizado em 1802, Young fez um pincel de luz monocromático incidir sobre uma tela opaca com uma estreita fenda. A luz ao atingir esta fenda, se espalha sofrendo difração. Atrás da primeira tela, foi disposta uma segunda com duas fendas bem estreitas e relativamente próximas, onde cada uma delas funciona como fonte primárias de ondas exatamente iguais (mesmo comprimento de onda, mesma frequência e velocidades iguais em fase), sendo elas ondas coerentes para que se ocorra interferência. Sendo assim, em um anteparo, obteve-se uma figura de interferência luminosa composta por faixas claras e escuras, alternadamente. Desta maneira, Young demonstrou que a luz possuía natureza ondulatória, pois os fenômenos

de interferência e difração observados experimentalmente são de caráter exclusivamente ondulatório.

É destacado por Bassalo (1989) que tal experimento possibilitou a Young calcular o comprimento de onda das cores do espectro visível, com valor médio da ordem de 0,000057. Explicou também os “anéis de Newton” como decorrência da interferência entre ondas incidentes, refletoras e refratas na camada de ar existente entre a lente e a lâmina.

Young, ao publicar os resultados de seus trabalhos enfrentou grande oposição do meio científico devido à suas ideias, pois a teoria ondulatória da luz encontrava grande contestação por partidários da teoria corpuscular newtoniana.

Em 1809, o físico e astrônomo francês François-Jean Dominique Arago (1786 – 1853), ao ser nomeado como professor de Geometria Analítica da Escola Politécnica, interessou-se pelo estudo da luz. Inicialmente, este era partidário da teoria corpuscular da luz, juntamente com Jean-Baptiste Biot (1774 – 1862), Pierre-Simon Laplace (1749 – 1827) e Siméon Denis Poisson (1781-1840), no entanto, mais tarde converteu-se a teoria ondulatória. Arago tornou-se amigo e colaborador do físico e engenheiro francês Augustin-Jean Fresnel (1788 – 1827), tendo juntos realizado trabalhos a favor do caráter ondulatório da luz.

Conforme descrito por Bassalo (1988), na função de engenheiro, Fresnel trabalhou em vários departamentos públicos franceses. Entretanto, por não ser “bonapartista” e por ter recrutado um grupo de pessoas para impedir o retorno de Napoleão Bonaparte (1769 - 1821) de seu exílio da Ilha de Elba, Fresnel foi preso e impedido de ocupar o cargo de engenheiro e refugiou-se no interior da França. Com a derrota de Napoleão na famosa *batalha de Waterloo*, regressou a Paris e interessado pelas experiências de Thomas Young intensificou seus trabalhos sobre interferência luminosa juntamente com Arago a partir de 1815.

Como não dispunha de qualquer aparelhagem especial para essa sua pesquisa, improvisou dois espelhos e dois prismas - os hoje conhecidos como *espelho duplo* e *biprisma de Fresnel* - e com eles obteve belas figuras de interferência. Em seguida, passou a estudar o fenômeno da *difração da luz*, que havia sido descoberto pelo físico italiano Francesco Maria Grimaldi (1618 -1663), e que só foi divulgado em seu livro “Physico-Mathesis de Lumine, Coloribus et Iride”, editado em 1665, após sua morte. Os primeiros resultados sobre a difração da luz obtidos por Fresnel foram, inicialmente, publicados na “Annales de Chimie et

Physique” (v. 1, n. 2, p. 239, 1816). Esse trabalho, um pouco mais elaborado, foi então apresentado por seu amigo Arago à Academia Francesa de Ciências, em reunião realizada no dia 15 de julho de 1816 (BASSALO, 1988, p. 79).

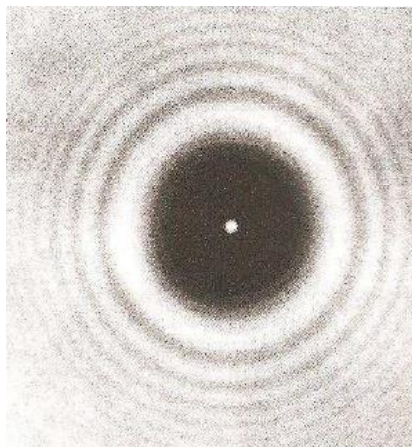
Fresnel foi capaz de explicar matematicamente diversas experiências que realizara sobre a difração da luz em obstáculos, extremidades finas de objetos e aberturas em anteparos combinando o Princípio da Interferência de Young e o Princípio de Huygens para construção de frentes de ondas. Mais tarde, esta combinação ficou conhecida como Princípio de Huygens – Fresnel – “A amplitude da onda luminosa que passa através de uma abertura ou é interceptada por um obstáculo é a soma de todas as ondas secundárias oriundas da abertura ou do obstáculo”.

Neste sentido, Fresnel passa a contestar abertamente a teoria corpuscular de Newton. No entanto, a teoria newtoniana, como já mencionado, possuía muitos adeptos dentre os físicos franceses. Devido a influência que esses físicos possuíam na Academia Francesa de Ciências, eles desenvolveram juntamente com esta um concurso a fim de premiar o melhor trabalho sobre a difração da luz em 1819 com o objetivo de provar que a teoria ondulatória estava errada. Fresnel, com seu engenhoso trabalho concorreu ao prêmio defendendo o caráter ondulatório da luz.

Ao apresentar sua teoria em uma das sessões da Academia, Fresnel foi contestado por Poisson, que era um dos membros do Comitê de Julgamento do Prêmio, afirma Bassalo (1988). Convencido pela teoria corpuscular de Newton, Poisson chamou a atenção para o estranho fato de que, se a teoria de Fresnel estivesse correta, quando a luz incidisse obliquamente sobre um objeto circular, ela deveria difratar formando um máximo central em sua sombra devido a geometria, isto é, seria reproduzido um ponto luminoso no centro da sombra de uma pequena esfera, pois as ondas luminosas deveriam convergir ao passar pela borda da esfera. A fim de confirmar ou não a conclusão de Poisson, Arago, amigo de Fresnel que também fazia parte do comitê julgador, montou um dispositivo experimental conseguindo reproduzir o ponto brilhante que ficou conhecido como “Ponto Claro de Fresnel” ou “Ponto Claro de Arago”, fortalecendo assim a teoria ondulatória da luz dando o prêmio a Fresnel. “Nada melhor para convencer os incrédulos de que uma teoria está correta que a verificação experimental de uma previsão inesperada e aparentemente absurda” (WALKER; HALLIDAY; RESNICK, p.113).

A reprodução do Ponto Claro de Fresnel, figura 3.2, representando a difração da luz em um objeto com geometria circular foi um triunfo para a teoria ondulatória. Além

de seus trabalhos sobre difração, Fresnel estudou outros fenômenos justificados pelo caráter ondulatório da luz.



*Figura 3.2 - Ponto Claro de Fresnel. Fonte: WALKER; HALLIDAY; RESNICK, 2009, p. 110*

Em 1816, Fresnel em colaboração com Arago tentou, sem sucesso, interferir os raios ordinários e extraordinários decorrentes da dupla-refração. Em decorrência desta falha, Arago, em consulta a Young, fora informado de que não-interferência era devido ao fato de que os raios ordinário e extraordinário estavam polarizados em planos perpendiculares. Para explicar esse fenômeno, Young propôs a ideia de que a luz seria uma onda transversal, ou seja, sua direção de vibração é perpendicular à sua propagação. A hipótese de transversalidade foi crucial para Fresnel explicar sua experiência. Para o engenheiro, esses raios não interferiam porque vibravam transversalmente e em direções perpendiculares entre si.

Com o sucesso das descrições qualitativas dos fenômenos como interferência e difração, a teoria ondulatória da luz ganhou um suporte experimental. Bassalo (1989) aponta, que ainda no século XIX, Hippolyte-Louis Fizeau (1819 – 1896), em 1849, chegou à conclusão de que a velocidade da luz é menor quanto mais denso é o meio em que ela atravessa ao fazer experiências de interferência da luz atravessando a água, contradizendo a teoria corpuscular. Ele calculou a velocidade da luz no ar em 315.000 km/s. Em 1850, o físico francês Jean-Bernard-Leon Foucault (1819-1868), determinou a velocidade da luz tanto no ar quanto na água. Foucault, assim como Fizeau, comprovou que a velocidade da luz no ar é maior que na água, resultado favorável à teoria ondulatória. Foucault obteve o valor de 298.000 km/s para a velocidade da luz no ar.

Neste contexto, podemos presumir que a teoria ondulatória da luz apresentava-se praticamente consolidada. Ainda no século XIX, o físico e matemático britânico James Clerk Maxwell (1831 – 1879), influenciado pelos trabalhos de Michael Faraday (1791 – 1867) sobre as relações entre a eletricidade e o magnetismo, derivou as equações fundamentais do eletromagnetismo implicando-se na existência de ondas eletromagnéticas transversais que se propagam em uma velocidade fixa, a velocidade da luz. Desta forma, Maxwell apresentou uma teoria detalhada da luz como uma onda eletromagnética, ou seja, a luz corresponde à propagação de ondas elétricas e magnéticas. Neste contexto, apresentamos na figura 3.3 o espectro com a faixa de frequências e comprimentos de onda das ondas eletromagnéticas.

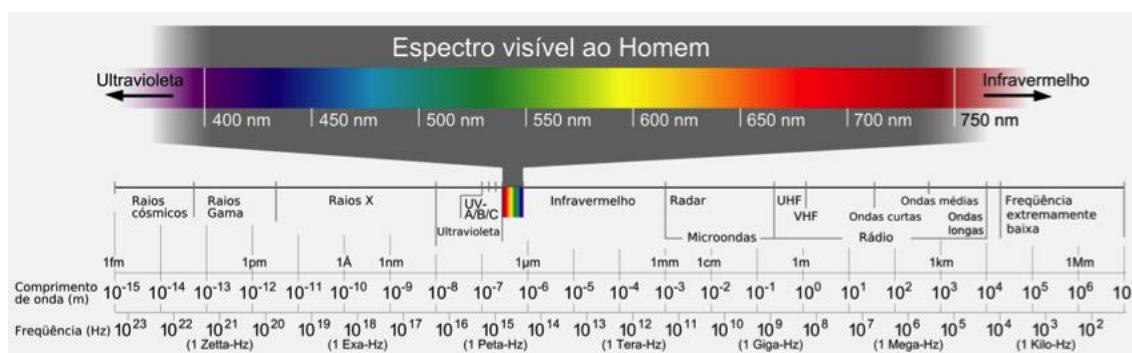


Figura 3.3 - O Espectro Eletromagnético: Ondas Eletromagnéticas com ampla faixa de frequência de oscilação e comprimentos de onda. Fonte: MICHA, et al, 2011, p. 20.

Influenciado pelos trabalhos de Maxwell, Lima (2012) destaca que Heinrich Hertz (1857–1894) veio em 1888 a confirmar experimentalmente a teoria eletromagnética da luz ao gerar e detectar ondas de rádio, mostrando que elas possuíam propriedades análogas as da luz. Hertz, demonstrou, por meio de suas experiências engenhosas, que as ondas eletromagnéticas se comportam de maneira semelhante às ondas luminosas, fato previsto pela teoria de Maxwell, mas que aguardava comprovação experimental.

Hertz ao demonstrar o comportamento luz como uma onda eletromagnética, observou acidentalmente em suas experimentações que a incidência de luz sobre um metal faz com que elétrons sejam arrancados desta superfície, fenômeno conhecido como efeito fotoelétrico. Entretanto, a teoria ondulatória da luz não era capaz de explicar de forma plausível tal fenômeno. A grande curiosidade estava no fato de que a energia dos elétrons não se alterava com a mudança da intensidade da luz incidente, pois se esperava que a energia dos mesmos aumentasse quando fossem expostos a um maior fluxo de onda



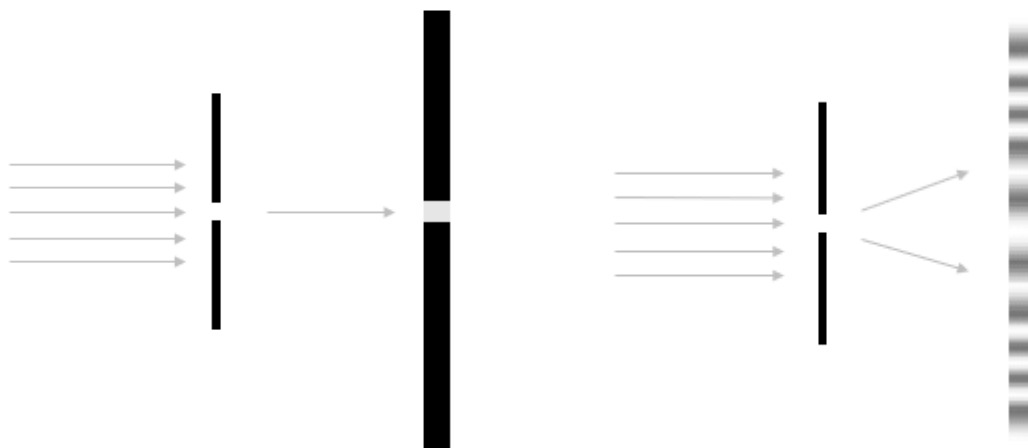
eletromagnética. Por outro lado, os elétrons eram arrancados somente quando se emitia frequências de luz acima de um determinado valor.

Em 1905, em um artigo que lhe rendeu o prêmio Nobel de Física em 1921, Albert Einstein (1879 – 1955) explicou o efeito fotoelétrico introduzindo o conceito de quantum de luz apoiado pela hipótese quântica de Max Planck (1858 – 1947), conforme descreve Lima (2012) para explicar a distribuição de energia de um corpo negro. Segundo o Einstein, a luz e as demais ondas eletromagnéticas são formadas por pacotes ou corpúsculos de energia, caracterizados como *fótons*. Durante o efeito, o fóton atinge um elétron, transferindo sua energia para ele.

Visto que este trabalho tem como foco abordar os limites entre a óptica geométrica, fundamenta pela teoria corpuscular de Newton, e a teoria ondulatória da luz propondo uma SEI utilizando atividades experimentais abertas com o intuito de promover a AC, nós não entraremos em detalhes sobre a teoria quântica utilizada para descrever fenômenos como o efeito fotoelétrico.

### 3.3 A Difração da Luz

Segundo a lei da propagação retilínea da luz apresentada pela óptica geométrica, um feixe de luz ao ser transmitido para além de um orifício, formaria, em um anteparo, uma imagem iluminada, idêntica ao orifício, e uma região de sombra na vizinhança não alcançada pela luz, conforme apresentado na figura 3.4 (a). Assim como afirma Nussenzveig (1998), os fenômenos da óptica geométrica são compatíveis com a teoria corpuscular da luz na qual Newton foi partidário. No entanto, conforme abordamos na sessão anterior, fora observado por Grimaldi, e apresentado em seu livro póstumo de 1665, que a luz, ao se propagar para além de um orifício muito pequeno e ser interceptada por um anteparo, penetra na região da sombra geométrica, formando franjas claras e escuras na região do limite da sombra, como se houvesse o encurvamento ou desvio dos raios luminosos, conforme representado na figura 3.4 (b). A esse fenômeno deu-se o nome de **difração**.



*Figura 3.4 (a). Resultado previsto pela óptica geométrica.*

*Figura 3.4 (b). Formação da figura de difração por uma fenda.*

A difração é caracterizada pela capacidade de uma onda em contornar obstáculos ou aberturas com dimensões comparáveis ao seu comprimento de onda ocasionando o alargamento da onda atravessada respeitando o princípio de Huygens-Fresnel.

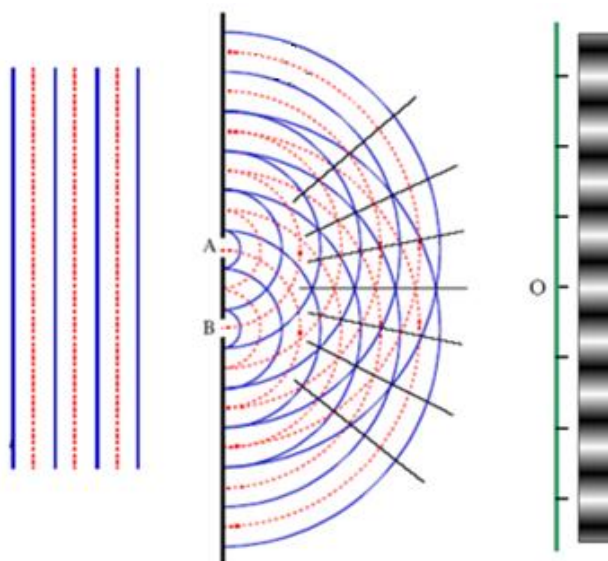
A difração apresenta uma limitação para a ótica geométrica, na qual as ondas eletromagnéticas são representadas por raios. Quando tentamos formar um raio fazendo passar a luz por uma fenda estreita, ou por uma série de fendas estreitas a difração frustra nossos esforços, fazendo a luz se espalhar. Na verdade, quanto mais reduzimos a largura da fenda (na esperança de produzir um feixe mais estreito), maior é o alargamento causado pela difração. Assim, a ótica geométrica só é válida quando as fendas ou outras aberturas que a luz atravessa não tem dimensões da mesma ordem ou menores que o comprimento de onda da luz (WALKER; HALLIDAY; RESNICK, 2009, p.81).

O fenômeno da difração da luz, além de alargar o feixe luminoso ao passar por uma fenda estreita, produz em um anteparo padrões de interferência conhecidos também como **figura de difração**.

A figura da difração pode ser caracterizada como a formação de um máximo central largo e intenso, e uma série de máximos mais estreitos e menos intensos em torno do máximo central. Os fenômenos da difração, como os de interferência, aos quais estão estreitamente ligados, são características de uma teoria ondulatória (NUSSENZVEIG, 1998, p. 83). Neste sentido, tais fenômenos são explicados pelo caráter ondulatório da luz proposto originalmente por Huygens no século XVII, estudado mais tarde por Young para

explicar a interferência das ondas luminosas aos serem difratadas no experimento da fenda dupla e consolidado pela observação do “Ponto Claro de Fresnel”.

Consideremos uma onda plana de luz monocromática que incide em duas fendas A e B de um obstáculo, conforme apresentado do procedimento experimental da figura 6. Ao atravessar a fenda, a luz é difratada produzindo figuras de difração no anteparo, havendo assim direções de máxima interferência construtiva e direções de total interferência destrutiva alternadas, indicadas por “claro” (máximo de intensidade luminosa) e “escuro” (mínimo de intensidade luminosa). Para produzir tal efeito, o experimento fora realizado por Thomas Young em 1801 utilizando fontes de luz coerente, para que a luz pudesse atingir os orifícios com mesma fase e frequência, sendo a diferença de fase constante em todos os pontos do espaço. “O que o cientista fez foi demonstrar que a luz sofre interferência como as ondas do mar, as ondas sonoras e todos os outros tipos de ondas” (WALKER; HALLIDAY; RESNICK, 2009, p. 82)



*Figura 3.6 - Interferência da luz no experimento da dupla fenda e formação dos padrões de interferência (figura de difração) no anteparo. Fonte: Próprio autor*

Quando colocamos o anteparo a uma distância muito maior do que a distância entre as fendas,  $D \gg d$ , o aparecimento das figuras de difração é evidenciado com a sequência de zonas claras e escuras. Para explicar quantitativamente esta sequência de claros e escuros, consideremos os pontos A e B como orifícios que geram ondas esféricas de Huygens e O como o ponto que ocorre interferência construtiva (zona clara), assim como detalhado na figura 3.7.

Chamaremos de ponto P o alvo onde há interferência construtiva e  $L_1$  e  $L_2$  as distâncias percorridas pelos raios que partem de A e B e atingem P.

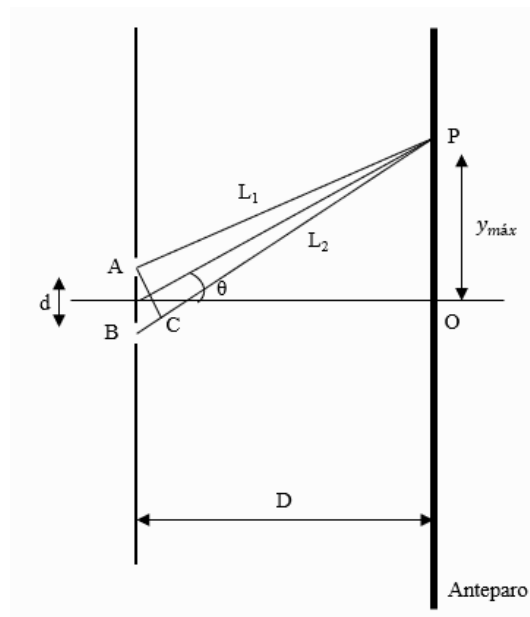


Figura 3.7 - Detalhamento experimental do experimento da dupla fenda. Fonte: Próprio autor

Desta forma, teremos interferência construtiva, se a diferença entre estes dois comprimentos for zero ou múltiplo inteiro do comprimento de onda.

$$\Delta L = m \cdot \lambda$$

Neste caso, podemos supor que  $L_1$  e  $L_2$  são aproximadamente paralelos e fazem o mesmo ângulo  $\theta$  com o eixo central. Consideremos também triângulo formado por A, B e C como retângulo e que faz um ângulo  $\theta$  no vértice de  $S_2$ . Assim, podemos escrever que:

$$\Delta L = d \cdot \sin \theta$$

Combinando as expressões, obtém-se:

$$d \cdot \sin \theta = m \cdot \lambda, m = 1, 2, 3, \dots$$

Sendo  $m$  a ordem dos máximos. O máximo central é máximo de ordem zero. O primeiro máximo com  $m = 1$  é o máximo de primeira ordem. Considerando  $\theta$  como um

ângulo muito pequeno, o seno tem praticamente o mesmo valor da tangente. Assim, conclui-se que:

$$\text{sen } \theta \approx \tan \theta = \frac{y_{\text{máx}}}{D}$$

Onde  $y_{\text{máx}}$  é a distância do ponto P ao máximo de intensidade luminosa central. Associando as expressões, podemos obter:

$$y_{\text{máx}} = m \frac{\lambda D}{d} \quad m = 1, 2, 3, \dots$$

Equação 01

Ao incidirmos um feixe de luz através de um orifício de abertura circular, o efeito da difração também é evidenciado. A imagem produzida em uma tela não é um ponto como previsto pela óptica geométrica, mas um disco luminoso cercado por anéis claros e escuros, como podemos observar na figura 3.8. Para este caso, temos, entretanto, uma abertura circular de diâmetro  $d$ , em vez de uma fenda retangular.

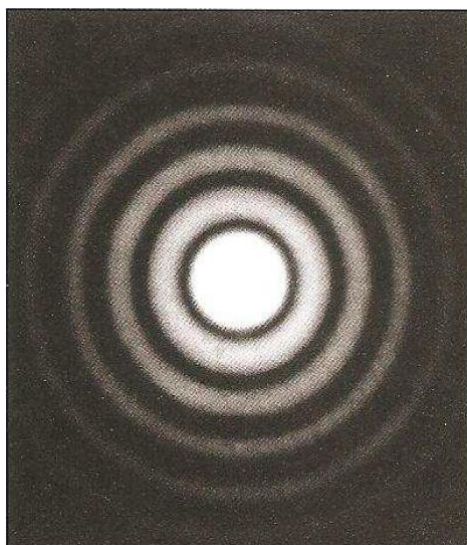


Figura 3.8 - Figura de difração de uma abertura circular. Fonte: WALKER; HALLIDAY; RESNICK, 2009, p. 120

Vale reforçar que o efeito da difração também pode ser observado se, ao invés de uma fenda muito estreita, utilizarmos um corpo opaco com dimensões comparáveis ao comprimento de onda da luz. “O padrão de difração observado quando a luz incide sobre uma abertura de qualquer forma é o mesmo quando a luz incide sobre um objeto que é complemento da abertura.” Esta é uma das maneiras de enunciar o princípio de Babinet, formulado pelo físico francês Jacques Babinet (1794 – 1872) que utilizaremos em nossas

propostas experimentais. Conforme destacado por Fowles (1985), tal princípio nos faz concluir que se recortarmos uma parte de uma placa opaca, deixando uma abertura de qualquer forma, a placa e a parte removida produzirão, individualmente, o mesmo padrão de difração.

## Capítulo 4

### Metodologia

#### 4.1 A Pesquisa

O presente trabalho traz a elaboração e análise de um produto educacional que tem como objetivo propor uma SEI para o ensino médio que visa discutir o problema histórico d modelo corpuscular e ondulatória da luz a fim de promover a AC. Esta proposta consiste em estruturar atividades experimentais com problemas mais abertos em que os alunos devem resolver sem direção imposta por um roteiro ou por instruções do professor. Sendo assim, para o seu desenvolvimento destacamos os três passos que caracterizam uma SEI apresentadas por Carvalho (2014), conforme mencionado no capítulo 2, problematização inicial, sistematização do problema e contextualização do conhecimento. Portanto, o desenvolvimento da pesquisa desse projeto exige uma série de etapas que descreveremos a seguir.

Em um primeiro momento, buscamos construir nosso problema cujo objetivo é abordar os limites entre a Óptica Geométrica e a Óptica Ondulatória a partir de práticas experimentais de laboratório aberto. Para isso realizamos um estudo histórico acerca da natureza da luz a fim de termos subsídios para a compreensão do desenvolvimento das ideias na Física. Como inspiração para este trabalho, temos a proposta experimental de Souza *et al* (2015) e famoso problema histórico conhecido como o ponto claro de Fresnel. Com o desenvolvimento destas práticas experimentais, é possível notar a acentuação dos efeitos da difração da luz a medida em que a espessura do obstáculo é reduzida para dimensões comparáveis ao seu comprimento de onda evidenciando que tal fenômeno não pode ser explicado pelos princípios da óptica geométrica.

O segundo momento constitui a elaboração da atividade em si, sendo a confecção das práticas experimentais, das atividades e das perguntas que compõem esta SEI que tem por objetivo promover a Alfabetização Científica. Assim, a elaboração desta SEI é planejada conforme as etapas mencionadas no capítulo 2, em que ela deve ser introduzida pela apresentação de um problema inicial, a partir do qual os alunos deverão levantar e testar hipóteses em busca de uma solução. Seguido pela sistematização em que os estudantes buscam e analisam dados para que sejam capazes de chegar a uma solução

para o problema em questão. Por fim, a SEI deve possibilitar a relação dos conhecimentos adquiridos com situações cotidianas com aplicações práticas do conhecimento científico.

O produto educacional é constituído por uma sequência de 7 horas/aula. Para o desenvolver das atividades, baseada na resolução de problemas, os estudantes são divididos em grupos com o intuito de promover o desenvolvimento de suas habilidades de conversação e troca de ideias durante a interpretação do fenômeno. Tal abordagem, faz-se essencial para desenvolvimento da prática argumentativa. Conforme defendido por Scarpa, Sasseron e Silva (2017), a argumentação dos grupos é parte fundamental do trabalho científico e o desenvolvimento de habilidades argumentativas possibilita ao aluno a construção de uma visão de ciência como realizada por uma comunidade que constrói explicações, modelos e teorias coletivamente.

Esta SEI é composta por sete atividades, sendo cada uma com duração de 1 hora/aula. As seis primeiras atividades correspondem a aplicação da sequência de ensino, e a sétima e última atividade refere-se à aplicação de uma avaliação somativa compondo parte da nota do trimestre. Esta proposta foi aplicada para compor o conteúdo de óptica do terceiro trimestre. O currículo da escola de forma geral abrange apenas o conteúdo de óptica geométrica. Neste sentido, buscou-se com esta sequência uma discussão mais profunda sobre a natureza da luz pelo caráter geométrica, podendo ser explicado pelo modelo corpuscular de Isaac Newton, e pelo caráter ondulatório. Fazendo assim uma abordagem entre os limites da óptica geométrica e ondulatória através de atividades experimentais investigativas contextualizadas pelo problema histórica da natureza da luz.

A SEI apresentada é organizada da seguinte forma:

ATIVIDADE 01 – Problematização Inicial: Experimentação 01;

ATIVIDADE 02 – Compartilhamento de ideias;

ATIVIDADE 03 – Sistematização do Conhecimento: Abordagem Histórica;

ATIVIDADE 04 – Nova Situação: O ponto claro de Fresnel;

ATIVIDADE 05 – Contextualização: Difração da luz e o diâmetro do fio de cabelo;

ATIVIDADE 06 – Contextualização: Ondas Eletromagnéticas;

ATIVIDADE 07 – Avaliação Somativa

Além da confecção do material didático, tem-se um período de planejamento e de revisão bibliográfica que nos leve a refletir sobre a construção de materiais didáticos que possibilite o engajamento dos estudantes com o desenvolvimento do trabalho científico. Assim, buscamos inserir os estudantes na cultura científica a partir da



apropriação das práticas utilizadas pela ciência como observar, coletar, analisar e testar dados, argumentar e comunicar ideias.

O terceiro momento deste trabalho compõe sua aplicação. Esta sequência foi aplicada em uma turma do 2º ano do ensino médio em uma escola privada no município de Volta Redonda. A turma em questão possui 18 alunos. Esta SEI foi aplicada no decorrer do ano letivo com o intuito de ser trabalhada durante o estudo de óptica, conteúdo presente no currículo da escola. Desta forma, durante o processo investigativo, o professor apresenta o papel de mediar/conduzir as discussões em grupos a fim de propor questionamentos permitindo aos alunos à construção de significados.

No quarto e último momento de nossa pesquisa, buscamos avaliar o produto educacional. Para realizar essa tarefa optamos por uma pesquisa qualitativa através da coleta de dados pelo professor. De acordo com Godoy (1995), uma análise qualitativa, não visa empregar instrumentos estatísticos para medir os eventos estudados. Os interesses são definidos à medida que o estudo é desenvolvido, envolvendo a obtenção de dados descritivos sobre pessoas, lugares e processos interativos através do contato direto do pesquisador com a situação estudada.

Por se tratar de uma SEI, com utilização de práticas de laboratório aberto, o foco desta pesquisa são as argumentações estabelecidas em sala de aula almejando a AC dos estudantes. Para isso, foram registradas algumas falas dos alunos, anotadas pelo professor, para auxiliar na narrativa - o instrumento de análise utilizado neste trabalho, cujo objetivo é verificar a construção de significados pelos estudantes no desenrolar das atividades. Nesse sentido, temos como foco a análise e autorreflexão sobre a prática do professor e engajamento dos alunos com a prática investigativa na utilização das atividades propostas nessa dissertação. Assim, buscamos descrever cuidadosamente as interações e as percepções das emoções dos participantes inseridos em seu contexto. Portanto, através da narrativa dos eventos e do registro das falas enfatizando as argumentações dos alunos, buscou-se identificar na fala dos alunos durante a aplicação das atividades, os indicadores de AC apontados por Sasseron e Carvalho (2008), descritos nos capítulo 2.

## 4.2 Contexto da Aplicação

A aplicação desta SEI foi realizada no período de 17 de outubro de 2018 a 14 de novembro de 2018. A turma da aplicação foi a turma do 2º ano do ensino médio do turno matutino de uma escola privada do município de Volta Redonda – RJ. Esta escola fica localizada no centro da cidade e em geral recebe estudantes de classe média e seu ano letivo é organizado em três trimestres. A turma em questão totalizava 18 alunos, entre a idade de 15 e 17 anos, que foram distribuídos em quatro grupos que se mantiveram iguais do início ao final da aplicação desta sequência didática.

Toda a proposta foi aplicada pelo autor deste trabalho que é o professor de Física da turma. Este professor é licenciado em Física desde 2015 pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro e leciona a disciplina de Física em tal escola desde 2017. Sendo, portanto, o professor da turma desde o 1º ano do ensino médio.

Visto que esta sequência foi aplicada em meados do terceiro trimestre, os alunos já possuíam alguns conhecimentos prévios de óptica geométrica, tais como propagação retilínea da luz, meios de propagação da luz e formação de sombra e penumbra, estudados em aulas anteriores. Vale destacar também que, no trimestre anterior, a turma estudara movimento e fenômenos ondulatórios que compõem o currículo da escola.

Apesar de este trabalho possuir uma avaliação escrita formal como conclusão, nosso foco são as argumentações estabelecidas em sala de aula no decorrer da sequência, conforme já mencionado, para uma análise qualitativa da compreensão dos estudantes no desenvolver das atividades para que ao final possamos identificar os possíveis indicadores de AC apresentados por Sasseron e Carvalho (2008), o engajamento da turma em busca de solucionar o problema e a autorreflexão da prática docente no desenvolvimento da SEI.

## **Capítulo 5**

### **Desenvolvimento da SEI**

#### **5.1 A Sequência de Ensino Investigativa**

Assim como já dito anteriormente, esta proposta educacional, em que as atividades detalhadas estão descritas no produto presente no Apêndice A, é composta por uma sequência de 7 horas/aula que tem como fundamentação o ensino por investigação baseado na resolução de problemas. Sendo assim, seu planejamento levou em consideração as etapas de uma SEI apresentadas no capítulo 2 desta dissertação. Neste sentido, conforme defende Carvalho (2011), para elaboração desta SEI consideramos alguns pontos relevantes para a construção de conhecimento pelos estudantes, como a relevância de um problema para iniciar a construção do conhecimento; a transição da ação manipulativa para a ação intelectual; a importância da consciência dos atos para a construção do conhecimento; e as diferentes etapas da explicação científica.

Baseado nos referenciais teóricos apresentados no capítulo 2, buscamos a elaboração de uma proposta investigativa utilizando as práticas experimentais com problemas abertos sem a imposição de um roteiro estruturado. Assim, conforme apresentado na tabela 2.2, tal proposta busca dar um maior grau de abertura e liberdade aos estudantes para explorar os fenômenos físicos sendo eles responsáveis pelo processo investigativo. Portanto, ao analisarmos os níveis de envolvimento para atuação do professor e do aluno apresentados por Carvalho (2006) na tabela 2.1, classificamos nossa proposta no grau III, visto que o aluno possui liberdade para desenvolver seu plano de trabalho e coleta de dados, porém sob mediação o professor.

Neste contexto, propomos uma SEI que visa discutir o problema histórico da natureza da luz, abordando os limites entre a óptica geométrica e a óptica ondulatória, a partir de atividades experimentais a fim de promover a AC em estudantes do ensino médio. Temos como foco em nossa proposta investigativa o desenvolvimento de atividades experimentais com problemas abertas sem que suas direções sejam impostas por um roteiro estruturado previamente. Sendo assim, durante o processo investigativo, o professor apresenta o papel de mediar/conduzir as discussões em grupos a fim de propor questionamentos permitindo aos alunos à construção de significados. Portanto, para uma

boa organização das atividades, apresentamos na tabela 5.1 a distribuição das atividades e conteúdos contemplados em cada etapa utilizado para planejamento do professor baseado nas suas intenções em cada aula.

<b>Atividade/Duração</b>	<b>Conteúdo</b>	<b>Intenções do Professor</b>
Atividade 01 1 hora/aula	Luz: propagação e comportamento	Engajar os estudantes a partir problema encontrado para o comportamento da luz no experimento 01 especificado no Apêndice A.
Atividade 02 1 hora/aula	Luz: propagação e comportamento	Explorar as visões, as hipóteses e os argumentos dos estudantes sobre suas ideias e sobre o fenômeno observado a partir do problema encontrado no experimento 01 especificado no Apêndice A.
Atividade 03 1 hora/aula	O problema histórico da natureza da luz	Disponibilizar as ideias científicas apresentando os modelos para a natureza da Luz no decorrer da história possibilitando uma discussão com os estudantes para construção de significados a partir do problema encontrado no experimento 01 especificado no Apêndice A.
Atividade 04 1 hora/aula	O ponto claro de Fresnel	Introduzir aos estudantes o problema encontrado pela Academia Francesa de Ciências do século XIX e através da verificação experimental, dar suporte para desenvolvimento das ideias científicas em busca de argumentos para solucionar o problema do experimento 01.
Atividade 05 1 hora/aula	Difração da luz e o diâmetro do fio de cabelo	Dar suporte aos estudantes para aplicação das ideias científicas exploradas para calcular o diâmetro do fio de cabelo.
Atividade 06 1 hora/aula	Ondas Eletromagnéticas	Explorar a compreensão da luz como uma onda eletromagnética contextualizado ao desenvolvimento da teoria eletromagnética e suas relações com a tecnologia atual.
Atividade 07 1 hora/aula	Avaliação Somativa	Através de uma avaliação escrita, verificar a compreensão dos estudantes para compor a nota do trimestre.

*Tabela 5.1. Distribuição das atividades e conteúdos que contemplam o planejamento do professor na SEI. FONTE: Próprio autor*

Neste sentido, podemos classificar as atividades desta proposta considerando as etapas de uma SEI. Assim, a atividade 01 corresponde ao momento em que o problema é apresentado aos alunos, e os grupos levantam e testam hipóteses para solucioná-lo. A atividade 02, tem como objetivo o compartilhamento das ideias entre os grupos e o professor, em que a turma levanta suas observações argumentando suas hipóteses podendo apresentar algumas conclusões. A atividade 03 tem como objetivo sistematizar o conhecimento, onde o professor através de uma abordagem histórica apresenta novas informações aos estudantes disponibilizando a eles ferramentas que possam levar a solução do problema encontrado. A atividade 04, tem como objetivo apresentar uma nova situação aos estudantes para que eles possam assimilar as informações adquiridas anteriormente para chegar às possíveis conclusões que solucionem o problema em questão. As atividades 05 e 06 correspondem ao momento de contextualização, em que é possível relacionar o conhecimento adquirido com situações práticas e cotidianas.

### **5.1.1 Atividade 01 - Problematização Inicial: Experimentação 01**

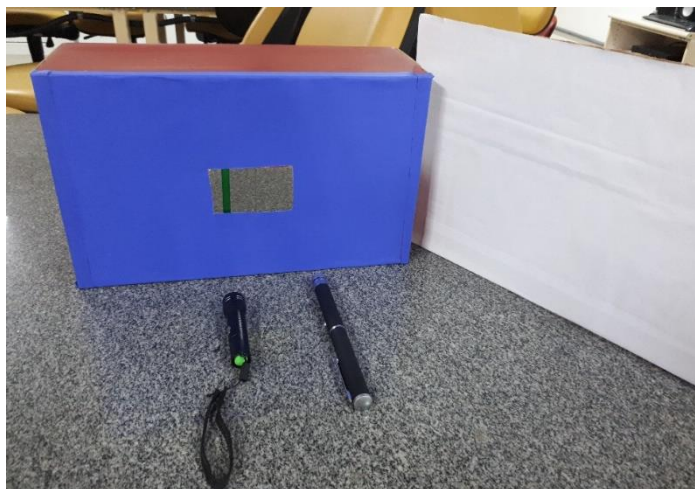
**Tema:** Luz: propagação e comportamento

**Objetivos:** Problematizar e Investigar experimentalmente o comportamento da luz ao incidir sobre obstáculos opacos.

**Recursos:** Kit experimental, discussões e atividades em grupos

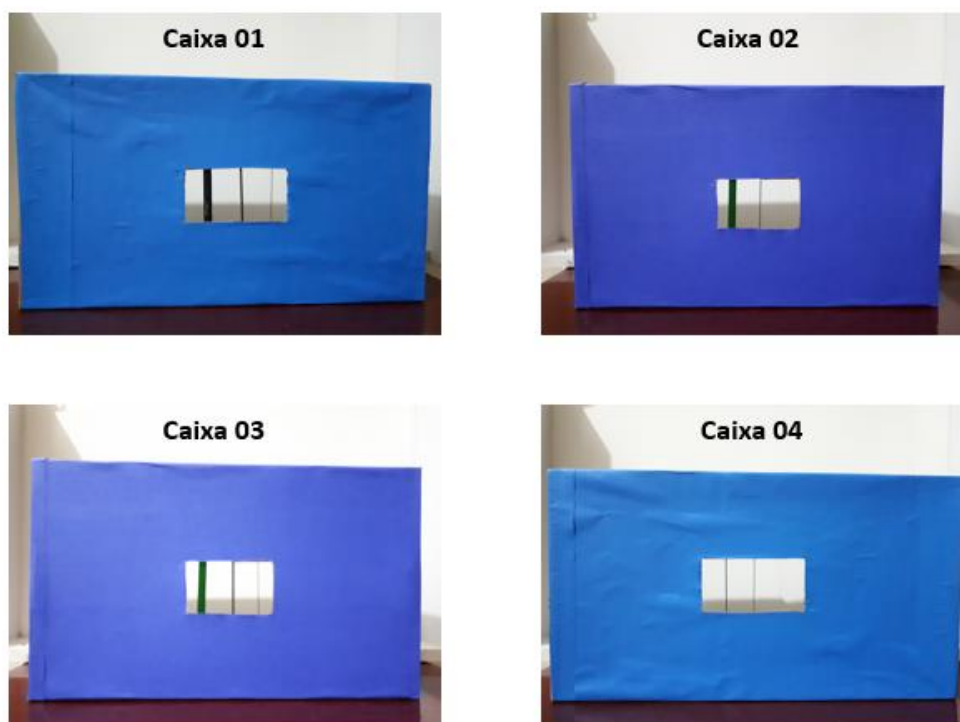
**Tempo Estimado:** 1 hora/aula

Para esta atividade, pensamos em construir um kit experimental a fim de propor uma atividade que demonstre o comportamento da luz ao incidir sobre obstáculos de diferentes espessura. Para isto, utilizamos como referência o trabalho de SOUZA *et al* (2015). Em uma situação hipotética, podemos construir quatro kits que contenham uma caixa com abertura central onde colocamos quatro obstáculos opacos com espessuras distintas, um laser pointer, uma lanterna e um anteparo conforme detalhado na figura 5.1. Em nossa proposta, os grupos contendo aproximadamente quatro ou cinco alunos recebem um kit distinto.



*Figura 5.1. Kit experimental 01: Laser pointer, lanterna, caixa com obstáculos e anteparo. FONTE: foto tirada pelo autor*

Vale destacar que as caixas distribuídas aos grupos são distintas, sendo selecionados diferentes obstáculos para cada grupo conforme a figura 5.2.



*Figura 5.2. Caixas com os obstáculos para a experimentação 01. FONTE: foto tirada pelo autor.*

As caixas possuem os seguintes obstáculos:

Caixa 01 – Lápis, grafite 2 mm e grafite 0,7 mm

Caixa 02 – Fita de 1 cm, grafite 0,7 mm e fio de cabelo

Caixa 03 – Fita de 1 cm, grafite 0,9 mm e grafite 0,5 mm

Grupo 04 – grafite 0,7, grafite 0,3 e fio de cabelo

***O PROBLEMA:*** *Quais as semelhanças e diferenças observadas quando a luz incide sobre os objetos de diferentes espessuras? Por que elas ocorrem?*

Os alunos ao incidir o feixe laser e a lanterna sobre cada obstáculo, como pode ser observado na figura 5.3, deverão investigar quais as semelhanças e diferenças por eles observadas no anteparo, problema proposto pelo professor.



Figura 5.3. Organização para a experimentação 01. FONTE: foto tirada pelo autor.

Desta forma, os grupos deverão levantar e testar hipóteses a fim de explicar o que por eles é observado, discutindo entre os integrantes a hipóteses individuais e coletivas e compartilhando as ideias com o professor, anotando em uma folha em branco suas possíveis conclusões, propondo modelos explicativos através de desenhos e esquemas para o fenômeno observado. Pode ser sugerido aos grupos a troca das caixas para novas observações para auxiliar no levantamento de hipóteses e seleção de dados para auxiliar na solução do problema.

### **5.1.2. Atividade 02 – Compartilhamento de ideias**

**Tema:** Luz: propagação e comportamento

**Objetivo:** Explorar e compartilhar as ideias e organizar e classificar as informações obtidas na experimentação inicial.

**Recursos:** Discussão coletiva

**Tempo Estimado:** 1 hora/aula

O professor reunindo todos os estudantes solicita que os grupos compartilhem suas observações e apresentem suas hipóteses trazendo suas anotações feitas na atividade 01 carregadas de argumentos em busca de uma explicação para o que fora observado na experimentação da atividade 01. Desta maneira, as ideias são discutidas, podendo apresentar as semelhanças e diferenças observadas por cada grupo para que assim possam buscar uma solução para o problema imposto.

Neste contexto, o professor, como mediador das discussões, auxilia os estudantes a selecionar e classificar informações que podem ser úteis para o processo argumentativo.

### **5.1.3. Atividade 03 – Sistematização do Conhecimento: Abordagem Histórica**

**Tema:** O problema histórico da natureza da luz

**Objetivo:** Sistematizar o conhecimento discutindo o modelo corpuscular de Newton para a natureza da luz, bem como sua importância para a história da ciência e suas limitações.

**Recursos:** Data show, aula dialogada e discussões em grupos.

**Tempo estimado:** 1 hora/aula.

Através de uma abordagem histórica, é apresentado aos alunos o modelo proposto por Isaac Newton para a natureza da luz utilizando uma apresentação em slides. É discutido com os alunos a importância do modelo corpuscular newtoniano para a comunidade científica bem como o sucesso desse modelo para explicar os fenômenos de reflexão e refração da luz que possibilitaram o desenvolvimento de matérias tecnológicos.

Nesta aula, também são apresentadas as limitações de Newton em explicar alguns fenômenos ópticos conhecidos na época como os anéis de filmes finos e a difração da luz, fenômeno característico das ondas. Neste contexto, é apresentado para a turma o modelo ondulatório proposto de Christiaan Huygens e que mais tarde foi fortalecido por Thomas Young com a realização do experimento da dupla fenda.

Em seguida, o professor apresenta para a turma o problema encontrado pela Academia Francesa de Ciências no século XIX, ao promover em 1819 um concurso em busca do melhor trabalho sobre a difração da luz visando provar que a teoria ondulatória estava errada. Expondo assim o problema do ponto claro de Fresnel, a ocorrência de um ponto de luz no centro de uma sombra de um objeto esférico, julgado como improvável



para os defensores da teoria corpuscular. Ao fim, o professor indagará aos alunos se é possível a ocorrência do Ponto Claro de Fresnel questionando a eles também se são capazes de associar as ideias apresentadas com as informações selecionadas durante a experimentação realizada na atividade 01.

#### 5.1.4 Atividade 04 – Nova Situação: O ponto Claro de Fresnel

**Tema:** O ponto claro de Fresnel

**Objetivos:** Verificar de forma experimental o “Ponto Claro de Fresnel” e discutir sua importância para o fortalecimento da teoria ondulatória da luz.

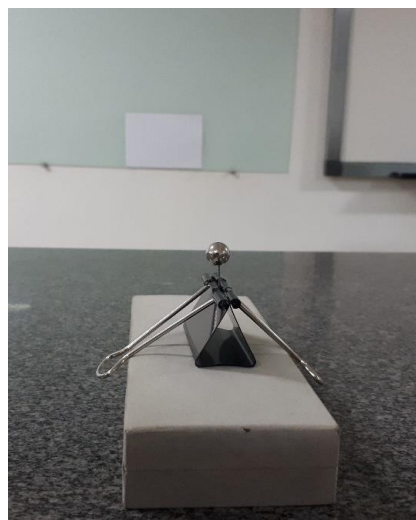
**Recursos:** Kit experimental e discussões em grupo

**Tempo Estimado:** 1 hora/aula

Em um experimento expositivo conforme as figuras 5.4 e figura 5.5, o professor irá verificar a ocorrência do ponto claro de Fresnel com os estudantes. Ao incidir o feixe laser sobre a pequena esfera, é solicitado aos alunos se aproximem e verifiquem se há a presença do ponto de luz no centro da sombra.



*Figura 5.4. Experimentação utilizada para a verificação do ponto claro de Fresnel.*



*Figura 5.5. Esfera metálica utilizada para a experimentação do Ponto Claro de Fresnel.*

Feito o experimento, é solicitado aos grupos, já formados no primeiro encontro, que se reúnam e discutam o que foi observado no experimento. Os alunos nos grupos devem discutir suas conclusões e deverão relacionar o observado no experimento da atividade 01 com o experimento do ponto claro de Fresnel. Para orientação dos alunos, o professor poderá fazer os seguintes questionamentos:

- *Há semelhanças entre os fenômenos observados no primeiro e no segundo experimento?*
- *Como os modelos corpuscular e ondulatório podem explicar os fenômenos observados?*

Ao final, os grupos devem expor e argumentar suas conclusões para a turma, mediando as discussões induzindo os alunos para as condições para ocorrência da difração da luz.

### **5.1.5. Atividade 05 – Contextualização: Difração da luz e o diâmetro do fio de cabelo**

**Tema:** Difração e interferência da luz

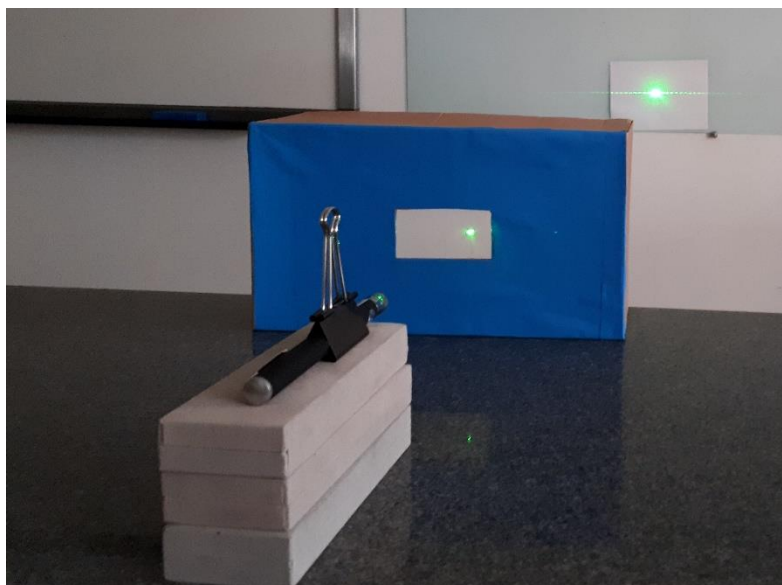
**Objetivo:** Compreender o fenômeno da difração e interferência da luz e o limite da sua ocorrência e calcular o diâmetro do fio de cabelo através da difração da luz.

**Recursos:** Prática experimental e discussões em grupo

**Tempo Estimado:** 1 hora/aula

Neste encontro, é feita uma discussão sobre a natureza ondulatória da luz, retornando ao experimento da atividade 01 e do Ponto Claro de Fresnel na atividade 04. Assim, justamente com a turma discutirá sobre as dimensões do obstáculo ou fenda e os limites para que a difração ocorra. Para isso é apresentado a equação 01 que pode ser utilizada para calcular a espessura do obstáculo ou da fenda em que ocorre a difração.

Neste sentido, é feita também uma discussão sobre a interferência de ondas, fenômeno que pode ser observado como consequência da difração. Para contextualizar esta discussão, o professor juntamente com a turma, realiza o experimento 03, conforme a figura 5.6, para calcular a espessura do fio de cabelo utilizando três fios de cabelos distintos. Feito o cálculo, é apresentado a turma um micrômetro para que possam verificar o valor encontrado pelo cálculo. Após a medição, é discutido com a turma a ordem de grandeza do fio de cabelo e do comprimento de onda da luz. Levando assim a compreensão de que para que a difração seja observada, espessura do obstáculo ou largura da abertura deve ser comparável com comprimento de onda da luz incidente.



*Figura 5.6. Experimentação para cálculo do diâmetro do fio de cabelo.*

### **5.1.6. Atividade 06 – Contextualização: Ondas Eletromagnéticas**

**Tema:** Ondas Eletromagnéticas.

**Objetivo:** Compreender a luz como onda eletromagnética.

**Recursos:** Data Show, aula dialogada

**Tempo Estimado:** 1 hora/aula

Neste momento, o professor discutirá a importância da compreensão da luz como onda através do desenvolvimento da teoria eletromagnética desenvolvida por Maxwell. É exposto o espectro eletromagnético aos alunos, destacando a faixa do espectro visível e as diferentes aplicações das ondas eletromagnéticas no cotidiano.

### **5.1.7. Atividade 07 – Avaliação Somativa**

**Tema:** Avaliação Somativa

**Objetivo:** Avaliar a compreensão dos alunos quanto a compreensão dos conceitos discutidos nos encontros anteriores

**Recursos:** Questionário individual

**Tempo Estimado:** 1 hora/aula

Nesta aula o professor entregará aos estudantes o questionário do Apêndice D a fim de avaliar formalmente os conceitos apreendidos. Visto que esta proposta é uma

sequência de ensino investigativo, esta não deve ser a única forma de avaliação, pois todo o processo deve ser avaliado a partir das discussões apresentadas pelos grupos.

## **Capítulo 6**

### **Aplicação e Avaliação**

#### **6.1 Narrativa da aplicação**

Neste capítulo, faremos a narrativa da aplicação do produto presente no Apêndice A desta dissertação. Como já mencionado, esta proposta traz uma SEI que visa promover a AC em alunos do ensino médio. Para isto utilizamos as etapas apresentadas no capítulo 2. Como avaliação desta atividade, faremos uma análise qualitativa das falas dos alunos percebidas pelo professor e a autorreflexão do mesmo quanto aos resultados obtidos durante o processo.

##### **6.1.1 Atividade 01 – Problematização inicial: Experimentação 01**

No dia 17 de outubro de 2018 iniciamos a aplicação da SEI com a atividade 01. Ao chegar em sala de aula, o professor solicitou aos estudantes que se organizassem em quatro grupos, sendo dois grupos de quatro alunos e dois grupos de cinco alunos para que em seguida se direcionassem ao laboratório didático de ciências.

Chegando ao laboratório, o professor entregou o kit do experimento 01, descrito no capítulo 4, para os grupos, e permitiu que os alunos manuseassem explorassem o material durante 3 minutos. Com o propósito de manter oculta a identidade dos alunos, os grupos e os estudantes serão identificados nesta narrativa da seguinte maneira:

Grupo 1 – Caixa 1 – Aluno A, Aluno B, Aluno C e Aluno D

Grupo 2 – Caixa 2 – Aluno E, Aluno F, Aluno G, Aluno H, Aluno I

Grupo 3 – Caixa 3 – Aluno J, Aluno L, Aluno M, Aluno N

Grupo 4 – Caixa 4 – Aluno O, Aluno P, Aluno Q, Aluno R e Aluno S

Após este tempo para que o grupo explorasse o material, o professor, com o objetivo de mediar os estudantes, propôs a eles a seguinte instrução.

**Professor:** *Então, turma, agora que vocês já se familiarizaram com este material, gostaria que vocês fixassem o laser no prendedor de folhas e apontassem sobre cada obstáculo e observem o que ocorre no anteparo. Façam o mesmo com a lanterna.*

**Professor:** *HÁ ALGUMA SEMELHANÇA OU DIFERENÇA NO QUE É OBSERVADO QUANDO O LASER INCIDE SOBRE DIFERENTES OBSTÁCULOS? QUAIS SÃO ELAS?*

Após enunciar o problema, os estudantes divididos em grupos realizaram as observações fizeram anotações e esquemas a fim de ilustrar os fenômenos observados.

Durante o processo de investigação, os grupos chamavam o professor para mostrar suas observações e fazer perguntas. As perguntas eram respondidas com outras perguntas para direcionar o processo de investigação. Na sequência, temos a pergunta/afirmação realizada pelo Grupo 01 e a resposta do professor

**Aluno A:** Olha professor, quando a gente coloca o laser sobre o lápis, observamos a sombra do lápis. Quando colocamos sobre o grafite maior, a gente vê a sombra também, mas no grafite menor forma essa linha horizontal com esses risquinhos. Por quê?

**Professor:** *Boa observação! Por que vocês acham que acontece isso? Será que a espessura desses obstáculos influencia nisso? Discutam e anotam o por que vocês acham que isto ocorre.*

Em seguida, o grupo 02 também solicitou a presença do professor para apontar suas observações.

**Aluno E:** Na fita, a gente só vê a sombra da fita [incidindo o laser], mas no grafite a gente vê um ponto [de luz] central e uma reta [de luz] horizontal. No fio de cabelo a gente vê quase a mesma coisa, só que tem um ponto central e uma linha horizontal com algumas sombras, mas a gente não vê a sombra do fio de cabelo.

**Professor:** *Ok! Por que vocês acham que isso acontece? Será que a espessura desses obstáculos influencia no que vocês estão vendo? E se colocamos a lanterna?*

**Aluno E:** Se colocamos a lanterna, a gente vê sombra e penumbra. O diferente mesmo ocorre com o laser, acho que é porque o feixe de luz é mais fino.

**Aluno G:** Parece que o laser contorna o grafite e o cabelo porque eles são mais finos, mas não consegue contornar a fita por que ela é mais grossa.

Na figura 6.1, podemos observar o momento em que os alunos investigam o experimento da atividade 01.



*Figura 6.1. Alunos realizando a prática experimental proposta pela atividade 01.*

Feitas as observações, o professor solicitou que os alunos trocassem os kits e comparassem o que foi observado no primeiro e no segundo anotando as semelhanças e diferenças, levantando hipóteses e fazendo testes e anotando as observações. Chegando ao final da aula, os alunos entregaram as anotações ao professor.

A aplicação desta atividade I nos leva a perceber um grande envolvimento dos estudantes durante o processo investigativo. Os alunos já no início se interessaram pela proposta ao perceberem que a atividade abordava uma prática experimental. Isso nos leva a concluir que a utilização de atividades experimentais podem ser um bom fator motivacional para o ensino de Física.

Durante todo o processo, pode-se perceber que os alunos se demonstraram engajados e curiosos em buscar uma solução para o problema encontrado para o comportamento da luz nesta atividade experimental. Ao notarem que não havia formação

de sombra para todos os obstáculos nos quais a luz incidia, os estudantes se sentiram motivados em explicar tal problema. Em busca de uma explicação, levantaram hipóteses e testaram-na para que pudessem criar um modelo explicativo para tal anomalia. Desta maneira, pode-se perceber a iniciação da prática científica nos estudantes, visto que este é um dos objetivos da SEI em questão.

### **6.1.2. Atividade 02 – Compartilhamento de ideias**

Esta etapa também fora aplicada no dia 17 de outubro de 2018. Antes de iniciar, o professor solicitou que os estudantes formassem uma roda em sala para que eles apontassem suas observações e explicações a partir do que eles observaram no experimento 01 para toda a turma. O professor devolveu a folha de anotações para os alunos para que eles pudessem levantar suas observações e hipóteses a partir das anotações feitas.

Conforme os alunos apresentavam suas ideias e suas concepções espontâneas, o professor registrou algumas falas que são transcritas a seguir. Nas falas anotadas pode-se perceber que elas eram carregadas de argumentos fundamentadas pelo processo investigativo, em que os alunos observaram, testaram e levantaram hipóteses a respeito do que observavam. Tal percepção pode ser notada pelas falas descritas a seguir.

**Aluna E :** Na nossa caixa, a gente esperava encontrar só sombra no grafite e na fita. A gente achava que ia ver só um ponto central no fio de cabelo, mas sem a linha horizontal.

**Aluno F:** Mas eu achei que todos eles iam formar sombra, só que uma mais fina que a outra, porque todos os objetos eram opacos, então a luz não devia atravessar.

**Aluno M:** Na segunda caixa, a gente tinha um fio de cabelo e dois grafites diferentes. No fio de cabelo, a gente viu um ponto de luz no centro com riscos na linha horizontal [...] A gente até pensou que fosse por causa da caixa, mas não era porque os outros não tinha isso.



**Aluna B:** Na segunda caixa, a gente primeiro testou com a lanterna. Com a lanterna, a gente só via formas das sombras [...] No grafite fino, a gente viu a circunferência central e a linha horizontal. No grafite grosso a gente via uma circunferência, mas também observava a sombra dele. Com o lápis formou apenas sombra.

**Aluno O:** Na nossa primeira caixa, a gente tinha uma fita de presente, um grafite de lápis e um grafite mais fininho. Na fita, a luz não passava. A gente só viu a sombra da fita. No grafite mais grosso, que era o de lápis, a gente viu a sombra dele, mas a gente também percebeu que a luz contornava o grafite.

**Aluno R:** É! No grafite mais fino também. A gente acha que a luz contornou ele, aí formou o ponto central e a mesma linha horizontal.

**Aluno O:** Aí depois a gente testou com a lanterna. Quando colocamos sobre a fita, a gente viu só região de sombra e penumbra. Nos outros também.

**Aluno P:** É! Na lanterna a gente acha que viu isso porque a lâmpada é maior e no laser parece mais pontual. Tipo um feixe muito menor.

**Aluno R:** Depois a gente também fez com a outra caixa que tinha a fita, um grafite e um fio de cabelo. Na fita, como no outro grupo, a gente só viu a sombra mesmo. Com esse grafite, que era mais fino que o outro, a gente viu aquela luz central e também tinha a linha horizontal. Com o fio de cabelo, a gente também viu a luz central e aquela linha horizontal.

**Aluno P:** É! Tinha hora que ficava em dúvida aí eu tirava e colocava. Mas parecia que com o fio de cabelo tinha aquela linha horizontal com algumas sombras, tipo pontilhadinho, pontilhadinho, pontilhadinho e no final tudo reto.

**Aluno B:** Então, no fio de cabelo eu achei que a luz fosse passar direto, porque mesmo no grafite mais grosso, a gente via a sombra, mais tinha uma curva do grafite. Então eu achei que com o fio de cabelo essa fosse passar.

**Aluno E:** No fio de cabelo eu realmente não esperava ver sombra nenhuma, mas tinha aquela linha horizontal.

**Professor:** *Certo! Então, em geral, vocês perceberam que dependendo da grossura do objeto formava aquele ponto central com a linha horizontal pontilhada. É isso?*

**Turma:** Sim!

**Professor:** *Então vocês acham que a grossura do obstáculo influenciava?*

**Aluno M:** Sim, mas dependendo da grossura, formava a linha horizontal e as vezes ela ficava mais pontilhada.

**Professor:** *Certo! Então vamos juntos pensar, quando eu incido a luz sobre um objeto opaco, o que eu espero ver?*

**Alguns alunos:** Sombra porque a luz não atravessa.

**Professor:** *Então, nos casos que nos não via a sombra do objeto o que será que acontecia? Será que a luz contornava como foi dito pelo grupo 4? Como a luz conseguia chegar no anteparo se eu tinha um objeto opaco?*

**Aluno F:** É mas eu acho que no fio de cabelo ela atravessava porque ele era muito fino.

**Aluno O:** Não, eu acho que no fio de cabelo ela contornou pra formar aquela linha horizontal. Acho que em todos ela contornava, menos na fita porque ela era mais grossa.  
**Aluno E:** Não, no fio de cabelo e no grafite mais fino, eu acho que ela atravessava, mas nos outros ela conseguia contornar.

**Aluno G:** Não sei se ela realmente atravessava, mas acho que quando ela encontrava o obstáculo ela meio que se dividia e lá na frente se encontrava e formava aquele ponto central com a linha horizontal.

**Aluno B:** É! Eu não acho que ela atravessava passando reto. Acho que quando encontrava o obstáculo ela contornava e chegava no anteparo.

**Aluno Q:** Professor, eu acho que ela contornava dependendo do obstáculo. Tipo no fio de cabelo e no grafite ela contornava, mas no lápis não porque ele era muito grosso.

**Professor:** E sobre a linha horizontal? Por que vocês acham que formava aquela linha horizontal, que algumas vezes parecia pontilhada?

**Aluno B:** Então, não sei, mas acho que ela meio que contornava o objeto se dividindo e formava um ângulo e fazia aquela linha horizontal. E pensei também que se fosse reto a luz não ia passar, mas como era meio redondo, ela contornava e chegava no anteparo formando a linha horizontal.

Feita as discussões coletiva, a conversa foi concluída com o professor destacando as principais ideias trazidas pelos alunos para serem discutidas nas atividades posteriores. Eles procuravam apresentar suas hipóteses de forma argumentativa esclarecendo seus testes experimentais. Em suas conclusões, pode-se perceber que eles notaram o padrão de difração (linha horizontal pontilhada) conforme diminuía a espessura do obstáculo. Alguns alunos destacaram o fato de a luz poder contornar obstáculos mais finos e não contornar obstáculos mais grossos.

Esta atividade visava trabalhar a argumentação dos estudantes ao compartilharem suas ideias para toda turma. Neste contexto, os alunos, em uma roda de conversa organizada pelo professor, apontaram suas observações sobre atividade 01 apresentando suas hipóteses para o problema encontrado. Esta etapa teve como objetivo organizar as informações e a utilização da linguagem argumentativa ao apresentarem suas ideias para todo o grupo. Durante toda discussão, foi possível perceber o engajamento dos estudantes em expor suas ideias e observações com uma expressiva participação. Percebe-se também, através das anotações, que as falas estavam carregadas de argumentos que eram fundamentadas pela investigação por eles desenvolvidas na atividade 01.

### 6.1.3. Atividade 03 – Sistematização do Conhecimento: Abordagem histórica

No dia 24 de outubro de 2018, uma semana após a aplicação da primeira e segunda etapa, foi iniciada a aplicação da etapa 3 desta sequência de ensino. Esta aula tinha por objetivo apresentar de maneira expositiva o problema histórico da natureza da luz a fim de disponibilizar instrumentos aos estudantes para solucionar o problema encontrado na primeira experimentação. Para tal, o professor utilizou a apresentação de slides que se encontra no Apêndice B. Esta atividade tinha como foco a fala do professor, mas com a participação ativa dos alunos durante as discussões para que assim fossem introduzidas as ideias científicas e o desenvolvimento epistemológico dos conceitos em torno da natureza da luz.

Conforme pode ser visto nos slides em anexo, esta aula foi introduzida apresentando o trabalho de Isaac Newton como a primeira teoria mais aprofundada sobre a natureza da luz. Foi destacado pelo professor o quão brilhante e representativo fora o modelo corpuscular newtoniano para explicar fenômenos como a reflexão, a refração e dispersão da luz. Foi possível perceber o interesse dos alunos em participar das discussões das ideias e desde o início da apresentação esperavam encontrar uma explicação para o que fora observado no experimento 01, especialmente no padrão observado para o fio de cabelo. Tal interesse pode ser notado pela fala do seguinte aluno.

**Aluno E:** Então é isso que acontece com a luz professor: As bolinhas batem no fio de cabelo e formam aquela linha horizontal?

Assim, para dar continuidade à discussão e a construção de conhecimento dos estudantes, o professor, ao apresentar o modelo corpuscular newtoniano, expõe as limitações encontradas por Newton para fenômenos, como a difração da luz, já observados antes de sua formulação teórica. Assim, foi iniciada a apresentação do modelo ondulatório do proposto por Christiann Huygens, contemporâneo de Newton.

Foi possível perceber que alguns alunos procuravam adequar a teoria newtoniana ao experimento, entretanto se apresentavam intrigados com o fato de que em alguns casos formava-se sombra, fato que poderia ser explicado por tal ideia, mas não conseguiam explicar a formação da linha horizontal observada por eles.

**Aluno O:** Olha, eu entendi que para reflexão as partículas batem e retornam e na refração elas são desviadas. Então quando ela bate no fio de cabelo é como se ela desviasse também?

Neste contexto, a fim de fortalecer a teoria ondulatória, o professor apresenta as ideias de Young e seu famoso experimento da dupla fenda. Ao apresentar a imagem dos padrões de interferência do experimento de Young, foi possível perceber um “insight” de alguns alunos.

**Aluno M:** Ah! Foi isso que eu vi com o fio de cabelo!

**Aluno B:** Então a luz difratou quando passou pelo fio de cabelo. Então quer dizer que Newton estava errado!

Neste momento foi possível perceber a assimilação dos estudantes entre o experimento realizado e as ideias que estavam sendo discutidas numa perspectiva histórica. Assim, dando continuidade, o professor apresentou a turma o problema encontrado pela academia Francesa de Ciências do XIX em busca de uma explicação para o fenômeno da difração visto que muitos cientistas ofereciam resistência a teoria ondulatória. Neste momento, foi apresentado a eles a ideia de Fresnel e o famoso problema do ponto claro de Fresnel que buscava fortalecer a teoria ondulatória. Ao apresentar o problema do ponto claro de Fresnel, grande parte da turma ofereceu resistência a ocorrência do ponto iluminado, pois estavam certos de que viriam apenas a sombra da esfera no anteparo.

**Aluno F:** Eu acho que só vai ter a sombra da esfera porque ela é um corpo opaco.

Nesta etapa, foi possível notar a participação de toda a turma nas discussões ao se confrontarem com o modelo newtoniano e ondulatório para a natureza da luz. Percebeu-se que a maior parte dos estudantes esperava encontrar uma resposta para o problema e buscava assimilar os modelos apresentados com o fenômeno observado na primeira prática experimental.

Ao introduzir a ideia ondulatória e o experimento da dupla fenda de Young, foi possível perceber a assimilação dos estudantes dos padrões de interferência observados no famoso experimento com a imagem por eles observada na prática experimental, quando a luz difratava ao passar por objetos de menor dimensão.

#### **6.1.4. Atividade 04 – Nova Situação: O ponto claro de Fresnel**

No dia 24 de outubro de 2018, os alunos foram direcionados ao laboratório de ciências para assim verificar se haveria a ocorrência de um ponto iluminado no centro da sombra de uma pequena esfera (ponto claro de Fresnel). Antes da realização do experimento, foi possível notar que os estudantes acreditavam que o ponto claro não ocorreria. Assim, através do experimento expositivo, o professor pediu que os estudantes direcionassem o olhar para a sombra da esfera quando o laser incidia sobre ela e dissessem o que eles eram capazes de observar.

**Aluno M:** Olha! Tem o ponto claro mesmo, mas é bem pequeno!

**Aluno B:** Então a luz difratou ao bater na esfera, sendo uma onda. Tipo o que aconteceu o fio de cabelo.

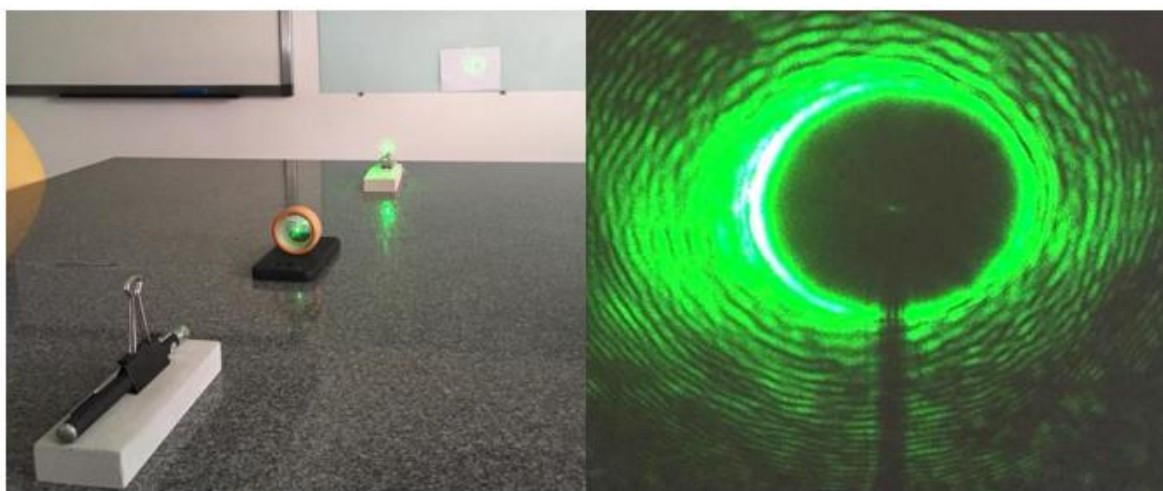
**Aluno O:** Então a luz se comporta como onda e ela difratou como o que aconteceu no fio de cabelo. Só que ela não difrata quando passa pela fita porque depende do tamanho do obstáculo.

**Aluno C:** - Mas professor, eu acho que a ideia de Newton não estava totalmente errada, porque no lápis e na fita a luz se comportou como partícula, não é?

A figura 6.2 expõe o momento em que os alunos verificam o ponto claro de Fresnel na prática proposta experimental. Na figura 6.3, podemos observar o alinhamento do aparato experimental e o ponto claro observado no anteparo.



*Figura 6.2. Alunos durante a prática experimental do ponto claro de Fresnel.*



*Figura 6.3. Aparato experimental utilizado na atividade 04 e o ponto claro de Fresnel observado pelos estudantes.*

Como é possível observar nas falas dos estudantes, com a apresentação do experimento do ponto claro de Fresnel, grande parte da turma concluiu que a teoria ondulatória era capaz de explicar tal experimento, fazendo uma associação com o experimento 01, destacando o que fora observado para o fio de cabelo. Vale destacar também que, devido ao fato de que a turma já havia estudado fenômenos ondulatórios e ondas sonoras, os estudantes possuíam certo conhecimento sobre a difração e interferência de ondas, favorecendo assim a compreensão das condições para que a difração ocorresse; como a relação entre comprimento da onda e as dimensões do

obstáculo. Alguns alunos também relacionaram à difração do som, estudada no trimestre anterior, com a difração da luz nos experimentos desta atividade.

Nesta etapa foi possível notar a curiosidade dos estudantes em observar o ponto claro e, assim como os incrédulos apoiadores do modelo corpuscular de Newton, os alunos não esperavam ver o ponto claro na sombra da esfera. Com a verificação experimental, os alunos assimilaram com o problema encontrado na atividade 1, apresentados a explicação e justificava para o fato que os indagaram naquela atividade.

Vale destacar que, devido ao fato de os alunos já terem estudado fenômenos ondulatórios no trimestre anterior, a compreensão dos mesmos pode ter sido facilitada por já possuírem certo conhecimento prévio a respeito dos fenômenos de difração e interferência de ondas. Pôde-se perceber que os estudantes foram capazes de associar as dimensões e as condições de contorno do obstáculo como facilitador para que a onda luminosa se difratasse ao incidir sobre ele.

#### **6.1.5. Atividade 05 – Contextualização: Difração da luz e o diâmetro do fio de cabelo**

No dia 31 de outubro de 2018 fora aplicada a atividade 5 desta SEI com o objetivo de contextualizar os conceitos apreendidos nas etapas anteriores. O professor inicialmente reviu os principais pontos concluídos pela turma com o experimento do ponto claro de Fresnel fazendo uma explanação teórica sobre difração de ondas e interferência de ondas. Neste contexto, foi solicitado a turma que pegassem três fios de cabelo diferentes para que juntos pudessem calcular sua espessura quando a luz por ele difratasse utilizando a equação 1 apresentada nesta aula.

Feito o cálculo, foi apresentado a turma um micrômetro para que pudessem verificar o valor encontrado pelo cálculo. Na figura 6.4 podemos observar o momento em que os estudantes verificam o diâmetro do fio de cabelo utilizando o micrômetro a fim de comparar o valor medido com o encontrado no cálculo.





*Figura 6.4. Estudantes medindo o diâmetro do fio de cabelo utilizando o micrômetro.*

Os valores encontrados podem ser observados na tabela 6.1.

<b>Fio de Cabelo</b>	<b>Medida difração</b>	<b>Medida micrômetro</b>
<b>Fio de cabelo 1</b>	<b>0,0494 mm</b>	<b>0,056 mm</b>
<b>Fio de cabelo 2</b>	<b>0,0625 mm</b>	<b>0,058 mm</b>
<b>Fio de cabelo 3</b>	<b>0,0552 mm</b>	<b>0,057 mm</b>

*Tabela 6.1. Valores encontrados para os diâmetros dos fios de cabelo.*

Desta maneira, foi pedido aos alunos que comparassem os valores obtidos com o comprimento da onda da luz verde, especificada no laser ( $\lambda = 532 \text{ nm} \pm 10$ ). Assim, os alunos puderam notar que os valores encontrados para os diâmetros dos fios de cabelo e o comprimento da onda incidida eram comparáveis, fortalecendo assim a condição para a difração da onda.

Foi possível notar um grande interesse e curiosidade dos estudantes em realizar esta atividade para medir o diâmetro do fio de cabelo. Os alunos apresentaram interesse na utilização do micrômetro. Um dos estudantes, por estar cursando técnico em mecânica, possuía conhecimento de medição com o instrumento, auxiliando assim os colegas de turma na leitura. Nesta atividade pudemos perceber uma massiva participação dos alunos.

### 6.1.6 Atividade 06 – Contextualização: Ondas eletromagnéticas

Ainda no dia 31 de outubro de 2018, a sexta atividade desta sequência fora aplicada para a contextualização da compreensão da luz como onda e do desenvolvimento da teoria eletromagnética por Maxwell. Desta maneira, o professor apresentou o espectro eletromagnético aos estudantes destacando assim suas aplicações no mundo atual para o desenvolvimento tecnológico.

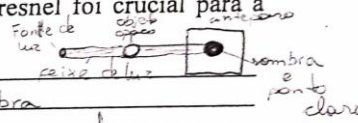
Esta etapa de contextualização se fez bastante relevante para conclusão da SEI, pois possibilitou aos estudantes associar os conhecimentos adquiridos com situações cotidianas, constatando aplicações práticas do conhecimento científico. Nela, fomos capazes de contextualizar as ondas eletromagnéticas no mundo moderno e suas implicações nas tecnologias atuais. Foi possível perceber uma boa participação dos estudantes nas discussões citando exemplos, fazendo perguntas e relacionando os conceitos estudados com situações cotidianas.

### 6.1.7. Atividade 07 – Avaliação Somativa

Esta etapa teve por objetivo aplicar uma avaliação escrita aos estudantes para compor a nota do trimestre, a avaliação utilizada pode ser encontrada no Apêndice D. Devido a ocorrência de palestras na escola, esta avaliação foi aplicada duas semanas após a atividade 06. Na figura 6.5, podemos observar a resposta de um dos alunos para a questão 5 do questionário, em que ele apresenta sua compreensão sobre a importância do ponto claro de Fresnel para a teoria ondulatória da luz.

**Questão 5.** Explique de que maneira o experimento do ponto claro de Fresnel foi crucial para a aceitação da natureza ondulatória da luz pela comunidade científica.

*esquema*



*Al iluminar um objeto opaco, é analisada sua sombra num anteparo, a esperada seria encontrar uma sombra escura, lá que o modelo para a natureza da luz proposto antes dizia que ela se propaga em linha reta. No entanto, foi encontrado um ponto claro, provando que a luz DIFRATA, como uma onda.*

**Questão 6** (Facid – PI) O físico e médico inglês Thomas Young (1773 – 1829) fez um pincel de onda.

Figura 6.5. Resposta de um dos alunos para a questão 5 da avaliação final

Nas figuras 6.6 e 6.7 podemos observar as respostas de um dos alunos sobre suas compreensões para as condições em que a difração é possível ocorrer.

**Questão 3.** Na figura 1, temos uma lâmpada posicionada em frente a uma criança. Na figura 2, temos luz monocromática passando por uma fenda cuja largura é da mesma ordem de grandeza do comprimento de onda da luz.

A) Com auxílio das figuras, represente as regiões (chão/anteparo) onde a luz chega e não chega.

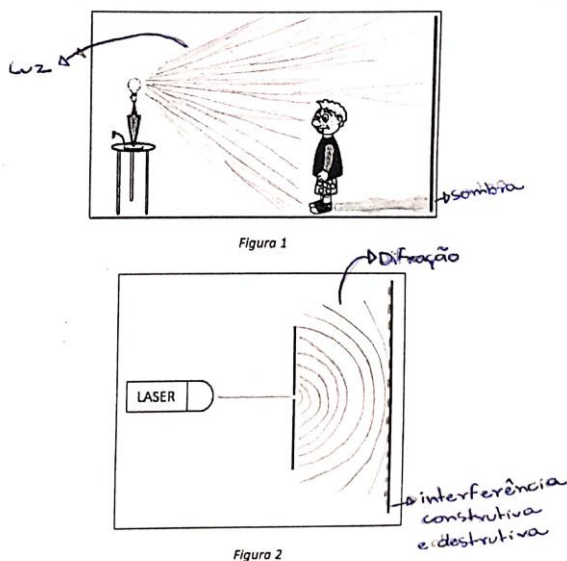


Figura 6.6. Resposta do aluno para a questão 3 da avaliação final.

B) O comportamento da luz em cada caso é diferente? Explique o motivo.

Sim. Em um caso, a luz não é capaz de contornar o corpo da criança, pois ele é muito maior que o tamanho do comprimento de onda da luz. No segundo caso, o orifício é bem pequeno, com medidas comparáveis ao feixe de luz e seu comprimento de onda.

Figura 6.7. Resposta do aluno para a pergunta B da questão 3 presente na avaliação final.

Por fim, esta atividade, que traz uma avaliação somativa para compor a nota do trimestre, buscou organizar os conhecimentos adquiridos pelos estudantes de maneira formal. Vale destacar, que apesar de ter havido uma avaliação escrita para esta conclusão, o foco do trabalho foram as argumentações estabelecidas em sala de aula no decorrer da SEI. No entanto, com a avaliação escrita, pudemos verificar o comprometimento dos alunos para uma proposta mais formal e também a maneira como suas ideias são organizadas por escrito.

## 6.2. Análise de Falas em Busca de Indicadores de AC

Para que possamos fazer uma análise da sequência de ensino, foram selecionadas algumas falas dos estudantes, anotadas pelo professor, durante as aulas tendo por base os propósitos que pretendemos alcançar neste trabalho. A fim de identificar de que maneira uma SEI pode iniciar o processo de alfabetização científica, nossa atenção foi voltada para o modo como os estudantes argumentam em sala de aula e as características que são expressas nestas argumentações que nos possibilitem identificar indícios de como este processo está ocorrendo.

Desta maneira, apresentamos na tabela 6.1 alguns episódios selecionados com uma breve análise qualitativa em suas argumentações identificando os possíveis indicadores de AC apresentados por Sasseron e Carvalho (2008). O primeiro episódio refere-se a atividade 01, em que os estudantes reunidos em grupos desenvolviam a atividade experimental aberta investigando o comportamento da luz ao incidir sobre diferentes obstáculos. O segundo episódio refere-se a atividade 2, em que o professor faz uma roda de conversa com os estudantes para que eles pudessem apresentar suas observações e conclusões à cerca da prática experimental realizada na atividade 01. O terceiro episódio refere-se à atividade 03.

Atividade	Fala Transcrita	Indicadores de AC
Atividade 1	<b>Aluno N:</b> Olha professor, quando a gente coloca o laser sobre o lápis, observamos a sombra do lápis. Quando colocamos sobre o grafite maior [2,0 mm], a gente vê a sombra também, mas no grafite menor forma essa linha horizontal com esses risquinhos. Por quê?	Seriação de informações
	<b>Aluno E:</b> Se colocamos a lanterna, a gente vê sombra e penumbra. O diferente mesmo ocorre com o laser, acho que é porque o feixe de luz é mais fino.	Seriação de informações  E Organização de informações
	<b>Aluno G:</b> Parece que o laser contorna o grafite e o cabelo porque eles são mais finos, mas não consegue contornar a fita por que ela é mais grossa.	Raciocínio lógico  e Levantamento de hipóteses

Atividade 2	<p><b>Aluna E [Grupo 2]:</b> A gente esperava encontrar só sombra no grafite e na fita. A gente achava que ia ver só um ponto central no fio de cabelo, mas sem a linha horizontal.</p> <p><b>Aluno F [Grupo 2]:</b> Mas eu achei que todos eles iam formar sombra, só que uma mais fina que a outra, porque todos os objetos eram opacos, então a luz não devia atravessar.</p>	Justificativa e Previsão
	<p><b>Aluno M:</b> Então, na segunda caixa, tinha um fio de cabelo e dois grafites diferentes. No fio de cabelo, a gente viu um ponto de luz no centro com riscos na linha horizontal. Tipo, era um ponto perfeito, mas na linha horizontal tinha uns riscos nela. A gente até pensou que fosse por causa da caixa, mas não era porque os outros não tinha isso.</p>	Levantamento de hipóteses e teste de hipóteses
	<p><b>Aluno O [Grupo 4]:</b> Na nossa primeira caixa, a gente tinha uma fita de presente, um grafite de lápis [2,0 mm] e um grafite mais fininho. Na fita, a luz não passava. A gente só viu a sombra da fita. No grafite mais grosso, que era o de lápis, a gente viu a sombra dele, mas a gente também percebeu que a luz contornava o grafite.</p>	Organização das informações e Classificação das Informações
	<p><b>Aluno R:</b> É! No grafite mais fino também. A gente acha que a luz contornou ele, aí formou o ponto central e a mesma linha horizontal.</p> <p><b>Aluno O:</b> Aí depois a gente testou com a lanterna. Quando colocamos sobre a fita, a gente viu só região de sombra e penumbra. Nos outros também.</p> <p><b>Aluno P:</b> É! Na lanterna a gente acha que viu isso porque a lâmpada é maior e no laser parece mais pontual. Tipo um feixe muito menor.</p>	Classificação das informações, Levantamento de hipóteses, Teste de hipóteses e Previsão
	<p><b>Aluno P:</b> É! Tinha hora que ficava em dúvida aí eu tirava e colocava. Mas parecia que com o fio de cabelo tinha aquela linha horizontal com alguma sombras, tipo pontilhado, pontilhado, pontilhado e no final tudo reto.</p>	Organização da informação

	<p><b>Aluno B [Grupo 1]:</b> Então, no fio de cabelo eu achei que a luz fosse passar direto, porque mesmo no grafite mais grosso, a gente via a sombra, mas tinha uma curva do grafite. Então eu achei que com o fio de cabelo essa fosse passar.</p>	<p>Previsão e Classificação das informações</p>
	<p><b>Professor:</b> Então, nos casos que não se vê a sombra do objeto o que será que acontecia? Será que a luz contornava como foi dito pelo grupo 4? Como a luz conseguia chegar no anteparo se eu tinha um objeto opaco?</p> <p><b>Aluno F:</b> É mas eu acho que no fio de cabelo ela atravessava porque ele era muito fino.</p> <p><b>Aluno O:</b> Não, eu acho que no fio de cabelo ela contornou pra formar aquela linha horizontal. Acho que em todos ela contornava, menos na fita porque ela era mais grossa.</p> <p><b>Aluno E:</b> Não, no fio de cabelo e no grafite mais fino, eu acho que ela atravessava, mas nos outros ela conseguia contornar.</p> <p><b>Aluno G:</b> Não sei se ela realmente atravessava, mas acho que quando ela encontrava o obstáculo ela meio que se dividia e lá na frente se encontrava e formava aquele ponto central com a linha horizontal.</p> <p><b>Aluno B:</b> É! Eu não acho que ela atravessava passando reto. Acho que quando encontrava o obstáculo ela contornava e chegava no anteparo.</p>	<p>Classificação e Organização das informações e Explicação</p>
	<p><b>Professor:</b> E sobre a linha horizontal? Por que vocês acham que formava aquela linha horizontal, que algumas vezes parecia pontilhada?</p> <p><b>Aluno B:</b> Então, não sei, mas acho que ela meio que contornava o objeto se dividindo e formava um ângulo e fazia aquela linha horizontal. E pensei também que se fosse reto a luz não ia passar, mas como era meio redondo, ela contornava e chegava no anteparo formando a linha horizontal.</p>	<p>Levantamento de hipóteses e justificativa</p>

Atividade 3	<b>Aluno O [Grupo 4]:</b> Olha, eu entendi que para reflexão as partículas batem e retornam e na refração elas são desviadas. Então quando ela bate no fio de cabelo é como se ela desviasse também?	Seriação das informações
	<b>Aluno M [Grupo 3]:</b> Ah! Foi isso que eu vi com o fio de cabelo!  <b>Aluno B [Grupo 1]:</b> Então a luz difratou quando passou pelo fio de cabelo. Então quer dizer que Newton estava errado!	Explicação
	<b>Aluno B [Grupo 1]:</b> Então a luz difratou ao bater na esfera, sendo uma onda. Tipo o que aconteceu o fio de cabelo.  <b>Aluno O [Grupo 4]:</b> Então a luz se comporta como onda e ela difratou como o que aconteceu no fio de cabelo. Só que ela não difrata quando passa pela fita porque depende do tamanho do obstáculo.	Explicação

*Tabela 6.1. Indicadores de AC identificados nas falas dos estudantes.*

Como mencionado, a aplicação desta SEI nos levou a perceber que os estudantes do 2º ano no ensino médio envolveram-se massivamente com as investigações e discussões propostas em sala de aula. As argumentações estabelecidas mostraram-se satisfatórias, pois não se restringiram somente a afirmações simples. Elas, em geral, apareciam associadas a justificativas e explicações lógicas construídas a partir do levantamento e teste de hipóteses no decorrer das práticas.

As discussões trouxeram aos alunos habilidades características do “fazer científico”, denominados por Sasseron e Carvalho (2008) como indicadores de AC. Assim, fez-se com que os participantes das discussões estivessem em processo de se alfabetizarem cientificamente ao serem inseridos em discussões próprias da Ciências. Foi possível perceber a utilização de grande parte dos indicadores de AC durante a construção de explicações que se demonstraram consistentes e coerentes à medida com que as informações disponíveis eram utilizadas e conectadas pelos alunos. Tais conexões demonstram a garantia para os argumentos, trazendo justificativas e previsões associadas ao fenômeno analisado. Reconhecemos o uso do raciocínio lógico capaz de proporcionar coesão e coerência aos argumentos e do raciocínio proporcional pelos alunos como forma de explicar as relações entre as dimensões do obstáculo e do comprimento de onda da luz para ocorrência da difração.

Vale destacar também que as atividades propostas resultaram em discussões capazes de levar os alunos a construir relações entre o conhecimento científico associados as tecnologias e suas consequências para a sociedade. Tal contextualização representa uma habilidade importante e de bastante relevância para as aulas de ciências.



## Capítulo 7

### Considerações Finais

Este trabalho foi influenciada pelas experiências da prática docente e pela busca na inovação do ensino de Física. Sendo assim, com o objetivo de nortear os rumos do ensino brasileiro, são apresentados os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN) que mencionam que a Física deve permitir os estudantes a perceber e lidar com fenômenos naturais, sendo capazes de intervir de forma racional em sua realidade desenvolvendo habilidades da investigação científica. No entanto, a Física é ensinada, na maioria das vezes, por apresentação de conceitos e equações matemáticas que são utilizados para a resolução de problemas que normalmente não levam a reflexão crítica quanto ao desenvolvimento do trabalho científicos e aos fenômenos físicos em questão.

Por outro lado, conforme discutido no capítulo 2, quando falamos em atividades experimentais, elas são, tradicionalmente, realizadas por práticas que envolvem observações e medidas em torno de fenômenos preestabelecidos pelo professor. Sendo assim, os alunos costumam seguir as instruções de um roteiro que em geral são interpretados com o objetivo de testar as leis físicas aprendidas na sala de aula. Em contrapartida a utilização de práticas experimentais investigativas podem proporcionar aos estudantes o desenvolvimento de habilidades de pensamento diretamente relacionadas aos processos científicos.

A partir desta problemática, elaboramos uma SEI que almeja a alfabetização científica em estudantes do ensino médio. Fundamentada pela visão de diferentes autores, esta sequência de ensino discute o problema histórico da natureza da luz a partir de práticas experimentais investigativas que aborde os limites entre o modelo corpuscular de Newton e o modelo ondulatório. Para tal planejamento, foi utilizada a propostas experimental de Souza *et al* (2015) e o famoso problema conhecido como “O ponto claro de Fresnel”, cujo objetivo é apresentar para os estudantes o problema para o comportamento da luz ao incidir sobre obstáculos de diferentes espessuras.

No capítulo 3 foi feita uma abordagem em torno do problema histórico da natureza da luz. Neste capítulo, discutimos o desenvolvimento das ideias de Newton e da teoria ondulatória da luz. Tal abordagem fez-se necessária para que pudéssemos melhor

fundamentar a SEI a que propomos, visto que uma das etapas para a sistematização do conhecimento se desenvolve em torno do problema histórico.

No capítulo 4 apresentamos a metodologia que utilizamos, descrevendo de forma detalhada as etapas para o desenvolvimento e planejamento de nossa pesquisa. Nele apresentamos também o contexto no qual a escola, a qual o produto foi aplicado, estava inserido destacando as características dos alunos e do professor, visto que esta caracterização se faz necessária para uma pesquisa qualitativa. Nosso trabalho teve como metodologia o desenvolvimento de práticas experimentais que permitem um maior grau de liberdade aos estudantes para explorar os fenômenos físico, sendo eles responsáveis pelo processo investigativo. Assim classificamos nossa proposta como grau III.

Com esta SEI buscamos promover o aparecimento de situações argumentativas em torno do tema pouco explorado no ensino médio – a natureza da luz. Em geral, o ensino de óptica é concentrado majoritariamente na óptica geométrica que é explicado satisfatoriamente pelo modelo corpuscular newtoniano. Entretanto, tal modelo traz certas limitações por não abordar adequadamente fenômenos como difração e interferência luminosa, explicados pelo caráter ondulatório. Assim, é destacado a necessidade de considerar as diferentes etapas de construção do conhecimento a fim de evitar com que esta proposta se torne apenas uma exposição de conteúdo sem significados para os alunos. Desta forma, apresentamos no capítulo 5 os passos da SEI desenvolvida.

Como discutido no capítulo 6, durante a aplicação desta sequência foi possível perceber um massivo envolvimento dos estudantes com as investigações e discussões trazidas para a sala de aula. Suas argumentações não se restringiram a afirmações simples. Eles buscaram associar as explicações construídas justificando-as a partir do levantamento e teste de hipóteses realizadas na prática experimental.

Neste sentido, é possível notar a presença de grande parte dos indicadores de AC apresentados por Sasseron e Carvalho (2008) durante a construção das explicações conforme as informações eram disponibilizadas e conectadas pelos alunos. Sendo assim, destacamos que as discussões foram capazes de possibilitar a eles o desenvolvimento de habilidades características do “fazer científico”.

É relevante dizer que esta proposta possibilitou os estudantes a compreenderem a relações entre a natureza e o ser humano, sendo capazes de se posicionarem criticamente perante ao desenvolvimento do conhecimento científico. Sendo essa uma habilidade de suma importância para as aulas de ciências. Buscamos desenvolver nos jovens

competências de pensamento potencializando a capacidade de aprender a aprender, a fim de garantir sua adaptação aos desafios da sociedade moderna.

Acreditamos que o fato desta sequência de ensino ter como foco central o desenvolvimento da investigação através de práticas experimentais mais abertas tenha possibilitado um bom engajamento dos estudantes com as discussões em sala de aula. A medida que não se tratava apenas a realização de práticas pré-estabelecidas por um roteiro com o objetivo de testar leis físicas, esta proposta buscou com que os alunos progredissem e assumissem o controle da atividade.

O desenvolvimento desta SEI possibilitou aos estudantes uma melhor compreensão sobre a natureza da luz a partir das práticas experimentais e da contextualização histórica. Não sendo uma mera exposição de conteúdos, esta proposta levou em consideração as diferentes etapas de construção de conhecimento, permitindo a eles a construir significados e através da prática argumentativa desenvolver habilidades diretamente ligadas ao trabalho científico. Sendo assim, buscou-se com este trabalho inserir os estudantes no universo das Ciências para que se tornem capazes de intervir de forma racional e consciente em sua realidade.

Destacamos também que o desenvolvimento e aplicação desta sequência de ensino proporcionou uma melhor reflexão sobre a prática docente. A busca por atividades experimentais com o cunho investigativo nos leva a perceber que esta se apresenta como um fator motivacional para as aulas de Física. Tal proposta possibilita uma maior participação dos estudantes durante as atividades, buscando a mediação do professor para o desenvolvimento e organização das ideias. Foi percebido que no decorrer das semanas de aplicação, os alunos se apresentavam curiosos e interessados em solucionar o problema encontrado na atividade 01. Alguns deles abordavam o professor pelos corredores fazendo comentários e trazendo observações por eles feitas durante a prática experimental. Tais momentos nos proporcionaram grande satisfação ao notar o interesse dos estudantes pela aula de Física.

Por fim, buscamos futuramente a publicação dos objetivos alcançados em nosso trabalho. Pretende-se também prosseguir com essa pesquisa fazendo a aplicação desta SEI em uma escola pública para que possamos fazer uma nova análise dos resultados em um contexto diferente ao da escola na qual o produto foi aplicado.

## Apêndice A

### Produto Educacional

PRODUTO EDUCACIONAL - AGOSTO 2019

# **MODELO CORPUSCULAR E ONDULATÓRIO DA LUZ**

**Uma Sequência de Ensino  
Investigativa para promover a  
Alfabetização Científica.**

**Prof. Felipe de Souza Ferreira**  
**Orientador: Wagner Franklin Balthazar**

*Olá, professor!*

*Este material traz uma sequência didática, fundamentada por teorias e práticas em Ensino de Física, a fim contribuir para o estudo da óptica no ensino médio. Propomos aqui uma Sequência de Ensino Investigativa (SEI) que busca promover a Alfabetização Científica (AC) a partir do problema histórico da natureza da luz. Em geral, o ensino de óptica na educação básica concentra-se na óptica geométrica que, apesar de explicar satisfatoriamente fenômenos como a reflexão e refração da luz, limita-se quando a discussão é sobre sua natureza ondulatória. Sendo assim, este planejamento utiliza de práticas experimentais para discutir os limites entre o modelo corpuscular newtoniano e a teoria ondulatória da luz.*

## **O QUE É UMA SEI?**

---

As SEI's surgiram nos Laboratório de Pesquisa em Ensino de Física (LaPEF) da Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo. Tais projetos se desenvolveram a partir de diferentes pesquisas e a ampla revisão bibliográfica em periódicos de ensino de ciências. Dentre alguns pontos relevantes para o planejamento de uma SEI que possibilite a construção de conhecimentos pelo estudantes, Carvalho (2011) destaca:

- A relevância de um problema que inicie a construção do conhecimento;
- A passagem da ação manipulativa para a ação intelectual;
- A importância da tomada de consciência dos próprios atos para a construção do conhecimento;
- As diferentes etapas da explicação científica.

Neste contexto, uma SEI deve ser introduzida pela apresentação de um problema inicial, o qual a resposta é desconhecida pelo aluno. Um problema de sala de aula, experimental ou teórico, é uma situação conflituosa e, assim sendo, sua resolução não é evidente. A partir deste, os alunos devem levantar hipóteses expondo suas ideias prévias a respeito do assunto. Dessa maneira, é possível que reflitam sobre o que pensam a partir do problema encontrado.

A etapa de sistematização do conhecimento pode ser realizada a partir de uma atividade prática ou por pesquisas bibliográficas, através da leitura de texto relacionados a atividade. Assim, os alunos são possibilitados a observar e analisar dados e discutir

hipóteses para que possam chegar a uma conclusão para o fenômeno em questão. Desta forma, destacamos que os problemas trazidos durante em uma SEI devem estar contidos na cultura dos estudantes e serem interessantes para a busca de uma solução para que ao sejam possibilitados à contextualização do conhecimento científico com a prática cotidiana e social.

Seguindo este princípio, o trabalho aqui presente traz uma SEI que visa discutir o problema histórico na natureza da luz destacando os limites entre a óptica geométrica, que pode explicada satisfatoriamente pelo modelo corpuscular newtoniano, e o modelo ondulatório da luz. Buscamos ainda com esta sequência alfabetizar cientificamente estudantes do ensino médio.

## O QUE É AC?

---

A Alfabetização Científica (AC) consiste em um conjunto de conhecimentos a fim de facilitar uma leitura do mundo em direção a uma visão mais crítica da realidade. A escolha pela expressão “alfabetização”, segundo Sasseron e Carvalho (2008), pode ser justificada pela perspectiva freiriana. Segundo o pedagogo, a alfabetização é mais do que o domínio das técnicas de ler e escrever. Freire (1967) defendia uma alfabetização como um ato de criação capaz de desencadear outros criadores, possibilitando ao homem o desenvolvimento da impaciência, da vivacidade, tornando-o capaz de intervir de forma ativa *em* sua e *com* sua realidade. Neste sentido, “a alfabetização deve ser possibilitar ao analfabeto a capacidade de organizar seu pensamento de maneira lógica, além de auxiliar na construção de uma consciência mais crítica em relação ao mundo que o cerca” (SASSERON; CARVALHO, 2008, p.334).

“A Alfabetização Científica pode ser considerada como uma das dimensões para potencializar alternativas que privilegiam uma educação mais comprometida” (CHASSOT, 2003, p.91). Desta forma, Solino e Sasseron (2018) defendem que o desenvolvimento de práticas investigativas no ensino de ciência visa alcançar a Alfabetização Científica a medida em que este tipo de abordagem busca inserir os estudantes na cultura científica a partir da apropriação das práticas utilizadas pela ciência, tais como: pensar logicamente, observar, coletar e analisar dado, refletir, argumentar e comunicar ideias.

## **POR QUE UTILIZAR UMA SEI?**

---

Propõe-se uma SEI por ela trazer algumas referências para a preparação de aulas que sejam mais interessantes e motivadoras para os estudantes e professores. As atividades investigativas envolvem o uso da imaginação para a elaboração de explicações sobre o mundo natural possibilitando o desenvolvimento do raciocínio científico. Os alunos, quando estão engajados na investigação, descrevem objetos e eventos, fazem perguntas, constroem explicações e expõem essas explicações para os demais alunos. A utilização de uma metodologia investigativa é capaz de desencadear diferentes situações argumentativas que são de extrema relevância para processo de ensino-aprendizagem. Tal metodologia favorece ao estudante o desenvolvimento de suas habilidades de conversação, troca de ideias, interpretações e reinterpretações dos fenômenos. Desta maneira, a prática argumentativa é também integrante fundamental para natureza do trabalho científico.

Optou-se pelo estudo da natureza da luz devido à sua fundamental importância na história da Física e no seu desenvolvimento contemporânea e por não serem muito abordados nas aulas de Física do ensino médio.



## A SEQUÊNCIA DE ENSINO

---

### 1. Atividade 01 – Problematização Inicial

**Tema:** Luz: propagação e comportamento

**Objetivos:** Problematizar e Investigar experimentalmente o comportamento da luz ao incidir sobre obstáculos opacos.

**Recursos:** Kit experimental, discussões e atividades em grupos

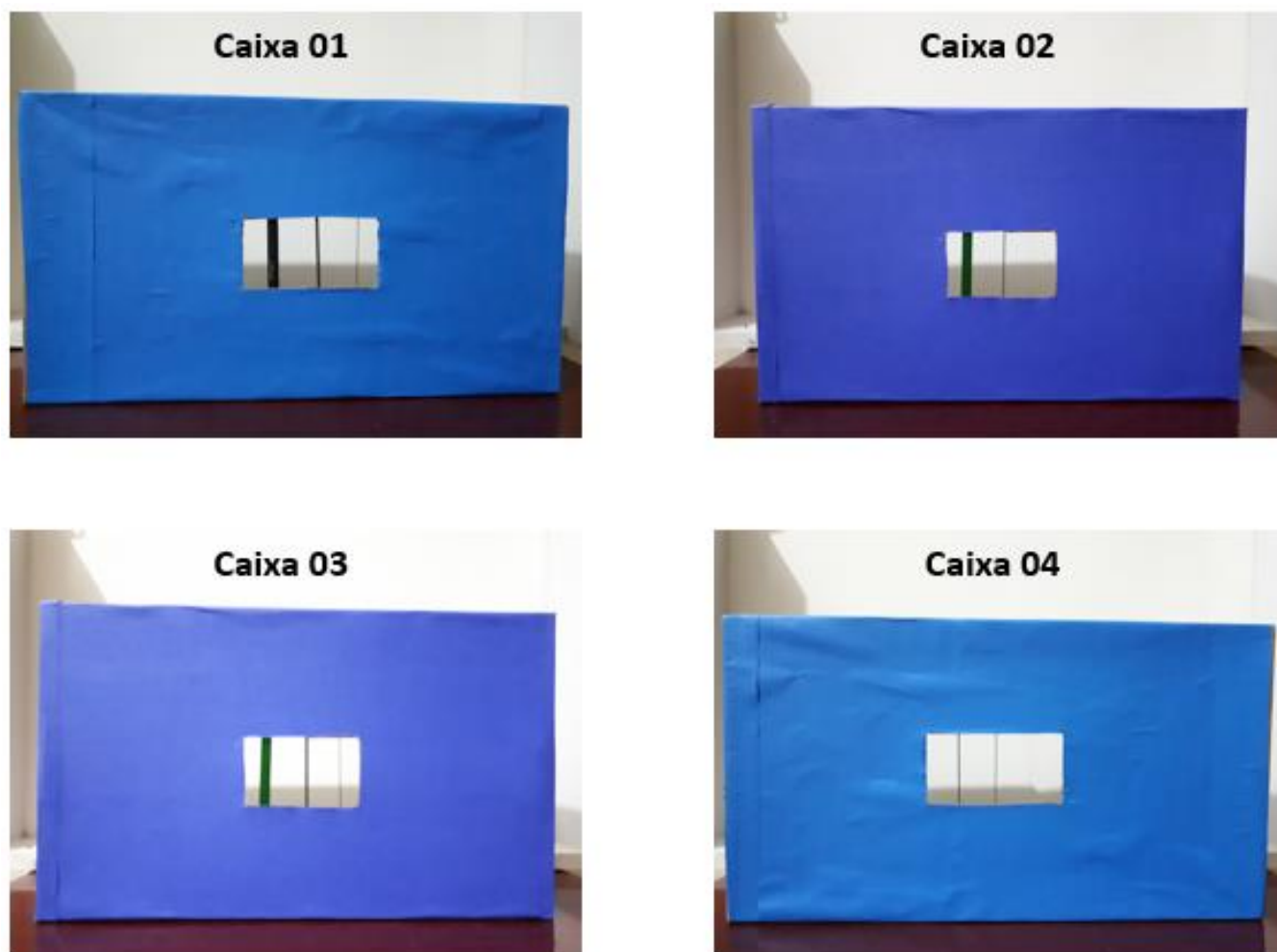
**Tempo Estimado:** 1 hora/aula

Para esta atividade, deverá ser construído um kit experimental propondo uma atividade que demonstre o comportamento da luz ao incidir sobre obstáculos de diferentes espessuras. Para isto, é utilizado como referência o trabalho de SOUZA *et al* (2015). Em modelo hipotético, sugerimos a construção quatro kits para serem trabalhados com quatro grupos de aproximadamente cinco alunos. Os kits devem conter uma caixa com abertura central onde são colocados quatro obstáculos opacos com espessuras distintas, um laser pointer, uma lanterna e um anteparo conforme detalhado na figura 1.



*Figura 1. Kit experimental 01: Laser pointer, lanterna, caixa com obstáculos e anteparo.*

Vale destacar que as caixas distribuídas aos grupos são distintas, sendo selecionados diferentes obstáculos para cada grupo conforme a figura 2.



*Figura 2. Caixas com os obstáculos para a experimentação 01.*

Para as caixas, são sugeridos os seguintes obstáculos:

Caixa 01 – Lápis, grafite 2 mm e grafite 0,7 mm

Caixa 02 – Fita de 1 cm, grafite 0,7 mm e fio de cabelo

Caixa 03 – Fita de 1 cm, grafite 0,9 mm e grafite 0,5 mm

Grupo 04 – grafite 0,7, grafite 0,3 e fio de cabelo

Inicialmente, o professor deverá entregar os kits para os grupos pedindo a eles que manuseiem os materiais livremente para conhecer o que está sendo apresentado. Em seguida, deverá ser pedido aos alunos que incidam o feixe laser e a lanterna sobre cada obstáculo, como demonstrado na figura 3, para que possam analisar o que pode ser observado no anteparo. Neste contexto o professor deverá apresentar o problema.

**O PROBLEMA:** *Quais as semelhanças e diferenças observadas quando a luz incide sobre os objetos de diferentes espessuras? Por que elas ocorrem?*



Figura 3. Organização para a experimentação 01

Assim, os grupos deverão investigar, levantar e testar hipóteses a fim de explicar o que por eles é observado em busca da explicação para o problema proposto pelo professor. Pode ser sugerido aos grupos a troca das caixas para novas observações, o esquema presente na figura 4, para auxiliar no levantamento de hipóteses e seleção de dados em busca na solução para o problema.

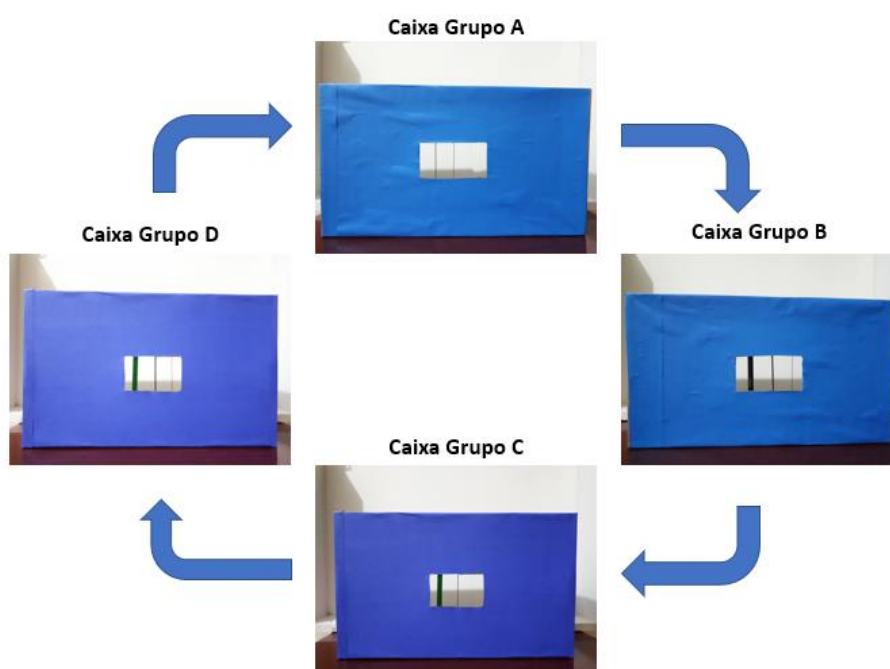


Figura 4. Esquema para troca dos kits entre os grupos.

Feita as observações e levantamento de hipóteses, os alunos deverão anotar os dados obtidos nesta atividade, com suas conclusões e possíveis explicações para o problema levantado pelo professor, para que possam ser discutidos na atividade 02.

## **2. Atividade 02 – Compartilhamento de ideias**

**Tema:** Luz: propagação e comportamento

**Objetivo:** Explorar e compartilhar as ideias e organizar e classificar as informações obtidas na experimentação inicial.

**Recursos:** Discussão coletiva

**Tempo Estimado:** 1 hora/aula

O professor deverá reunir todos os estudantes para que os grupos compartilhem suas observações e apresentem os dados obtidos na experimentação proposta na atividade 01 trazendo suas hipóteses fundamentadas por argumentos em busca de uma explicação para o que fora observado na experimentação. Desta maneira, as ideias devem ser discutidas, podendo apresentar as semelhanças e diferenças observadas por cada grupo para que assim possam buscar uma solução para o problema imposto.

Neste contexto, o professor, como mediador das discussões, deve auxiliar os estudantes a selecionar e classificar informações que podem ser úteis para o processo argumentativo. Ao fim, as principais conclusões deverão destacadas, apontando as ideias que se coincidem e se divergem para que os alunos possam refletir criticamente sobre o trabalho, trazendo argumentos lógicos para tal problema.

## **3. Atividade 03 – Sistematização do Conhecimento: Abordagem histórica**

**Tema:** O problema histórico da natureza da luz

**Objetivo:** Sistematizar o conhecimento discutindo o modelo corpuscular de Newton para a natureza da luz, bem como sua importância para a história da ciência e suas limitações.

**Recursos:** Data show, aula dialogada e discussões em grupos.

**Tempo estimado:** 1 hora/aula.

Através de uma abordagem histórica, o professor irá expor aos alunos o modelo proposto por Isaac Newton para a natureza da luz. Para esta exposição, sugerimos a utilização da apresentação em slides presente no Apêndice B.

Juntamente com a turma, o professor deverá discutir com os alunos a importância do modelo corpuscular newtoniano para a comunidade científica bem como o sucesso desse modelo para explicar os fenômenos de reflexão e refração da luz que possibilitaram o desenvolvimento de matérias tecnológicas.

Nesta aula, deverão ser apresentadas as limitações de Newton em explicar alguns fenômenos ópticos conhecidos na época como os anéis de filmes finos e a difração da luz, fenômeno característico das ondas. Neste contexto, a turma deverá o modelo ondulatório proposto de Christiaan Huygens e que mais tarde foi fortalecido por Thomas Young com a realização do experimento da dupla fenda.

Em seguida, o professor deverá apresentar para a turma o problema encontrado pela Academia Francesa de Ciências no século XIX, ao promover em 1819 um concurso em busca do melhor trabalho sobre a difração da luz visando provar que a teoria ondulatória estava errada. Expondo assim o problema do ponto claro de Fresnel, a ocorrência de um ponto de luz no centro de uma sombra de um objeto esférico, julgado como improvável para os defensores da teoria corpuscular. Ao fim, o professor deverá questionar aos alunos se é possível a ocorrência do Ponto Claro de Fresnel e se eles também se são capazes de associar as ideias apresentadas com os dados levantados durante a experimentação realizada na atividade 01.

**SUGESTÃO:** Para auxiliar no estudo do professor para uma melhor explanação do modelo corpuscular newtoniano e do modelo ondulatório, sugerimos a leitura do texto “*O Problema Histórico da Natureza da Luz*” presente no Apêndice C.

#### **4. Atividade 04 – Nova Situação: O ponto claro de Fresnel**

**Tema:** O ponto claro de Fresnel

**Objetivos:** Verificar de forma experimental o “Ponto Claro de Fresnel” e discutir sua importância para o fortalecimento da teoria ondulatória da luz.

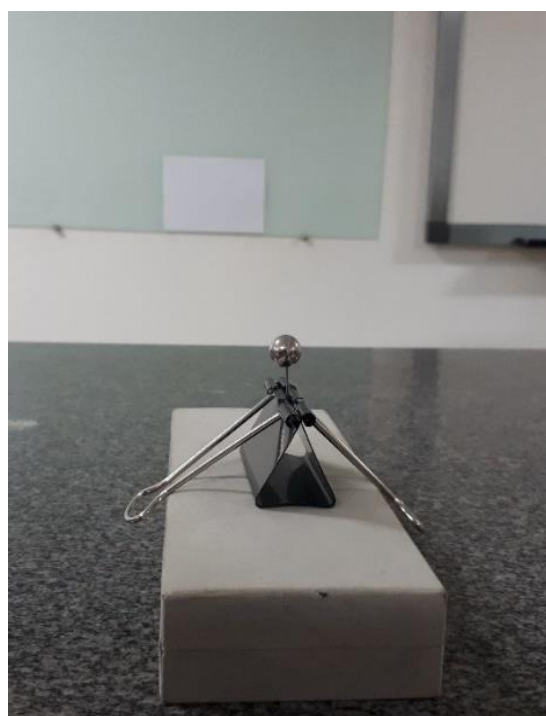
**Recursos:** Kit experimental e discussões em grupo

**Tempo Estimado:** 1 hora/aula

Em um experimento expositivo utilizando um laser pointer verde com comprimento de onda  $\lambda = 532$  nm, uma lente divergente com distância focal de 5,0 cm, para um melhor espalhamento da luz incidente, e uma pequena esfera metálica, com aproximadamente 8 mm de diâmetro, obtida de um brinco, conforme as figuras 4 e figura 5, o professor irá verificar a ocorrência do ponto claro de Fresnel juntamente com os estudantes. Nas figuras 4 e 5 são observados também a utilização de prendedores de folhas para fixação da esfera e do laser, e de pequenas caixas para ajustes de altura para melhor posicionamento. Para nossa aplicação, o experimento foi posicionado com uma distância de aproximadamente 20 cm entre o laser e a lente, 15 cm entre a lente e a esfera e aproximadamente 1 m entre a esfera e o anteparo. Tais distâncias podem ser ajustadas pelo professor dependendo da lente utilizada. Vale destacar que, com a nossa lente, verificamos a ocorrência do ponto claro no centro da sombra da esfera para diferentes posições entre os materiais utilizados, portanto é sugerido que o professor ajuste e teste o experimento antes de sua realização com os estudantes.



*Figura 4. Experimentação utilizada para a verificação do ponto claro de Fresnel.*



*Figura 5. Esfera metálica utilizada para a experimentação do Ponto Claro de Fresnel.*

Na figura 6, podemos observar o ponto claro de Fresnel verificado nesta experimentação.



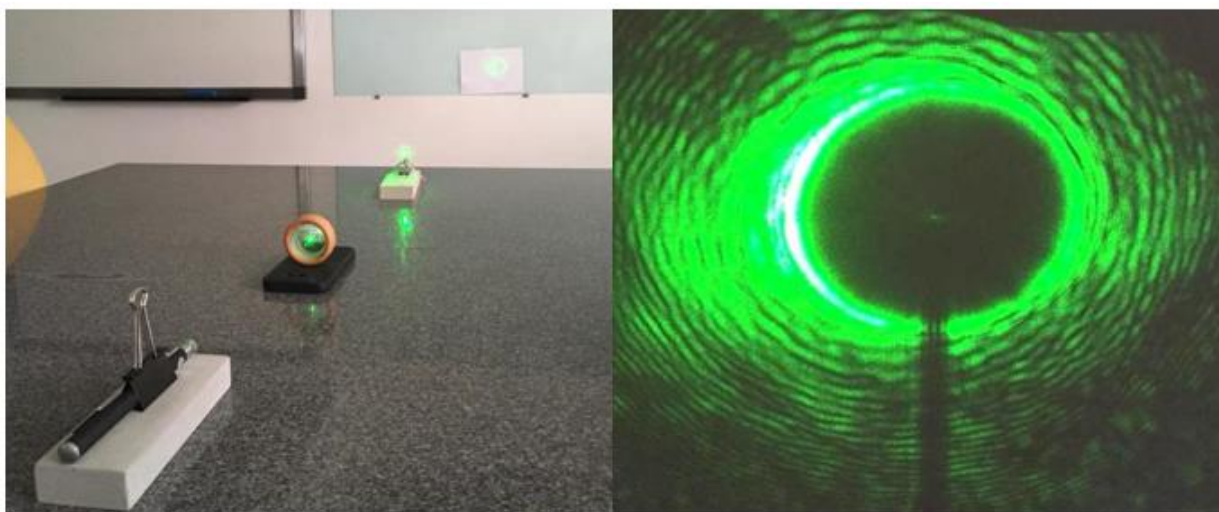


Figura 6. Verificação do ponto claro de Fresnel.

Feito o experimento, deverá ser solicitado aos grupos, já formados no primeiro encontro, que se reúnam e discutam o que foi observado e selecionem o dados obtidos. Os alunos nos grupos devem discutir suas conclusões e deverão relacionar o observado no experimento da atividade 01 com o experimento do ponto claro de Fresnel. Para orientação dos alunos, o professor poderá fazer os seguintes questionamentos:

- *Há semelhanças entre os fenômenos observados no primeiro e no segundo experimento?*
- *Como os modelos corpuscular e ondulatório podem explicar os fenômenos observados?*

Ao final, os grupos devem expor e argumentar suas conclusões para a turma, mediando as discussões induzindo os alunos para a condições para ocorrência da difração da luz.

**SUGESTÃO:** Para a observação do ponto claro de Fresnel, o professor pode solicitar que os alunos aproximem e afastem o anteparo da esfera, ao invés de deixa-lo em uma posição fixa, verificando se em alguma posição é possível observar o ponto luminoso no centro da sombra.

## 5. Atividade 05 – Contextualização: Difração da luz e o diâmetro do fio de cabelo

**Tema:** Difração e interferência da luz

**Objetivo:** Compreender o fenômeno da difração e interferência da luz e o limite da sua ocorrência e calcular o diâmetro do fio de cabelo através da difração da luz.

**Recursos:** Laser pointer, fio de cabelo, micrômetro, folha de ofício.

**Tempo Estimado:** 1 hora/aula

Neste encontro, tem por objetivo fazer uma discussão sobre a natureza ondulatória da luz, retornando ao experimento da atividade 1 e do Ponto Claro de Fresnel na atividade 4. Assim, justamente com a turma deverá ser discutido sobre as dimensões do obstáculo ou fenda e os limites para que a difração ocorra.

Neste sentido, é feita também uma discussão sobre a interferência de ondas, fenômeno que pode ser observado como consequência da difração. Para contextualizar esta discussão, o professor juntamente com a turma, realiza o experimento 03 para calcular a espessura do fio de cabelo utilizando três fios de cabelos distintos. Para isso é apresentado a equação 1 que pode ser utilizada para calcular a espessura do obstáculo ou da fenda em que ocorre a difração.

O professor poderá solicitar aos alunos que peguem três fios de cabelos diferentes e fixem-nos em uma caixa com abertura central conforme o esquema apresentado na figura 7. Os alunos deverão ajustar determinada distância para que possam utilizar tais informações para o cálculo do diâmetro do fio de cabelo utilizando a equação 1.

$$y_{m\acute{a}x} = m \frac{\lambda D}{d} \quad m = 1, 2, 3, \dots$$

Equação 1

Onde  $y_{m\acute{a}x}$  é a distância de uma ponto de interferência construtiva e o máximo central.  $D$  é a distância do obstáculo ao anteparo e  $d$  o diâmetro do obstáculo.

Após terem calculado o diâmetro do fio de cabelo, deve ser discutido com a turma a ordem de grandeza do fio de cabelo e do comprimento de onda da luz. Levando assim



a compreensão de que para que a difração seja observada, espessura do obstáculo ou largura da abertura deve ser comparável com comprimento de onda da luz incidente.

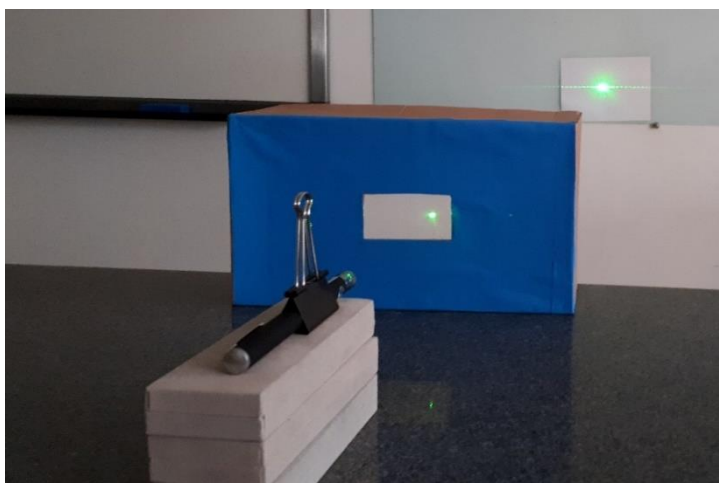


Figura 6. Experimentação para cálculo do diâmetro do fio de cabelo.

**SUGESTÃO:** Feito o cálculo, utilizando os dados deste experimento, o professor poderá utilizar um micrômetro, instrumento apresentado na figura 7, juntamente com a turma para que os alunos possam verificar o valor encontrado pelo cálculo comparando-os e relacionando-os com os comprimento de onda da luz incidente.



Figura 7. Micrômetro utilizado para medir o diâmetro do fio de cabelo.

## 6. Atividade 06 – Contextualização: Ondas Eletromagnéticas

**Tema:** Ondas Eletromagnéticas.

**Objetivo:** Compreender a luz como onda eletromagnética.

**Recursos:** Data Show, aula dialogada

**Tempo Estimado:** 1 hora/aula

Neste momento, o professor discutirá a importância da compreensão da luz como onda através do desenvolvimento da teoria eletromagnética desenvolvida por Maxwell, tais informações também estão presentes no texto Apêndice C. É exposto o espectro eletromagnético, conforme a figura 8, aos alunos, destacando a faixa do espectro visível e as diferentes aplicações das ondas eletromagnéticas no cotidiano.

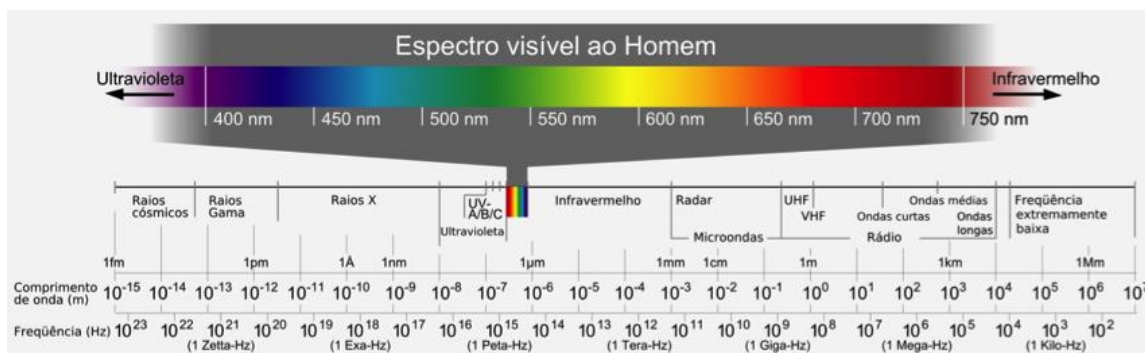


Figura 8. O Espectro Eletromagnético: Ondas Eletromagnéticas com ampla faixa de frequência de oscilação e comprimentos de onda. Fonte: MICHA, et al, 2011, p. 20.

## 7. Atividade 07 – Avaliação Somativa

**Tema:** Avaliação Somativa

**Objetivo:** Avaliar a compreensão dos alunos quanto a compreensão dos conceitos discutidos nos encontros anteriores

**Recursos:** Questionário individual

**Tempo Estimado:** 1 hora/aula

Nesta aula o professor poderá utilizar o questionário do Apêndice D a fim de avaliar formalmente os conceitos apreendidos para pontuar na nota. Entretanto, visto que esta proposta é uma sequência de ensino investigativo, esta não deve ser a única forma de avaliação, pois todo o processo deve ser avaliado a partir das discussões apresentadas pelos grupos para que assim possam alcançar os possíveis indicadores de AC apresentados no texto introdutório deste produto.

**Referências:**

CHASSOT, A. **Alfabetização científica: uma possibilidade para a inclusão social.** SCIELO Brasil, 2006.

CARVALHO, A.M.P. de. Ensino e aprendizagem de Ciências: referenciais teóricos e dados empíricos das sequências de ensino investigativas (SEI). **O uno e o diverso na educação.** Uberlândia: EDUFU, p. 253-266, 2011

SASSERON, L. H.; CARVALHO, A. M. P. de. Almejando a alfabetização científica no ensino fundamental: a proposição e a procura de indicadores do processo. **Investigações em ensino de ciências**, v. 13, n. 3, p. 333–352, 2008.

SOLINO, A. P.; SASSERON, L. H. Investigando a significação de problemas em sequências de ensino investigativa. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 23, n. 2, 2018.

## Apêndice B

### Apresentação de contextualização histórica



Slide Inicial para apresentação.

Desde a Grécia Antiga, os gregos tinham a preocupação em compreender o que havia entre os olhos e o objeto visto.

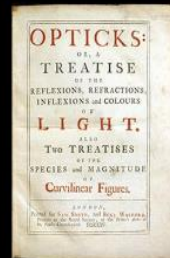
Na Antiguidade alguns filósofos gregos acreditavam que a luz era formada por pequenas partículas, as quais se propagavam em linha reta e com alta velocidade.

O slide 2 tem como objetivo fazer uma introdução histórica sobre os estudos da natureza da luz desde a Grécia antiga.

## Isaac Newton e a Luz

No século XVII, o cientista inglês Isaac Newton (1642-1727) formula a primeira teoria científica sobre a natureza da luz.

Segundo o modelo proposto por Newton, a luz é composta por pequenos corpúsculos com velocidade muito elevada atravessando os meios transparentes.



Newton Estabeleceu as primeiras experiências sobre a decomposição da luz e construiu um telescópio cuja a objetiva era uma espelho côncavo.

## Isaac Newton e a Luz

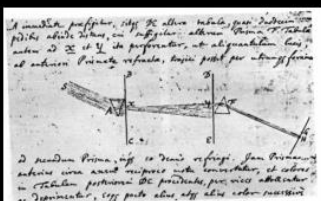
Segundo Newton, a luz era fluxo de corpúsculos que eram ejetados por uma força emissora e se propagavam em linha reta.

Newton explicou a reflexão e mais tarde conseguiu explicar o fenômeno da refração da luz.

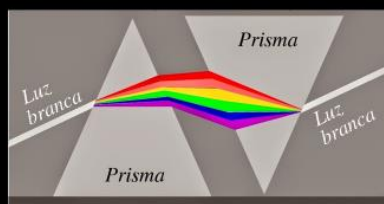


Nos slides 3, 4 e 5 o professor deverá apresentar os trabalhos de Newton sobre óptica, bem como suas contribuições para o estudo na natureza da luz.

## Isaac Newton e a Luz

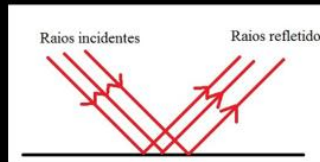


Em 1666, fazendo experiências com prismas, Newton verificou que a luz ao passar por um prisma gera um espectro colorido e que, ao colocar outro prisma com orientações opostas no mesmo plano, este por sua vez recompõe a luz branca, fortalecendo a hipótese de que a luz branca seja composta de diferentes cores, cada qual com um índice de refração.



## Isaac Newton e a Luz

**Reflexão** é o fenômeno que consiste no fato de a luz voltar a se propagar no meio de origem.



Ao fazer experiência com superfícies polidas, Newton postulou a existência de uma força refratante distribuída uniformemente, e observou que quando, partículas de luz incidem sobre a superfície gera a reflexão das mesmas, tendo ângulo de incidência igual ao ângulo de reflexão

No slide 6, o professor prossegue apresentando os estudos de Newton sobre a reflexão e refração da luz.

## Falhas na Óptica Newtoniana

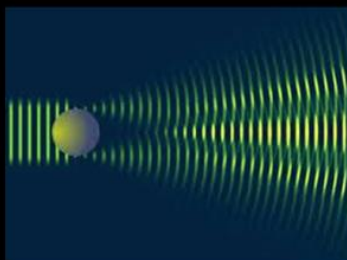
- Anéis de cores em filmes finos;
- Difração da Luz;
- Interferência da Luz.



O slide 7 tem como objetivo apresentar os fenômenos observados para a luz os quais o modelo corpuscular newtoniano não é capaz de explicar.

## A Difração da Luz

Francesco Maria Grimaldi (1618 – 1663), antes mesmo de Newton, explicou de forma detalhada o fenômeno da **difração da luz**. O estudioso havia observado que mesmo no ar a luz não se propagava em linha reta.

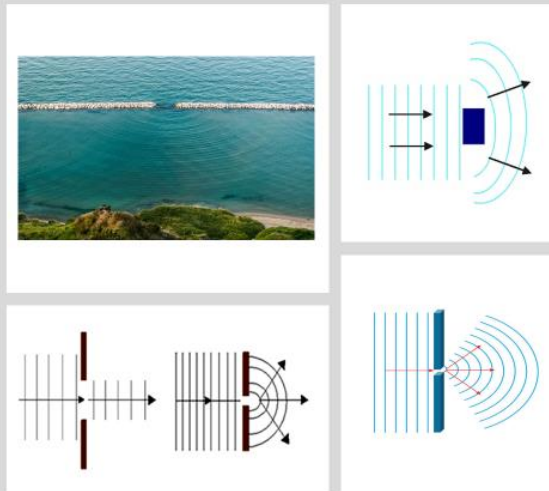


O slide 8 temo como objetivo apresentar o fenômeno da difração da luz observado por Grimaldi. Fenômeno o qual Newton não foi capaz de explicar.



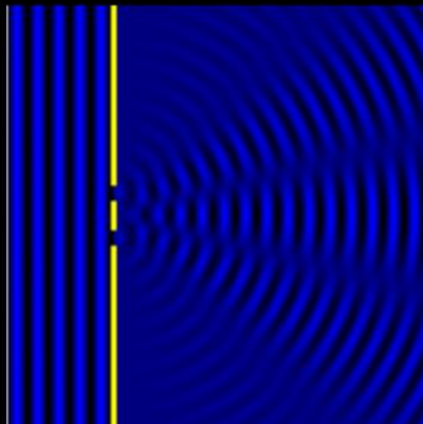
## DIFRAÇÃO

A difração era explicada com analogia das ondas da superfície da água, como as ondas do mar que são difratadas ao passar por um barco ancorado.



O slide 8 e 9 tem como objetivo explicar o que é difração de ondas.

## DIFRAÇÃO



Fonte: Wikipédia (2018)

## O Modelo Ondulatório

No século XVII, o cientista holandês Christian Huygens (1629-1695) propôs a teoria a qual a luz se propaga no espaço por meio de ondas, de modo análogo ao som.

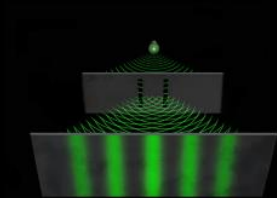


Em sua teoria a luz excita ondas elementares em cada ponto do espaço, explicando assim a velocidade reduzida da luz em meios mais densos.

O slide 10 tem como objetivo apresentar o modelo ondulatório da Luz defendido por Christian Huygens.

## O Modelo Ondulatória

Por volta de 1801, uma experiência realizada por Thomas Young (1773-1829) resolveu a questão favoravelmente a Huygens.

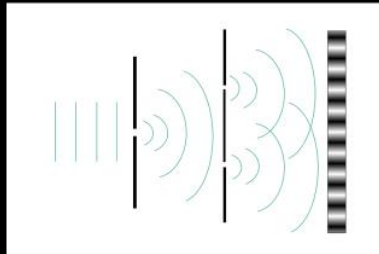
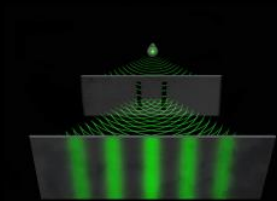


A experiência de Young provou que a luz era uma onda, porque os fenômenos da difração e da interferência, por ele descobertos, eram características exclusivamente ondulatórias.

Com o slide 11, o professor apresentará o experimento da dupla-fenda de Young, bem como sua importância para o fortalecimento para a teoria ondulatória.

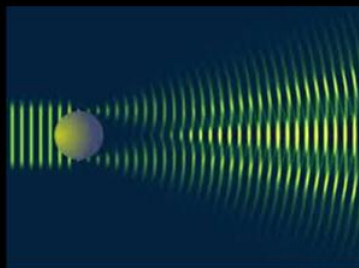
## Interferências de Ondas

A **interferência de ondas** consiste na superposição de duas **ondas** no espaço podendo ser classificado como **interferência** construtiva ou destrutiva.



Os slides 12 e 13 tem como objetivo apresentar o fenômeno da interferência observado no experimento da dupla-fenda.

## Difração e Interferência





## Século XIX

Até meados do século XIX a teoria newtoniana dominava os círculos científicos franceses.

Entretanto, alguns comportamentos, como a difração, apresentados pela luz ainda geravam questionamentos para a natureza corpuscular.

Sendo assim, em 1819 a Academia, a fim de provar que a teoria ondulatória da luz estava errada, propôs um concurso que iria premiar o melhor trabalho que explicasse a difração da luz.

## O Ponto Claro de Fresnel/Poisson

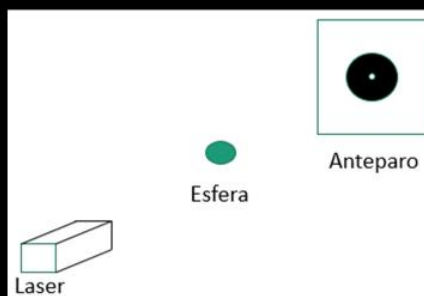
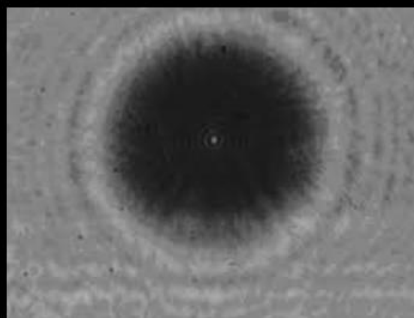
O jovem engenheiro militar Augustin Fresnel (1788 – 1827), defensor da teoria ondulatória da luz, submeteu seu artigo à Academia Francesa de Ciências descrevendo os experimentos que realizara.



O físico Siméon Denis Poisson (1781 – 1842) afirmava que se a teoria de Fresnel estivesse correta, as ondas luminosas ao passarem pela borda de uma pequena esfera, convergiriam para sombra, porém formaria um ponto luminoso no centro da sombra, que aparentemente era um fato absurdo.

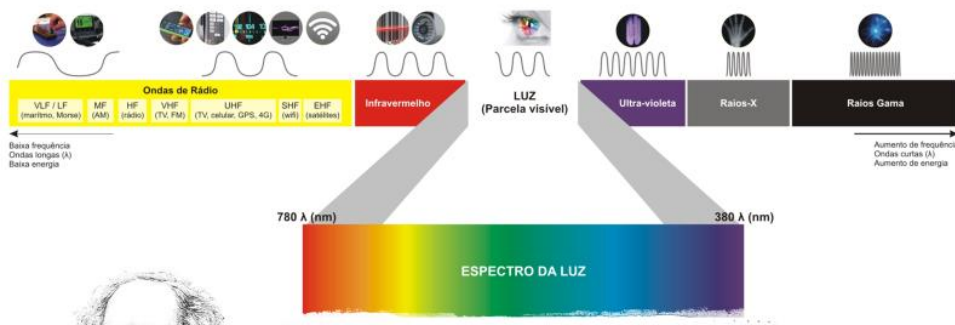
Os slides 14, 15 e 16 tem como objetivo apresentar o problema encontrado pela academia para explicar a difração da luz e a verificação experimental do ponto claro de Fresnel.

## O Ponto Claro de Fresnel/Poisson



VAMOS VERIFICAR!

O slide 17 tem como objetivo convidar os alunos para verificar experimentalmente o ponto claro de Fresnel.



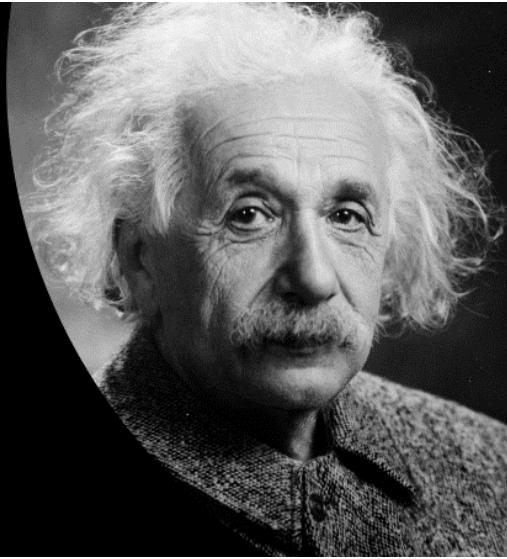
Em 1860, o físico escocês James Clerk Maxwell (1831-1879) apresenta a teoria ondulatória eletromagnética segundo a qual a luz é uma onda eletromagnética.

O slide 18 tem como objetivo mostrar a consolidação da compreensão da luz como onda eletromagnética e a Teoria de Maxwell.

## Dupla Natureza

Em 1905, o físico alemão Albert Einstein (1879 – 1955) explica o efeito fotoelétrico, inicialmente observado por Heinrich Rudolf Hertz em 1887, retomando o aspecto corpuscular, porém diferente do caráter mecânico proposto por Newton.

Para Einstein, a luz, e toda onda eletromagnética é absorvida ou emitida em porções contínuas transportando quantidades de energia.



O slide 19 tem como objetivo fazer um breve comentário sobre a explicação de Einstein para o Efeito fotoelétrico e a dualidade onda-partícula.

## AVANÇO TECNOLÓGICO

Nos últimos anos, foram alcançados significativos avanços tecnológicos baseados na óptica. Suas aplicações podem ser encontradas na medicina e saúde, telecomunicações, astronomia e energia. Pensar melhor sobre este slide.



Fibra Óptica. Fonte: Ispblog (2018)



Painéis Solares. Fonte: Portal Energia (2018).



Telescópio Yepun. Fonte: ESO (2018).

O slide 20 tem como objetivo apresentar algumas aplicações tecnológicas utilizando a luz.



## Apêndice C

### Texto para o Professor

**Autor: Felipe Ferreira**

#### ***O PROBLEMA HISTÓRICO DA NATUREZA DA LUZ***

Luz - o que ilumina os objetos e o torna visíveis; claridade que o Sol espalha sobre a Terra; brilho; cintilação...

Estas são algumas definições que encontramos para Luz nos dicionários de língua portuguesa. Tal palavra pode ter diferentes significados, entretanto como entendemos a luz através de aspectos científicos?

A vida na Terra está diretamente relacionada com a presença de luz. A vida animal depende da vegetal que por sua vez precisa da luz para produzir energia através da fotossíntese. Na ausência de luz, a cadeia alimentar é interrompida. Resumidamente, pode-se dizer que a luz está presente em todas as atividades do cotidiano humano em diferentes fenômenos; entretanto, compreensões sobre sua natureza sempre foi tema de grandes discussões e controvérsias na comunidade científica.

Na antiguidade tinha-se a preocupação em compreender o que havia no espaço entre os olhos e o objeto visto. Os filósofos gregos apoiavam o modelo no qual a luz seria composta por corpúsculos. Dentre as ideias defendidas na Grécia antiga, acreditava-se em raios visuais no qual os olhos emitiam partículas luminosas que nos permitia enxergar os objetos.

A contribuição dos gregos para a natureza da luz apresentava um cunho metafísico, entretanto o modelo defendido por eles implicou na definição da trajetória retilínea de raios luminosos levando assim o desenvolvimento de estudos relacionados a óptica geométrica.

No século XI, o cientista árabe Ibn al-Haitham (963–1039), conhecido na Europa como Alhazen, rejeitou a ideia de raio visual para explicar fenômenos como a refração da luz do sol e reflexão em espelhos. Sendo assim uma figura de grande importância para o estudo da óptica desde a antiguidade até o século XVII.

Os séculos XVI e XVII, período renascentista, foram marcados pela invenção de instrumentos ópticos. Neste período a óptica teve um desenvolvimento muito rápido e suas propriedades físicas passaram a ser compreendidas. Por ter sido um período rico em experimentação, uma consequência foi a invenção do telescópio e seu aperfeiçoamento. Em 1609, Galileu Galilei (1564 – 1642) construiu seu próprio telescópio permitindo-lhe fazer observações e descobertas astronômicas fundamentando eventualmente as ideias de Copérnico para o Heliocentrismo. Johannes Kepler (1571-1630) explicou o princípio que envolvia a utilização de lentes em microscópios e com o telescópio descobriu a lei do movimento planetário. A essa altura, muito se discutia sobre a geometria da luz e a utilização das lentes, entretanto, pouco se sabia sobre sua natureza.

Neste contexto, os estudos relacionados a natureza da luz despertaram o interesse de Isaac Newton (1642-1727) que começou seus estudos em óptica por volta de 1666, estudando a dispersão da luz branca concluindo que a luz solar era constituída por luz de diferentes cores. Em sua obra, *Opticks* (1704), Newton defendeu a ideia de que a luz é constituída por corpúsculos

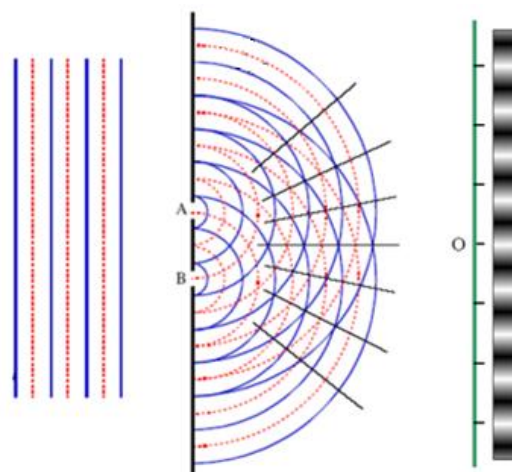




observado inicialmente pelo monge Francesco Maria Grimaldi em 1665.

A fim de explicar os fenômenos descritos, físico holandês Christiaan Huygens formulou uma hipótese de que a luz era uma onda longitudinal (que ondula na direção de seu deslocamento), semelhante às ondas sonoras. Sua concepção exigia um meio de propagação que permeie o universo, o hipotético éter. Com seu modelo, ele foi capaz de demonstrar as leis da reflexão e refração da luz e chegou a conclusão de que a velocidade da luz na água era menor do que no ar, contradizendo a hipótese de Newton, defensor da teoria corpuscular. Para a refração da luz, o físico holandês defendeu que a velocidade da luz diminui em meios mais densos em que os múltiplos pontos de emissão na interface produzem uma onda que se aproxima da direção normal. Desta forma, em seu modelo, a matéria interage com o éter para modificar a velocidade da luz.

Dentre os adeptos da teórica ondulatória, destacamos o físico e médico inglês Thomas Young que apresentara seus trabalhos à Royal Society sobre óptica. Estimulado pelas experiências ligadas a interferência de ondas de água e de ondas sonoras, Young cogitou a hipótese de que o mesmo poderia ocorrer para a luz. Em seu famoso experimento da dupla fenda realizado em 1802, Young fez um pincel de luz monocromático incidir sobre uma tela opaca com uma estreita fenda. A luz ao atingir esta fenda, se espalha sofrendo difração obtendo uma figura de interferência luminosa composta por faixas claras e escuras, alternadamente. Desta maneira, Young demonstrou que a luz possuía natureza ondulatória, pois os fenômenos de interferência e difração observados experimentalmente são de caráter exclusivamente ondulatório.

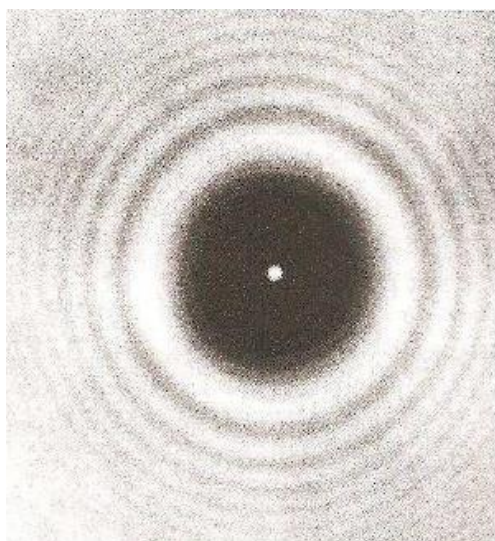


Experimento da Dupla-Fenda de Young

No entanto, a teoria de Young enfrentou grande oposição do meio científico devido às suas ideias, pois a teoria ondulatória da luz encontrava grande contestação por partidários da teoria corpuscular newtoniana. Neste contexto, a Academia Francesa de Ciência promoveu em 1819 um concurso a fim de premiar o melhor trabalho sobre a difração da luz com o objetivo de provar que a teoria ondulatória estava errada. Concorrendo ao prêmio, físico e engenheiro francês Augustin-Jean Fresnel apresentou seu engenhoso trabalho defendendo o caráter ondulatório da luz.

Ao apresentar sua teoria em uma das sessões da Academia, Fresnel foi contestado pelos membros do Comitê de Julgamento do Prêmio. A academia convencida pela teoria corpuscular de Newton, chamou a atenção para o estranho fato de que, se a teoria de Fresnel estivesse correta, quando a luz incidisse obliquamente sobre um objeto circular, ela deveria difratar formando um máximo central em sua sombra devido à geometria. Desta forma, a fim de confirmar ou não tal conclusão, o dispositivo experimental foi montado conseguindo reproduzir o ponto brilhante que ficou conhecido como “Ponto Claro de Fresnel”, fortalecendo

assim a teoria ondulatória da luz dando o prêmio a Fresnel.



Ponto Claro de Fresnel. Fonte: Walker, Halliday & Resnick (2009).

Neste contexto, podemos presumir que a teoria ondulatória da luz se apresentava praticamente consolidada. Ainda no século XIX, o físico e matemático britânico James Clerk Maxwell (1831 – 1879), influenciado

pelos trabalhos de Michael Faraday (1791 – 1867) sobre as relações entre a eletricidade e o magnetismo, derivou as equações fundamentais do eletromagnetismo implicando-se na existência de ondas eletromagnéticas transversais que se propagam em uma velocidade fixa, a velocidade da luz. Desta forma, Maxwell apresentou uma teoria detalhada da luz como uma onda eletromagnética, ou seja, a luz corresponde à propagação de ondas elétricas e magnéticas.

Influenciado pelos trabalhos de Maxwell, Heinrich Hertz (1857–1894) veio em 1888 a confirmar experimentalmente a teoria eletromagnética da luz ao gerar e detectar ondas de rádio, mostrando que elas possuíam propriedades análogas as da luz. Hertz, demonstrou, por meio de suas experiências engenhosas, que as ondas eletromagnéticas se comportam de maneira semelhante às ondas luminosas, fato previsto pela teoria de Maxwell, mas que aguardava comprovação experimental.

### Referências:

BASSALO, J. M. F. A crônica da ótica clássica. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), v. 3, n. 3, p. 138–159, 1986.

BASSALO, J. M. F. A crônica da ótica clássica: Parte II. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), v. 4, n. 3, p. 140-150, 1987.

BASSALO, J. M. F. A crônica da ótica clássica: Parte III. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), v. 6, n. 1, p. 37–58, 1989.

BASSALO, J. M. F. Fresnel: O formulador matemático da teoria ondulatória da luz. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 5, n. 2, p. 79–87, 1988.

SALVETTI, A.R. **A história da luz**. 2 ed. São Paulo: Editora livraria da Física, 2008.

WALKER, J.; HALLIDAY, D.; RESNICK, R. **Fundamentos de Física volume 4: Óptica e Física Moderna**. Rio de Janeiro: LTC, 2009.



## Apêndice D

### Avaliação Somativa

Nome: \_\_\_\_\_

Turma: \_\_\_\_\_

Data: \_\_\_\_\_

#### AVALIAÇÃO FINAL

**Questão 1.** Segundo o modelo proposto por Isaac Newton, A luz é formada por pequenos corpúsculos propagando em linha reta. Quais são fenômenos os quais o modelo de Newton é adequado?

---



---



---



---

**Questão 2.** Alguns fenômenos observados com a luz não podem ser explicados através do modelo corpuscular proposto por Isaac Newton. Quais são esses fenômenos? Por que a teoria corpuscular não é capaz de explicá-los?

---



---



---



---

**Questão 3.** Na figura 1, temos uma lâmpada posicionada em frente a uma criança. Na figura 2, temos luz monocromática passando por uma fenda cuja largura é da mesma ordem de grandeza do comprimento de onda da luz.

- A) Com auxílio das figuras, represente as regiões (chão/anteparo) onde a luz chega e não chega.

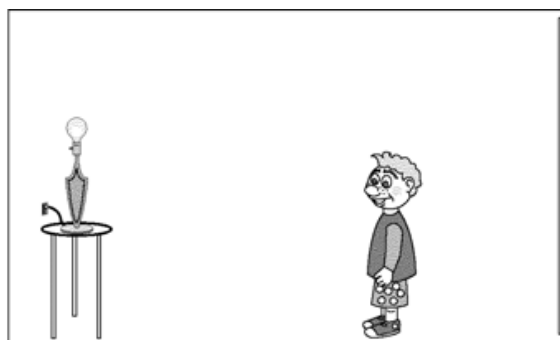


Figura 1. FONTE: MÉTIOUI, A.; TRUDEL, L, 2012

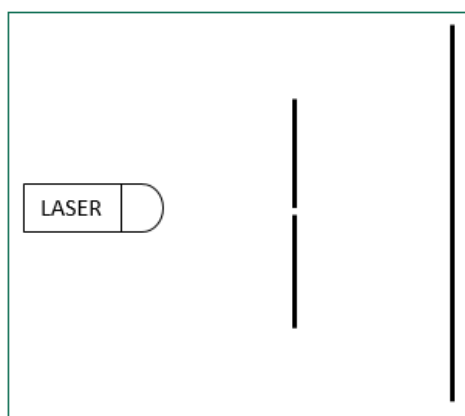


Figura 2

B) O comportamento da luz em cada caso é diferente? Explique o motivo.

---



---



---



---

**Questão 4.** Alguns fenômenos observados fortaleceram a modelo ondulatório da luz. Quais são esses fenômenos, em que circunstâncias eles podem ser observados?

---



---



---



---

**Questão 5.** Explique de que maneira o experimento do ponto claro de Fresnel foi crucial para a aceitação da natureza ondulatória da luz pela comunidade científica.

---



---



---



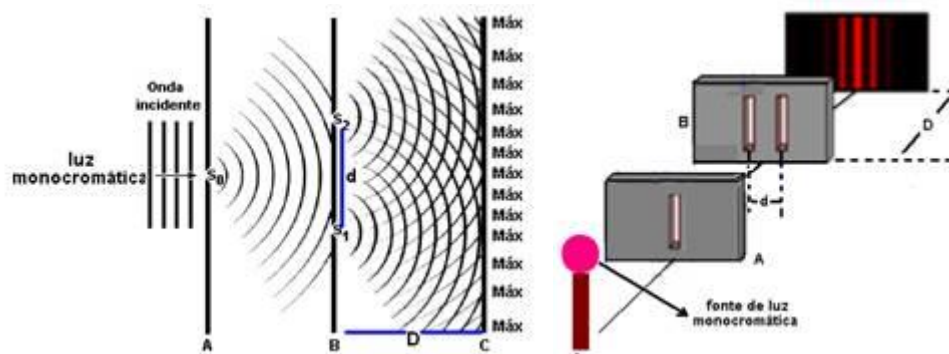
---

**Questão 6.** (Facid – PI) O físico e médico inglês Thomas Young (1773 – 1829) fez um pincel de luz monocromática (uma só cor) incidir sobre uma tela opaca (obstáculo) A, uma estreita fenda  $S_0$ .

A luz que atinge essa fenda se espalha sofrendo difração. Atrás da primeira tela, ele colocou outra tela opaca B, com duas fendas muito estreitas e convenientemente próxima ( $S_1$  e  $S_2$ ), sendo que cada uma delas funciona como fonte primária de ondas exatamente iguais (mesma frequência, mesmo comprimento de onda, mesma velocidade e em fase), ou seja, ondas coerentes, condições necessárias para que ocorra interferência.

Em seguida, a uma distância  $d$  do obstáculo B, o cientista colocou o anteparo C (alvo, película fotográfica), de tal modo que a separação  $d$  entre as fendas S1 e S2 é muito menor que a distância entre o obstáculo B e a tela C.

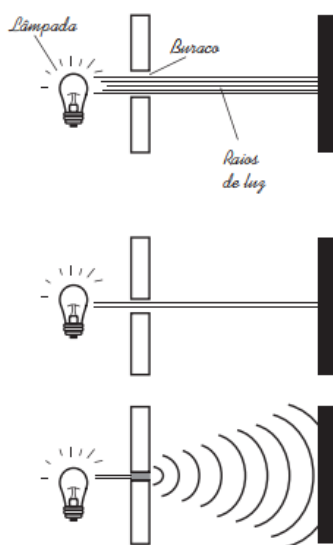
Então ele observou na tela C uma figura de interferência formada por sombras brilhantes coloridas (interferência construtiva) alternada por franjas escuras (interferência destrutiva). O padrão de faixas de luz projetada na tela é chamado franjas de interferência.



Com relação ao experimento do Young, é correto afirmar que:

- A luz possuía natureza ondulatória, pois os fenômenos de difração e interferência descritos nessa experiência são de características exclusivamente ondulatórias.
- A luz possuía natureza corpuscular, pois os fenômenos de difração e interferência descritos nessa experiência são de características exclusivamente ondulatórias.
- Através da experiência se demonstrou que a luz possuía natureza ondulatória, pois os fenômenos de refração e interferência descritos nessa experiência são de características exclusivamente ondulatórias.
- A luz não possuía natureza ondulatória, pois os fenômenos de difração e interferência descritos nessa experiência são de características exclusivamente corpusculares.
- A luz possuía natureza corpuscular, pois os fenômenos de refração e interferência descritos nessa experiência são de características exclusivamente corpusculares.

**Questão 7.** (ENEM) o diminuir o tamanho de um orifício atravessado por um feixe de luz, passa menos luz por intervalo de tempo, e próximo da situação de completo fechamento do orifício, verifica-se que a luz apresenta um comportamento como a ilustrado na figura. Sabe-se que o som, dentro de suas particularidades, também pode se comportar dessa forma.



FIOLHAIS, C. Física divertida. Brasília: UnB, 2000 (adaptado).

Em qual das situações a seguir está representado o fenômeno descrito no texto?

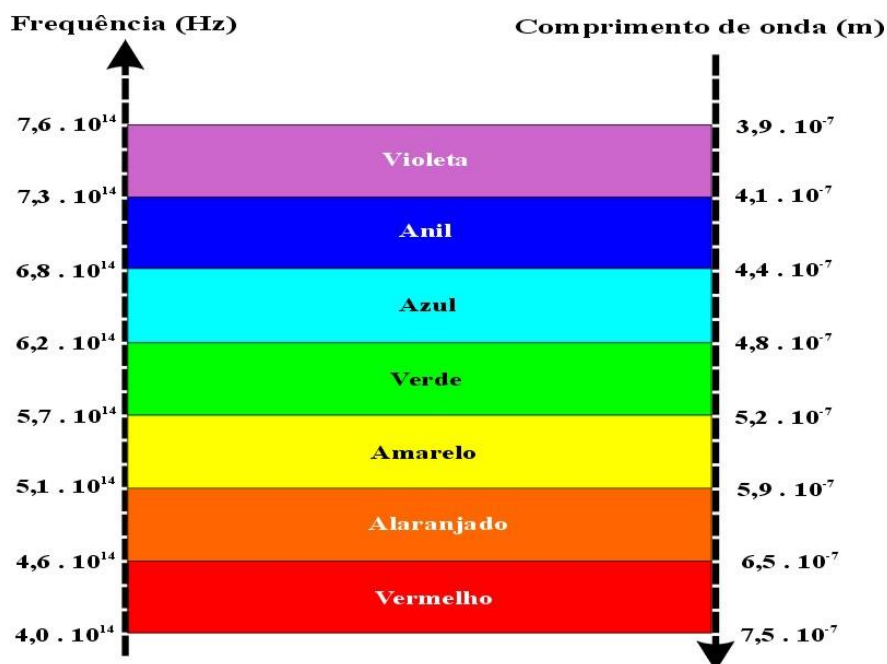
- Ao se esconder atrás de um muro, um menino ouve a conversa de seus colegas.
- Ao gritar diante de um desfiladero, uma pessoa ouve a repetição do seu próprio grito.
- Ao encostar o ouvido no chão, um homem percebe o som de uma locomotiva antes de ouvi-lo pelo ar.
- Ao ouvir uma ambulância se aproximando, uma pessoa percebe o som mais agudo do que quando aquela se afasta.
- Ao emitir uma nota musical muito aguda, uma cantora de ópera faz com que uma taça de cristal se despedace.

**Questão 8.** (ENEM) Em viagens de avião, é solicitado aos passageiros o desligamento de todos os aparelhos cujo funcionamento envolva a emissão ou a recepção de ondas eletromagnéticas. O procedimento é utilizado para eliminar fontes de radiação que possam interferir nas comunicações via rádio dos pilotos com a torre de controle. A propriedade das ondas emitidas que justifica o procedimento adotado é o fato de:

- terem fases opostas.
- serem ambas audíveis.
- terem intensidades inversas.
- serem de mesma amplitude.
- terem frequências próximas.

**Questão 9.** Uma luz monocromática incide sobre um fio de cabelo de diâmetro de  $58\mu\text{m}$  produzindo um padrão de difração em um anteparo posicionado a  $1,0\text{ m}$  de distância. Sabendo que o primeiro máximo dista  $1,20\text{ cm}$  do máximo central, calcule o comprimento de onda da luz incidente.

**Questão 10.** Na imagem a seguir tem-se o espectro da luz visível e os valores aproximados de frequência e comprimento de onda das cores. Utilizando este espectro, determine a cor da luz monocromática utilizada na questão anterior?



**Questão 11.** Você julga importante o estudo da Física no Ensino Médio? Justifique sua resposta.

---



---



---



---

**Questão 12.** Nas aulas de Física quais as maiores dificuldades que você encontra?

---



---



---



---

**Questão 13.** Na atividade desenvolvida, quais foram, na sua opinião, os pontos positivos e negativos?

---



---



---



---

**Questão 14.** Quais são as suas sugestões para que as aulas de Física sejam mais interessantes?

---



---



---



---



---

## Referências

- BASSALO, J. M. F. A crônica da ótica clássica. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), v. 3, n. 3, p. 138–159, 1986.
- BASSALO, J. M. F. A crônica da ótica clássica: Parte II. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), v. 4, n. 3, p. 140–150, 1987.
- BASSALO, J. M. F. A crônica da ótica clássica: Parte III. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), v. 6, n. 1, p. 37–58, 1989.
- BASSALO, J. M. F. Fresnel: O formulador matemático da teoria ondulatória da luz. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 5, n. 2, p. 79–87, 1988.
- BELLUCCO, A.; CARVALHO, A. M. P. de. Uma proposta de sequência de ensino investigativa sobre quantidade de movimento, sua conservação e as leis de newton. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), v. 31, n. 1, p. 30–59, 2014.
- BONADIMAN, H. *et al.* Difusão e Popularização da Ciência: Uma Experiência em Física que Deu Certo. In: **XVI Simpósio Nacional de Ensino de Física**. Rio de Janeiro, 2005.
- BORGES, A. T. Novos rumos para o laboratório escolar de ciências. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 19, n. 3, p. 291–313, 2002.
- BRASIL, **Base Nacional Comum Curricular (BNCC)**. Brasília: MEC, Secretaria da Educação Básica, 2018.
- BRASIL. **Ciências da natureza, matemática e suas tecnologias: Orientações educacionais complementares aos parâmetros curriculares nacionais - PCN+**. Brasília: MEC, Secretaria da Educação Básica, 2006.
- CAMPOS, M.C.C.; NIGRO, R. G. **Didática de ciências: o ensino-aprendizagem como investigação**. São Paulo: FTD, p. 138-160, 1999.
- CARVALHO, A.M.P. de. Ensino e aprendizagem de Ciências: referenciais teóricos e dados empíricos das sequências de ensino investigativas (SEI). **O uno e o diverso na educação**. Uberlândia: EDUFU, p. 253-266, 2011
- CARVALHO, A.M.P. Las prácticas experimentales en el proceso de enculturación científica. **Enseñar ciencias en el nuevo milenio: retos y propuestas** (2006).
- CARVALHO, A. M. P. d. *et al.* Ensino de ciências por investigação: Condições para implementação em sala de aula. **São Paulo: Cengage Learning**, p. 1–20, 2013.
- CHASSOT, A. **Alfabetização científica: uma possibilidade para a inclusão social**. SCIELO Brasil, 2006.

COHEN, Bernard; WESTFALL, Richard S. Newton – textos, antecedentes, comentários, [Trad. RIBEIRO, Vera]. **UERJ**, 1995

COUNCIL, N. R. *et al.* **Inquiry and the national science education standards: A guide for teaching and learning**. National Academies Press, 2000.

Fowles, G.R. **Introduction to Modern Optics**. Holt, Rinehart and Winston, 2 ed. New York, 1975.

FREIRE, P. Educação e conscientização. **Obra de Paulo Freire; Série Livros**, 1967.

GODOY, A. S. Introdução à pesquisa qualitativa e suas possibilidades. **Revista de administração de empresas**, v. 35, n. 2, p. 57-63, 1995.

LIMA, D.C. **Evolução histórica do conceito físico da luz**. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal de Rondônia, 2012.

NEWMAN JR, William J. et al. Dilemmas of teaching inquiry in elementary science methods. **Journal of Science teacher education**, v. 15, n. 4, p. 257-279, 2004.

KRASILCHIK, Myriam. Reformas e realidade: o caso do ensino das ciências. **São Paulo em perspectiva**, v. 14, n. 1, p. 85-93, 2000.

MACHADO, V. F.; SASSERON, L. H. As perguntas em aulas investigativas de ciências: a construção teórica de categorias. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 12, n. 2, p. 29–44, 2012.

MÉTIOUI, A.; TRUDEL, L. The Model of the Rectilinear Propagation of Light and the Study of the Variation of the Size of a Shadow. **China Education Review**. p. 173 – 186, 2012.

MICHA, D.N. *et al.* Enxergando no escuro: a física do invisível. **Física na Escola**. v. 12, n. 2, p. 19 – 23, 2011.

MOTOKANE, M. T. Sequências didáticas investigativas e argumentação no ensino de ecologia. **Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências**, Belo Horizonte, v. 17, n. spe, p. 115–138, 2015.

MOURA, B.; SILVA, C. Os “anéis de newton” e a teoria corpuscular da luz. **Atas do X EPEF: EPEF**, v. 20.

MOURA, B. A.; SILVA, C. C. Newton antecipou o conceito de dualidade onda partícula da luz? **Latin-American Journal of Physics Education**, Instituto Politécnico Nacional, v. 2, n. 3, p. 13, 2008.

SILVA, A.P. **Uma breve história da óptica**. Tese (Doutorado) — Universidade Federal de Uberlândia. 2006

NEWTON, I. *et al.* **Opticks: Or a Treatise of the Reflection, Refractions, Inflections and Colours of Light.** Dover, 1952.

NUSSENZVEIG, H. M. **Curso de Física Básica 4: Ótica, Relatividade, Física Quântica.** São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda, 1998.

RATCLIFFE, M.; GRACE, M. **Science education for citizenship: Teaching socio-scientific issues.** McGraw-Hill Education (UK), 2003.

SASSERON, L. H. Interações discursivas e investigação em sala de aula: o papel do professor. **Ensino de ciências por investigação: condições para implementação em sala de aula.** São Paulo: Cengage Learning, p. 41–62, 2013.

SASSERON, L. H.; CARVALHO, A. M. P. de. Almejando a alfabetização científica no ensino fundamental: a proposição e a procura de indicadores do processo. **Investigações em ensino de ciências**, v. 13, n. 3, p. 333–352, 2016.

SCARPA, D. L. et al. O ensino por investigação e a argumentação em aulas de ciências naturais. **Tópicos Educacionais-ISSN: 2448-0215**, v. 23, n. 1.

SOLINO, A. P.; SASSERON, L. H. Investigando a significação de problemas em seqüências de ensino investigativa. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 23, n. 2, 2018.

SOUZA, L.A. *et al.* Discutindo a natureza ondulatória da luz e o modelo da óptica geométrica através de uma atividade experimental de baixo custo. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 37, n. 4, 2015.

TERRAZAN, E. A.; HERNANDES, C.; CLEMENT, L. Uma atividade experimental investigativa de roteiro aberto partindo de situações do cotidiano. **ENCONTRO DE PESQUISA EM ENSINO DE FÍSICA–EPEF, VIII**, 2002.

VASCONCELOS, C. et al. Estado da arte na resolução de problemas em educação em ciência. **Revista electrónica de enseñanza de las ciencias**, v. 6, n. 2, p. 235–245, 2007.

VENTURA, P. C. S.; NASCIMENTO, S. S. do. Laboratório não estruturado: uma abordagem do ensino experimental de física. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), v. 9, n. 1, p. 54–60, 1992.

VYGOTSKY, L. S.; IVIC, I.; LEVSEMIONOVICH, V. Recife: Fundação Joaquim Nabuco. Editora: Massangana, 2010.

VYGOTSKY, L. S. et al. **Pensamento e linguagem.** [S.l.]: Martins Fontes São Paulo, 2008.

WALKER, J.; HALLIDAY, D.; RESNICK, R. **Fundamentos de Física volume 4: Óptica e Física Moderna.** Rio de Janeiro: LTC, 2009.



WATSON, J. R.; SWAIN, J. R.; MCROBBIE, C. Students' discussions in practical scientific inquiries. **International Journal of Science Education**, Taylor & Francis, v. 26, n. 1, p. 25–45, 2004.

WONG, D.; PUGH, K.; UNIVERSITY, D. I. G. at M. S. Learning science: A deweyan perspective. **Journal of research in science teaching**, Wiley Online Library, v. 38, n. 3, p. 317–336, 2001.

ZÔMPERO, A. **Significados de fotossíntese elaborados por alunos do ensino fundamental a partir de atividades investigativas mediadas por multimodos de representação**. 2012. Tese (Doutorado) — Tese (Doutorado em Ensino de Ciências e Educação Matemática) – Universidade Estadual de Londrina, 2012.

ZOMPERO, A. de F.; LABURÚ, C. E. As atividades de investigação no ensino de ciências na perspectiva da teoria da aprendizagem significativa. **Revista electrónica de investigación en educación en ciencias**, Unicen, v. 5, n. 2, p. 12–19, 2010.