



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA  
CAMPUS ARARANGUÁ

CASSIANA BARRETO RIPPEL

**UMA ESTRATÉGIA PARA APRENDIZAGEM  
SIGNIFICATIVA: ESTUDO DAS PROPRIEDADES DA LUZ ATRAVÉS  
DE EXPERIMENTOS DE BAIXO CUSTO PARA O ENSINO MÉDIO**

ARARANGUÁ - SC  
2020

Cassiana Barreto Rippel

**UMA ESTRATÉGIA PARA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA:  
ESTUDO DAS PROPRIEDADES DA LUZ ATRAVÉS DE  
EXPERIMENTOS DE BAIXO CUSTO PARA O ENSINO MÉDIO**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal de Santa Catarina - Campus Araranguá no Curso de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF) para a obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador: Prof. Dr. Leandro Batirolla Krott

Araranguá - SC  
2020

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática da  
Biblioteca Universitária da UFSC.

Barreto Rippel, Cassiana

UMA ESTRATÉGIA PARA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA: ESTUDO  
DAS PROPRIEDADES DA LUZ ATRAVÉS DE EXPERIMENTOS DE BAIXO  
CUSTO PARA O ENSINO MÉDIO / Cassiana Barreto Rippel ;  
orientador, Leandro Batirolla Krott, 2020. 107 p.

Dissertação (mestrado profissional) - Universidade  
Federal de Santa Catarina, Campus Araranguá, Programa de Pós-  
Graduação em Ensino de Física, Araranguá, 2020.

Inclui referências.

1. Ensino de Física. 2. Ensino de Física. 3. Experimentação  
na aula de Física. 4. Experimentos de Baixo  
Custo. I. Batirolla Krott, Leandro . II. Universidade  
Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Ensino  
de Física. III. Título.

CASSIANA BARRETO RIPPEL

**UMA ESTRATÉGIA PARA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA: ESTUDO DAS  
PROPRIEDADES DA LUZ ATRAVÉS DE EXPERIMENTOS DE BAIXO CUSTO  
PARA O ENSINO MÉDIO**

O presente trabalho em nível de mestrado foi avaliado e aprovado por banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Prof<sup>a</sup>. Cíntia Barbosa Passos, Dra.  
Instituto Federal Catarinense

Prof Mauricio Girardi, Dr.  
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof<sup>a</sup> Márcia Martins Szortyka, Dra.  
Universidade Federal de Santa Catarina

Certificamos que esta é a versão original e final do trabalho de conclusão que foi julgado adequado para obtenção do título de mestre em Ensino de Física.

---

Prof<sup>a</sup>. Márcia Martins Szortyka, Dra.  
Coordenação do Programa de Pós-Graduação

---

Prof. Leandro Batirolla Krott, Dr.  
Orientador

**AGRADECIMENTOS**

A DEUS por ter me dado saúde e sabedoria para conduzir este trabalho.

Ao meu querido esposo CLAUDINEI pela tolerância e compreensão, e por nossa filha VITÓRIA, que veio ao mundo durante o desenvolvimento deste mestrado.

A minha mãe MARIA APARECIDA pelo apoio de inúmeras formas durante toda minha vida, em especial durante este trabalho, contribuindo com sábias sugestões por ser uma experiente professora da rede pública.

Ao meu orientador LEANDRO BATIROLLA KROTT pela paciência, compreensão e apoio durante uma fase difícil devido a problemas pessoais, mas acima de tudo pela sua orientação precisa e colaboração em todos os momentos.

A todos os professores do programa do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física – MNPEF da Universidade Federal de Santa Catarina, campus de Araranguá, que em muito contribuíram para o meu aprendizado e para a melhoria em minha prática docente.

Ao Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física – MNPEF pela oportunidade.

À Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC que me acolheu.

À Sociedade Brasileira de Física – SBF pelo respaldo dado ao programa.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001

À Escola de Educação Básica Monsenhor Bernardo Peters pela liberdade e confiança no trabalho desenvolvido.

Aos meus alunos da segunda série do ensino médio que abraçaram esta ideia e que me oportunizaram vários momentos de reflexões e aprendizado.

“Feliz aquele que transfere o que sabe e aprende  
o que ensina.”

Cora Coralina

**RESUMO**

Este trabalho relata a busca de evidências de aprendizagem significativa através da aplicação de uma proposta didática abordando tópicos de óptica e das propriedades da luz. A metodologia foi aplicada em uma turma do segundo ano do ensino médio, em uma escola estadual situada no município de Treze de Maio - SC. A finalidade é promover a integração entre a teoria e a prática, com foco em uma aprendizagem significativa, conforme proposto por Ausubel, despertando nos alunos o interesse pela Física. Para tanto, foi produzida uma sequência didática que conta com a parte teórica intercalada de várias práticas experimentais ao longo do processo de aprendizagem. Algumas atividades experimentais serviram de organizadores prévios, com a intenção de conectar os conhecimentos prévios existentes na estrutura cognitiva dos alunos com os subsunçores necessários para o entendimento do material proposto. A fim de contornar a deficiência estrutural das escolas em termos de laboratório, foram propostos experimentos com materiais alternativos ou de baixo custo. Os instrumentos de coleta de dados e verificação da aprendizagem ocorreram através de um questionário aplicado antes e depois da proposta didática, da observação da professora ao comportamento investigativo dos alunos e de registros de atividades em sala de aula. As análises qualitativa e quantitativa dos resultados mostram uma evolução conceitual para todos os assuntos abordados, evidenciando o resultado positivo desta metodologia. Foi possível perceber também que os alunos interagiram mais e obtiveram melhor desempenho quando as práticas experimentais foram construídas e executadas por eles mesmos, e não apenas demonstrativas.

**Palavras-chave:** Aprendizagem Significativa; Práticas Experimentais no Ensino de Física, Experimentos com Materiais de Baixo Custo.

**ABSTRACT**

This dissertation report the search for evidences of meaningful learning through application of ditactic proposal approaching topics of optics and light properties. The methodology was applied in a second year class of High School in a public school located at Treze de Maio-SC. The objective is to promote the integration between the theory and practice, focusing in meaningful learning, as proposed by Ausubel, arousing interest in physics to students. However it was made a following teaching that includes theory merged into many experimental practices throughout the learning process. Some experimental activities were to classify as previous organizers, with the intention of linking previous knowledge in the cognitive structure of the students with the necessary subsunitors for understanding of the proposed material. For the purpose of cover the lag structural of schools in terms of laboratory, experiments using alternative or low cost materials were proposed. The instruments of data collection and learning verification occur through a quiz applied before and after the ditactic proposal, upon the teacher's observation of student's investigative behavior and files of assignments in class. The quantitative and qualitative data analyzes show a significant evolution for all subjects applied, evidencing the positive results of this methodology. Also it was possible realize that the students had more interaction and achieved better development when the experimental practices were made and executed by themselves and not just demonstrated.

**Key words:** Meaningful learning; Experimental practices of physics teaching; Experiments by low cost materials.

## **LISTA DE ILUSTRAÇÕES**



Figura 1: Uma visão esquemática do contínuo aprendizagem significativa-aprendizagem mecânica. ....	17
Figura 2: Representação gráfica da câmara escura .....	26
Figura 3: Representação das leis da reflexão. ....	27
Figura 4: Reversibilidade dos raios luminosos. ....	28
Figura 5: Refração da Luz .....	29
Figura 6: Refração com raio refletido totalmente. ....	31
Figura 7: Representação de um corte transversal em uma fibra óptica. ....	31
Figura 8: Difração atravessando uma fenda. ....	32
Figura 9: Difração da luz atravessando um pequeno obstáculo .....	33
Figura 10: Atividade 1. ....	36
Figura 11: Experimento 2. ....	37
Figura 12: Atividade 3 .....	38
Figura 13: Atividade 4 .....	39
Figura 14: Atividade 5. ....	40
Figura 15: Atividade 6. ....	41
Figura 16: Atividade 7. ....	41
Figura 17: Atividade 8. ....	42
Figura 18: Atividade 9 .....	43
Figura 19: Atividade 10 .....	44
Figura 20: Gráfico das porcentagens de acertos nas questões do pré-teste .....	47
Figura 21: Imagem da questão 1 do pré-teste. ....	47
Figura 22: Imagem da questão 3 do pré-teste. ....	49
Figura 23: Imagem da questão 4 do pré-teste. ....	50
Figura 24: Imagem da questão 4 do pré-teste. ....	51
Figura 25: Imagem da questão 6 do pré-teste. ....	52
Figura 26: Caixa de papelão utilizada na Atividade 1 .....	53
Figura 27: Atividade 2: Comportamento Retilíneo da luz.....	55
Figura 28: Alunos realizando a Atividade 4 .....	58
Figura 29: Alunos Realizando Atividade 6. ....	60
Figura 30: Laser incidindo em um espelho durante a Atividade 6 .....	61
Figura 31: Desenho do aluno como resposta à questão do experimento 6 .....	62
Figura 32: Alunos realizando a Atividade 7. ....	63
Figura 33: Atividade 8 de aplicação da lei de Snell. ....	65

Figura 34: Alunos realizando a Atividade 9: reflexão total na água .....	66
Figura 35: Interferências construtivas e destrutivas obtidas com um fio de cabelo na Atividade Experimental 10. ....	67
Figura 36: Gráfico do índice de questões corretas nas questões do pré-teste e pós-teste .....	69

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>11</b>
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>15</b>
2.1 TEORIA DA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA .....	15
<b>2.1.1 Condições Necessárias e/ou Facilitadoras da Aprendizagem Significativa</b> .....	<b>18</b>
2.2 AULAS EXPERIMENTAIS .....	19
<b>2.2.1 Experimentos de Baixo Custo</b> .....	<b>22</b>
<b>3 PROPRIEDADES DA LUZ</b> .....	<b>24</b>
3.1. CÂMARA ESCURA DE ORIFÍCIO .....	26
3.2. REFLEXÃO .....	27
3.3. REFRAÇÃO .....	28
<b>3.3.1 Leis da Refração</b> .....	<b>28</b>
<b>3.3.2. Ângulo Crítico</b> .....	<b>30</b>
3.4 DIFRAÇÃO .....	32
<b>4. METODOLOGIA</b> .....	<b>34</b>
4.1 O PÚBLICO ALVO .....	34
4.2 O PRODUTO EDUCACIONAL .....	34
4.2.1 <b>Aulas Experimentais</b> .....	35
4.2.1.1 Atividade 1 .....	36
4.2.1.2 Atividade 2 .....	37
4.2.1.3 Atividade 3 .....	38
4.2.1.4 Atividade 4 .....	38
4.2.1.5 Atividade 5 .....	40
4.2.1.6 Atividade 6 .....	40
4.2.1.7 Atividade 7 .....	41
4.2.1.8 Atividade 8 .....	42
4.2.1.9 Atividade 9 .....	43
4.2.1.10 Atividade 10.....	43
4.2 ABORDAGEM QUALITATIVA E QUANTITATIVA .....	44
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	<b>46</b>
5.1 AULA 1: APRESENTAÇÃO E PRÉ-TESTE .....	46

<b>5.1.1 Análise das Respostas do Pré-teste .....</b>	<b>46</b>
5.2 AULA 2: LUZ E VISÃO .....	52
5.3 AULA 3: CARACTERÍSTICAS DA LUZ .....	54
5.4 AULAS 4 E 5. CÂMARA ESCURA DE ORIFÍCIO .....	57
5.5 AULA 6: REFLEXÃO DA LUZ .....	59
5.6. AULA 7: REVERSIBILIDADE DOS RAIOS LUMINOSOS .....	61
5.7. AULA 8: REFRAÇÃO DA LUZ .....	62
5.8. AULA 9: ÂNGULO LIMITE .....	65
5.9. AULA 10: DIFRAÇÃO .....	67
5.10 AULA 11 – DISCUSSÃO SOBRE AS AULAS .....	68
5.11 AULA 12- PÓS-TESTE .....	69
<b>6. CONCLUSÃO .....</b>	<b>72</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>74</b>
APÊNDICE A – PRODUTO EDUCACIONAL: Estudo das propriedades da luz através de experimentos de baixo custo para o ensino médio .....	78
APÊNDICE B – QUESTIONÁRIO PRÉ E PÓS-TESTE .....	103

## 1. INTRODUÇÃO

A inclusão do ensino de ciências nas escolas é um acontecimento consideravelmente recente na história do Brasil. Somente a partir dos anos 1920 que o ensino de ciências começou a aparecer como proposta de inclusão nos currículos escolares (ROSA e ROSA, 2012).

A consolidação do ensino de ciências no Brasil ocorreu após a Segunda Guerra Mundial, no início da década de 50, com a criação do Serviço Nacional de Aprendizagem Comercial (SENAC) e o Instituto Brasileiro de Educação, Ciência e Cultura (IBCEC). Neste período, começaram a se formar grupos de pesquisa em ensino de Física no Brasil, com destaque ao pioneirismo da Universidade Federal do Rio Grande do Sul e da Universidade de São Paulo (NARDI, 2005).

Estes movimentos que aconteceram no Brasil em prol da ciência foram influenciados pelo curso de Física do PSSC (*Physical Science Study Committee*), que foi fundado em 1956 no M.I.T. (*Massachusetts Institute of Technology*), e tinha como objetivo a renovação do ensino de Física nas escolas secundárias de lá. Não foi apenas um material didático inovador, com uma nova abordagem conceitual e também uso de atividades experimentais em sala de aula, mas foi um grande projeto curricular que serviu de inspiração a projetos similares em outras universidades dos Estados Unidos, na Inglaterra e também aqui no Brasil (MOREIRA, 2000).

O Brasil da década de 60, sob forte influência dos Estados Unidos, precisava do conhecimento das áreas de ciência e tecnologia para garantir seu desenvolvimento industrial:

Assim, a década de 1960 foi marcada pela elevação da ciência à condição de fator indispensável para a vida industrial e cultural do país. Na verdade, esse discurso vinha dos Estados Unidos que, nos anos pós-guerra, investiu em ciência, por acreditar ser ela a fonte principal para a melhoria da vida diária e dos caminhos através dos quais as necessidades e os desejos humanos seriam realizados. (ROSA e ROSA, 2012, p. 7)

Rosa e Rosa (2012) continuam seu relato histórico do ensino de Física no Brasil destacando que as décadas de 70 e 80 se caracterizaram pelo ensino profissionalizante, tendo como objetivo principal a entrada rápida dos estudantes no mercado de trabalho. Porém, o ensino tradicional e focado apenas no livro didático ainda predominava, mesmo com a influência do projeto inovador do PSSC. Como resultado, o que se observou foram alunos desmotivados e apáticos às áreas científicas e tecnológicas, comportamentos que se perduram até hoje, devido às práticas pedagógicas ultrapassadas e descontextualizadas.

A fim de sanar estes problemas, a Lei das Diretrizes e Bases da Educação Nacional (LDB) foi reformulada em 1996, e surgiram os Parâmetros Nacionais Curriculares (PCNs), que passaram a nortear o ensino no Brasil tendo como foco a contextualização e interdisciplinaridade (Rosa e Rosa, 2012).

Moreira (2000) ressalta que, embora houvesse a criação de projetos curriculares inovadores, com a introdução de atividades experimentais, estavam faltando orientações a respeito da forma como o aluno iria aprender tais conteúdos. Para ele, este aprendizado deveria acontecer de forma diversificada e heterogênea:

Julgo que é um erro ensinar Física sob um único enfoque, por mais atraente e moderno que seja. Por exemplo, ensinar Física somente sob a ótica da Física do cotidiano é uma distorção porque, em boa medida, aprender Física é, justamente, libertar-se do dia a dia. De modo semelhante, ensinar Física apenas sob a perspectiva histórica, também não me parece uma boa metodologia porque para adquirir/construir conhecimentos o ser humano, normalmente, não precisa descobri-los, nem passar pelo processo histórico de sua construção. Tampouco o microcomputador será um bom recurso metodológico, se for usado com exclusividade, dispensando a interação pessoal, a troca, ou negociação, de significados que é fundamental para um bom ensino de Física (MOREIRA, 2000, p. 95)

Esta ideia de diversificar a forma de ensino é corroborada por outros autores. Nicioli Jr. e Mattos (2012) apontam que não basta ter acesso a livros didáticos com conteúdo bem trabalhado para ter sucesso no processo de ensino-aprendizagem. De acordo com estes autores, é necessário se fazer uma análise mais ampla da chamada cultura escolar, definida por Julia (2001) como sendo um conjunto de normas e condutas desenvolvidas a fim de alcançar o conhecimento. Nesta cultura escolar, a figura do professor está inserida e se manifesta no conteúdo trabalhado e na forma com que este conteúdo está sendo explorado, nas avaliações e nas interações afetivas com os alunos.

Sendo assim, diferentes grupos de pesquisa em ensino de física, espalhados pelas universidades públicas do país, propõem estudar métodos de aprendizagem e inserção dos conteúdos no ensino médio de tal forma que haja interesse e envolvimento dos alunos. Atualmente, todos estes grupos têm uma opinião de consenso: a física, por ser dinâmica e ampla, precisa ser estudada com criatividade e com diversificação de metodologias.

Estudos recentes apontam que existe um ingrediente indispensável para que haja aprendizagem dos conteúdos de Física: envolver o aluno com atividades relacionadas ao seu dia a dia (BEVILACQUA e SILVA, 2007; MORAES e JUNIOR, 2015). Provavelmente este tem sido o principal erro dos atuais educadores de Física (e também dos antigos) nas escolas brasileiras. Acaba-se focando fortemente no desenvolvimento de cálculos e demonstrações de equações, sem fazer a devida interpretação de acordo com o cotidiano dos estudantes.

O atual cenário da educação básica brasileira demonstra a falta de envolvimento dos estudantes com a escola. Quando tratamos das ciências naturais, o assunto traz resultados ainda mais insatisfatórios que as demais áreas. Os alunos se tornam meros expectadores de aulas ministradas com uma metodologia muitas vezes ultrapassada e antiquada para os dias atuais (GONÇALVES *et al.*, 2015)

Esta realidade fica evidente quando analisamos os resultados dos estudantes no Exame Nacional do Ensino Médio (ENEM). No último ENEM, a média de pontos para as ciências da natureza ficou próxima a 477, desempenho considerado insuficiente para ingresso na maior parte das instituições de ensino superior do país. É perceptível também uma grande diferença de pontuação entre as ciências da natureza e as demais áreas do conhecimento. As linguagens, códigos e suas tecnologias, por exemplo, mantiveram uma média de 520 pontos no ENEM (INEP, 2019).

O mesmo é demonstrado por Dutra *et al.* (2019), que analisam o desempenho dos estudantes de institutos federais. O trabalho aponta uma discrepância de pelo menos 20 pontos para baixo na área de ciências da natureza em comparação às demais, o que indica a necessidade de melhoramentos no ensino de ciências.

As aulas da disciplina de Física, em especial, são descontextualizadas e superficiais. Não só isso, mas a memorização e a aprendizagem mecânica dos conteúdos implicam num aprendizado passageiro, que desmotiva os alunos. Preencher a lacuna existente entre os conteúdos teóricos e o cotidiano dos alunos é uma dificuldade inclusive para os próprios professores. A própria formação dos docentes traz estas dificuldades, porque este aprendizado mecânico (behaviorista) também é característico do ensino superior (MOREIRA, 2000).

Muitos professores, preocupados com esta situação, buscam novas alternativas para tornar suas aulas mais dinâmicas e atrativas. Santos *et al.* (2004) apontam que as atividades experimentais são uma maneira eficaz de ensinar e aprender Física, pois proporcionam situações facilitadoras para elaboração e apropriação de novos conceitos. A participação e envolvimento direto dos estudantes na construção e desenvolvimentos dos experimentos são fundamentais para despertar o interesse dos mesmos (QUIRINO e LAVARDA, 2001).

Nas ciências naturais, as atividades experimentais são práticas antigas, porém pouco rotineiras devido a muitos obstáculos estruturais encontrados. Infraestrutura inexistente e falta de formação específica para que os professores consigam lidar adequadamente com os experimentos são dois fatores impeditivos da realização de atividades experimentais no ensino médio. Santos, Piassi e Ferreira (2004) resumem de uma maneira simples tais motivos:

A maior parte dos professores não realiza atividade experimental por que acredita que são muito trabalhosas, exigem tempo excessivo, espaço e materiais específicos. Isso faz com que não se sintam seguros quanto à forma de incorporar este recurso na dinâmica de suas aulas (SANTOS, PIASSI e FERREIRA, 2004, p. 1).

O uso de materiais de baixo custo e largamente encontrados no dia a dia do aluno, não só ajuda a driblar a falta de recursos encontrada nas escolas, mas também coloca o aluno como

agente construtor do conhecimento. Isso porque o estudante consegue perceber a ciência no mundo a sua volta (DUARTE, 2012).

O protagonismo do aluno é defendido por diferentes teorias de aprendizagem, dentre elas, a teoria de aprendizagem significativa de Ausubel. Trata-se de uma teoria cognitivista de construção de conhecimento a partir dos conhecimentos prévios dos alunos fazendo uso de materiais potencialmente significativos (AUSUBEL, 1980).

A presente dissertação será aplicada em uma escola pública do estado de Santa Catarina, que é desprovida de laboratório e materiais para a realização de atividades experimentais na disciplina de Física. Considerando as premissas de que o aluno precisa ser protagonista no processo de ensino-aprendizagem e de que a utilização de atividades de baixo custo servem como solução aos problemas de investimentos encontrados nas escolas, a presente dissertação de mestrado irá propor a elaboração de um produto educacional que visa integrar estes dois fatores.

Fazendo uso desta abordagem, esta dissertação objetiva desenvolver um Produto Educacional englobando a óptica e as propriedades da luz. Assim como avaliar os impactos da utilização desta proposta didática na aprendizagem significativa dos discentes. O material conta com atividades experimentais com materiais de baixo custo e de fácil acesso que nortearam as ações pedagógicas aplicadas.



## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

As dificuldades encontradas atualmente no ensino de ciências, em especial a Física, estão relacionadas diretamente com os conceitos de interdisciplinaridade, conteúdo científico e ferramentas pedagógicas adequadas à realidade do estudante. O desafio consiste em abarcar estes três conceitos ao mesmo tempo, de forma que o aprendizado do indivíduo ocorra de fato. O estudante precisa estar apto a entender o significado e a importância da Física em uma sociedade moderna, seja ele morador da periferia ou de um bairro nobre dos grandes centros. Como é possível alcançar estes objetivos concomitantemente?

As teorias de aprendizagem surgem como visões do ensino, que tentam encaixar da melhor forma possível as necessidades da sociedade com a realidade da sala de aula. Existem diferentes teorias de aprendizagem que podem servir de fundamentação para o processo de ensino-aprendizagem. Estas são embasadas em três correntes filosóficas: o comportamentalismo ou behaviorismo, que baseia o aprendizado naquilo que é observável, com ênfase na repetição e mecanicidade dos fatos; o humanismo, baseado na auto-realização, nos sentimentos e laços sociais e familiares do indivíduo; e, por fim, o cognitivismo ou construtivismo, que consiste na compreensão, construção de significados e armazenamento de informações de maneira organizada (MOREIRA, 1999).

O desenvolvimento desta dissertação terá como base o construtivismo de David Ausubel através de sua teoria de aprendizagem significativa, que será abordada a partir de agora.

### 2.1 TEORIA DA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA

Filho de imigrantes europeus, David Ausubel nasceu em Nova York no ano de 1918. Apesar de formado em medicina, com ênfase em psiquiatria, sua carreira acadêmica teve destaque na área de psicologia educacional, onde se dedicou ao desenvolvimento de sua conhecida teoria de aprendizagem significativa. Após aposentado, voltou seus esforços à psiquiatria e deixou Joseph D. Novak, nascido em 1930, como seu sucessor nos estudos de sua teoria construtivista. Novak teve papel fundamental na divulgação e no aprimoramento da teoria de aprendizagem significativa inicialmente proposta por Ausubel (MOREIRA, 1999).

Na teoria da aprendizagem significativa de Ausubel-Novak, a articulação entre os conceitos de estrutura cognitiva e aprendizagem se faz necessária. Entende-se por estrutura cognitiva como o sendo o conteúdo armazenado e organizado na mente do indivíduo, enquanto que aprendizagem se refere à ampliação dessa estrutura cognitiva (PRÄS, 2012).

A teoria de aprendizagem significativa de Ausubel-Novak tem como fundamento a concepção de que o conhecimento é construído a partir daquilo que o indivíduo já sabe. Ou seja, a nova informação interage com o conhecimento já existente na estrutura cognitiva do indivíduo, enriquecendo-o e tornando-o estável (MOREIRA, 2016a). Obviamente, para que isto ocorra, o educador precisa identificar no indivíduo quais são os elementos prévios que compõem sua estrutura cognitiva, denominados por Ausubel de “subsunçores”. A definição de Ostermann e Cavalcanti (2011) é completa e engloba estes conceitos:

[...] a nova informação interage com uma estrutura de conhecimento específica, a qual Ausubel chama de “subsunçor”, existente na estrutura cognitiva de quem aprende. O “subsunçor” é um conceito, uma ideia, uma proposição já existente na estrutura cognitiva, capaz de servir de “ancoradouro” a uma nova informação de modo que ela adquira, assim, significado para o indivíduo: a aprendizagem significativa ocorre quando a nova informação “ancora-se” em conceitos relevantes pré-existentes na estrutura cognitiva. (OSTERMANN e CAVALCANTI, 2011, p. 34).

Moreira (2016a) define a interação entre os conhecimentos novos e prévios como peça-chave para que a aprendizagem significativa aconteça e salienta que isto só é possível se o indivíduo tiver predisposição para aprender. Seguindo a mesma ideia, Präss (2012) destaca que a aprendizagem é significativa quando as ideias novas se relacionam de maneira lógica, explícita e substantiva com as ideias prévias.

Em algumas situações, o aprendiz não trará em sua estrutura cognitiva os subsunçores necessários para uma aprendizagem significativa. Ausubel, Novak e Hanesian (1980) definem o conceito de organizadores prévios como sendo uma ponte entre o que o aprendiz já sabe e aquilo que ele deveria saber (subsunçor). Estas pontes cognitivas devem funcionar como facilitadoras da aprendizagem. São materiais introdutórios, gerais e abstratos, que levam ao desenvolvimento dos subsunçores necessários para aprender o novo conteúdo (MOREIRA, SOUZA e SILVA, 1982).

Organizadores prévios são materiais introdutórios apresentados antes do material de aprendizagem em si. Contrariamente a sumários que são, de um modo geral, apresentados ao mesmo nível de abstração, generalidade e abrangência, simplesmente destacando certos aspectos do assunto, organizadores são apresentados em um nível mais alto de abstração, generalidade e inclusividade. (MOREIRA, 2012a, p. 2).

Os organizadores prévios devem explicitar a relação entre os conhecimentos recém adquiridos e aqueles conhecimentos prévios que o aluno não consegue perceber que estão interligados. Moreira (2012b) destaca a existência de dois tipos de organizadores prévios: expositivo e comparativo. O primeiro define um material não-familiar ao aprendiz, ou seja, um material voltado para quando o aprendiz não possui subsunçores. O segundo define um material familiar, que serve de integração aos subsunçores já existentes.

De um lado totalmente oposto à aprendizagem significativa, está o que Ausubel denominou de aprendizagem mecânica. Esta é caracterizada pela memorização, pela inexistência de interação do novo conhecimento com os subsunçores do indivíduo e pela distribuição arbitrária do conhecimento em sua estrutura cognitiva (MOREIRA, 1999). O indivíduo não consegue utilizar esta aprendizagem mecânica numa situação diferente daquela que lhe foi apresentada (PRÄSS, 2012). Tomando como exemplo os ensinos de Física e Matemática do ensino médio, a aprendizagem mecânica seria a memorização de fórmulas e equações sem o profundo entendimento do real significado delas. É aquele conteúdo que o aprendiz esquece e tem a sensação de nunca ter visto antes. Mas vale ressaltar que o esquecimento não é algo exclusivo da aprendizagem mecânica. O esquecimento acontece inclusive na aprendizagem significativa, porém de forma residual (MOREIRA, 2012b).

Mesmo tendo significados e propostas completamente opostos, Ausubel (2003) indica que existe uma conexão contínua entre as aprendizagens mecânica e significativa. Moreira (2012b) denomina esta conexão de “zona cinza”, na qual haveria aprendizagens intermediárias, que começariam de forma mecânica e evoluiriam para a significativa gradualmente. Isto significa que as aprendizagens se complementam, cabendo ao educador conduzir de forma adequada o processo de transformação do conhecimento (MOREIRA, 2016). A Figura 1, retirada de Moreira (2012b), esquematiza este conceito de zona cinza, onde a aprendizagem pode ocorrer pela mistura das aprendizagens mecânica e substantiva.

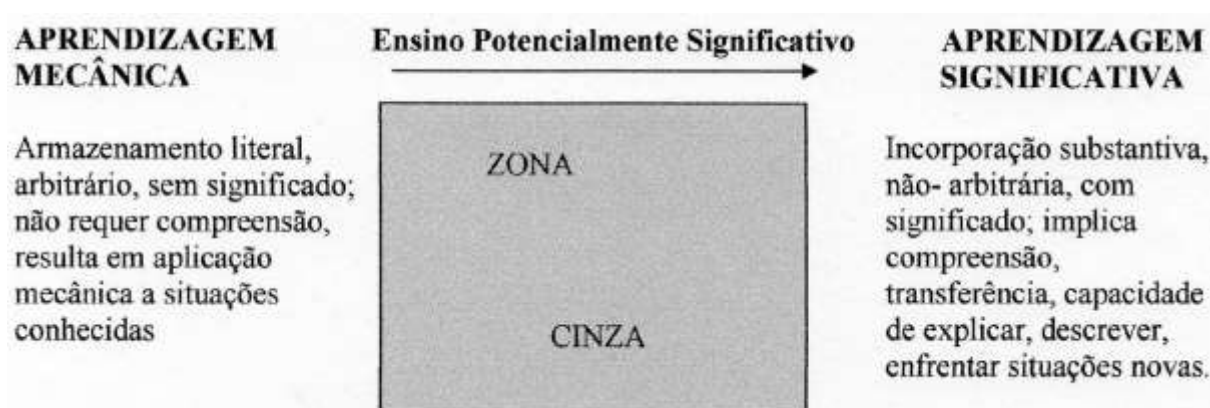


Figura 1: Uma visão esquemática do contínuo aprendizagem significativa-aprendizagem mecânica. Fonte: (MOREIRA, 2012b). Disponível em: <http://moreira.if.ufrgs.br/oqueefinal.pdf>. Acesso em: 10/12/2019.

Dentro da perspectiva de aprendizagem significativa, Ausubel (2003) considera que ela acontece de duas maneiras: por recepção ou por descoberta. Na aprendizagem receptiva o conteúdo é apresentado ao aprendiz de forma substantiva, enquanto que na aprendizagem por descoberta o aprendiz precisa criar soluções para aquilo que ele mesmo está descobrindo. Para

Ausubel, a aprendizagem por recepção se sobressai à aprendizagem por descoberta e, mesmo sendo contra intuitivo, é um processo ativo, onde o indivíduo precisa estar predisposto a aprender, relacionar e estruturar os conhecimentos de tal forma que passam a ter significado (MOREIRA, 2012b).

### **2.1.1 Condições Necessárias e/ou Facilitadoras da Aprendizagem Significativa**

A primeira prerrogativa para que a aprendizagem significativa ocorra, considerando que haja subsunçores para isso, é a predisposição do indivíduo para tal. O aprendiz precisa estar realmente disposto a aprender, comportamento que irá ter consequências inclusive fora do âmbito escolar (JUNIOR, 2014). Conforme Moreira (2012a), a definição de predisposição em aprender seria resumida no seguinte:

Não se trata exatamente de motivação, ou de gostar da matéria. Por alguma razão, o sujeito que aprende deve se predispor a relacionar (diferenciando e integrando) interativamente os novos conhecimentos a sua estrutura cognitiva prévia, modificando-a, enriquecendo-a, elaborando-a e dando significados a esses conhecimentos. (MOREIRA, 2012b, p. 2).

Além da predisposição do indivíduo em aprender, o educador tem um papel fundamental neste processo, em especial quando se trata do ensino de Física. Ostermann e Cavalcanti (2011) destacam que o educador precisa organizar os conceitos (organização sequencial), identificar os subsunçores relevantes no contexto daquilo que está sendo ensinado e utilizar práticas pedagógicas que estejam em sintonia com o processo de internalização do conhecimento do aprendiz. Não só isso, mas a relação afetiva entre educador e aprendiz, que se reflete na demonstração de ética e caráter dentro e fora do ambiente educacional, também interfere na aprendizagem significativa do indivíduo (JUNIOR, 2014).

Outro conceito importante e que serve como facilitador para a aprendizagem significativa do indivíduo é o de organizadores prévios, que já foi mencionado anteriormente. Estes organizadores servem de pontes cognitivas entre o que o aprendiz já sabe e os subsunçores necessários para aquilo que está sendo exposto (Ausubel, Novak e Hanesian, 1980).

Além do mencionado, o educador precisa considerar pelo menos mais três princípios facilitadores: diferenciação progressiva, reconciliação integrativa e consolidação. Segundo Ausubel (2003), diferenciação progressiva consiste no enriquecimento do conhecimento prévio, de forma a aprofundá-lo e levá-lo a maiores níveis de dificuldade. Trata-se de uma aprendizagem significativa subordinada, pois se relaciona de maneira inclusiva com os subsunçores do aprendiz. Por outro lado, a reconciliação integrativa acontece quando há

reordenação ou combinação de conhecimentos prévios (MOREIRA, 2016a). Por último, independente da forma como a interação entre os conhecimentos novos e prévios acontecem, o educador precisa levar em consideração o tempo de aprendizagem do aluno, chamado de consolidação. A progressão somente deve ocorrer quando o aprendiz demonstrar domínio conceitual e aptidão no conteúdo estudado (MOREIRA, 1999).

Em suma, tanto o educador quanto o aprendiz exercem papéis fundamentais no alcance da aprendizagem significativa. Mas está faltando um ingrediente importante: o material utilizado. É inútil ter esforços por parte do educador e do aprendiz se o material não for potencialmente significativo, de tal forma que o aprendiz tome a decisão de agir ativamente no processo, buscando relacionar os conhecimentos em sua estrutura cognitiva, assimilando, organizando e dando sentido àquilo que lhe é apresentado/descoberto (MOREIRA, 2016). O papel do educador é escolher este material adequadamente e trabalhar o conteúdo de uma forma que a aprendizagem significativa seja natural (LARA e SOUZA, 2009).

Uma definição simples para material potencialmente significativo é dada por Moreira (2016b):

Portanto, uma das condições para ocorrência de aprendizagem significativa é que o material a ser aprendido seja relacionável (ou incorporável) à estrutura cognitiva do aprendiz, de maneira não-arbitrária e não-literal. Um material com essa característica é dito potencialmente significativo. (MOREIRA, 2016b, p. 11).

Todos estes princípios básicos facilitadores e, às vezes, necessários, devem ser contemplados pelo material, a fim de garantir aprendizagem proposicional de forma significativa.

## 2.2 AULAS EXPERIMENTAIS

As aulas com enfoque experimental são largamente utilizadas a fim de dinamizar as práticas didáticas e motivar os estudantes ao conteúdo a ser abordado. A participação dos alunos é mais intensa quando os experimentos dizem respeito à realidade deles (MORAES e JUNIOR, 2015). A motivação dos discentes aumenta quando os experimentos desenvolvidos se contextualizam com o seu dia-a-dia, pois aí haverá significado e motivação. O docente tem o desafio de tornar o ensino de ciências prazeroso, ao mesmo tempo que dá profundidade e importância ao tema estudado (BEVILACQUA e SILVA, 2007).

Guedes (2017) considera que a experimentação pode ser uma ferramenta didática interessante de auxílio e enriquecimento das aulas teóricas. Não só isso, destaca também que os

experimentos proporcionam interação entre os estudantes e tornam a aula mais atrativa, além de aumentar a capacidade intuitiva e o pensamento crítico deles.

Nunes (2015) afirma que as atividades experimentais no ensino de Física, além de serem uma ferramenta facilitadora da aprendizagem significativa dos discentes, também refletem em sua autoestima, uma vez que o indivíduo começa a ver a Física como algo mais próximo de sua realidade.

Carvalho e Sasseron (2018) enfatizam que o processo de ensino aprendizagem atual exige que o aluno seja um ser atuante, tendo na figura do professor a inspiração necessária a isso. Dessa forma, o docente atua como mediador que instrui o aprendiz de forma intencional e planejada.

Seguindo este viés de pensamento, os Parâmetros Nacionais Curriculares para o Ensino Médio (PCNEM) expõem que as práticas experimentais devem partir de uma questão problema. O professor orienta e oportuniza aos alunos um ambiente que permite o levantamento de hipóteses e ideias, dessa forma obtendo resultados mais robustos e, através de reflexões, construindo o conhecimentos mais significativo (BRASIL, 2004).

Carrascosa *et al.* (2006) avaliam positivamente o uso de práticas experimentais que envolvem diretamente o aprendiz interagindo com o educador. Nesta ocasião, o aprendiz é colocado no centro de todo processo de ensino-aprendizagem.

Souza *et al.* (2013) fizeram uma análise dos impactos das atividades experimentais no ensino de química, onde também se faz importante a interação e envolvimento direto dos aprendizes com o trabalho investigativo.

Além do reconhecimento de fenômenos, as atividades experimentais podem ter um alcance maior na formação do aluno, pois podem ser planejadas para proporcionar a elaboração de conceitos e o desenvolvimento de habilidades de pensamento relacionadas aos processos da ciência. As atividades experimentais de natureza investigativa apresentam essas características pedagógicas. (SOUZA *et al.*, 2013, p. 14).

Aguçar a curiosidade do indivíduo e em seguida usar a experimentação como ferramenta de ensino é uma estratégia que vem ao encontro da proposta da teoria de aprendizagem significativa de Ausubel. O educador detecta os conhecimentos prévios dos alunos e, a partir disso, desenvolve as atividades.

Em uma atividade experimental, geralmente todos os alunos se envolvem e participam, o que não garante a apropriação significativa do conteúdo. Muitas vezes o aprendiz não consegue fazer a ligação entre o conhecimento científico e a prática realizada. Cabe então ao professor conduzir a aula de forma que observe as dúvidas e dificuldades dos indivíduos,

conduzindo práticas pedagógicas que foquem na aprendizagem significativa (GUIMARÃES e DORN, 2015).

Fazer o experimento com o grupo, observar as dúvidas dos estudantes e dificuldades pode constituir um momento ímpar ao professor para coletar os indícios do que os alunos já sabem para, em seguida, planejar ações que associem o que ele pretende ensinar às descobertas destes durante a realização do experimento, operacionalizando a aprendizagem significativa. (GUIMARÃES e DORN, 2015, p. 156).

Quirino e Lavarda (2001) colocam que a experimentação pode ser uma forma alternativa de ensinar Física, o que despertaria o interesse e a participação dos discentes:

O uso de experimentos pode ser uma possibilidade de transição dos modelos tradicionais de ensino para a construção de formas alternativas de ensinar Física. De acordo com nossa experiência, quando o professor introduz os experimentos em uma sala de aula comum, ele se vê frente a um novo comportamento dos alunos: mais interessados e participativos. Neste momento ele poderá fazer a opção por uma determinada didática que inclua o uso de experimentos. (QUIRINO e LAVARDA, 2001, p. 118)

O educador precisa tomar cuidado com o fato de que a simples inclusão de experimentação em sala de aula não é garantia de que haverá aprendizagem significativa. Ostermann e Cavalcanti (2011) apontam que muitas vezes o uso de tecnologias e materiais alternativos acabam induzindo um comportamento behaviorista do aprendiz, ou seja, um comportamento focado na memorização e reprodução mecânica do que está sendo abordado. Vale ressaltar que a referência é feita tanto a experimentos reais quanto virtuais, desenvolvidos em computadores através de aplicativos ou simulações.

Borges (2002) faz uma análise do impacto do uso de tecnologias computacionais e materiais alternativos na aprendizagem significativa dos discentes. Novamente se enfatiza o fato de que o desenvolvimento de aulas experimentais, seja em laboratórios reais ou virtuais, não necessariamente estará relacionado com aprendizagem significativa. O sucesso da metodologia adotada dependerá da forma com que o educador usa tal instrumento, bem como do interesse e envolvimento dos discentes no processo como um todo.

A mera escolha de equipamentos alternativos ou o uso de laboratórios baseados em computador não resolve os problemas relacionados com a aprendizagem de ciências a partir de atividades prático-experimentais. A clareza sobre o que se pretende conseguir com o uso do laboratório, orientada pela pesquisa educacional, continua sendo tão importante quanto o é no laboratório convencional. (BORGES, 2002, p. 310).

O argumento que Borges (2002) usa é de que tanto o educador quanto os discentes acabam focando o tempo disponível no manuseio dos equipamentos e na coleta de dados, deixando de lado a análise e a reflexão sobre os significados daquilo que foi obtido. Moraes e Junior (2015) destacam a necessidade de relacionar os experimentos com as teorias de aprendizagem, para que o conhecimento alcançado seja substantivo e significativo. Portanto, o

uso de atividades experimentais conciliados com as teorias de aprendizagem aplicadas de maneira criteriosa contribuem para a construção de um ambiente motivador para os estudantes, possibilitando o desenvolvimento intelectual e social dos mesmos.

### 2.2.1 Experimentos de Baixo Custo

As atividades experimentais nas aulas de Física servem para aproximar o cotidiano dos estudantes com o conteúdo que está sendo estudado (SANTOS *et al.*, 2004). O objetivo de um trabalho prático pode ser alcançado de forma simples e de fácil confecção, incluindo alternativas que fogem da utilização de uma bancada de laboratório. Isso porque muitos professores reclamam da falta de recursos estruturais ou de equipamentos para práticas experimentais. Então, a fim de solucionar este entrave, propõe-se a utilização de materiais de fácil acesso e de baixo custo.

Para Duarte (2012), além de resolver o problema da falta de infraestrutura de laboratórios nas escolas, os experimentos de baixo custo costumam ser de fácil reprodução e estão mais próximos da realidade dos alunos. Além disso, também sugere como alternativa o uso de laboratórios virtuais e simulações para complementar problemas mais complexos. As simulações serviriam de ponte entre o conhecimento experimental e o teórico.

De acordo com Santos *et al.* (2004), o desafio de cada educador é dominar essas tecnologias que envolvem a experimentação, real ou virtual, em sala de aula. Não somente dominá-las, mas usá-las de forma a levar os discentes a um outro nível de entendimento do conteúdo, não superficial ou mecânico.

Em uma época em que tudo está pronto, acabado e de fácil acesso ao adolescente, manter a novidade interessante por muito tempo é um desafio. Neste sentido, pode-se destacar mais uma vantagem dos experimentos de baixo custo: o envolvimento do aluno na sua construção. Quando o aluno ajuda a construir seu próprio experimento, se envolvendo verdadeiramente em todo o processo, sua atuação é mais racional e menos mecânica (SANTOS, PIASSI E FERREIRA, 2004).

A atividade de produzir um brinquedo ou um aparato experimental proporciona vivências artísticas criativas, o desenvolvimento de habilidades motoras e de raciocínio lógico, interação com o grupo, trazendo à tona uma série de habilidades, atitudes e capacidades cognitivas que de outra forma não se fariam presentes. Tais aspectos, no processo de aprendizagem de ciências, são fundamentais (SANTOS, PIASSI e FERREIRA, 2004).



Portanto, a escolha de material de baixo custo para dar suporte ao desenvolvimento desta dissertação é fundamentada nestes dois principais motivos: a falta de recursos, que é realidade da maioria das escolas públicas brasileiras, e a necessidade de envolvimento dos alunos na construção do próprio material, o que exige simplicidade e fácil manuseio.

### 3 PROPRIEDADES DA LUZ

A luz e os fenômenos a ela relacionados estão presentes em inúmeras situações de nosso cotidiano. A área da Física que estuda a luz e suas propriedades é a óptica. Muitas aplicações tecnológicas foram desenvolvidas a partir de estudos sobre a óptica, onde se destacam os microscópios, lasers, fibras ópticas e óculos solares. Na medicina, o conhecimento sobre reflexão e refração da luz permitiu o desenvolvimento de técnicas cirúrgicas minimamente invasivas através de engenhosos equipamentos de endoscopia. Na astronomia, o aprimoramento de telescópios espaciais tornou possível a obtenção de imagens precisas de astros a milhares de anos luz de distância da Terra (YAMAMOTO e FUKU, 2013).

Grande parte da percepção do mundo está relacionada a experiências visuais. A formação das imagens em nosso cérebro está diretamente relacionada com a luz e sua interação com os objetos à nossa volta. Para podermos enxergar qualquer objeto é necessário que ele seja iluminado por uma fonte de luz. A imagem do objeto será recebida pelos olhos e, então, decodificada pelo cérebro.

A óptica geométrica se desenvolve a partir da teoria corpuscular da luz. Isaac Newton foi um dos contribuintes e considera que a luz é formada por pequenas partículas emitidas por uma fonte propagando-se segundo o menor intervalo de tempo.

Em um meio homogêneo, a luz se propaga em linha reta, isto fica mais evidente quando se trata de uma fonte puntiforme de luz, ou quando as dimensões da fonte podem ser desprezadas.

O modelo corpuscular conseguiu explicar os fenômenos de reflexão e refração da luz. No entanto, fenômenos de difração, interferência e polarização da luz não foram explicados com sucesso por esta teoria.

Quando a luz atravessa obstáculos muito pequenos, o comportamento corpuscular se aplica até certo ponto. A óptica *Pinhole* considera que caso, a luz seja incidida em um orifício muito pequeno como um buraco feito atravessando completamente um alfinete, por exemplo, encontramos um elemento de foco útil em que apenas os raios que passam por este estreitamento são usados para formar a imagem. Porém quando reduzimos ainda mais a espessura do orifício e a luz passa através dessa minúscula abertura, os raios não viajam em uma única linha reta. Em vez disso, a luz de um único raio é espalhada em várias direções e produz uma imagem tremida (WANDELL e THOMAS, 1997).

Esta dispersão dos raios de luz que passam pela abertura muito estreita é conhecida como difração. Em 1690, Christian Huygens publica o seu *Traité de Lumière*, no qual ele propõe que a luz incita ondas elementares em cada ponto do espaço, funcionando como fontes secundárias, permitindo assim sua propagação (HUYGENS, 1986).

Dessa forma, uma onda saindo de uma pequena abertura se expande em todas as direções, um par de ondas coerentes de aberturas adjacentes cria um padrão de interferência. Isto foi descrito e formulado a partir dos experimentos de Huygens, por Thomas Young, o que permitiu evidenciar concretamente o comportamento ondulatório da luz.

Augustin Fresnel também teve um papel importante em experimentos envolvendo padrões de difração, reflexão e refração, o que deu origem às equações de Fresnel. Além disso, os experimentos de Fresnel colaboraram para Young chegar à conclusão de que a luz é uma onda transversal, e não longitudinal como se imaginava até então.

“Do ponto de vista ondulatório, a óptica geométrica é uma aproximação válida para comprimentos de onda muito pequenos em confronto com as dimensões típicas envolvidas.” (NUSSENZVEIG, 1998, p. 15).

O comportamento da Luz intrigou muitos físicos por um tempo, pois em alguns experimentos nem o modelo corpuscular de Newton nem o modelo ondulatório de Huygens satisfizeram em suas aplicações, sendo que um destes experimentos é o efeito fotoelétrico de Einstein.

A luz, em algumas situações, se comporta como partícula e em outras como onda. Einstein afirma que uma partícula de luz possui energia quantizada em pacotes concentrados, chamados fótons e possui energia ( $E$ ) relacionada à frequência ( $f$ ) e a seu comprimento de onda ( $\lambda$ ) através da seguinte equação:

$$E = hf = \frac{hc}{\lambda} \quad (1)$$

Onde,  $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$  é a velocidade da luz e  $h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J.s}$  ou  $h = 4,136 \cdot 10^{-15} \text{ eV.s}$  é a constante de Planck. A equação (1) demonstra que a frequência da onda é proporcional à energia da partícula e inversamente proporcional a seu comprimento de onda. Enquanto altas frequências (menores comprimentos de onda) estão associadas a altas energias, como acontece com a luz violeta, baixas frequências (maiores comprimentos de onda) estão associadas a baixas energias (vermelho, por exemplo).

### 3.1. CÂMARA ESCURA DE ORIFÍCIO

Muitos artistas do séculos XIV usavam um instrumento baseado no comportamento da luz para aprimorar suas obras, chamado Câmara Escura de Orifício. Os artistas renascentistas a usavam para desenhar e pintar obras em perspectiva com uma enorme quantidade de detalhes e uma impressionante visão tridimensional da cena, muito semelhante a uma fotografia real (FAINGUELERNT, 2004).

O pintor italiano Leonardo da Vinci também usufruiu da utilidade das câmaras escuras para desenvolver alguns de seus trabalhos. Porém, a utilidade das câmaras escuras não se restringiu apenas às artes. Na astronomia, por exemplo, teve um papel fundamental nas observações de eclipses idealizadas por Kepler e outros astrônomos dos séculos XVI e XVII (CANATO, 2008).

Os princípios de funcionamento da câmara escura são os mesmos da câmera fotográfica e também do olho humano. A câmara escura de orifício é uma caixa fechada com um pequeno furo em um dos lados e um aparato de papel translúcido no lado oposto. Incide-se luz em direção ao orifício e observa-se a imagem formada no aparato. Como a luz se propaga em linha reta, a imagem formada será invertida, conforme Figura 2.

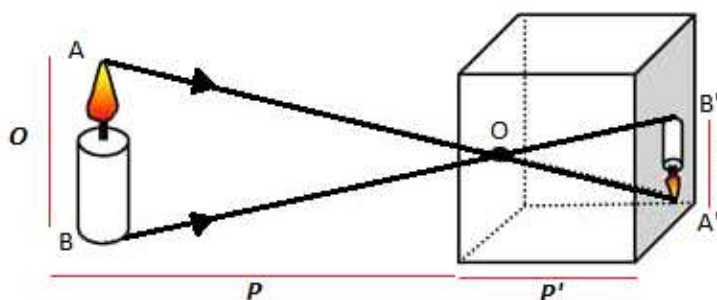


Figura 2: Representação gráfica da câmara escura.

Adaptado de <https://girlsphotographers.wordpress.com/2013/06/06/camara-escura/> Acesso em: 12/09/2019

Através da semelhança entre os triângulos ABO e A'B'O, é possível perceber a relação entre o tamanho do objeto (O), a distância (P) do objeto ao orifício, o tamanho da imagem (I) e a profundidade da câmara (P').

$$\frac{i}{o} = \frac{P'}{P} \quad (2)$$

### 3.2. REFLEXÃO

Como já discutimos, as imagens dos objetos só podem ser formadas por que a luz que incide neles reflete até nossos olhos. Este fenômeno em que a luz incide sobre um objeto e retorna sobre o mesmo meio de incidência é chamado de reflexão. Em superfícies rugosas, com imperfeições de ordem microscópica, a reflexão da luz acontece de forma irregular, o que chamamos de reflexão difusa. Quando a superfície de incidência da luz é plana e polida, com irregularidades que podem ser desprezadas, a reflexão é regular (PIETROCOLA, *et al.*, 2016, p. 193)

As leis da reflexão são válidas para qualquer superfície e aplicadas para qualquer propagação ondulatória de forma que, os raios incidente e refletido e a normal do plano de incidência devem ser coplanares. Além disso, os ângulos de incidência ( $i$ ) deve ser igual ao ângulo de reflexão ( $r$ ). A Figura 3 representa a reflexão de um raio luminoso sobre uma superfície regular.

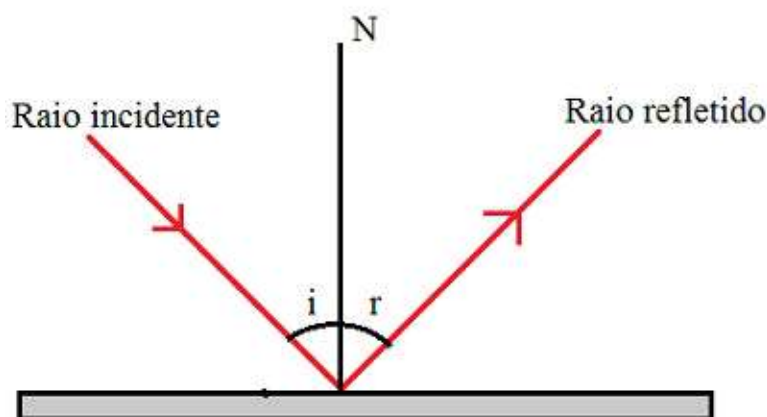


Figura 3: Representação das leis da reflexão. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/o-que-e/fisica/o-que-e-reflexao-luz.htm> Acesso em: 15/09/2019

Muitos pais utilizam acessórios com espelho em seus automóveis para que possam dirigir e ver seus bebês sentados no banco de trás. Esta técnica não só permite que o pai ou a mãe veja o bebê, como também tranquiliza a criança que também consegue ver o pai ou a mãe através do reflexo do espelho. O adulto têm este campo de visão porque raios luminosos refletidos pelo bebê até o espelho se propagaram retineamente até os seus olhos. Da mesma maneira, o bebê pode ver a o adulto refletido no espelho. Isso porque esses raios luminosos refletidos podem seguir até o espelho pelo mesmo caminho que os raios no sentido contrário chegaram até o bebê.

Isso se explica através de outro fenômeno interessante que está associado à reflexão da luz, que é a reversibilidade dos raios luminosos. O princípio da reversibilidade dos raios luminosos considera que, para meios homogêneos e transparentes, a trajetória da luz não é modificada quando o percurso for invertido. A Figura 4 esquematiza este comportamento.

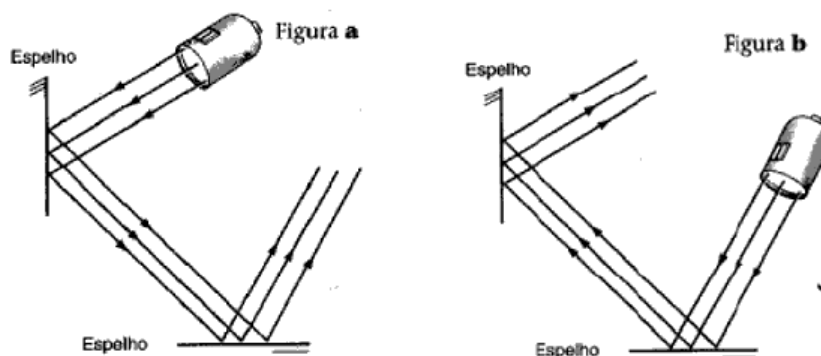


Figura 4: Reversibilidade dos raios luminosos. Disponível em: <http://portaldoprofessor.mec.gov.br/fichaTecnicaAula.html?aula=23580> Acesso em: 15/09/2019

### 3.3. REFRAÇÃO

A refração é um fenômeno óptico que consiste na mudança de direção de propagação de um feixe de luz ao passar de um meio para outro. Um canudo mergulhado em um copo de água é uma situação simples onde isto pode ser observado, pois a luz se propaga na água com uma velocidade menor que no ar, dando a impressão de que o canudo está quebrado.

Quando a luz passa de um meio de propagação para outro, parte do feixe de luz é refletida, e se o feixe incidido não é perpendicular à superfície, outra parte entra no segundo meio sofrendo um desvio, essa variação na direção do raio é chamada refração.

#### 3.3.1 Leis da Refração

O fenômeno de refração da luz foi uma evidência importante do caráter ondulatório da luz. Ao mudar o meio de incidência, o comprimento de onda e a velocidade da luz se alteram, mas sua frequência permanece a mesma. Similar ao já observado no fenômeno de reflexão, a primeira lei da refração afirma que o raio incidente, o raio refratado e a reta normal ao meio de incidência estão no mesmo plano. Veja a Figura 5.

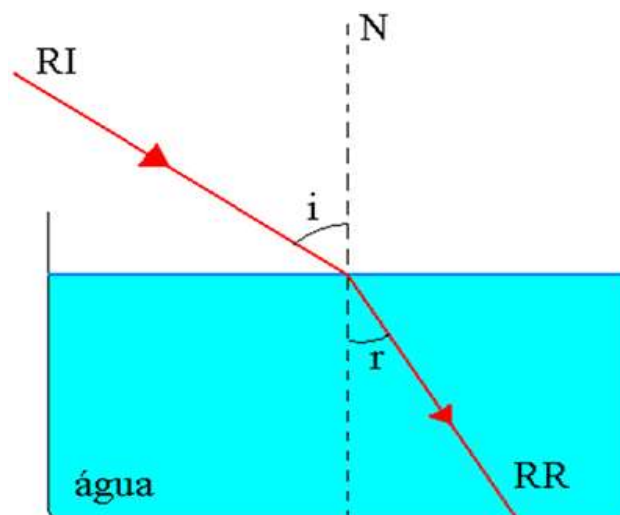


Figura 5: Refração da Luz.

Disponível em: <https://alunosonline.uol.com.br/fisica/leis-refracao.html> Acesso em: 17/09/2019

Como percebido na figura 5 o ângulo de incidência  $i$  e o ângulo de refração  $r$  não são iguais. Por muitos anos se buscou uma possível relação entre eles, já que era percebido que a medida que  $i$  aumenta,  $r$  também aumenta. Em 1620 o matemático holandês Willebrord Snell concluiu que existe uma constante de relação entre os senos desses ângulos:

$$\frac{\text{sen } i}{\text{sen } r} = \text{constante} \quad (3)$$

Dessa forma, quando a luz se refrata de um meio 1 onde a velocidade é  $V_1$  e passa para um meio 2 com velocidade  $V_2$  temos :

$$\frac{\text{sen } i}{\text{sen } r} = \frac{V_1}{V_2} \quad (4)$$

Quando consideramos o meio 1 o vácuo e o meio 2 outro meio material diferente, obtemos:

$$\frac{\text{sen } i}{\text{sen } r} = \frac{c}{v} \quad (5)$$

Assim podemos chamar de  $n$  o índice de refração absoluto do meio, que caracteriza quantas vezes a velocidade da luz no vácuo ( $c$ ) supera a velocidade de propagação da luz no meio ( $v$ ) :

$$n = \frac{c}{v} \quad (6)$$

Retomando a expressão (5) e multiplicando ambos os lados por  $c$ , temos:

$$n_1 \cdot \text{sen } i = n_2 \cdot \text{sen } r \quad (7)$$

Esta equação se refere a Lei de Snell e demonstra o fenômeno de refração da seguinte forma: a razão entre o seno de  $i$  e o seno de  $r$  só é dependente dos meios por onde a luz se propaga.

### 3.3.2. Ângulo Crítico

A refração nunca ocorre de forma isolada. Quando um raio incide sobre um outro meio de densidade diferente, parte dele se reflete e parte dele se refrata.

Quando a luz incide na trajetória inversa do que estávamos abordando, ou seja, do meio mais refringente para o meio menos refringente, ela também se comporta como a lei de Snell prevê. Ou seja, quanto maior o ângulo de incidência, maior o ângulo de refração, de forma que o raio incidente vai se afastando da reta normal.

Em certas condições, há um limite para o ângulo de incidência, em que a partir deste a refração deixa de existir (quando o ângulo  $r$  tende a  $90^\circ$ ), este é conhecido como ângulo crítico. Neste caso, não existirá mais a parcela de refração do raio de luz, mas sim a reflexão interna total da luz.

A reflexão interna total só ocorre do meio mais refringente para o meio menos refringente, caso contrário, a Lei de Snell não funcionaria, pois não existe um ângulo com seno maior que 1. A Figura 6 ilustra este fenômeno.



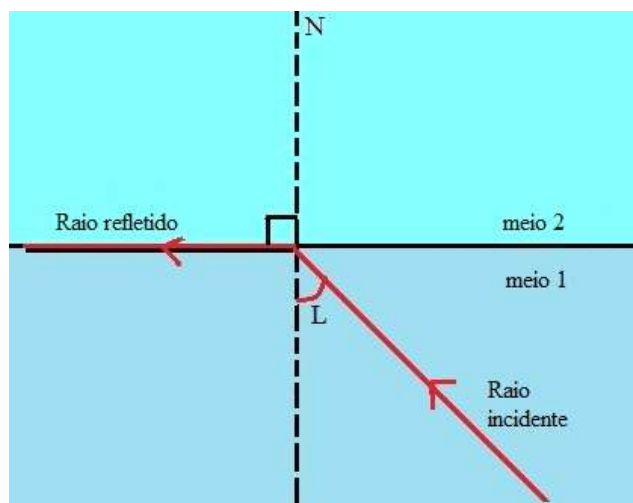


Figura 6: Refração com raio refletido totalmente. Disponível em: <https://mundoeducacao.bol.uol.com.br/fisica/reflexao-total-luz.htm> Acesso em: 17/09/2019

Até a década de 60, a maioria das informações eram transmitidas por fio de cobre ou onda de rádio. As ondas de luz visível dispunham de o maior potencial para as comunicações, porém a perda a intensidade de luz ao longo do fio era um grande obstáculo e a fibra óptica foi a tecnologia utilizada para solucionar este problema.

Tratam-se de fibras cilíndricas constituídas por um núcleo e um revestimento, ambos com material de índice de refração diferente (Figura 7). Todas as informações são codificadas e transformadas em um feixe de luz. Se  $n_1 > n_2$ , estas informações são transmitidas somente no núcleo da fibra ( $n_1$ ) e aliado a angulação perfeita (ângulo crítico), viajariam realizando sucessivas reflexões totais. Dessa forma a intensidade do sinal da luz é preservado permitindo uma alta taxa de transmissão de informação (RIBEIRO, 1999).

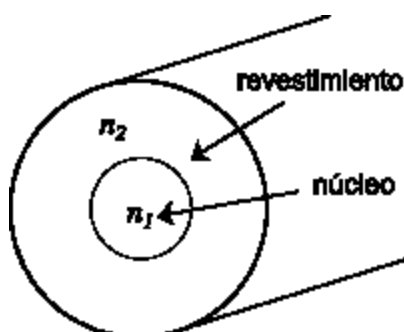


Figura 7: Representação de um corte transversal em uma fibra óptica. Disponível em: [https://www.sbpmat.org.br/pt/da-ideia-a-inovacao-o-fio-de-vidro-que-conectou-o-mundo-parte-2/optical\\_fiber/](https://www.sbpmat.org.br/pt/da-ideia-a-inovacao-o-fio-de-vidro-que-conectou-o-mundo-parte-2/optical_fiber/). Acesso em: 19/09/2019

### 3.4 DIFRAÇÃO

Como já mencionamos no início de nosso estudo, a difração da luz é um fenômeno percebido quando ela consegue contornar algum obstáculo com dimensões comparáveis a seu comprimento de onda. O que resulta em modificações em sua frente de onda, e quanto mais se reduz o comprimento do obstáculo, maior é o alargamento da luz causado pela difração. Então a óptica geométrica só pode ser usada quando os obstáculos encontrados não possuem dimensões na mesma ordem do comprimento de onda da luz.

Devido a alterações no seu percurso, a luz atinge o anteparo com fases distintas, causando interferências construtivas ou destrutivas (Figura 8). Para as regiões da imagem que formam a interferência construtiva, têm-se os máximos de difração e com as regiões de interferências destrutivas têm-se os mínimos de difração (regiões escuras).

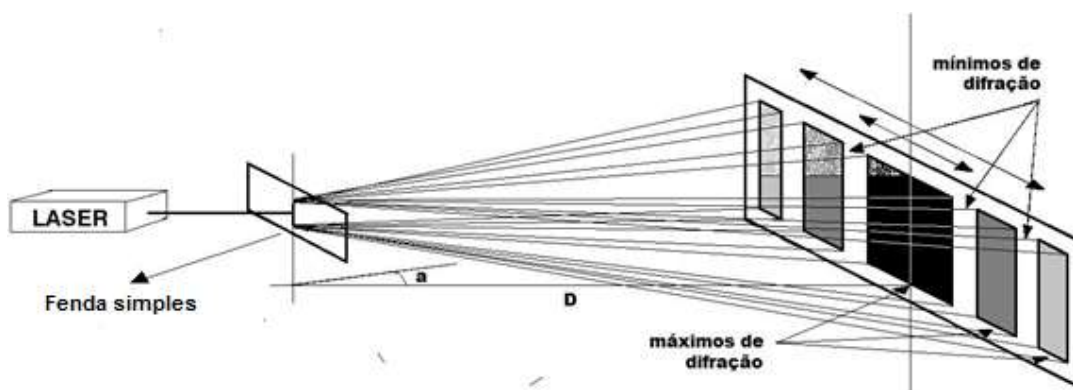


Figura 8: Difração atravessando uma fenda. Disponível em: <https://slideplayer.com.br/slide/11766992/> Acesso em: 19/09/2019

A teoria prevê que os máximos de difração ocorrerão sob o ângulo  $\theta$ , de acordo com.

$$m\lambda = d\sin\theta \quad (8)$$

onde  $m = 1,2,3$  (para pontos de mínimo de difração em fenda simples),  $\lambda$  é o comprimento de onda da luz incidente e  $d$  é a espessura do obstáculo.

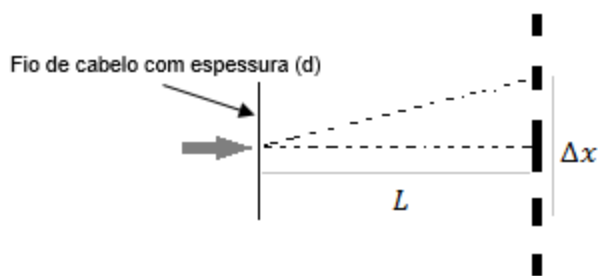


Figura 9: Difração da luz atravessando um pequeno obstáculo. Fonte: Própria autora

Analisando a figura 9, podemos fazer analogia a função  $\sin \theta = \frac{c o}{h}$

$$\text{sen}\theta = \frac{\frac{\Delta x}{2}}{\sqrt{L^2 + \frac{\Delta x^2}{4}}} \quad (9)$$

Como  $L$  (na ordem de metros) é muito maior que  $\Delta x$  (na ordem de centímetros), podemos fazer a seguinte aproximação:

$$\sqrt{L^2 + \frac{\Delta x^2}{4}} \sim \sqrt{L^2} \sim L$$

Substituindo na Equação (8)

$$\begin{aligned} \frac{\Delta x}{2} &= \frac{\lambda L}{d} \\ \Delta x &= 2L \frac{\lambda}{d} \end{aligned} \quad (10)$$

Com esta equação é possível descobrir a espessura da fenda ou do obstáculo ( $d$ ) em que ocorre a difração.

## 4. METODOLOGIA

O Mestrado Profissional em Ensino de Física propõe a elaboração de uma proposta didática, que possa ser aplicada pelos professores em sala de aula. Além disso, como o processo de ensino-aprendizagem deve considerar o aluno como personagem principal, o material também pode ser usado pelos alunos para acompanhamento e estudo individual.

Considerando isto, neste capítulo será feita uma descrição do público alvo do projeto de pesquisa bem como do local de aplicação da mesma. Além disso, abordará os instrumentos de coletas de dados do nível de conhecimento prévio do aluno, onde destacamos os questionários aplicados, o produto educacional e as atividades experimentais nele propostas.

Além disso, compreende-se ser importante promover um processo de avaliação desta proposta didática e do material educacional através de uma abordagem qualitativa das aulas e interações dos alunos, bem como uma abordagem quantitativa das respostas destes à questionários propostos.

### 4.1 O PÚBLICO ALVO

As aulas foram ministradas na Escola de Educação Básica Monsenhor Bernardo Peters situada no município de Treze de Maio – Santa Catarina. Trata-se de uma escola da rede estadual de ensino e contempla turmas de 6º ao 9º ano do Ensino Fundamental e 1º ao 3º ano do Ensino médio. A turma selecionada foi um segundo ano do período matutino, contendo 17 estudantes.

A escola conta com uma estrutura simples e estava ampliando a estrutura durante a aplicação da proposta didática. Então não contamos com laboratórios e até mesmo a sala de aula estava “improvisada” devido a reforma. Os alunos são em sua maioria descendentes de italianos e alguns ainda mantêm os costumes dos pequenos produtores rurais.

A proposta didática foi desenvolvida durante os meses de outubro e novembro de 2019, contemplando duas aulas semanais, totalizando 10 aulas. Este estudo necessitou de outras duas aulas adicionais a fim de investigar o nível conceitual antes e após a aplicação desta metodologia.

### 4.2 O PRODUTO EDUCACIONAL

O produto educacional, conforme exigência do Programa de Mestrado Profissional em Ensino de Física, pode ser encontrado no Apêndice A desta dissertação. O tema abordado nele

é a luz e os fenômenos a ela relacionados. O produto educacional consiste numa sequência didática a ser adotada pelos professores do ensino médio. Contém uma revisão teórica sobre o assunto e concomitantemente sugere o desenvolvimento de pequenas atividades experimentais que possibilitam construir os conceitos de luz e alguns fenômenos a ela relacionados, como propagação, reflexão, refração e difração. A organização e abordagem dos tópicos têm como base os pressupostos da teoria de aprendizagem significativa de Ausubel, já discutidas no Capítulo 2.

O conhecimento prévio do aluno tem forte influência na aprendizagem significativa defendida por Ausubel, conforme já mencionado. Sendo assim, o mapeamento dos conhecimentos prévios dos alunos e a sistematização das aulas tiveram como base estudos sobre concepções alternativas. Segundo Silveira, Moreira e Axt (1989) as concepções alternativas se referem a “concepções com significados contextualmente errôneos, não compartilhados pela comunidade científica”. Por estarem enraizados na cabeça dos estudantes, estes conceitos são difíceis de serem alterados, sendo, portanto, uma das principais dificuldades em lecionar física (GRAVINA e BCHEWEITZ, 1994).

Cada tópico do material foi elaborado de tal forma que o estudante fosse considerado o personagem principal, atuando ativamente no processo de ensino-aprendizagem. Foram propostos 10 experimentos em momentos pertinentes, a fim de facilitar uma sequência lógica do conteúdo estudado. Dependendo da complexidade para sua elaboração ou seu desenvolvimento, a duração de cada atividade foi de uma a duas aulas.

Alguns experimentos foram importantes não só para dinamizar as aulas, mas também porque serviram como instrumento de observação do docente em relação aos subsunçores (conhecimentos prévios) dos discentes acerca dos tópicos abordados. Dentro destes experimentos, pôde-se classificar alguns como organizadores prévios, pois exerceram a função de ponte entre os subsunçores necessários e o conteúdo novo estudado. E por fim, o material potencialmente significativo permitiu a análise de dados e comprovação dos fenômenos observados.

#### **4.2.1 Aulas Experimentais**

Este tópico discorre sobre a metodologia utilizada pela professora durante as aulas. Descreve a ordenação dos conceitos abordados, objetivos de cada ferramenta utilizada bem como os experimentos que orientaram a ação pedagógica a fim de possibilitar a construção mútua – aluno e professor – do conhecimento.

Após cada experimento os estudantes responderam questões escritas sobre o procedimento realizado, o que permitiu à professora analisar as respostas e comparar a evolução conceitual ao longo do percurso formativo. Apesar das atividades desenvolvidas estarem descritas no produto educacional, disponível no Apêndice A desta dissertação, faremos em seguida uma análise individual do objetivo de cada um deles.

#### 4.2.1.1 Atividade 1

Trata-se de um experimento de cincho motivador, a fim de evidenciar a necessidade de luz para a formação de imagem em nosso cérebro. Para isso, usa-se uma caixa grande totalmente fechada. Com as luzes da sala apagadas, de forma a garantir escuridão total dentro da caixa, o professor deve solicitar que alguns alunos entrem nela (Figura 10). Se algum professor não conseguir obter uma caixa grande o suficiente, pode-se fazer dentro da própria sala de aula, onde a escuridão total seria simulada pelo fechar de olhos dos alunos. Obviamente, esta situação desvirtua um pouco o propósito da atividade, mas seria uma alternativa em caso extremo de não possuir a caixa.

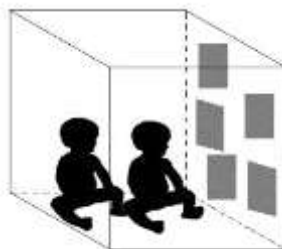


Figura 10: Atividade 1. Fonte: Própria Autora

No primeiro momento, a ausência total de luz é fundamental, porque a ideia é justamente mostrar ao aluno a necessidade dela para a visualização dos objetos ao nosso redor. Posteriormente, sendo o experimento realizado dentro da caixa, é fornecida uma lanterna aos alunos para que eles percebam a diferença que a luz faz no ambiente e na visão deles. Se o experimento for realizado improvisadamente dentro da própria sala de aula, o abrir de olhos simularia esta situação representada pela lanterna.

Esta atividade é classificada como um organizador prévio, pois introduz de uma forma bem simples a necessidade da luz no nosso dia-a-dia. Como definido no Capítulo 2, organizador prévio é todo material introdutório que serve como ponte entre os conhecimentos prévios dos alunos e os subsunçores necessários ao estudo do material proposto. Não somente isso, este tipo

de experimento serve também como certificação da análise prévia feita através do questionário, que será abordado mais adiante.

#### 4.2.1.2 Atividade 2

Esta atividade foi elaborada após a explicação da teoria corpuscular de propagação da luz, a fim de intensificar a interação entre os alunos, proporcionando uma concretização do aprendizado.

Foram utilizados cartões retangulares, dois deles com orifícios centrais. Os cartões podem ser de papel cartão, acrílico ou até mesmo de etileno acetato de vinila (EVA), desde que sejam opacos. Os orifícios devem ser de tamanhos distintos: um bem pequeno (cerca de 0,5 cm de diâmetro) e outro um pouco maior (cerca de 1,0 cm de diâmetro).

Os alunos estavam em duplas e munidos de uma lanterna (a maioria utilizou a lanterna do próprio celular). A professora orientou que os alunos alinhassem os cartões conforme a Figura 11.

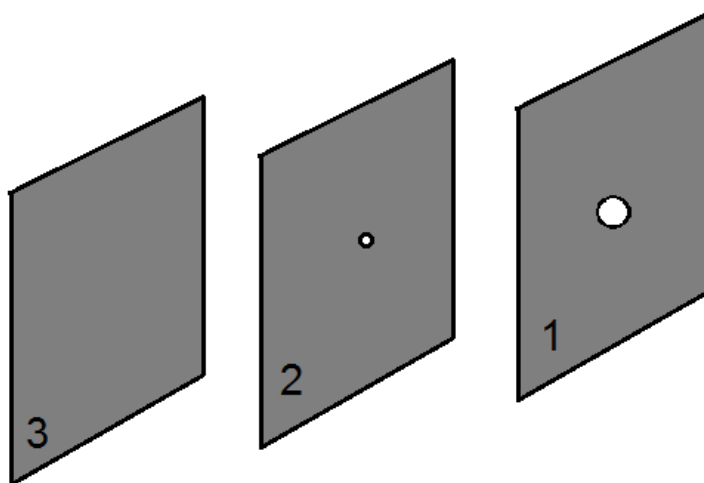


Figura 11: Experimento 2. Fonte: Própria autora

Posteriormente os alunos devem incidir a luz da lanterna através do orifício maior (1). Somente parte da luz deverá chegar até o orifício menor (2) e uma parcela ainda menor deverá alcançar o cartão sem orifício (3), que a professora nomeou de anteparo. A professora prosseguiu a explicação reforçando o comportamento retilíneo da luz. Os estudantes ainda foram incentivados a modificar as posições dos cartões, várias vezes, evidenciando ainda mais este comportamento.

#### 4.1.3.3 Atividade 3

Antes da realização da terceira atividade experimental, a professora retomou alguns conhecimentos importantes, como o fato da dependência da luz na formação da imagem, sendo refletida pelo objeto até chegar aos nossos olhos e estes levam a informação ao cérebro. Então se conseguimos ver algo é necessária a propagação da luz para isto. Outro ponto importante é a reafirmação de que Newton propôs que a luz se propaga em linha reta, o que será contraposto pela terceira experiência. Novamente destacamos que estas abordagens iniciais, introdutórias e de revisão servem como organizadores prévios.

O terceiro experimento consiste, simplesmente, num minúsculo orifício em uma pedaço de papel. O tamanho do “furinho” é importante e deve ser feito com uma agulha muito fina destacando que somente a ponta deste instrumento deve ser usada. Isto para evitar que o orifício tenha dimensão suficiente para causar somente um problema de foco, já descrito anteriormente com a ótica *Pinhole*. O orifício em questão deve ser bem menor e garantir o fenômeno de difração. Veja a Figura 12.

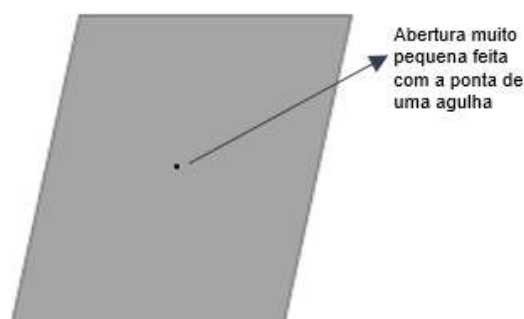


Figura 12: Atividade 3. Fonte: Própria autora

Os alunos deveriam tentar observar através do orifício. A professora seguiu realizando questionamentos semelhantes a: “Como a imagem que se formava era borrada e desfocada? Por quê isto ocorre?” Até que os alunos se convenceram de que este fenômeno deveria ser associado a alguma propriedade diferente da luz. Então a professora pôde apresentar a teoria ondulatória da luz, contando com a participação de todos.

#### 4.1.3.4 Atividade 4



Foi utilizado um texto introdutório sobre ao assunto desta atividade experimental, a Câmara Escura de Orifício. O texto em questão tem o papel de contextualizar o conceito tratado, atribuindo-o maior significado. Vemos aqui novamente um organizador prévio. Depois de se familiarizar com o instrumento em si, a professora inicia a atividade de construção da câmara escura em grupos de três alunos. É importante a participação de todos em todas as etapas, tanto na construção quanto no momento da experimentação propriamente dito.

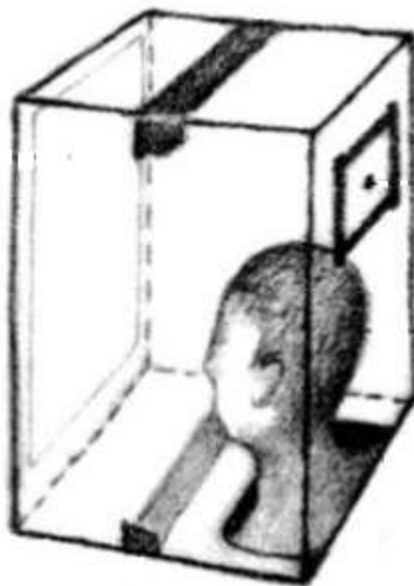


Figura 13: Atividade 4 Fonte: <https://azeheb.com.br/blog/pense-dentro-da-caixa-camara-escura/> Acesso em 13/07/2020.

O experimento em si exige um ambiente externo em um dia ensolarado. Trata-se de uma caixa de papelão em formato retangular e com uma folha A4 colada em um dos lados de dentro e uma abertura na base. O estudante precisa lembrar que a cabeça dele ficará dentro da caixa, para que ele possa visualizar a imagem projetada no anteparo, conforme Figura 13.

Os estudantes conseguiram visualizar as imagens projetadas no anteparo, menores do que o real, coloridas e invertidas. Na sala de aula a professora menciona que usamos a óptica geométrica para explicar o funcionamento do experimento realizado, relacionando com o princípio da propagação retilínea da luz e todos foram conduzidos para elaboração dos cálculos característicos do conteúdo.

Utilizamos a semelhança de triângulo para dedução da fórmula, então é importante salientar aqui que esta analogia é um organizador prévio que detecta o conhecimento dos estudantes sobre esta ferramenta matemática.

#### 4.1.3.5 Atividade 5

Com a evolução conceitual, chega-se no ponto de tratar os fenômenos luminosos, e a reflexão é o tema da Atividade 5.

A professora retomou novamente a importância da luz na formação da imagem, pois os objetos a refletem para que isto ocorra. Então a partir daí o conceito de reflexão se desenvolve e com a finalidade de demonstrar justamente suas leis é que a atividade experimental é proposta. O objetivo desta atividade, através da análise das medidas dos ângulos e a participação mútua dos alunos, é constatar a validade e aplicabilidade das leis de reflexão. A Figura 14 ilustra o que foi feito na atividade 5.

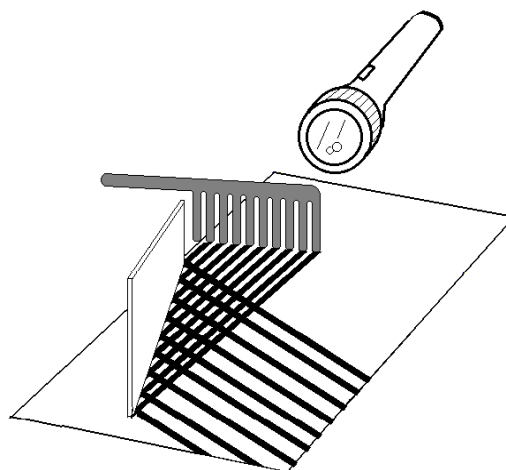


Figura 14: Atividade5. Disponível em: <http://www2.fc.unesp.br/experimentosdefisica/opt03.htm> Acesso em: 15/09/2019

#### 4.1.3.6 Atividade 6

Este procedimento trata da reversibilidade dos raios luminosos, com continuação do tema proposto na aula anterior: reflexão da luz. A professora contextualizou o tema fazendo relações das imagens em retrovisores dos carros e propôs o desenvolvimento da atividade 6.

Para esta atividade, foram selecionados 3 alunos voluntários, pois o procedimento exigiu um laser, instrumento que somente a professora possuía. Os demais alunos participaram como espectadores. A finalidade deste experimento era demonstrar de forma fácil e prática o princípio da reversibilidade dos raios luminosos.

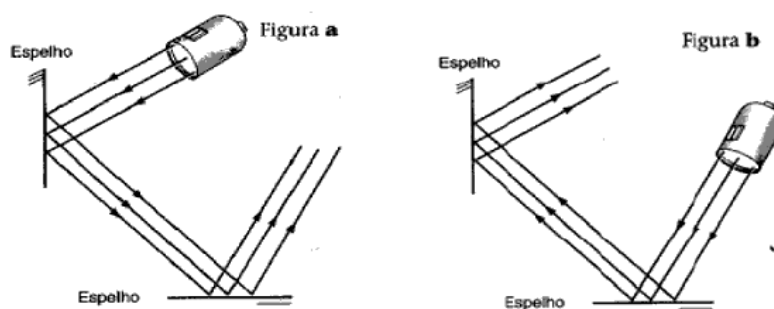


Figura 15: Atividade 6. Disponível em: <http://portaldoprofessor.mec.gov.br/fichaTecnicaAula.html?aula=23580>  
Acesso em 15/09/2019

A prática experimental consiste em solicitar dois alunos voluntários que devem posicionar os espelhos de forma que a imagem de um apareça no outro, como ilustrados na Figura 15. Deve-se incidir o laser no primeiro espelho e marcar com o canetão onde a luz foi projetada e também qual a posição do laser nesta situação. Depois deve-se trocar as posições: o laser toma lugar da luz projetada, incidindo o feixe luminoso no segundo espelho.

#### 4.1.3.7 Atividade 7

Novamente uma proposta experimental de cunho motivacional foi utilizada, aqui os alunos puderem perceber o fenômeno de refração antes que a professora desse início a fundamentação teórica. Este momento foi único, de observação docente acerca dos comentários dos estudantes a fim de captar os subsunçores necessário para dar continuidade ao conteúdo. A ideia do experimento é ilustrada na Figura 16.



Figura 16: Atividade 7. Adaptado de: <http://gabrielszanini.blogspot.com/2012/08/retas-curvas.html> Acesso em: 25/07/2020

O experimento consiste em um copo ou uma garrafa transparente com água e duas folhas: uma com listras diagonais e outra com uma frase escrita ao contrário. O aluno deve deslizar a garrafa na frente das folha que acontece e perceber a mudança da trajetória da luz.

Nesta etapa, os alunos já devem ter claro em sua mente os conceitos relacionados à propagação retilínea da luz. A professora destacou que a velocidade de propagação da luz muda quando o meio de propagação é alterado. Então, aqui alguns conceitos mais básicos tornam-se importantes, como velocidade e densidade. Sendo assim, antes da explicação concreta do fenômeno, a professora relembrou estes conceitos, que também foram classificados com organizadores prévios.

#### 4.1.3.8 Atividade 8

Esta atividade objetiva tem como objetivo demonstrar na prática a Lei de Snell. Alguns trabalhos que abordaram práticas semelhantes a essa sugeriram tingir a água para facilitar a observação, para nosso experimento a professora não achou necessário, pois a visualização ficou bastante clara utilizando água pura.

A atividade consiste na utilização de uma cuba de vidro cheia de água. Um transferidor deve ser acoplado ao recipiente conforme a Figura 17.

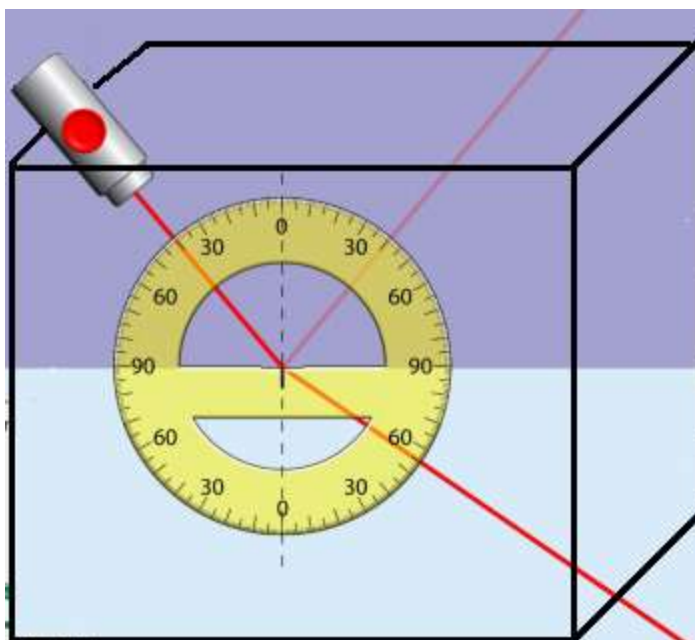


Figura 17: Atividade 8. Adaptado de:

<http://fisicadodudu.com.br/images/simuladores/Roteiro%20de%20como%20usar%20um%20simulador%20de%20refra%C3%A7%C3%A3o.pdf> Acesso em: 13/07/2020

Incidimos um laser no centro do transferidor, marcamos os diferentes ângulos de incidência de refração. Todos os alunos foram convidados a observar de perto as medidas retiradas, posteriormente colocadas em uma tabela. A tabela continha as medidas dos ângulos,

os senos deles e as razões entre os senos dos ângulos. Infelizmente o tempo da aula foi curto e só foi possível realizar quatro medidas diferentes.

#### 4.1.3.9 Atividade 9

Esta atividade objetiva demonstrar a reflexão total da luz. Então, antes do experimento em si, foi necessária a averiguação por parte da docente quanto ao domínio dos conceitos de reflexão e refração. A partir disso, o experimento foi conduzido e os estudantes puderam visualizar o conteúdo estudado.

O experimento consistiu em uma garrafa pet de dois litros cheia de água e com furo com 0,5cm de diâmetro na base. Os alunos obstruíram o orifício até o momento de iluminar com o laser a garrafa (Figura 18).



Figura 18: Atividade 9. Disponível em: <http://demonstracoes.fisica.ufmg.br/artigos/ver/84/7.-Reflexao-Total>  
Acesso em: 25/07/2020

Depois do experimento, a professora fez a relação destas novas informações com a tecnologia de funcionamento das fibras ópticas, demonstrando a aplicabilidade do fenômeno. A ideia foi aproximar a atividade experimental com a realidade do aluno.

#### 4.1.3.10 Atividade 10

Antes de dar início ao processo experimental, a professora lembrou a teoria ondulatória da luz, foco da terceira atividade experimental desenvolvida. Neste momento o conteúdo abordado foi o fenômeno de difração que se verificou através das interferências construtivas e destrutivas criadas por um fio de cabelo ao se incidir o laser sobre ele conforme a Figura 19.

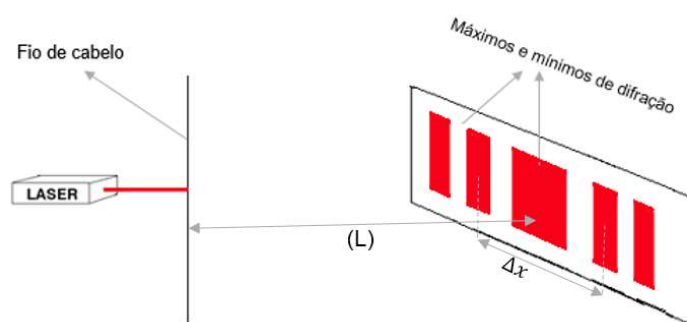


Figura 19: Atividade 10. Fonte: Própria autora

Num primeiro momento, trata-se de outro experimento demonstrativo, mas de suma importância, pois este fenômeno em si traz uma bagagem conceitual mais distante do aluno e a visualização concreta do fenômeno tem um grande aspecto pedagógico.

A professora primeiramente explica o fenômeno e mostra a Figura 8 (ou até mesmo a Figura 19) que consiste na visualização das regiões de máximos e mínimos de difração. Na atividade experimental foi possível visualizar perfeitamente estas regiões, que foram demarcadas com a finalidade da realização do cálculo da espessura do fio de cabelo, como parte do segundo momento deste experimento.

O objetivo deste experimento não foi somente a aplicabilidade do cálculo, mas também a percepção de que tal fenômeno só foi possível pois trata-se de um obstáculo de dimensões muito pequenas.

#### 4.2 ABORDAGENS QUALITATIVA E QUANTITATIVA

Para avaliar o aprendizado dos alunos, foram propostas dois tipos de abordagens: qualitativa e quantitativa.

Na abordagem qualitativa, o professor, que se encontra dentro do ambiente estudado, observa e registra todas as atividades dos alunos, selecionando informações que possam ser úteis posteriormente. Para o contexto de sala de aula, a análise qualitativa merece destaque, pois a todo momento os estudantes estão interagindo, compartilhando informações e reestruturando seus conceitos. Para Moreira (2009), uma abordagem qualitativa permite uma análise crítica de cada significado em diferentes contextos.

Já em uma abordagem quantitativa, o pesquisador conta com medições, registros de variáveis específicas e controladas e instrumentos objetivos que permitem a quantificação confiável dos eventos.

A abordagem qualitativa da proposta didática utilizada nesta dissertação se deu através de um tratamento descritivo e interpretativo dos dados coletados e das observações subjetivas do professor com os alunos, como anotações, dúvidas individuais e envolvimento de cada aluno com as atividades propostas . A abordagem quantitativa foi realizada através da aplicação de um questionário antes (pré-teste) e depois (pós-teste) e de registros das atividades em sala de aula. O questionário, que se encontra no Apêndice B, foi adaptado de Harres. (1993) e tem como objetivo identificar as concepções alternativas dos estudantes a respeito do conteúdo de óptica.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este estudo foi realizado durante 12 aulas do segundo semestre do ano de 2019, na Escola de Educação Básica Monsenhor Bernardo Peters do município de Treze de Maio – SC, para uma turma composta por 17 alunos do 2º ano do ensino médio. Foram realizadas atividades individuais e em grupos de no máximo 4 alunos. Ao longo deste capítulo, serão discutidas as respostas individuais dos estudantes ao que chamamos de pré-teste (Apêndice B), bem como seus comentários e impressões obtidos durante a aplicação da proposta didática baseada nos pressupostos da Aprendizagem Significativa e que usa a experimentação como ferramenta didática. Os experimentos aqui referidos são os mesmos propostos no capítulo 4 (metodologia).

### 5.1. AULA 1: APRESENTAÇÃO E PRÉ-TESTE

Após o consentimento da direção e da equipe pedagógica da escola, a professora se reuniu com a turma a fim de informá-la sobre a aplicação de uma metodologia pedagógica que ocuparia as próximas aulas. Foi mencionado que se tratava de um estudo para sua dissertação de mestrado e que o tema abordado seria Óptica e Fenômenos Luminosos.

Foi realizado o pré-teste, que consistiu na aplicação do questionário que se encontra no Apêndice B. O questionário utilizado foi adaptado de Harres (1993), que leva em consideração as concepções alternativas em óptica e seus fenômenos. O objetivo da aplicação do pré-teste foi identificar os conhecimentos prévios (subsunçores) dos alunos acerca do tema abordado.

No momento da aplicação do pré-teste, os alunos já começaram a demonstrar interesse pelo tema e a curiosidade para saber a resposta correta foi bastante motivadora para as aulas posteriores. Com isso, foi possível perceber que o pré-teste não somente pôde ser usado como uma ferramenta para obtenção e análise dos subsunçores dos alunos, mas também como uma ferramenta pedagógica de estímulo aos discentes em relação às aulas.

#### 5.1.1 Análise das Respostas do Pré-teste

Os resultados discutidos a seguir se referem à aplicação do questionário antes do desenvolvimento das atividades propostas. Este pré-teste foi aplicado na primeira aula e, além de averiguar suas concepções alternativas, teve como objetivo identificar os subsunçores dos estudantes a respeito do conhecimento sobre a óptica, tendo seu enfoque baseado na



importância da luz para formação da imagem, suas características de propagação, reflexão, refração e difração.

O questionário é composto por 6 questões de múltipla escolha, com quatro alternativas cada, sendo somente uma considerada correta. Os estudantes foram orientados a ler atentamente as questões e responder com fidelidade ao seu conhecimento. O gráfico da Figura 20 mostra a porcentagem das resposta corretas obtidas nos testes para cada questão, lembrando a turma possui um total de 17 estudantes.

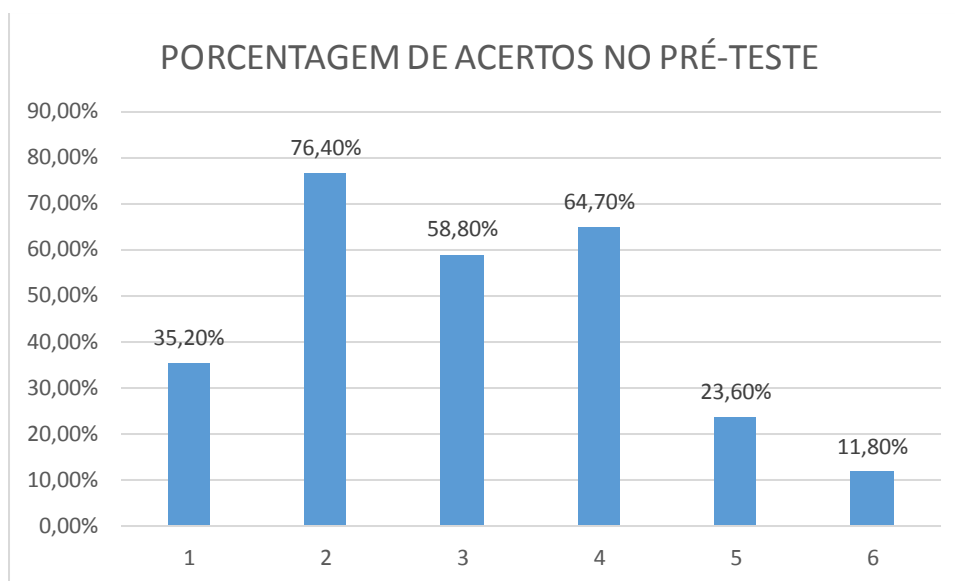


Figura 20: Gráfico das porcentagens de acertos nas questões do pré-teste.

A análise do percentual de acertos do pré-teste indica que a maioria dos alunos possuía concepções corretas a respeito das questões 2 e 4, o que não se verificou nas demais. A seguir, analisamos cada uma das questões, tentando encontrar justificativas plausíveis para seus resultados.

**Questão 1** - Observe a figura 21:



Figura 21: Imagem da questão 1 do pré-teste. Disponível em <http://nossavamoscolorirdesenhos.blogspot.com/2011/10/desenho-para-colorir-de-menina-olhando.html>. Acesso em: 20/09/2019

A imagem acima ilustra uma menina admirando as flores de um jardim ensolarado. A menina está encantada com suas cores e beleza naturais. Para que esta visão e percepção das flores em sua cabeça seja possível, o que é necessário ocorrer? (escolha a alternativa que seja mais adequada)

- a) Não é necessário que ocorra nada, porque os olhos humanos possuem decodificam de forma natural as informações das imagens.
- b) Os olhos da menina emitem raios luminosos até as flores. Estes raios dão cor a elas e permitem esta sensação de encanto que a menina está sentindo.
- c) As flores estão sendo iluminadas pela luz solar. A luz chega às flores e é refletida por elas. Os olhos da menina recebem a informação, que é processada cérebro.
- d) As flores emitem raios luminosos até os olhos da menina.

(Questão adaptada e inspirada nos artigos de Harres (1993) e Andersson e Kärqvist (1983))

No pré-teste, a questão 1 traz como correta a alternativa c porém concepção alternativa evidente consistiu na crença de que os olhos emitem raios que permitem a formação de imagem (alternativa b). Uma possível explicação para isto seria a influência que os filmes de super-heróis tem na formação dos adolescentes/jovens. Segundo Almeida *et al.* (2007) é comum o estudante não achar necessário a presença de luz para formar uma imagem. O principal equívoco aqui seria a antiga visão aristotélica de que “raios visuais” são emitidos pelos olhos ao objeto a ser observado, similar aos filmes de ficção.

**Questão 2** - Imagine que você está caminhando em uma sala desconhecida e totalmente escura. Quando menos espera, você esbarra em algum móvel que encontra, porque não está enxergando nada. O motivo de você não estar enxergando nada é:

- a) No escuro, os objetos mudam de cor e tendem a ficar pretos, o que dificulta sua visualização;
- b) Como não há luz incidindo nos objetos e sendo refletida em direção aos olhos da pessoa, a formação da imagem em nosso cérebro não ocorre.
- c) A visão ocorre na ausência de luz, mas nosso cérebro não consegue interpretar;
- d) O nosso cérebro é capaz de formar imagem no escuro, porém o problema acontece nos olhos.

A alternativa correta (letra b) foi assinalada por 76,4% dos estudantes e traz que, em sua ausência, a flor não reflete a luz ficando impossível para formação da imagem, o que mostra a capacidade dos alunos em associar a importância de fenômenos de reflexão da luz na percepção do que observamos. Além disso, podemos dizer que a maioria dos alunos possui subsunçores referentes a este conceito básico de luz e imagem.

**Questão 3** - Um ratinho muito esperto corre de um gato e se esconde em uma caixa totalmente escura. A Figura 22 é uma ilustração da cena vista de cima.

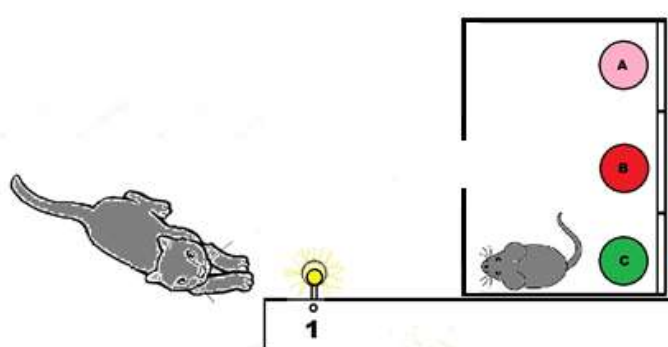


Figura 22: Imagem da questão 3 do pré-teste. Fonte: Própria Autora.

Supondo que no ponto 1 tenha uma luminária fixa que pode ser acionada pelo gato. Considerando que o ratinho possa se deslocar na intenção de continuar escondido, em qual(is) região(ões) haveria segurança para o rato?

- a) Somente A e B.
- b) Somente B.
- c) Somente B e C.
- d) A, B e C.
- e) Nenhuma delas.

(Questão adaptada e inspirada nos artigos de Harres (1993) e Andersson e Kärrvist (1983))

A porcentagem de acertos (letra c) para esta questão foi de 58,8% (10 alunos), sinalizando uma interpretação errada de quase metade deles. Aqui ocorre uma confusão conceitual entre a propagação retilínea da luz e a emissão de raios paralelos pela fonte de luz. Almeida et al. (2007) descreve que este erro pode ser induzido até mesmo pelos livros didáticos que tratam como paralelos os feixes de luz, como no estudo de espelhos ou lentes. Isto só pode ser considerado quando o objeto iluminado posiciona-se suficientemente distante da fonte de

luz. Como o resultado desta questão não foi bom suficiente (um pouco mais da metade de acertos), acredita-se ser necessária a introdução de conceitos através do uso de organizadores prévios, para que os alunos possam progredir no restante do conteúdo.

**Questão 4** - Imagine um vaso dentro de uma sala totalmente escura, de repente uma lanterna é ligada e o ilumina, conforme ilustra a Figura 23.

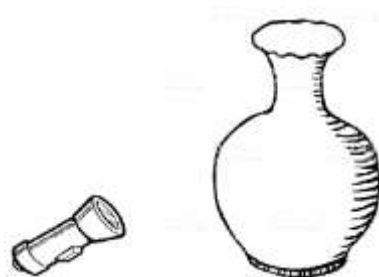


Figura 23: Imagem da questão 4 do pré-teste. Fonte: Própria autora

- a) A sombra formada será do mesmo tamanho real do vaso, independentemente da posição da lanterna;
- b) Quando a luz atinge o objeto, dispara uma sombra atrás dele, sempre similar a forma real do objeto;
- c) A sombra se forma por que a luz não consegue contornar o objeto, ou seja, o que indica que na sombra há ausência de luz;
- d) A sombra será sempre menor que o tamanho real do vaso.

A questão número 4, similar ao que aconteceu com a questão 2, também apresentou um bom resultado neste pré-teste. O conceito abordado é a propagação retilínea da luz vinculada a formação de sombra. Apesar do número expressivo de certos, 35,3% dos alunos (6 alunos) não a responderam corretamente, provavelmente por desvincularem o conceito de sombra ao conceito de luz, considerando-a uma entidade física (letra c), com características semelhantes aos objetos, ao invés de tratá-la como ausência de luz (ALMEIDA et al, 2007).

**Questão 5** - Um professor mostrou para um alunos o experimento ilustrado na figura 24.



Figura 24: Imagem da questão 4 do pré-teste. Disponível em: <http://fisicacampusarangua.blogspot.com/2010/09/por-que-quando-mergulhamos-uma-parte-de.html> Acesso em: 20/09/2019

Quando perguntou ao aluno o que estava acontecendo com o lápis, o mesmo respondeu:

“Professor a luz está mudando seu meio de propagação, por isso essa ilusão de o lápis estar quebrado!”

O professor respondeu: “Sim, mas existe algo a mais acontecendo com a luz nesta experiência...”

- a) A luz não consegue se propagar na água;
- b) A luz forma curvas dentro da água
- c) A velocidade de propagação da luz muda dentro da água
- d) A densidade da água muda quando atingida pela luz

O percentual de acertos foi de somente 23,5% (4 alunos). Esse baixo índice é decorrente do desconhecimento do comportamento retilíneo da luz, pois a maioria deles considerou que a luz poderia apresentar uma trajetória curvilínea (letra b). Este resultado também justifica o alto índice de resposta incorreta na questão 3, que também aborda a trajetória retilínea da luz. Novamente, estes problemas precisam ser resolvidos com atividades introdutórias (organizadores prévios).

**Questão 6** - Observe a figura a 25.

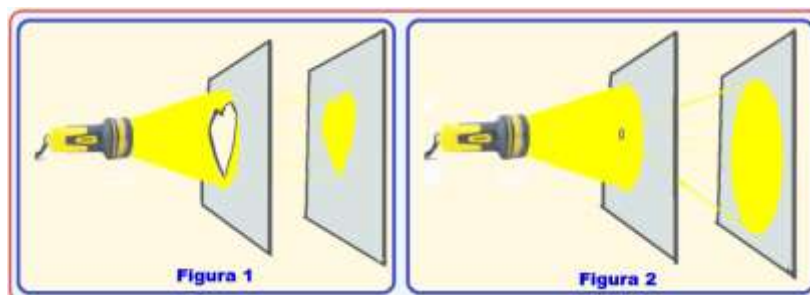


Figura 25: Imagem da questão 6 do pré-teste. Disponível em: [http://fisicaevestibular.com.br/novo/wp-content/uploads/migracao/ondulatória/difração/o\\_21929b59f7ddfd6.html](http://fisicaevestibular.com.br/novo/wp-content/uploads/migracao/ondulatória/difração/o_21929b59f7ddfd6.html). Data de acesso: 20/09/2019

A respeito desta figura, é verdadeiro afirmar que:

- Está representada de forma errada, pois a figura 2 deveria formar um círculo muito menor no anteparo;
- Está representada de forma errada pois ambas figuras deveriam se formar maiores no anteparo;
- Está certa pois a luz passa pela abertura forma o coração em 1 e transpassa o primeiro anteparo para formar a imagem em 2.
- Está certa pois a luz passa pela abertura e forma o coração em 1; e em 2, o orifício, por possuir dimensões próximas ao comprimento de onda da luz, forma a imagem maior no anteparo.

A questão 6 aborda o fenômeno de difração óptica. Como é um tópico relativamente desconhecido, não surpreende que o número de acertos tenha sido tão baixo, de apenas 11,7% (2 alunos). Almeida et al. (2007) coloca este erro como uma concepção alternativa comum, onde os alunos tendem a considerar o feixe de luz passando por uma espécie de filtro, e assinalaram a alternativa da letra “a”. Acreditamos que os 2 alunos acertaram “no chute” ou fizeram analogia a algum fenômeno de espalhamento da luz.

Resumindo, todos os tópicos abordados precisam ser bem trabalhados através de organizadores prévios e aulas motivacionais, para que estes resultados melhorem. Porém, os tópicos abordados nas questões 1, 3, 5 e 6 requerem atenção especial e maior elaboração conceitual.

## 5.2 AULA 2: LUZ E VISÃO

Nesta aula, abordou-se a importância da luz para formação da imagem, sendo desenvolvida a primeira atividade experimental. Em uma sala previamente preparada com o mínimo possível de entrada de luz, fez-se uso de uma grande caixa de papelão com algumas figuras coladas em seu interior. Veja a Figura 26.



Figura 26: Caixa de papelão utilizada na Atividade 1. Fonte: arquivo pessoal da autora.

Os alunos chegaram na sala e se depararam com a caixa, mas seguindo orientação da professora, foram tomando seus lugares. A curiosidade foi grande e algumas perguntas já esperadas foram feitas: *“O que é isso professora?”* e *“Por que essa caixa enorme está aí?”*. Dada a reação dos alunos, é interessante notar que um simples objeto, que foge da rotina deles, é capaz de despertar a curiosidade e automaticamente transformar uma aula tradicional em algo instigante, proveitoso e participativo.

A aula teve início quando a professora solicitou que alguns voluntários entrassem na caixa. Devido ao interesse da maioria deles, a professora decidiu dividir a turma em grupos de no máximo quatro alunos. Sendo assim, a atividade foi repetida para cada grupo, de tal forma que todos puderam participar. A cada grupo que entrava na caixa, a professora entregou uma lanterna na mão de um dos membros e pediu para que a mantivesse inicialmente desligada. A seguinte pergunta foi feita aos alunos: *“O que vocês estão vendo?”*. Todos responderam que não podiam ver nada. A professora continuou conduzindo a aula com mais questionamentos orais, como mostrado abaixo, instigando os alunos a pensar sobre o que estava acontecendo:

*“Mas por que vocês não estão vendo nada?”*

*“Abram bem os olhos, assim vocês conseguem ver algo?”*

*“Por que será que no escuro vocês não conseguem enxergar nada?”*

*“O que vos impede de enxergar?”*

Feito isso, a professora pediu para ligarem a lanterna. Então, além de verem uns aos outros, também observaram que havia figuras coladas nas paredes da caixa. Além de servir de cunho motivacional, esta atividade experimental foi importante para discutir a importância da presença de luz para formação da imagem em nosso cérebro. Por ser uma atividade introdutória, esta atividade é considerada pela autora como um organizador prévio, pois busca conectar a realidade do aluno com o assunto que está sendo estudado.

Após o procedimento, cada aluno expressou de forma escrita a sua percepção no primeiro momento (escuro) e no segundo momento (com a lanterna acesa), dando seu entendimento sobre a importância da luz para nossa visão.

Analisando seus posicionamentos, percebeu-se que maioria dos estudantes conseguiu vincular a presença de luz com a formação da imagem. Termos e expressões utilizados em óptica surgiram em algumas respostas às perguntas feitas, como por exemplo: *“No segundo momento, já consigo ver o que estava escrito, pois agora havia uma fonte de luz”*. Aqui o aluno consegue associar o termo “fonte de luz” com a lanterna.

Apenas 11,8% dos alunos (2 alunos) não conseguiram relacionar a presença de luz com a visão humana. Este percentual engloba respostas como *“É muito importante, pois sem ela, complicaria tudo”*. Considera-se, neste caso, uma resposta confusa e fora de contexto. Novos materiais introdutórios precisam ser utilizados com estes alunos, pois esta atividade não foi suficiente para convencê-los dos conceitos de luz e imagem. Propõe-se outra ferramenta, além da experimentação, para contextualização, podendo ser através de metáforas, figuras ou vídeos.

As respostas corretas surgem quando o aluno reconhece que, na ausência de luz, a visão não ocorre. Um exemplo de resposta simples pode ser a seguinte: *“É a luz que nos permite enxergar os outros objetos, tornando-os visíveis”*. Entretanto, algumas respostas foram mais completas e complexas e aparecem quando o aluno consegue vincular a reflexão da luz com a formação da imagem, como neste exemplo: *“A luz é essencial para a visão humana, uma vez que reflete a imagem de objetos diversos. Tais figuras, posteriormente, são captadas pelo olho humano e processadas pelo cérebro.”*

### 5.3 AULA 3: CARACTERÍSTICAS DA LUZ



A partir do que foi abordado nas aulas anteriores, o objetivo agora passa a ser o entendimento de como a luz se propaga e a abordagem das teorias que tratam de seu comportamento. Primeiramente, tivemos uma visão da teoria corpuscular da luz descrita por Isaac Newton. Neste momento, salientou-se o comportamento retilíneo da luz e como ele se adequa nesta visão à física Newtoniana. Então, realizamos a Atividade 2, na qual utilizamos uma fonte de luz e cartões com orifícios de diferentes espessuras, perfeitamente alinhados (Figura 27), a fim de mostrar algo semelhante a um feixe de luz. Nesta experiência os alunos visualizaram o comportamento retilíneo da luz, e relacionaram à teoria corpuscular descrita por Newton.



Figura 27: Atividade 2: Comportamento Retilíneo da luz. Fonte: arquivo pessoal da autora.

Após o experimento, foram propostas perguntas dissertativas para os alunos responderem, como segue abaixo:

1. *Tente desalinhar os cartões e veja como a luz se comporta. Como ela se propaga através do furo?*
2. *Qual característica da luz conseguimos verificar com esta experiência?*

Quando os estudantes foram orientados a desalinhar os cartões, a maioria conseguiu visualizar o comportamento retilíneo da luz, sendo assim, eles acertaram a primeira questão proposta. A resposta mais completa, feita por um dos grupos, foi a seguinte: “*Desalinhando os cartões, a luz não se propaga pelo orifício, pois a luz não é capaz de contornar o objeto.*” Outras respostas não foram tão bem elaboradas, como “*A luz não atravessou*” ou “*Não dá pra ver por que a luz não passa*” ou ainda “*Desalinhando os cartões a luz não se comporta como*

*antes*”. Mesmo incompletas, estes grupos se convenceram a respeito do comportamento retilíneo da luz, relacionando o observado com a teoria corpuscular descrita por Newton.

Na segunda pergunta, apenas 1 estudante não conseguiu encontrar uma resposta adequada. A maioria das respostas teve o seguinte perfil: “*A luz se propaga em linha reta*” ou mais especificamente “*A luz se propaga em linha reta, conforme previsto pela teoria de Newton, e assim confirmando uma de suas características*”. Portanto o objetivo deste experimento foi alcançado. Com exceção do único aluno que não conseguiu captar este conceitos, todos os demais tiveram um entendimento satisfatório, significativo.

Em contraposição à teoria corpuscular de Newton, a professora propõe a Atividade 3. Tal atividade envolvia basicamente um pequeno cartão furado minimamente com ponta de uma agulha. Os alunos foram incentivados a tentar ver através do furo. A professora fez uma breve explicação sobre a teoria ondulatória da luz descrita por Christian Huygens demonstrando o fenômeno de difração ocorrido nesta atividade experimental.

O experimento em questão demonstra a difração através de uma imagem borrada, pois quando a luz passa através de uma pequena abertura, os raios não se propagam em linha reta. Em vez disso, a luz de um único raio é espalhada em várias direções e produz uma imagem tremida. A difração dispersa estes raios que atravessam o pequeno orifício e, portanto, desfoca a imagem.

Dando continuidade à sequência didática, os grupos foram incentivados a comparar e relacionar as duas teorias abordadas, de Newton e Huygens. O seguinte desafio foi proposto a eles: “*Utilize os dois experimentos anteriores para explicar as teorias desenvolvidas por Newton e Huygens acerca da propagação da luz*”. Um percentual de 17,6% (3 alunos) não respondeu o desafio proposto. Muitos estudantes explicaram a teoria mas não relacionaram aos experimentos realizados (41,17% - 7 alunos).

As respostas consideradas completamente corretas somaram 52,9% (9 alunos) do total e abrangeram respostas como: “*Newton: em forma de partículas, já que acreditava que a luz se propagava em linha reta. Ex.: Formação de um feixe e um raio de luz. Huygens: comportamento ondulatório. Ex.: Difração.*”

Ou colocações mais completas como: “*Ambos experimentos realizados comprovam os pensamentos de cada estudioso: o primeiro, no qual o raio de luz era apenas propagado em um alinhamento retilíneo com o cartão furado, auxiliou Newton a afirmar sua teoria, que a luz só se propaga em linha reta; já no segundo exemplo, Huygens foi capaz de contrapor os pensamentos de Newton, uma vez que a imagem não realizou uma trajetória retilínea, assim a luz tem comportamento ondulatório.*”

Após as duas experiências, um aluno que havia realizado o Exame Nacional do Ensino Médio (ENEM) no final de semana anterior, lembrou de uma questão sobre este tema. A professora fez uma pesquisa sobre a referida questão e compartilhou com os alunos em sala de aula a fim de que pudessem resolvê-la juntos. A finalização desta aula aconteceu com a explicação do comportamento dual da luz, dando exemplos e respondendo a todos os questionamentos surgidos.

Para atingir um percentual maior de alunos seria interessante o uso de outros recursos para elaboração conceitual, podendo ser até mesmo outras questões do ENEM ou de outros vestibulares, pois estes momentos implicam em intensa troca de informações entre professores e alunos, e facilitam a aprendizagem.

#### 5.4. AULAS 4 E 5. CÂMARA ESCURA DE ORIFÍCIO

Nestas duas aulas, o tópico estudado foi a câmara escura de orifício e a ideia foi novamente demonstrar o princípio de propagação retilínea da luz. Primeiramente, a professora estudou com os alunos o contexto histórico envolvido na criação da câmara escura e, posteriormente, abordou seus princípios de funcionamento. Feito isso, os alunos construíram a câmara escura utilizando uma caixa de papel a fim de realizar a Atividade 4. Aqui é conveniente salientar a importância dos alunos confeccionarem o próprio material, conforme apontado por Duarte (2012) e Santos et al. (2004), pois melhora a autoestima deles e traz maior motivação para aprender.

Após a confecção da câmara escura, os alunos foram conduzidos ao pátio da escola para presenciar o funcionamento do instrumento, conforme ilustrado na Figura 28. Neste momento, os alunos demonstraram todo seu entusiasmo com expressões similares a: *“Eu consigo ver tudo colorido, mas de cabeça para baixo!”*.



Figura 28: Alunos realizando a Atividade 4. Fonte: arquivo pessoal da autora.

Em seguida, os alunos foram conduzidos novamente à sala de aula para responder um questionário proposto pela professora. O questionário foi formado pelas seguintes indagações:

1. *Apresente as características da imagem obtida em comparação com condições e dimensões reais do objeto. Explique.*
2. *Como fica a trajetória dos raios luminosos após o cruzamento entre eles?*
3. *Aumentando o diâmetro do orifício, como fica a imagem?*
4. *Qual é a principal limitação da câmara escura que impossibilita sua utilização para fotografia?*
5. *Com uma trena, meça a altura de um colega, posicione-o a 5m de você e calcule o tamanho de sua imagem formada na câmara escura.*

Este experimento permite que o aluno tenha contato real com o assunto abordado e relaciona as características da propagação da luz com o observado.

Verificou-se que 82,3% (14 alunos) das respostas são coerentes e conseguem relacionar o funcionamento do instrumento com a propagação retilínea da luz, o que fica evidente na questão 1. Obtém-se respostas como *“A imagem é invertida e menor, pois a luz se propaga em linha reta se cruzando no orifício e formando a imagem no fundo da caixa.”*

O princípio da independência dos raios luminosos também se destaca neste experimento, quando os estudantes respondem a segunda pergunta. Um percentual de 88,2% dos estudantes (15 alunos) acertaram a questão, e 70,6% (12 alunos) desenvolveram respostas em que o referido princípio fica evidente *“Normal, pois um não altera o outro, sendo assim apenas seguem suas trajetórias.”*

As questões 3 e 4 também foram respondidas com coerência, os alunos conseguiram verificar que as imagens mais nítidas se faziam a partir de orifícios menores no instrumento,

pois a incidência de raios vindo de outras regiões é menor. Então foi fácil para eles perceberem que justamente é esta a limitação da câmara escura, o fato do orifício ser grande, impossibilitando uma imagem com qualidade para uma fotografia por exemplo.

Além do questionário apresentado, os alunos foram encorajados a calcular o tamanho da imagem formada através das medidas da caixa, da distância entre o observador e a caixa e da profundidade da caixa. Este momento do experimento faz-se uma analogia a semelhança de triângulos, sendo este um organizador prévio a fim de preparar os alunos para dedução da fórmula (expressão matemática nº 2 do cap. de revisão teórica).

$$\frac{o}{i} = \frac{p}{p'}$$

Os alunos ficaram cada um a uma distância de 5m do seu colega. O tamanho do lado da caixa era de 58cm e a altura de um dos colegas era 160cm.

$$\frac{160}{i} = \frac{500}{58}$$

$$i \cdot 500 = 160 \cdot 58$$

$$500i = 9280$$

$$i = \frac{9280}{500}$$

$$i = 18,56 \text{ cm}$$

Portanto o tamanho obtido para imagem foi de 18,56cm.

## 5.5. AULA 6: REFLEXÃO DA LUZ

Nesta aula, foram abordados o fenômeno de reflexão da luz e suas leis. Iniciou-se a aula mostrando a diferença entre reflexão difusa e regular. Dando prosseguimento, a professora trabalhou com os alunos as leis da reflexão, para que pudessem desenvolver a quinta atividade experimental.



Figura 29: Alunos Realizando Atividade 5. Fonte: arquivo pessoal da autora.

O experimento consiste em utilizar um pente cuja sombra seja refletida em um espelho pela iluminação de uma lanterna (Figura 29). Facilmente pode ser observado os raios incidente e refletido. Os alunos foram orientados a desenhar em uma folha os referidos raios para que pudessem posteriormente medir os ângulos de incidência e de reflexão com o uso de um transferidor.

O objetivo deste experimento era verificar a lei da reflexão, que afirma que os ângulo de incidência e de reflexão devem ser iguais. Muitos alunos precisaram do auxílio da professora para encontrar os raios refletidos e fazer a correta utilização do transferidor. Alguns alegaram que nunca tinham usado tal instrumento, o que acarretou na morosidade da aplicação desta experiência. É interessante notar que os conhecimentos prévios dos alunos deixam bastante a desejar em termos de Matemática, o que acarreta mais trabalho ao professor de Física, que se vê obrigado a revisar conteúdos básicos para poder usar em suas aulas.

Após a revisão de semelhança de triângulos e a explicação quanto ao uso do transferidor, apenas 2 alunos (cerca de 11,7%) não conseguiram realizar a atividade. Todos os demais realizaram com êxito os cálculos necessários e encontraram um ângulo de aproximadamente  $40^\circ$  para os raios incidente e refletido. Alguns tiveram diferença de  $1^\circ$  ou  $2^\circ$  do raio incidente para o refletido, o que pode ser considerado dentro da margem de erro esperada pelo uso do transferidor.

Salienta-se novamente sobre a importância de revisar conteúdos, levar os alunos a fazer parte dos experimentos, seja pela montagem e/ou execução, e também de usar a criatividade para contornar dúvidas inesperadas.

## 5.6. AULA 7: REVERSIBILIDADE DOS RAIOS LUMINOSOS

Após o estudo envolvendo a reflexão da luz, os alunos estudaram outro princípio de propagação da luz: a reversibilidade dos raios luminosos. Imagens refletidas no espelho retrovisor do carro servem de exemplo prático para introduzir o conceito teórico da reversibilidade dos raios luminosos.

Propõe-se a realização de outro experimento (atividade 6) que consiste em, primeiramente convidar três voluntários. Na primeira etapa da atividade, dois deles tiveram que segurar espelhos planos, posicionados de tal forma que o reflexo de um incidisse sobre o outro. O terceiro aluno ficou com um laser apontado em direção a um dos espelhos. A professora usou um canetão para marcar a posição do laser em cada espelho e no quadro, onde ocorreria a reflexão final. Veja a Figura 30.



Figura 30: Laser incidindo em um espelho durante a Atividade 6. Fonte: arquivo pessoal da autora.

A segunda parte da experiência consistiu em fazer a operação inversa. O laser foi incidido exatamente na posição do quadro marcada pela professora onde havia ocorrido a reflexão final na etapa anterior. Os alunos perceberam que o raio percorreu exatamente a mesma trajetória, chegando nos mesmos pontos marcados nos espelhos. Retomando o exemplo do retrovisor do carro, a professora encontrou uma relação com o experimento, em que a trajetória

da luz se dá do passageiro até o espelho do carro e finalmente aos olhos do motorista, sendo que o caminho inverso ocorre da mesma forma, por isso o passageiro consegue visualizar a imagem do motorista no retrovisor.

A finalidade deste experimento foi demonstrar de forma prática o princípio da reversibilidade dos raios luminosos. Após o experimento foram apresentados os seguintes questionamentos:

1. *Onde ficou projetado o feixe de luz no segundo momento?*
2. *O que podemos perceber sobre o trajeto da luz durante esta experiência?*

Aproximadamente 23,5% dos alunos (4 alunos) não responderam ou responderam de uma forma confusa como *“Percebi que a luz é a mesma tanto na ida quanto na volta.”*

Os demais, correspondente a 76,5% (13 alunos), escreveram respostas satisfatórias, como *“No segundo momento, a luz veio do lado oposto, fazendo exatamente a mesma trajetória de antes.”* ou *“O feixe de luz ficou projetado no mesmo lugar do primeiro momento. Percebi que a luz procura o caminho mais curto, comprovando então a reversibilidade dos raios de luz.”* Alguns incluíram desenhos explicativos, para complementar seu raciocínio, como mostrado na Figura 31.

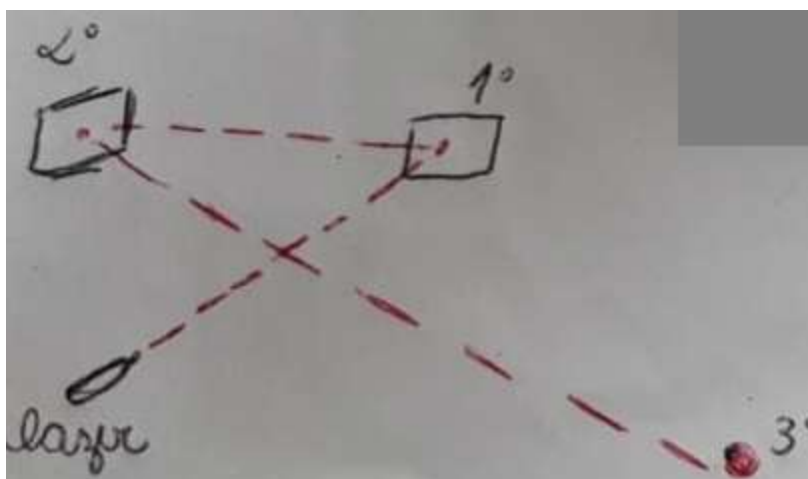


Figura 31: Desenho do aluno como resposta à questão do experimento 6. Fonte: Arquivo pessoal da autora.

Mesmo se tratando de atividades experimentais simples, percebe-se que o material utilizado é sim potencialmente significativo, como propõe Ausubel. Os alunos conseguem relacionar um experimento com o outro e abordar corretamente os conceitos envolvidos.

## 5.7. AULA 8: REFRAÇÃO DA LUZ



Esta aula foi direcionada ao estudo do fenômeno de refração da luz, suas causas e efeitos. Para aguçar a curiosidade dos alunos, primeiramente eles realizaram o sétimo experimento.

A atividade consistiu em utilizar uma garrafa com água para demonstrar este fenômeno que ficou mais evidente quando colocada na frente de uma folha listrada com uma seta central. Veja a Figura 32.

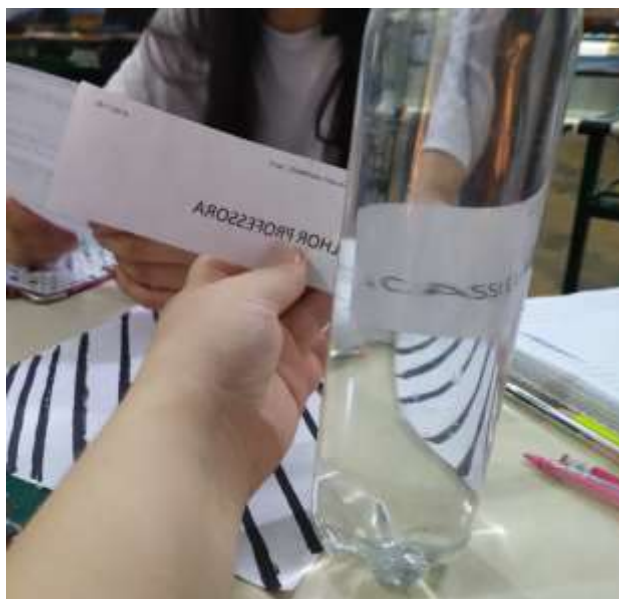


Figura 32: Alunos realizando a Atividade 7. Fonte: arquivo pessoal da autora.

Os alunos se impressionaram muito ao ver as listras e a seta mudando suas direções. Em seguida, foi entregue uma frase escrita ao contrário para que eles pudessem ler utilizando a garrafa. Ficaram bastante curiosos com o que conseguiram observar, o que permitiu manter o foco e dar continuidade à aula. O fenômeno de refração é explicado evidenciando a mudança de velocidade da luz ao atravessar um diferente meio de propagação. Esta atividade tem cunho motivacional, a fim de despertar uma reação instigante do discente com relação ao tema abordado.

Após a realização do experimento, foi indagado aos estudantes o que foi possível perceber da imagem quando vista através da garrafa com água, bem como o comportamento da luz se propagando e causando o referido fenômeno. Com a participação de todos, a professora deu prosseguimento na elaboração conceitual do fenômeno de refração, evidenciando a mudança de velocidade da luz ao atravessar um diferente meio de propagação.

Em um momento posterior à atividade, foram propostos os seguintes questionamentos:

1. *O que você pode perceber com a imagem visualizada através da garrafa?*
2. *O que acontece com a luz se propagando na água para que isso ocorra?*

Percebeu-se que cerca de 70,6% (12 alunos) conseguiu ser coerente e relacionar o fenômeno de refração para justificar a distorção da imagem. Uma observação foi: *“A velocidade da luz fica menor, causando esse efeito, pois a água é mais densa.”* Os 29,4% restantes (5 alunos) não responderam ou deram uma resposta insatisfatória, mostrando confusão nos conceitos de óptica física com óptica geométrica de espelho. Um exemplo desta confusão foi: *“A imagem é invertida, tal qual um espelho.”*

Em seu estudo, Araújo (2017) utilizou glicerina em um copo para demonstrar a ilusão de invisibilidade criada pela refração, grande parte dos estudantes também conseguiram relacionar a refração ao experimento, porém um terço das respostas analisadas até reconhecem o fenômeno mas não vincularam a alterações de velocidade com a mudança do meio de propagação da luz.

Além de reforçar o conceito de refração, foi frisado que a alteração do meio é responsável pela mudança de velocidade de propagação da luz. A docente ainda colocou que a busca por uma lógica deste comportamento foi alvo de estudo de muitos pesquisadores por um longo tempo, até que Willebrord Snell descobriu a relação dos senos entre os ângulos de incidência e reflexão. Um tempo depois, a mesma relação também foi percebida por René Descartes. Esta relação pode ser evidenciada na Atividade Experimental 8.

A lei de Snell ( $n_1 \cdot \text{sen } i = n_2 \cdot \text{sen } r$ ) não é usada somente para explicar a refração, mas também tem relação com o fenômenos de reflexão interna total.

Tais fenômenos aparecem feito mágica para o aluno, que vê apenas o resultado matemático e não consegue estabelecer uma relação experimental e lógica para este conceito (RIBEIRO e VERDEAUX, 2012).

Este procedimento foi demonstrativo, onde a professora realizou o experimento e os alunos observaram. Os alunos foram orientados a participar lendo as medidas obtidas no transferidor. A Figura 33 representa o experimento realizado. A professora expôs no quadro as diferentes medidas de ângulos obtidas no ar e na água e todos os alunos foram orientados a calcularem os senos dos ângulos e a razão entre eles.

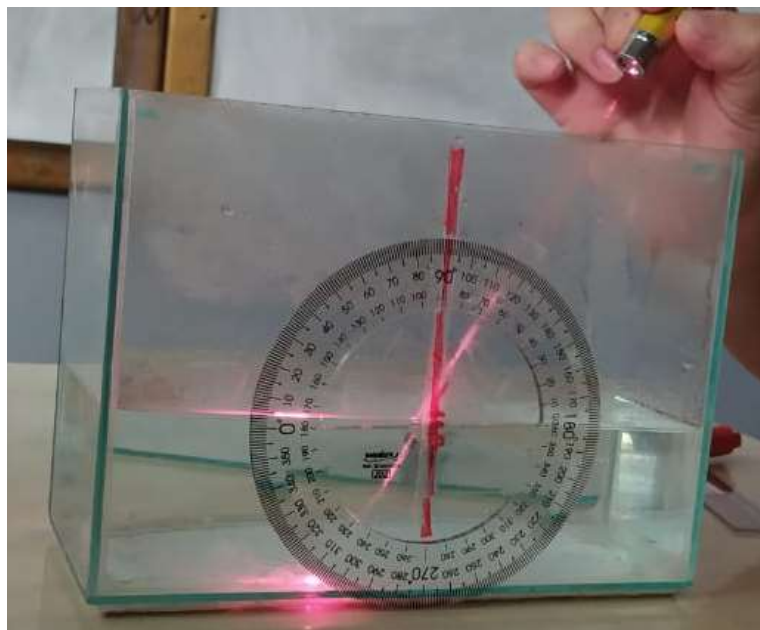


Figura 33: Atividade 8 de aplicação da lei de Snell. Fonte: arquivo pessoal da autora.

Após o experimento, os alunos foram conduzidos a construir uma tabela com os valores dos ângulos de incidência e de refração, e da razão entre os seus senos a Tabela 1 conta com os valores obtidos no experimento.

Tabela 1 - Valores obtidos para verificação da Lei de Snell

$\hat{i}$	$\hat{r}$	$\text{sen } \hat{i}$	$\text{sen } \hat{r}$	$\frac{\text{sen } \hat{i}}{\text{sen } \hat{r}}$
69°	243°	0,933	0,89	1,048
86°	230°	0,997	0,766	1,301
55°	219°	0,819	0,629	1,302
42°	211°	0,669	0,515	1,299

De acordo com as respostas obtidas, os alunos conseguiram perceber que a razão entre os senos ficou em torno de uma constante ( $n \cong 1,3$ ), que se aproxima muito do valor do índice de refração da água ( $n=1,33$ ), verificando-se a confiabilidade da prática experimental.

## 5.8. AULA 9: ÂNGULO LIMITE

A aula se iniciou com a revisão da aula anterior, retomando o conceito de refração da luz. A partir de então, a professora destacou que o referido fenômeno não ocorre de forma isolada: uma parcela do raio de luz é refratada e outra é refletida. A professora destacou que a

refração também ocorre quando o raio de luz é emitido do meio mais refringente para o menos refringente e, com a condição angular adequada, a parcela refratada deixa de existir. A aula então foi conduzida para explicar o conceito de ângulo limite e reflexão total da luz.

Nesta etapa da aula, os alunos já estavam preparados para a próxima atividade experimental (atividade 9). O experimento consistiu em incidir um laser em uma garrafa pet de dois litros cheia de água com um furo na base. Um aluno mantinha o furo obstruído até que outro encontrava a angulação perfeita. A partir daí, o orifício era destapado e a água escorria iluminada pelo laser, conforme Figura 34.



Figura 34: Alunos realizando a Atividade 9: reflexão total na água. Fonte: arquivo pessoal da autora.

Após a realização da experiência, a professora aproveitou o engajamento de todos para introduzir o conceito envolvendo as fibras ópticas, que se baseiam na reflexão total da luz para transmitir informações. A professora comenta o contexto de surgimento da fibra óptica e explica seu funcionamento, ressaltando a importância do feixe de luz se propagar somente no núcleo da fibra.

Aos estudantes foram propostos alguns questionamentos, como segue:

1. *Com esta experiência podemos afirmar que a luz está “fazendo curva”?*
2. *Qual fenômeno óptico é possível observar? Explique.*

3. *Esta experiência demonstra princípio de funcionamento das fibras ópticas. Relacionando com este equipamento, você consegue explicar por que as informações são transportadas com grande velocidade?*

Constatou-se que cerca de 23,5% dos alunos (4 alunos) não respondeu ou deu uma resposta insatisfatória aos questionamentos. Os 76,5% restantes, que deram uma resposta adequada às questões, conseguiram retomar o princípio da propagação retilínea da luz, negando o primeiro questionamento e justificando o observado com base na reflexão total da luz.

Obtivemos respostas para a terceira questão similares a: *“As informações são transformadas em luz e viajam a uma alta taxa no interior da fibra óptica, pois no interior é mais refringente e em sua volta menos refringente, permitindo a reflexão total”*. O que mostra que os alunos conseguiram relacionar a fenômeno físico com esta aplicação tecnológica.

### 5.9. AULA 10: DIFRAÇÃO

Esta aula permitiu à professora relembrar os alunos da teoria ondulatória da luz vista nas primeiras aulas. Tal atividade foi utilizada como organizador prévio para o fenômenos de difração que foi desenvolvido durante esta aula, consistia basicamente e um cartão com um minúsculo orifício central, através do qual os alunos evidenciaram uma “ampliação” de imagem.

A parte teórica de difração em fenda simples foi abordada destacando as interferências construtivas e destrutivas, que foram verificadas através de uma proposta experimental (atividade 10).

Tal experimento consistiu em incidir laser sobre um fio de cabelo. O feixe de luz sofreu difração, como mostrado na Figura 35. A reação dos alunos foi de surpresa, pois não imaginavam que este fenômeno poderia ser visto tão nitidamente.

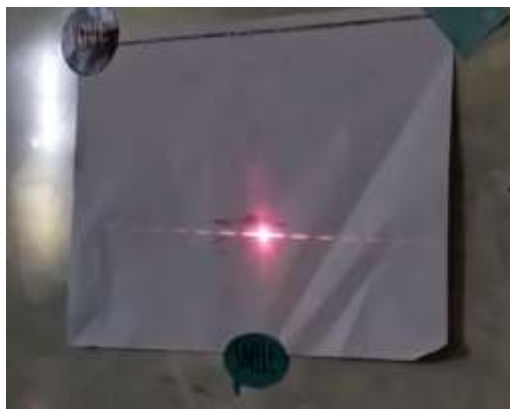


Figura 35: Interferências construtivas e destrutivas obtidas com um fio de cabelo na Atividade Experimental 10 Fonte: arquivo pessoal da autora.

A professora explicou a equação 10 da Revisão Teórica que relaciona as interferências construtivas e destrutivas e pediu para que os alunos calculassem o diâmetro do fio de cabelo a partir destes dados. A principal dificuldade encontrada pelos alunos foi o fato do cálculo ser feito com números na potência de base 10.

Este experimento também foi demonstrativo e a professora manuseou com ajuda de mais três alunos. Os demais apenas observaram e fizeram os cálculos.

O cálculo desenvolvido nesta aula foi para determinar a espessura do fio de cabelo de uma das colegas da turma. O valor utilizado para distância entre dois máximos ( $\Delta x$ ) foi de 3,2 cm ou 0,032m, a distância entre o laser e o anteparo ( $L$ ) era de 1,2m e o comprimento de onda da luz vermelha ( $\lambda$ ) corresponde a  $780 \text{ nm}$ , assim:

$$\Delta x = 2 L \cdot \frac{\lambda}{d}$$

$$0,032 = 2 \cdot 1,2 \cdot \frac{780 \times 10^{-9}}{d}$$

$$0,032 = \frac{1872 \times 10^{-9}}{d}$$

$$d = \frac{936 \times 10^{-9}}{3,2 \times 10^{-2}}$$

$$d = 585 \times 10^{-7}$$

$$d = 58,5 \times 10^{-6} \text{ m}$$

$$d = 58,5 \text{ } \mu\text{ m}$$

Os alunos atribuíram a viabilidade do experimento devido ao pequeno diâmetro do fio de cabelo, que permitiu o fenômeno observado. O valor obtido está de acordo com o esperado segundo Lopes e Laburú (2004), que afirmam que os valores variam de  $52 \pm 5 \text{ } \mu\text{ m}$  para fios de cabelo finos e  $71 \pm 5 \text{ } \mu\text{ m}$  para o fio de cabelo mais grosso.

## 5.10 AULA 11: DISCUSSÃO SOBRE AS AULAS

Esta aula teve como objetivo averiguar entre os estudantes a aceitabilidade a esta metodologia. Muitos alunos demonstraram impressões positivas, incentivando a professora a buscar por mais aulas com esta roupagem.

Alguns discentes colocaram que mesmo aqueles colegas que tem dificuldades na disciplina estão entendendo o conteúdo e outros ainda colocaram que dessa forma a avaliação não fica somente “*no papel*”, pois eles têm a chance de aplicar em sala o que estão aprendendo.

Na visão da professora, aulas conduzidas desta forma oferecem a todos os discentes a oportunidade de demonstrar seu aprendizado, seja no momento do experimento ou respondendo às questões. A aula abre espaço para questionamentos e discussões e se torna mais dinâmica e interativa.

Os alunos também destacaram que as atividades demonstrativas foram importantes, mas eles nitidamente preferem quando a prática consegue ser realizada por todos.

Para as aulas experimentais demonstrativas o professor orienta as observações, explica o conteúdo de acordo com o nível cognitivo do aluno. Sua postura deve transmitir segurança e confiança, permitindo constante participação dos estudantes, inclusive para manipulação do experimento. Como afirma Gaspar *et al.* (2005): “É indispensável a participação ativa do professor ele é o parceiro mais capaz, é quem domina o abstrato e pode extraí-lo do concreto.” Foi assim que a professora percebeu maior aproximação dos estudantes, estreitando laços com os alunos e proporcionando momentos mais prazerosos em sala de aula.

### 5.11 AULA 12: PÓS-TESTE

No pós-teste, os alunos demonstraram avanço do conhecimento obtido. O gráfico da Figura 36 demonstra o nível de evolução conceitual dos estudantes após a aplicação da metodologia.

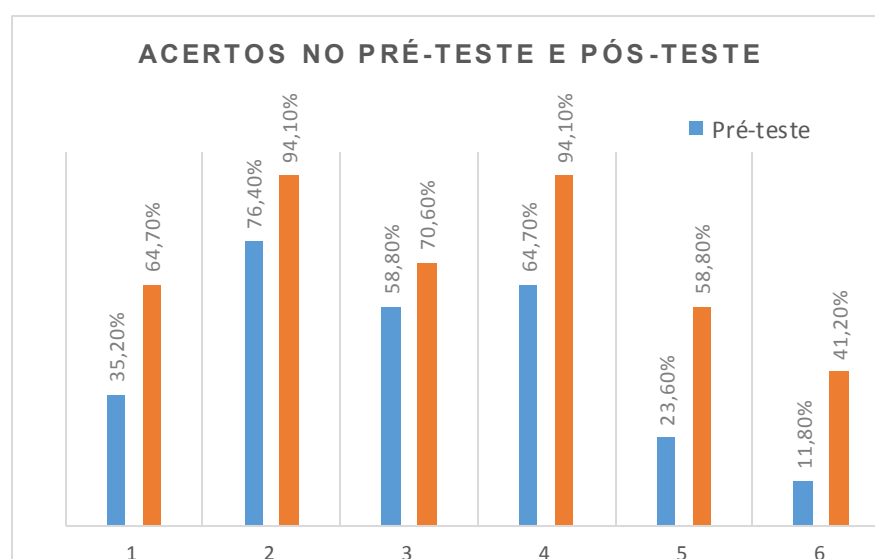


Figura 36: Gráfico do índice de questões corretas nas questões do pré-teste e pós-teste

A evolução conceitual resulta de todo um processo de aprendizagem e condiz com os resultados obtidos em sala de aula, após a realização dos experimentos. Os alunos avançaram em conhecimento e demonstraram aprender de forma significativa a maioria dos conceitos abordados. Foi necessário rever muitos conceitos e realizar atividades simples como introdução aos estudos (organizadores prévios), mas os resultados foram satisfatórios.

As questões 1 e 2 abordavam a importância da presença da luz para formação da imagem. Em um trabalho semelhante, Ribeiro e Verdeaux (2012) também evidenciaram este progresso nos estudantes e afirmam que a partir dos experimentos os estudantes conseguiram perceber que a luz é primordial, se libertando da ideia intuitiva que vincula somente o olho no processo de visão. Os mesmos autores também obtiveram resultados positivos em conceitos que abordaram o comportamento retilíneo da luz, através de experimentos envolvendo sombra e penumbra. Este conteúdo é abordado na questões 3 e 4 e também aponta para uma evolução conceitual dos discentes.

As questões 5 e 6 abordaram o fenômeno de refração e difração óptica, respectivamente. Para estas questões, a evolução conceitual foi de quase 30%, mas ainda não atingiram níveis expressivos de acertos. Para a difração, percebe-se o alto grau de dificuldade no pré-teste, com apenas 13,6% e apesar de o índice aumentar para 41,2% de acertos no pós-teste, percebe-se que ainda existe dúvidas similar a teoria de onda/partícula da luz, não reconhecendo um limite para o tratamento da luz como feixes luminosos.

Aqui desenvolvemos algumas justificativas para este resultado. A primeira está no fato de tratar de fenômenos teoricamente desconhecidos para o estudante, apesar da explicação ser baseada em subsunçores que vinham se incorporando ao longo do processo pedagógico, o conceito em si é totalmente novo e abstrato e precisaria de mais tempo para sua concretização significativa, conceito que Ausubel chama de consolidação (MOREIRA, 1999).

Outro ponto a ser levantado está na participação dos estudantes. Até o fenômeno de reflexão, grande parte das atividades experimentais conta com a participação de todos os alunos, porém, devido a limitações de recursos, os experimentos de refração (Lei de Snell) e Difração foram somente demonstrativos. Apesar da busca constante da participação de todos durante estes experimentos, a professora considera que quando os estudantes conseguem realizar a prática experimental como um todo, o resultado positivo é mais expressivo. Os próprios alunos relataram isto na aula 11, em que se discutiu a metodologia adotada.

A vista disso, acreditamos que as práticas experimentais contribuíram para o avanço dos estudantes acerca do conteúdo abordado, assim como Ribeiro e Verdeaux (2013), comparando um grupo de alunos experimental e outro controle, não evidenciou diferença na evolução



conceitual entre eles somente quando não utilizou experimentos como ferramenta didática. Em contrapartida conceitos que usavam esta abordagem mostram uma evolução significativamente maior do grupo experimental. Dessa forma, fica evidente que a experimentação deve ser utilizada a fim de se obter melhores resultados na aprendizagem.

## 6. CONCLUSÃO

Consideramos que o professor é o responsável em buscar novas alternativas para ensinar de maneira mais atrativa e motivadora, resgatando dessa forma o interesse dos alunos pela Física. Por isso o objetivo central deste trabalho foi propor uma proposta didática baseado nos pressupostos da aprendizagem significativa proposta por Ausubel e que utiliza a experimentação como ferramenta didática. Observando ainda os anseios dos profissionais da educação a fim de superar a falta de estrutura de nossas escolas, os experimentos foram elaborados utilizando materiais de baixo custo.

Para verificação da evolução conceitual dos alunos foram propostos pré e pós-testes utilizados para coleta de dados antes e após a aplicação da sequência didática. Nas questões que englobavam refração e difração óptica, os resultados dos pré-testes apresentaram os menores índices de acertos. Acreditamos que este resultado seja devido a estes conceitos serem relativamente novos e não triviais para a maioria dos alunos. Já nas questões sobre propagação retilínea da luz e reflexão óptica, que tem a ver com o que eles observam no dia a dia, o desempenho foi melhor.

Com a aplicação do pós-teste, percebemos evolução em todos os conceitos avaliados, até mesmo para aqueles que já tinham resultados positivos no pré-teste, o que indica a sucesso da abordagem adotada. No que diz respeito a refração e difração óptica, mesmo após a aplicação da proposta didática e uma evidente evolução dos alunos, acreditamos que ainda não é a resultado ideal e possível de ser alcançado, o que sugere que novas formas de aprendizado precisam ser elaboradas para estes tópicos.

Espera-se que com a inserção da óptica, assim como outras competências da física, no ensino fundamental a partir da implantação da nova Base Nacional Comum Curricular (BNCC), os alunos tenham maior contato com este assunto antes do ensino médio, permitindo-os elaborar, reforçar e incorporar a informação necessária para uma aprendizagem significativa.

No entanto este estudo mostra a viabilidade de práticas experimentais, evidente no transcorrer das aulas, em que os alunos puderam mostrar para a professora o engajamento com a disciplina e a interação em grupo. Os experimentos usados nesta pesquisa mostraram-se eficientes tanto para despertar o interesse dos discentes quanto para elaboração e apropriação de conceitos, além de ótimo vínculo para validação de equações e leis pertencentes ao conteúdo abordado.

Cabe ressaltar que as práticas experimentais que englobam a participação efetiva de todos apresentaram um resultado melhor do que as práticas experimentais somente demonstrativas. Muitas vezes a demonstração é uma forma eficiente de consolidar o conceito de algum fenômeno físico e tende a ser usada por professores com poucos recursos materiais.

Mas salienta-se que o envolvimento direto do aluno, tanto na montagem quanto na execução da atividade, é um fator decisivo na hora de se alcançar a aprendizagem significativa (SANTOS *et al.*, 2004). A busca por alternativas para sanar a falta de estrutura das nossas escolas através do uso de materiais de baixo custo apresentou-se eficiente se comparado a uma tradicional. As atividades experimentais que permitiram a participação integral do aluno foram mais empolgantes e proveitosas.

Neste sentido, para trabalhos futuros, consideramos interessante o uso de práticas experimentais que envolvam todos os estudantes e se relacionem ainda mais com a realidade deles. Um sugestão seria unir a tecnologia esta abordagem, pois ela encontra-se muito presente no cotidiano de nossos jovens, através de aplicativos ou até mesmo simulações que facilitariam a visualização das aplicações da teoria desenvolvida em sala de aula.

## REFERÊNCIAS

- ANDERSSON, B. e KARRQVIST, C. How swedish pupils, aged 12-15 years, understanding light and its properties. **Eur. Jour. Sci. Educ.** , 1983
- AUSUBEL, D.P.; NOVAK, J.D. e HANESIAN, H. (1980). **Psicologia educacional**. Rio de Janeiro, Interamericana. Tradução para português, de Eva Nick et al., da segunda edição de Educational psychology: a cognitive view
- AUSUBEL, D. P. **Aquisição e Retenção de Conhecimentos: Uma Perspectiva Cognitiva**. Lisboa: Paralelo, 2003.
- BEVILACQUA, G. D.; SILVA, R. C. O Ensino de Ciências da 5 S<sup>ª</sup>ria com Experimentação. **Ciência e Cognição**, Março 2007.
- BORGES, A. T. Novos Rumos para o Laboratório Escolar de Ciências. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 19, p. 292-313, Dezembro 2002. ISSN 3.
- BRASIL. Constituição Federal. Conselho Nacional de Educação. **Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional. Resolução CNE/CEB nº 2/98**, de 07 de Abril de 1998. Brasília: CNE/CEB, 1998.
- BRASIL. Ministério da Educação. **Parâmetros Curriculares Nacionais: Parte III - Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias**. Brasília: MEC/SEF, 2004.
- CANATO, V. Aspectos antigos e modernos da solução de Kepler para o problema da câmara escura. **Circumscribere: International Journal for the History of Science**, v. 4, 2008.
- CARRASCOSA, J; et al. P. Papel de la Atctividad Experimental en la Educación Científica. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 23, n. 2, p. 157-181, 2006.
- CARVALHO, ANNA MARIA PESSOA DE; SASSERON, LÚCIA HELENA. Ensino e aprendizagem de Física no Ensino Médio e a formação de professores. **Estud. av.**, São Paulo , v. 32, n. 94, p. 43-55, Dec. 2018 . Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0103-40142018000300043&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-40142018000300043&lng=en&nrm=iso)>. Acesso em: 02 Apr. 2020.
- DUARTE, S. E. Física para o Ensino Médio Usando Simulações e Experimentos de Baixo Custo: Um exemplo Abordando Dinâmica da Rotação.. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 29, p. 525-542, Setembro 2012.
- DUTRA, R. S. et al. Determinantes do desempenho educacional dos Institutos Federais do Brasil no Exame Nacional do Ensino Médio. **Educação e Pesquisa**, v. 45, 2019.
- FAINGUELERNT, M. A CÂMERA ESCURA E A FOTOGRAFIA. **Scientiarum Historia VII**, Rio de Janeiro, 2004.

GONÇAVES, A.; TOSCANO, C. **Física 2 - Interação e Tecnologia**. São Paulo: Leya, 2016.

GRAVINA, M. H.; BUCHWEITZ, B. Mudanças nas Concepções Alternativas de Estudantes Relacionadas a Eletricidade. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 16, p. 1-4, 1994.

GONÇALVES, B et al. Pet-física vai à escola – uma metodologia para despertar o interesse no estudo de ciência em alunos de ensino básico. **Rev. Ciênc. Ext.** v.11, n.1, p.32-45, 2015.

GUEDES, L. D. D. S. **Experimentos com materiais alternativos: Sugestão para dinamizar a aprendizagem de eletromagnetismo**. Universidade Federal de Goiás. Catalão - GO, p. 82. 2017.

GUIMARÃES, C. C.; DORN, R. C. Efeito Estufa Usando Material Alternativo. **Química - Nova Escola**, São Paulo, v. 37, p. 153-157, maio 2015. ISSN 2.

HARRES, J. B. S. Um Teste para Detectar as Concepções Alternativas sobre Tópicos Introdutórios da Óptica Geométrica. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 10, n. 3, p. 220-234, dezembro 1993.

HUYGENS, C. Tratado sobre a Luz. Tradução e notas de Roberto de Andrade Martin. [S.l.]: [s.n.], 1986. p. 1-99.

INSTITUTO NACIONAL DE ESTUDOS E PESQUISAS EDUCACIONAIS ANÍSIO TEIXEIRA. Sinopse Estatísticas do Exame Nacional do Ensino Médio 2018. Brasília: INEP, 2019 Disponível em: <http://portal.inep.gov.br/web/guest/sinopses-estatisticas-do-enem>, acesso em: 08/04/2020.

JULIA, D. A Cultura Escolar como Objeto Histórico - Traduzido por Gizelle de Souza. **Revista Brasileira de História da Educação**, n. 1, 2001.

NICOLI JUNIOR, R. B.; MATTOS, C. História e Memória do Ensino de Física no Brasil: a faculdade de medicina de São Paulo (1913 - 1943). **Ciência e Educação**, v. 18, n. 4, p. 851-873, 2012.

JUNIOR, R. S. S. Um Olhar Direcionado para Aprendizagem Significativa do Aluno. **CADERNO DE FÍSICA DA UEFS**, n. 12, p. 7-10, 2014. ISSN 2.

LARA, A. E. D.; SOUZA, C. M. S. G. D. O processo de construção e de uso de um material potencialmente significativo visando a aprendizagem significativa em tópicos de colisões: Apresentação de Slides e um ambiente virtual de aprendizagem. **Experiências em Ensino de Ciências**, Brasília, v. 4, p. 61-82, 2009.

LOPES, É. M.; LABURÚ, C. E. Diâmetro de um fio de cabelo por Difração: Um experimento simples.. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 21, p. 258-264, 2004.

MORAES, J. U. P.; JUNIOR, R. S. S. Experimentos didáticos no Ensino de Física com foco na Aprendizagem Significativa. **Educatio Physicorum**, v. 9, Junho 2015. ISSN 2.

MOREIRA, M. A. A teoria da Aprendizagem significativa de Ausubel. Teorias de Aprendizagem. São Paulo: EPU, 1999. p. 151-165.

MOREIRA, M. A. **Teorias de Aprendizagem**. São Paulo: Pedagógica e Universitária, v. 1, 1999.

MOREIRA, M. A. Ensino de Física no Brasil: Retrospectiva e Perspectivas. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 22, 2000.

MOREIRA, M. A. Organizadores Prévios e a Aprendizagem Significativa. **Revista Chilena de Educação Científica**, Porto Alegre, v. 7, p. 23-30, 2012a.

MOREIRA, M. A. O que é afinal aprendizagem significativa? **Curriculum**, La Laguna, Espanha, 2012b.

MOREIRA, M. A. **Comportamentalismo, Construtivismo e Humanismo**. Porto Alegre: Edição do autor, 2016a.

MOREIRA, M. A. **Subsídios Teóricos para o Professor Pesquisador em Ensino de Ciências: A Teoria da Aprendizagem Significativa**. Porto Alegre: [s.n.], 2016b.

MOREIRA, M. A.; ROSA, P. R. **Pesquisa em ensino: Métodos qualitativos e quantitativos**. 2. ed. Porto Alegre: [s.n.], 2016c.

MOREIRA, M. A.; SOUZA, C. M. S. G. D.; SILVA, F. L. D. Organizadores prévio como estratégia para facilitar a aprendizagem significativa. **Caderno de Pesquisa São Paulo**, n. 40, p. 41-53, Fevereiro 1982.

NARDI, R. Memórias da Educação em Ciências no Brasil: A Pesquisa em Ensino de Física. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 10, n. 1, p. 63-101, 2005.

NUSSENZVEIG, H. M. **Curso de Física 4: Ótica, Relatividade e Física Quântica**. 1. ed. [S.l.]: Blusher, 1988.

OSTERMANN, F.; CAVALCANTI, C. J. D. H. **Teorias de Aprendizagem**. Porto Alegre: Evangraf, 2011.

PIETROCOLA, M. et al. **Física em Contextos**. São Paulo: Editora do Brasil, 2016.

PRÄS, A. R. **Teorias de Aprendizagem**. [S.l.]: ScriniaLibris.com, 2012.

QUIRINO, W. G.; LAVARDA, F. C. Projeto: "Experimentos de Física para o Ensino Médio com Materiais do Dia-a-dia." **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 18, n. 1, p. 117-122, 2001.

RIBEIRO, J. A. J. Características da Propagação em Fibras Ópticas. **Instituto Nacional de Telecomunicações**, p. 14, 1999.

RIBEIRO, J. L. P.; VERDEAUX, M. D. F. D. S. Atividades Experimentais no Ensino de Óptica: Uma revisão. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 34, n. 4, 2012.

RIBEIRO, J. L. P.; VERDEAUX, M. D. F. D. S. Uma investigação na influencia na reconceitualização nas atividades experimentais demonstrativas no ensino de óptica no ensino médio.. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 12, n. 2, p. 239-262, 2013.

ROSA, C. W. D.; ROSA, Á. B. D. O ensino de ciências (Física) no Brasil: da história às novas orientações educacionais. **Revista Iberoamericana de Educación**, v. 58, n. 2, 2012.

SOUZA, F. L. D. et al. **Atividades experimentais investigativas no ensino de química**. São Paulo: EDUSP, 2013.

SANTOS, E. I. D.; PIASSI, L. P. D. C.; FERREIRA, N. C. Atividades Experimentais de Baixo Custo como Estratégia de Construção da Autonomia de Professores de Física: Uma Experiência em Formação Continuada. In: ENCONTRO DE PESQUISA EM ENSINO DE FÍSICA, 9., 2004. Jaboticatubas. **Atas do IX Encontro de Pesquisa em Ensino de Física**. São Paulo: Sociedade Brasileira de Física, 2004. Disponível em: Acesso em: 01 de abril de 2020.

SILVEIRA, F.L.; MOREIRA, M.A. e AXT, R. Validação de um teste para detectar se o aluno possui concepções científicas sobre corrente elétrica em circuitos simples *Ciência e Cultura*, 1989.

YAMAMOTO, K.; FUKU, L. F. **Física para o ensino médio**. São Paulo: Saraiva, 2013

APÊNDICE A – PRODUTO EDUCACIONAL: Estudo das propriedades da luz através de experimentos de baixo custo para o ensino médio



**Universidade Federal de Santa Catarina  
Centro de Ciências, Tecnologias e Saúde  
Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física  
Campus Araranguá**

**Material de Apoio ao Professor de Física**

**ESTUDO DAS PROPRIEDADES DA LUZ ATRAVÉS DE  
EXPERIMENTOS DE BAIXO CUSTO PARA O ENSINO  
MÉDIO**

**Cassiana Barreto Rippel**

**Orientador: Prof. Dr. Leandro Batirolla Krott**

**Araranguá-SC, 2020.**

## SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO AO PROFESSOR.....	81
1. PROPRIEDADES DA LUZ .....	82
1.1. COMPORTAMENTO DA LUZ .....	82
1.2. CÂMARA ESCURA DE ORIFÍCIO .....	84
1.3. REFLEXÃO E REVERSIBILIDADE DOS RAIOS LUMINOSOS .....	86
1.5. REFRAÇÃO .....	88
1.5.1. LEIS DA REFRAÇÃO .....	88
1.5.2. ÂNGULO LIMITE .....	90
1.5. DIFRAÇÃO .....	92
2. ATIVIDADES EXPERIMENTAIS .....	95
ATIVIDADE 1 .....	95
ATIVIDADE 2 .....	95
ATIVIDADE 3 .....	96
ATIVIDADE 4 .....	97
ATIVIDADE 5 .....	98
ATIVIDADE 6 .....	98
ATIVIDADE 7 .....	98
ATIVIDADE 8 .....	99
ATIVIDADE 9 .....	99
ATIVIDADE 10 .....	100
CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	1021
REFERENCIAS .....	102

## APRESENTAÇÃO AO PROFESSOR

Ser educador nos leva a buscar iniciativas inovadoras, criatividade para trabalhar com a realidade e contextos em que o aluno se encontra. Para Dimira e Carvalho (2016) uma atividade experimental adequada pode mudar a relação do aluno com a física, mobilizando-o para atividades práticas com real significado para ele. Dessa forma ele consegue visualizar e aplicar os conhecimentos tratados em sala de aula oportunizando o estudo dos conteúdos de uma maneira dinâmica e interativa.

Muitas vezes os professores das áreas das ciências da natureza buscam por algo diferenciado para suas aulas, mas se deparam com experimentos que envolvem alto custo, um longo tempo de preparação e dificuldade na elaboração, o que acaba desmotivando o docente que já tem uma alta carga horária de trabalho.

Este produto educacional é voltado aos professores que desejam dinamizar suas aulas e reencontrar o interesse e o entusiasmo de seu aluno, o que é uma tarefa muito difícil para nós educadores. Trata-se um material sobre Óptica e seus fenômenos, nele consta uma revisão teórica sobre o tema e atividades experimentais utilizando matérias de fácil acesso, custo reduzido e baixa complexidade de elaboração.

O documento conta com cerca de 10 aulas, contendo a parte teórica a ser abordada e atividades experimentais a serem desenvolvidas ao longo de cada tópico. Todos os experimentos, desde o contexto, construção e aplicação estão descritas neste material.

## 1. PROPRIEDADES DA LUZ

A luz e os fenômenos a ela relacionados estão presentes em inúmeras situações de nosso cotidiano. A área da Física que estuda a luz e suas propriedades é a óptica. Muitas aplicações tecnológicas foram desenvolvidas a partir de estudos sobre a óptica, onde se destacam os microscópios, lasers, fibras ópticas e óculos solares. Na medicina, o conhecimento sobre reflexão e refração da luz permitiu o desenvolvimento de técnicas cirúrgicas minimamente invasivas através de engenhosos equipamentos de endoscopia. Na astronomia, o aprimoramento de telescópios espaciais tornou possível a obtenção de imagens precisas de astros a milhares de anos luz de distância da Terra (YAMAMOTO e FUKU, 2013).

### 1.1. COMPORTAMENTO DA LUZ

Grande parte da percepção do mundo está relacionada a experiências visuais. A formação das imagens em nosso cérebro está diretamente relacionada com a luz e sua interação com os objetos à nossa volta. Para podermos enxergar qualquer objeto é necessário que ele seja iluminado por uma fonte de luz. A imagem do objeto será recebida pelos olhos e, então, decodificada pelo cérebro (Figura A.1).

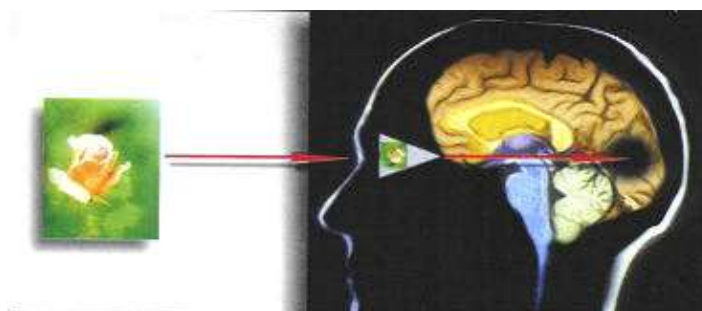


Figura A.1: Fonte de luz, olhos e cérebro.

Disponível em: [http://www.scb.org.br/deolhonasorigens/artigos/I-001\\_1.asp](http://www.scb.org.br/deolhonasorigens/artigos/I-001_1.asp) Acesso em 10/09/2019.

A óptica geométrica se desenvolve a partir da teoria corpuscular da luz. Isaac Newton foi um dos contribuintes e considera que a luz é formada por pequenas partículas emitidas por uma fonte propagando-se segundo o menor intervalo de tempo.

Em um meio homogêneo, a luz se propaga em linha reta, isto fica mais evidente quando se trata de uma fonte puntiforme de luz, ou quando as dimensões da fonte podem ser desprezadas.

A partir disso o professor deve propor a atividade 2, para que o aluno possa concretizar a aprendizagem sobre este conceito.

O modelo corpuscular conseguiu explicar os fenômenos de reflexão e refração da luz. No entanto, fenômenos de difração, interferência e polarização da luz não foram explicados com sucesso por esta teoria.

Quando a luz atravessa obstáculos muito pequenos, o comportamento corpuscular se aplica até certo ponto. A óptica *Pinhole* considera que caso, a luz seja incidida em um orifício muito pequeno como um buraco feito atravessando completamente um alfinete, por exemplo, encontramos um elemento de foco útil em que apenas os raios que passam por este estreitamento são usados para formar a imagem. Porém quando reduzimos ainda mais a espessura do orifício e a luz passa através dessa minúscula abertura, os raios não viajam em uma única linha reta. Em vez disso, a luz de um único raio é espalhada em várias direções e produz uma imagem tremida (WANDELL e THOMAS, 1997).

Esta dispersão dos raios de luz que passam pela abertura muito estreita é conhecida como difração. Em 1690, Christian Huygens publica o seu *Traité de Lumière*, no qual ele propõe que a luz incita ondas elementares em cada ponto do espaço, funcionando como fontes secundárias, permitindo assim sua propagação (HUYGENS, 1986).

Dessa forma, uma onda saindo de uma pequena abertura se expande em todas as direções, um par de ondas coerentes de aberturas adjacentes cria um padrão de interferência. Isto foi descrito e formulado a partir dos experimentos de Huygens, por Thomas Young, o que permitiu evidenciar concretamente o comportamento ondulatório da luz.

Augustin Fresnel também teve um papel importante em experimentos envolvendo padrões de difração, reflexão e refração, o que deu origem às equações de Fresnel. Além disso, os experimentos de Fresnel colaboraram para Young chegar à conclusão de que a luz é uma onda transversal, e não longitudinal como se imaginava até então.

“Do ponto de vista ondulatório, a óptica geométrica é uma aproximação válida para comprimentos de onda muito pequenos em confronto com as dimensões típicas envolvidas.” (NUSSENZVEIG, 1998, p. 15).

O comportamento da Luz intrigou muitos físicos por um tempo, pois em alguns experimentos nem o modelo corpuscular de Newton nem o modelo ondulatório de Huygens satisfizeram em suas aplicações, sendo que um destes experimentos é o efeito fotoelétrico de Einstein.

A luz, em algumas situações, se comporta como partícula e em outras como onda. Einstein afirma que uma partícula de luz possui energia quantizada em pacotes concentrados,

chamados fótons e possui energia ( $E$ ) relacionada à frequência ( $f$ ) e a seu comprimento de onda ( $\lambda$ ) através da seguinte equação:

$$E = hf = \frac{hc}{\lambda} \quad (\text{A.1})$$

Onde,  $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$  é a velocidade da luz e  $h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$  ou  $h = 4,136 \cdot 10^{-15} \text{ eV}\cdot\text{s}$  é a constante de Planck. A equação (1) demonstra que a frequência da onda é proporcional à energia da partícula e inversamente proporcional a seu comprimento de onda. Enquanto altas frequências (menores comprimentos de onda) estão associadas a altas energias, como acontece com a luz violeta, baixas frequências (maiores comprimentos de onda) estão associadas a baixas energias (vermelho, por exemplo).

## 1.2. CÂMARA ESCURA DE ORIFÍCIO

Muitos artistas do séculos XIV usavam um instrumento baseado no comportamento da luz para aprimorar suas obras, chamado Câmara Escura de Orifício (Figura A.2). Os artistas renascentistas a usavam para desenhar e pintar obras em perspectiva com uma enorme quantidade de detalhes e uma impressionante visão tridimensional da cena, muito semelhante a uma fotografia real (FAINGUELERNT, 2004).

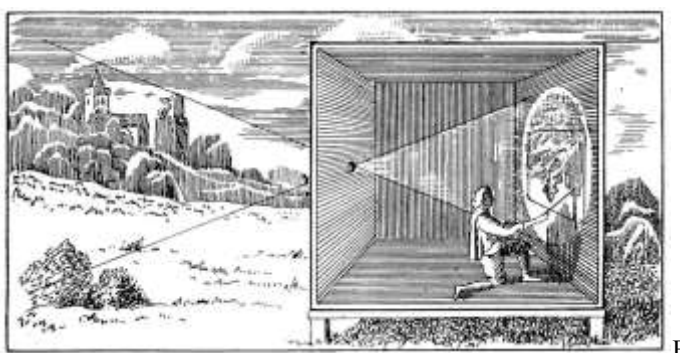


Figura A.2: Câmara escura utilizada por pintores. Disponível em:

<http://garatujafotografia.blogspot.com/2013/07/camara-escura-o-inicio-de-tudo.html> Acesso em 12/09/2019

O marco da utilização da câmara escura por artistas foi estabelecido por Jan Van Eyck, com a famosa pintura O casal Arnolfini, de 1434. Esta obra, conforme mostra a figura A.3, traz uma excelente noção de profundidade.



Figura A.3: O casal Arnolfini Disponível em: <https://www.tuomaquia.com/jan-van-eyck-e-o-casal-arnolfini-national-gallery-de-londres/> Acesso em 12/09/2019

O pintor italiano Leonardo da Vinci também usufruiu da utilidade das câmaras escuras para desenvolver alguns de seus trabalhos. Porém, a utilidade das câmaras escuras não se restringiu apenas às artes. Na astronomia, por exemplo, teve um papel fundamental nas observações de eclipses idealizadas por Kepler e outros astrônomos dos séculos XVI e XVII (CANATO, 2008).

A Atividade 4 tem como objetivo a construção de uma câmara escura que permita aos estudantes a visualização da imagem invertida no anteparo da caixa.

Os princípios de funcionamento da câmara escura são os mesmos da câmera fotográfica e também do olho humano. A câmara escura de orifício é uma caixa fechada com um pequeno furo em um dos lados e um aparato de papel translúcido no lado oposto. Incide-se luz em direção ao orifício e observa-se a imagem formada no aparato. Como a luz se propaga em linha reta, a imagem formada será invertida, conforme figura A.4.

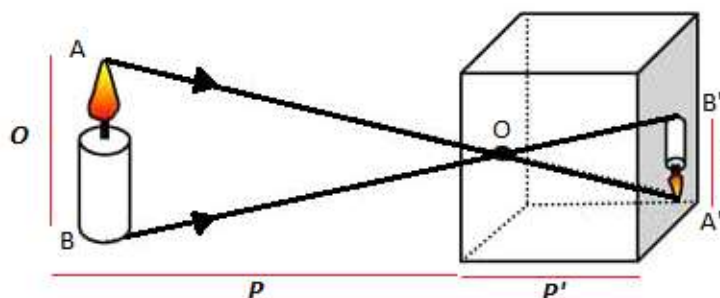


Figura A.4: Representação gráfica da câmara escura.

Adaptado de <https://girlsphotographers.wordpress.com/2013/06/06/camara-escura/> Acesso em: 12/09/2019

Através da semelhança entre os triângulos ABO e A'B'O é possível perceber a relação entre o tamanho do objeto (O), a distância (P) do objeto ao orifício, o tamanho da imagem (I) e a profundidade da câmara (P'). Conforme a equação A.2.

$$\frac{i}{o} = \frac{P'}{P} \quad (\text{A.2})$$

### 1.3. REFLEXÃO E REVERSIBILIDADE DOS RAIOS LUMINOSOS

Como já discutimos, as imagens dos objetos só podem ser formadas por que a luz que incide neles reflete até nossos olhos. Este fenômeno em que a luz incide sobre um objeto e retorna sobre o mesmo meio de incidência é chamado de reflexão. Em superfícies rugosas, com imperfeições de ordem microscópica, a reflexão da luz acontece de forma irregular, o que chamamos de reflexão difusa. Quando a superfície de incidência da luz é plana e polida, com irregularidades que podem ser desprezadas, a reflexão é regular (PIETROCOLA, *et al.*, 2016, p. 193)

As leis da reflexão são válidas para qualquer superfície e aplicadas para qualquer propagação ondulatória de forma que, os raios incidente e refletido e a normal do plano de incidência devem ser coplanares. Além disso, os ângulos de incidência ( $i$ ) deve ser igual ao ângulo de reflexão ( $r$ ). A figura A.5 representa a reflexão de um raio luminoso sobre uma superfície regular.



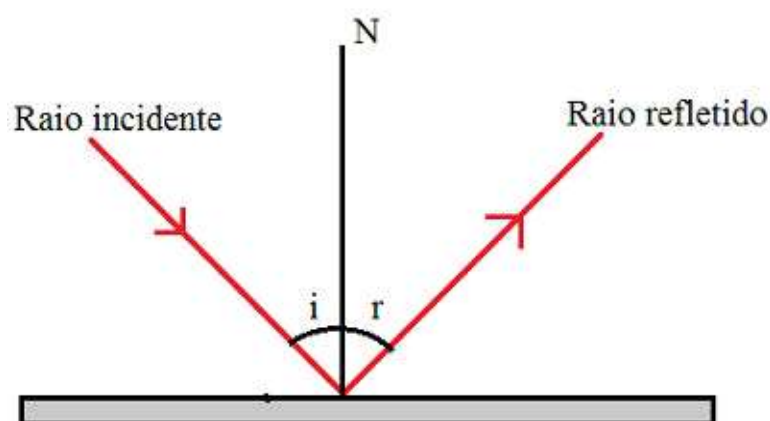


Figura A.5: Representação das leis da reflexão. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/o-que-e/fisica/o-que-e-reflexao-luz.htm> Acesso em: 15/09/2019

A proposta da Atividade 5 é medir os ângulos de incidência e reflexão através da reflexão da sombra de um objeto incidindo sobre um espelho. Veja a figura A.6.

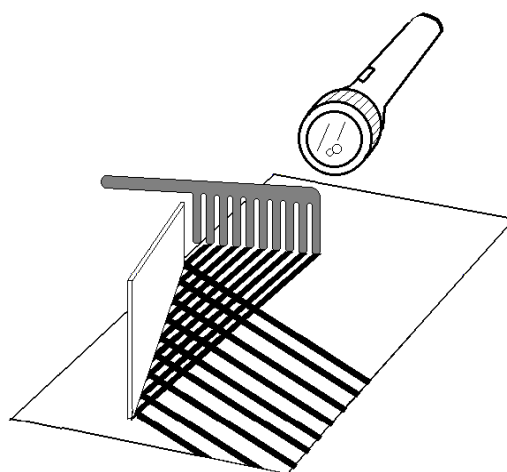


Figura A.6: Imagem do pente reflexivo. Disponível em: <http://www2.fc.unesp.br/experimentosdefisica/opt03.htm> Acesso em: 15/09/2019

Muitos pais utilizam acessórios com espelho em seus automóveis para que possam dirigir e ver seus bebês sentados no banco de trás. Esta técnica não só permite que o pai ou a mãe veja o bebê, como também tranquiliza a criança que também consegue ver o pai ou a mãe através do reflexo do espelho. O adulto têm este campo de visão porque raios luminosos refletidos pelo bebê até o espelho se propagaram retilinearmente até os seus olhos. Da mesma maneira, o bebê pode ver a o adulto refletido no espelho. Isso porque esses raios luminosos refletidos podem seguir até o espelho pelo mesmo caminho que os raios no sentido contrário chegaram até o bebê.

Isso se explica através de outro fenômeno interessante que está associado à reflexão da luz, que é a reversibilidade dos raios luminosos. O princípio da reversibilidade dos raios

luminosos considera que, para meios homogêneos e transparentes, a trajetória da luz não é modificada quando o percurso for invertido. A figura A.7 esquematiza este comportamento.

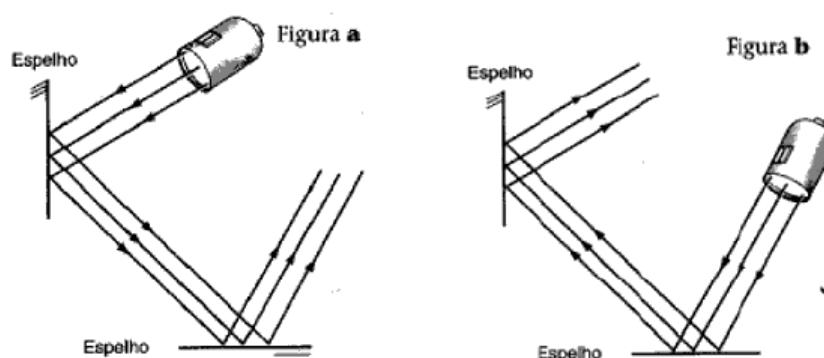


Figura A.7: Experimento com espelhos. Disponível em: <http://portaldoprofessor.mec.gov.br/fichaTecnicaAula.html?aula=23580> Acesso em 15/09/2019

Conduzir os estudantes para a realização da Atividade 6.

## 1.5. REFRAÇÃO

A atividade 7 deve ser utilizada como instrumento motivador para os discentes, a fim de despertar a curiosidade ao tema a ser abordado.

A refração é um fenômeno óptico que consiste na mudança de direção de propagação de um feixe de luz ao passar de um meio para outro. Um canudo mergulhado em um copo de água é uma situação simples onde isto pode ser observado, pois a luz se propaga na água com uma velocidade menor que no ar, dando a impressão de que o canudo está quebrado.

Quando a luz passa de um meio de propagação para outro, parte do feixe de luz é refletida, e se o feixe incidido não é perpendicular à superfície, outra parte entra no segundo meio sofrendo um desvio, essa variação na direção do raio é chamada refração.

### 1.5.1. LEIS DA REFRAÇÃO

O fenômeno de refração da luz foi uma evidência importante do caráter ondulatório da luz. Ao mudar o meio de incidência, o comprimento de onda e a velocidade da luz se alteram, mas sua frequência permanece a mesma. Similar ao já observado no fenômeno de reflexão, a primeira lei da refração afirma que o raio incidente, o raio refratado e a reta normal ao meio de incidência estão no mesmo plano. Veja a figura A.8.

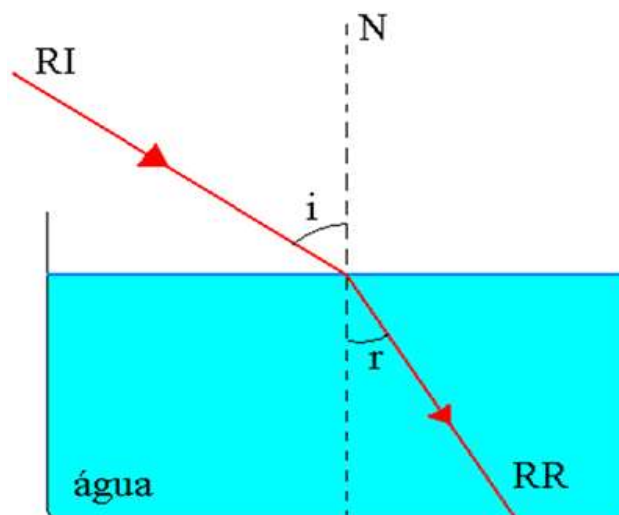


Figura A.8: Refração da Luz.

Disponível em: <https://alunosonline.uol.com.br/fisica/leis-refracao.html> Acesso em: 17/09/2019

Como percebido na figura A.8 o ângulo de incidência  $i$  e o ângulo de refração  $r$  não são iguais. Por muitos anos se buscou uma possível relação entre eles, já que era percebido que a medida que  $i$  aumenta,  $r$  também aumenta. Em 1620 o matemático holandês Willebrord Snell concluiu que existe uma constante de relação entre os senos desses ângulos:

$$\frac{\text{sen } i}{\text{sen } r} = \text{constante} \quad (\text{A.3})$$

Dessa forma, quando a luz se refrata de um meio 1 onde a velocidade é  $V_1$  e passa para um meio 2 com velocidade  $V_2$  temos :

$$\frac{\text{sen } i}{\text{sen } r} = \frac{V_1}{V_2} \quad (\text{A.4})$$

Quando consideramos o meio 1 o vácuo e o meio 2 outro meio material diferente, obtemos:

$$\frac{\text{sen } i}{\text{sen } r} = \frac{c}{v} \quad (\text{A.5})$$

Assim podemos chamar de  $n$  o índice de refração absoluto do meio, que caracteriza quantas vezes a velocidade da luz no vácuo ( $c$ ) supera a velocidade de propagação da luz no meio ( $v$ ) :

$$n = \frac{c}{v} \quad (\text{A.6})$$

Retomando a expressão (5) e multiplicando ambos os lados por  $c$ , temos:

$$n_1 \cdot \text{sen } i = n_2 \cdot \text{sen } r \quad (\text{A.7})$$

Esta equação se refere a Lei de Snell e demonstra o fenômeno de refração da seguinte forma: a razão entre o seno de  $i$  e o seno de  $r$  só é dependente dos meios por onde a luz se propaga. Neste momento, o professor propõe aos estudantes a realização da Atividade 8.

### 1.5.2. ÂNGULO LIMITE

A refração nunca ocorre de forma isolada. Quando um raio incide sobre um outro meio de densidade diferente, parte dele se reflete e parte dele se refrata. A Figura A.9 ilustra este fenômeno.

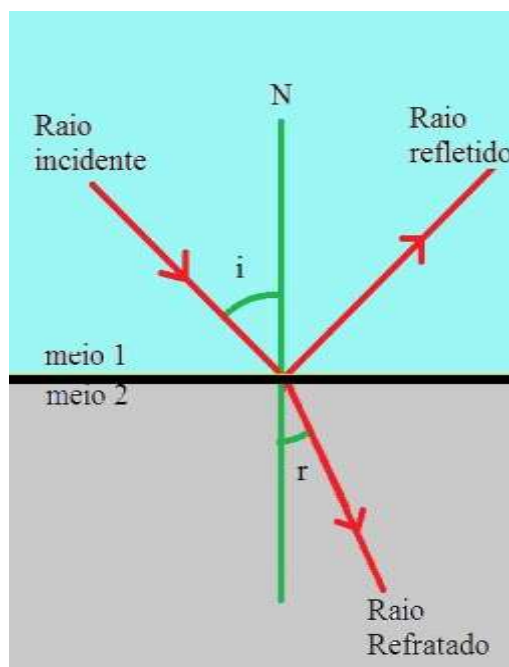


Figura A.9: Refração da luz Disponível em: <https://alunosonline.uol.com.br/fisica/reflexao-e-refracao-da-luz.html>  
Acesso em: 17/09/2019

Quando a luz incide na trajetória inversa do que estávamos abordando, ou seja, do meio mais refringente para o meio menos refringente, ela também se comporta como a lei de Snell

prevê. Ou seja, quanto maior o ângulo de incidência, maior o ângulo de refração, de forma que o raio incidente vai se afastando da reta normal.

Em certas condições, há um limite para o ângulo de incidência, em que a partir deste a refração deixa de existir (quando o ângulo  $r$  tende a  $90^\circ$ ), este é conhecido como ângulo crítico. Neste caso, não existirá mais a parcela de refração do raio de luz, mas sim a reflexão interna total da luz.

A reflexão interna total só ocorre do meio mais refringente para o meio menos refringente, caso contrário, a Lei de Snell não funcionaria, pois não existe um ângulo com seno maior que 1. Conforme figura A.10.

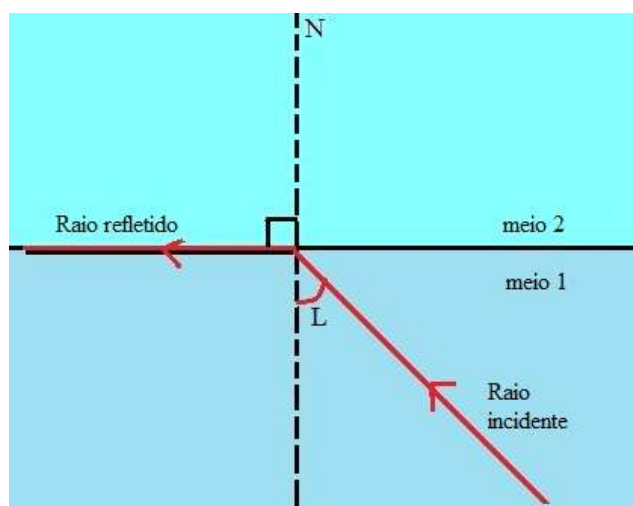


Figura A.10: Refração com raio refletido totalmente. Disponível em: <https://mundoeducacao.bol.uol.com.br/fisica/reflexao-total-luz.htm> Acesso em: 17/09/2019

O professor deve demonstrar o fenômeno com a Atividade 9, fazendo uma relação com a tecnologia utilizada nas fibras ópticas.

Até a década de 60 a maioria das informações eram transmitidas por fio de cobre ou onda de rádio. As ondas de luz visível dispunham de o maior potencial para as comunicações, porém a perda a intensidade de luz ao longo do fio era um grande obstáculo e a fibra óptica (Figura A.11) foi a tecnologia utilizada para solucionar este problema.

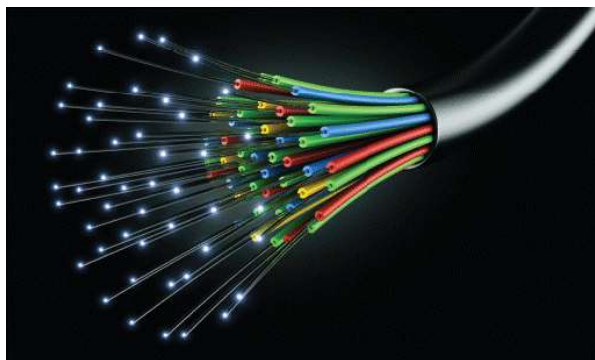


Figura A11: Ilustração de uma fibra óptica. Disponível em: <https://blogdoenem.com.br/reflexao-total-da-luz-e-refracao-fisica-enem/> Acesso em: 19/09/2019

Tratam-se de fibras cilíndricas constituídas por um núcleo e um revestimento, ambos com material de índice de refração diferente (Figura A.12). Todas as informações são codificadas e transformadas em um feixe de luz. Se  $n_1 > n_2$ , estas informações são transmitidas somente no núcleo da fibra ( $n_1$ ) e aliado a angulação perfeita (ângulo crítico), viajarão realizando sucessivas reflexões totais. Dessa forma a intensidade do sinal da luz é preservado permitindo uma alta taxa de transmissão de informação (RIBEIRO, 1999).

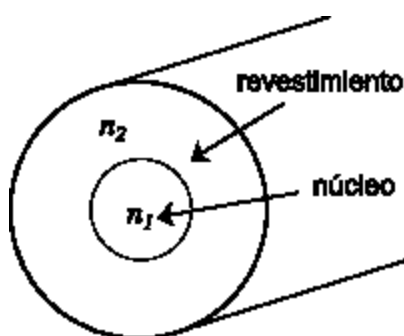


Figura A.12: Representação de um corte transversal em uma fibra óptica. Disponível em: [https://www.sbpmat.org.br/pt/da-ideia-a-inovacao-o-fio-de-vidro-que-conectou-o-mundo-parte-2/optical\\_fiber/](https://www.sbpmat.org.br/pt/da-ideia-a-inovacao-o-fio-de-vidro-que-conectou-o-mundo-parte-2/optical_fiber/) Acesso em 19/09/2019

## 1.5. DIFRAÇÃO

Como já mencionamos no início de nosso estudo, a difração da luz é um fenômeno percebido quando ela consegue contornar algum obstáculo com dimensões comparáveis a seu comprimento de onda. O que resulta em modificações em sua frente de onda, e quanto mais se reduz o comprimento do obstáculo, maior é o alargamento da luz causado pela difração. Então

a óptica geométrica só pode ser usada quando os obstáculos encontrados não possuem dimensões na mesma ordem do comprimento de onda da luz.

Devido a alterações no seu percurso, a luz atinge o anteparo com fases distintas, causando interferências construtivas ou destrutivas (Figura A.13). Para as regiões da imagem que formam a interferência construtiva, têm-se os máximos de difração e com as regiões de interferências destrutivas têm-se os mínimos de difração (regiões escuras).

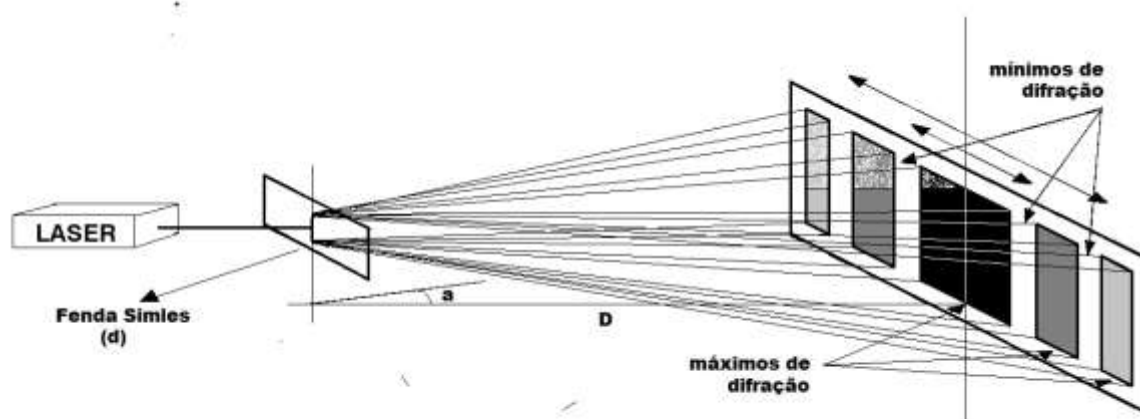


Figura A13: Difração atravessando uma fenda. Disponível em: <https://slideplayer.com.br/slide/11766992/> Acesso em: 19/09/2019

O físico Thomas Young provou experimentalmente a relação entre as interferências construtivas e destrutivas e o comprimento de onda da luz incidente através da equação A.8.

$$\Delta x = 2 L \frac{\lambda}{d} \quad (\text{A.8})$$

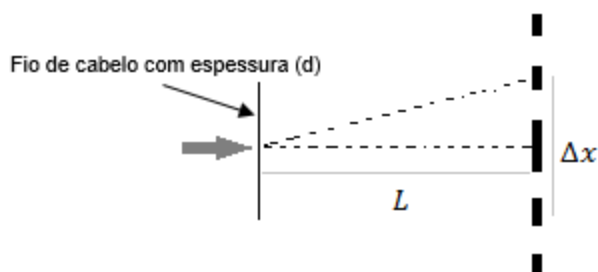


Figura A.14: Difração através de um fio de cabelo. Fonte: Própria Autora

Onde  $\Delta x$  é a distância entre dois máximos,  $L$  é a distância da fonte ao anteparo,  $\lambda$  é o comprimento de onda da luz incidente e  $d$  é o tamanho do obstáculo, como ilustrado na Figura A.14.

Os alunos devem ser conduzidos a realizar a Atividade 10, que demonstra a difração e leva-os ao desenvolvimento do cálculo.



## 2. ATIVIDADES EXPERIMENTAIS

Aqui são descritas as atividades experimentais citadas no capítulo 1.

### ATIVIDADE 1:

1. Cole várias imagens nas abas internas de uma caixa grande (Figura A.15).
2. Vede todas as extremidades da caixa para que não entre luz em seu interior.
3. Solicite que um estudante entre na caixa com uma lanterna desligada e os olhos vendados.
4. No interior da caixa, totalmente escura, solicite que o estudante tire a venda e descreva possíveis imagens que possam ser vistas em seu interior.
5. Posteriormente, peça para o estudante ligar a lanterna e descrever novamente as imagens no interior da caixa.
6. Questione-o sobre as mudanças observadas e a razão disso.

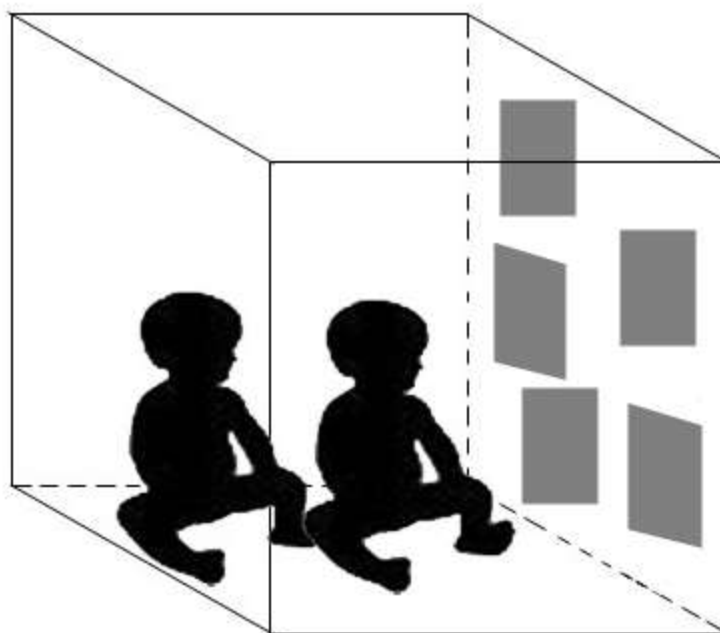


Figura A.15: Atividade 1. Fonte: Própria Autora

ATIVIDADE 2: Com uma lanterna, em um ambiente escuro, vamos produzir algo semelhante a um feixe e um raio de luz.

Utilizando três pequenos pedaços retangulares de cartolina (15 cm x 10 cm) com orifícios centrais, o primeiro (1) com cerca de 0,5 cm de diâmetro e o segundo bem menor (2) e o terceiro (3) sem orifício. Como mostra a figura A.16:

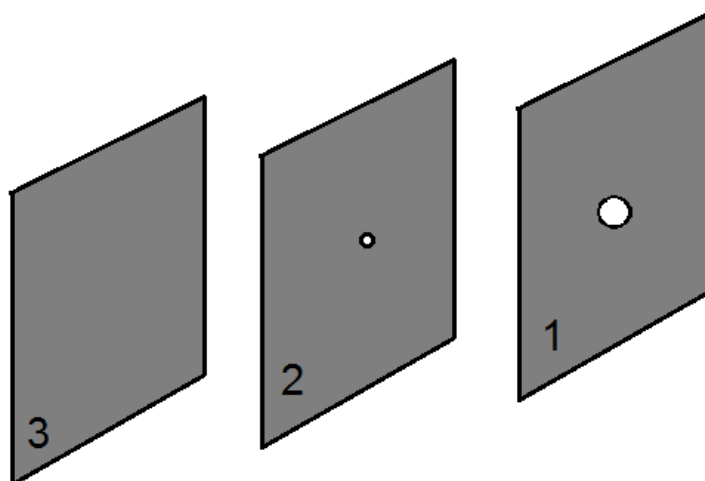


Figura A.16: Experimento 2 Fonte: Própria autora

Posteriormente posicionamos a lanterna e os cartões alinhados e observamos. As seguintes atividades podem ser propostas para os estudantes:

1. Tente desalinhar os cartões e veja como a luz se comporta. Como ela se propaga através do furo?
2. Qual característica da luz conseguimos verificar com esta experiência?

**ATIVIDADE 3:** Em um cartão, faça um pequeno furo com a ponta de uma fina agulha de costura. Cuidado para não atravessar a agulha toda, o orifício deve ser feito somente com a ponta, se for necessário, perfure os dois lados. Veja a Figura A.17

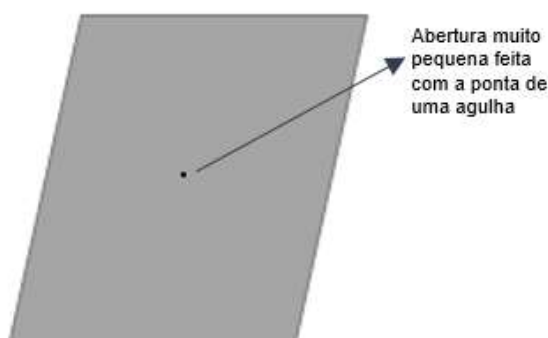


Figura A.17: Atividade 3. Fonte: Própria autora

Aproxima-se cerca de 10cm de algo que você queira ler. Observe através do furo.

1. O que você consegue perceber da imagem através do furo?

2. A luz desenvolveu uma trajetória retilínea?
3. Utilize os dois experimentos acima para explicar as teorias desenvolvidas por Newton e Huygens acerca da propagação da luz.

ATIVIDADE 4: Para montar a câmara escura de orifício, será necessária uma caixa de papelão em formato retangular, com altura de pelo menos 25cm e comprimento e largura em torno de 60cm. Além disso, serão necessários uma tesoura, uma folha A4 branca e uma toalha de banho. Os estudantes serão responsáveis pela construção da própria câmara escura, sob supervisão do professor e conforme já descrito anteriormente. O estudante precisa lembrar que a cabeça dele ficará dentro da caixa, para que ele possa visualizar a imagem projetada no anteparo. Conforme Figura A.18

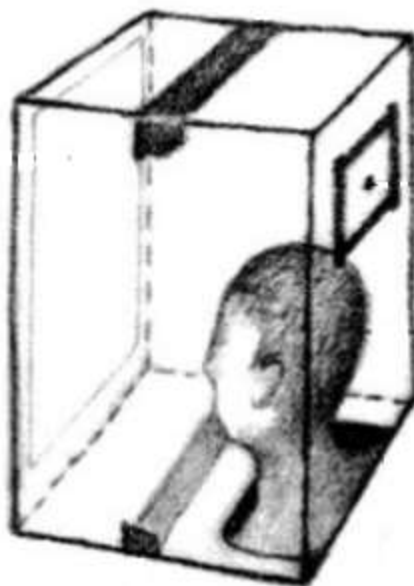


Figura A.18: Atividade 4 Fonte: <https://azeheb.com.br/blog/pense-dentro-da-caixa-camara-escura/> Acesso em 13/07/2020.

As seguintes tarefas/questionamentos poderão ser abordadas:

1. Apresente as características da imagem obtida em comparação com condições e dimensões reais do objeto. Explique.
2. Como fica a trajetória dos raios luminosos após o cruzamento entre eles?
3. Aumentando o diâmetro do orifício, como fica a imagem?
4. Qual é a principal limitação da câmara escura que impossibilita sua utilização para fotografia?
5. Com uma trena meça a altura de um colega, posicione-o a 5m de você e calcule o tamanho de sua imagem formada na câmara escura.

ATIVIDADE 5: Utilizando um espelho, um pente e uma lanterna, projete a imagem do pente no espelho e utilize as sombras projetadas por ele para formar os feixes de luz, conforme Figura A.6, presente o capítulo anterior.

Com uma folha sulfite em baixo dos feixes, desenhe a trajetória dos raios e com um transferidor, meça o valor dos ângulos de incidência e de reflexão.

1. Quais são os valores de ângulos obtidos?
2. O que você pode perceber a respeito das medidas obtidas?

ATIVIDADE 6: Dois alunos voluntários devem posicionar os espelhos de forma que a imagem de um apareça no outro, como ilustrados na figura A.7 do capítulo anterior.

Vamos incidir o laser no primeiro espelho e marcar com o canetão onde a luz foi projetada e também qual a posição do laser nesta situação. Agora vamos trocar as posições: o laser toma lugar da luz projetada, incidindo o feixe luminoso no segundo espelho.

1. Onde ficou projetado o feixe de luz no segundo momento?
2. O que podemos perceber sobre o trajeto da luz durante esta experiência?

ATIVIDADE 7: Utilize um copo ou uma garrafa transparente com água e duas folhas: uma com listras diagonais e outra com uma frase escrita ao contrário.

Deslize a garrafa na frente da folha e veja o que acontece (Figura A.19). Faça o mesmo com uma outra folha com a frase escrita.



Figura A.19: Atividade 7. Adaptado de: <http://gabrielszanini.blogspot.com/2012/08/retas-curvas.html> Acesso em: 25/07/2020

1. O que você pode perceber com a imagem visualizada através da garrafa?
2. O que acontece com a luz se propagando na água para que isso ocorra?

ATIVIDADE 8: Utilizando uma cuba de vidro de aproximadamente 10cm de largura 15 de altura e 20 de profundidade. Encha-a com água. Posicione o centro do transferidor na linha da água fixando-o na parede externa da cuba. Veja a Figura A.20.

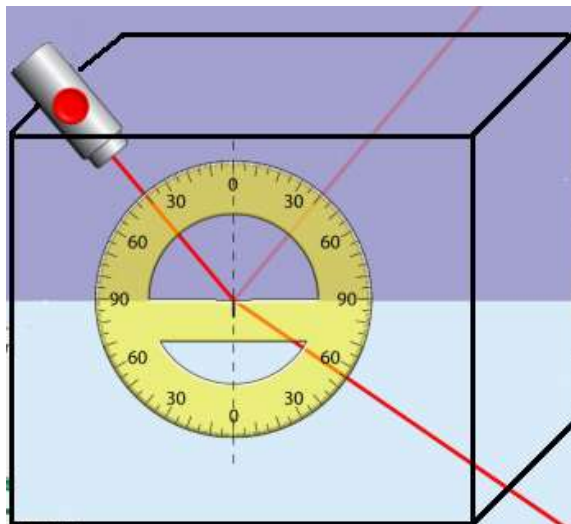


Figura A.20: Atividade 8. Adaptado de:

<http://fisicadodudu.com.br/images/simuladores/Roteiro%20de%20como%20usar%20um%20simulador%20de%20refra%C3%A7%C3%A3o.pdf> Acesso em: 13/07/2020.

Marque a direção da reta normal com um canetão. Incida utilizando um laser, o foco de luz sobre a água, marque diferentes ângulos de incidência de refração.

1. Construa uma tabela com os valores obtidos de ângulos de incidência e de refração;
2. Calcule a razão entre os senos destes ângulos;
3. O que você percebeu sobre os valores obtidos? Explique.

ATIVIDADE 9:

- Em uma garrafa pet de dois litros faça um furo com 0,5cm de diâmetro na base.
- Tape o furo e encha a garrafa de água. Segure a garrafa uns 15cm por cima de uma bacia. Se preferir pode utilizar um suporte.
- Ilumine com o laser a garrafa e solte o furo (Figura A.21)



Figura A.21: Atividade 9 Disponível em: <http://demonstracoes.fisica.ufmg.br/artigos/ver/84/7.-Reflexao-Total>  
Acesso em: 25/07/2020

1. Com esta experiência podemos afirmar que a luz está “fazendo curva”?
2. Qual fenômeno óptico é possível observar? Explique.
3. Esta experiência demonstra princípio de funcionamento das fibras ópticas. Relacionando com este equipamento, você consegue explicar por que as informações são transportadas com grande velocidade?

ATIVIDADE 10: Vamos calcular o diâmetro de um fio de cabelo?

1. Cole uma folha branca em uma parede para que se forme um anteparo.
2. Separe um fio de cabelo esticado e incida nele o laser, em direção ao anteparo.
3. Projete imagem com os máximos e mínimos de difração.
4. Faça medidas de  $\Delta x$  e  $L$ , conforme a figura A.22

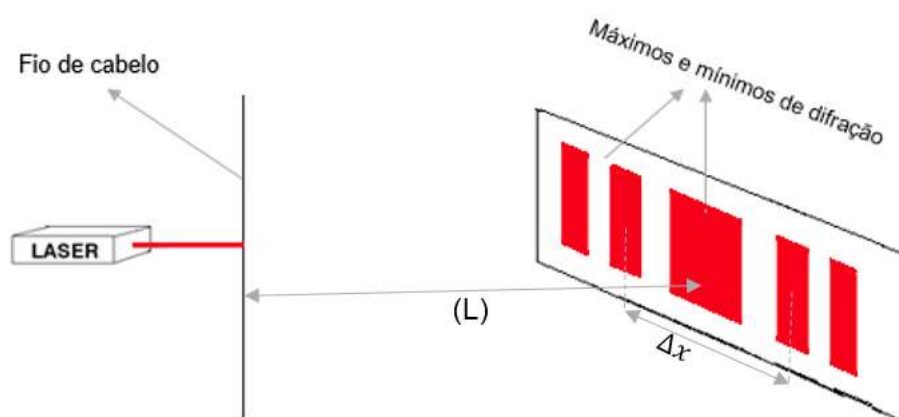


Figura A.22: Atividade 10. Fonte: Própria autora

1. Quais as regiões percebemos as interferências construtivas e destrutivas?
2. Calcule o diâmetro do fio de cabelo com a fórmula de Young.
3. Porque foi possível perceber a difração utilizando um fio de cabelo?

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho resulta da percepção da necessidade de dinamizar as aulas de física, tomando-as mais atrativas e motivadoras para os discentes. O objetivo desta proposta é demonstrar aos docentes esta possibilidade através de abordagens que envolvam experimentação e, acima de tudo, que considere uma realidade em que os professores não contam com equipamentos e estrutura laboratorial adequados e possuem uma carga horária elevada de trabalho.

Dessa forma, a proposta é utilizar materiais de baixo custo na elaboração dos experimentos e, além disso, as atividades experimentais devem ser facilmente elaboradas tanto pelos alunos quanto pelos professores. Assim a prática experimental se torna, para os alunos, mais palpável e próxima de sua realidade e, para o professor, uma abordagem com real possibilidade de execução.

A experimentação pode ser colocada em inúmeras oportunidades durante o processo de ensino aprendizagem, tanto como ferramenta motivadora, despertando o interesse do aluno ao tema que será abordado, quanto para averiguação das leis ou validação de equações. O professor, em cada caso, deve mapear os conhecimentos prévios e sanar as possíveis dificuldades.

Espera-se que o aluno participe ativamente desse processo de aprendizagem e consiga interagir e se integrar efetivamente durante as aulas. Cabe ao professor oportunizar momentos de discussão e se colocar como mediador do conhecimento. O diálogo e a troca de ideias é uma ferramenta importante e deve ser utilizada para aproximar os alunos não só do assunto abordado como também da disciplina de física e da escola como um todo.

**REFERÊNCIAS**

- CANATO, V. Aspectos antigos e modernos da solução de Kepler para o problema da câmara escura. **Circumscribere: International Journal for the History of Science**, v. 4, 2008.
- FAINGUELERNT, M. A CÂMERA ESCURA E A FOTOGRAFIA. **Scientiarum Historia VII**, Rio de Janeiro, 2004.
- HUYGENS, C. Tratado sobre a Luz. Tradução e notas de Roberto de Andrade Martin. [S.l.]: [s.n.], 1986. p. 1-99.
- NUSSENZVEIG, H. M. **Curso de Física 4: Ótica, Relatividade e Física Quântica**. 1. ed. [S.l.]: Blusher, 1988.
- PIETROCOLA, M. et al. **Física em Contextos**. São Paulo: Editora do Brasil, 2016.
- YAMAMOTO, K.; FUKU, L. F. **Física para o ensino médio**. São Paulo: Saraiva, 2013.
- WANDELL, B.; THOMAS, S. **Foundations of vision**. 7. ed. [S.l.]: Psycritiques, v. 42, 1997



APÊNDICE B – QUESTIONÁRIO PRÉ E PÓS-TESTE

## QUESTIONÁRIO

**Questão 1** - Observe a figura B.1



Figura B.1. questão 1. Disponível em  
<http://nossavamoscolorirdesenhos.blogspot.com/2011/10/desenho-para-colorir-de-menina-olhando.html>. Acesso em: 20/09/2019

A imagem ilustra uma menina admirando as flores de um jardim ensolarado. A menina está encantada com suas cores e beleza naturais. Para que esta visão e percepção das flores em sua cabeça seja possível, o que é necessário ocorrer? (escolha a alternativa que seja mais adequada)

- a) Não é necessário que ocorra nada, porque os olhos humanos possuem decodificam de forma natural as informações das imagens.
- b) Os olhos da menina emitem raios luminosos até as flores. Estes raios dão cor a elas e permitem esta sensação de encanto que a menina está sentindo.
- c) As flores estão sendo iluminadas pela luz solar. A luz chega às flores e é refletida por elas. Os olhos da menina recebem a informação, que é processada cérebro.
- d) As flores emitem raios luminosos até os olhos da menina.

(Questão adaptada e inspirada nos artigos de Harres (1993) e Andersson e Kärrvist (1983))

**Questão 2** - Imagine que você está caminhando em uma sala desconhecida e totalmente escura. Quando menos espera, você esbarra em algum móvel que encontra, porque não está enxergando nada. O motivo de você não estar enxergando nada é:

- a) No escuro, os objetos mudam de cor e tendem a ficar pretos, o que dificulta sua visualização;
- b) Como não há luz incidindo nos objetos e sendo refletida em direção aos olhos da pessoa, a formação da imagem em nosso cérebro não ocorre.
- c) A visão ocorre na ausência de luz, mas nosso cérebro não consegue interpretar;

- d) O nosso cérebro é capaz de formar imagem no escuro, porém o problema acontece nos olhos.

**Questão 3** - Um ratinho muito esperto corre de um gato e se esconde em uma caixa totalmente escura. A figura B.2 é uma ilustração da cena vista de cima.

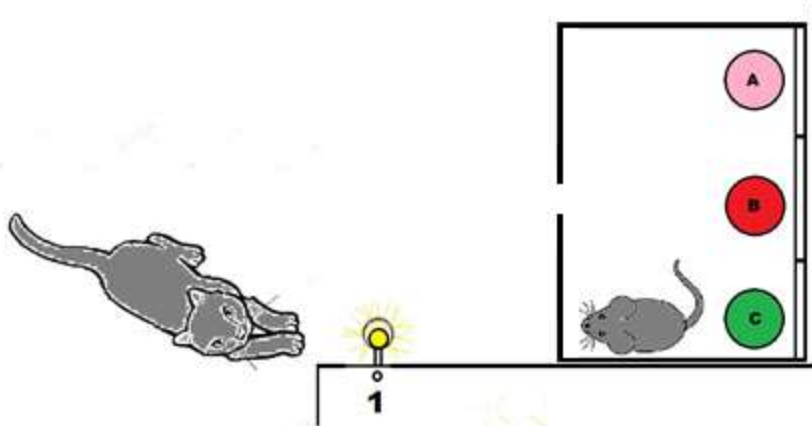


Figura B.2: questão 3, visão de cima. Fonte: Própria Autora.

Supondo que no ponto 1 tenha uma luminária fixa que pode ser acionada pelo gato. Considerando que o ratinho se desloque na intenção de continuar escondido, em qual(is) região(ões) haveria segurança para o rato?

- a) Somente A e B.
- b) Somente B.
- c) Somente B e C.
- d) A, B e C.
- e) Nenhuma delas.

(Questão adaptada e inspirada nos artigos de Harres (1993) e Andersson e Kärqvist (1983))

**Questão 4** - Imagine um vaso dentro de uma sala totalmente escura, de repente uma lanterna é ligada e o ilumina. Conforme Figura B.3

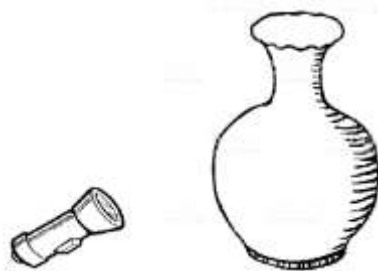


Figura B.3: questão 4. Fonte: Própria autora

- a) A sombra formada será do mesmo tamanho real do vaso, independentemente da posição da lanterna;
- b) Quando a luz atinge o objeto, dispara uma sombra atrás dele, sempre similar a forma real do objeto;
- c) A sombra se forma por que a luz não consegue contornar o objeto, ou seja, o que indica que na sombra há ausência de luz;
- d) A sombra será sempre menor que o tamanho real do vaso.

**Questão 5** - Um professor mostrou para um alunos experimento ilustrado pela figura B.4.



Figura B.4: questão 5. Disponível em: <http://fisicacampusararangua.blogspot.com/2010/09/por-que-quando-mergulhamos-uma-parte-de.html> Acesso em: 20/09/2019

Quando perguntou ao aluno o que estava acontecendo com o lápis, o mesmo respondeu:

“Professor a luz está mudando seu meio de propagação, por isso essa ilusão de o lápis estar quebrado!”

O professor respondeu: “Sim, mas existe algo a mais acontecendo com a luz nesta experiência...”

- a) A luz não consegue se propagar na água;

- b) A luz forma curvas dentro da água
- c) A velocidade de propagação da luz muda dentro da água
- d) A densidade da água muda quando atingida pela luz

**Questão 6** - Observe a figura a B.5.

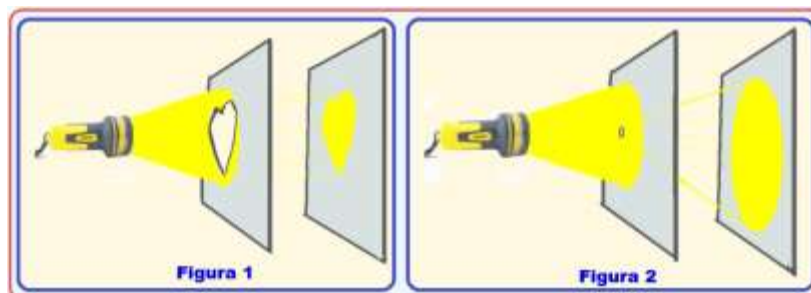


Figura B.5: questão 6. Disponível em: [http://fisicaevestibular.com.br/novo/wp-content/uploads/migracao/ondulatória/difração/o\\_21929b59f7ddf6.html](http://fisicaevestibular.com.br/novo/wp-content/uploads/migracao/ondulatória/difração/o_21929b59f7ddf6.html). Data de acesso: 20/09/2019

A respeito desta figura, é verdadeiro afirmar que:

- a) Está representada de forma errada, pois a figura 2 deveria formar um círculo muito menor no anteparo;
- b) Está representada de forma errada pois ambas figuras deveriam se formar maiores no anteparo;
- c) Está certa pois a luz passa pela abertura forma o coração em 1 e transpassa o primeiro anteparo para formar a imagem em 2.
- d) Está certa pois a luz passa pela abertura e forma o coração em 1; e em 2, o orifício, por possuir dimensões próximas ao comprimento de onda da luz, forma a imagem maior no anteparo.