

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALFENAS  
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA

**THALLES ABREU MEZÊNCIO**

**UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA PARA APRENDIZAGEM  
SIGNIFICATIVA DE ÓPTICA GEOMÉTRICA E A CONSTRUÇÃO DE  
UM KIT DE ÓPTICA GEOMÉTRICA DE BAIXO CUSTO PARA  
DEMONSTRAÇÕES PRÁTICAS EM SALA DE AULA**

ALFENAS  
2020

**THALLES ABREU MEZÊNCIO**

**UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA PARA APRENDIZAGEM  
SIGNIFICATIVA DE ÓPTICA GEOMÉTRICA E A CONSTRUÇÃO DE  
UM KIT DE ÓPTICA GEOMÉTRICA DE BAIXO CUSTO PARA  
DEMONSTRAÇÕES PRÁTICAS EM SALA DE AULA**

Dissertação apresentada para a conclusão do Curso de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física - MNPEF - do Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal de Alfenas - UNIFAL - MG - como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de mestre em Ensino de Física. **Orientador:** Prof. Dr. Célio Wisniewski

**Coorientador:** Prof. Dr. José Antônio Pinto

ALFENAS  
2020

**THALLES ABREU MEZÊNCIO**

**UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA PARA APRENDIZAGEM  
SIGNIFICATIVA DE ÓPTICA GEOMÉTRICA E A CONSTRUÇÃO DE  
UM KIT PORTÁTIL DE ÓPTICA GEOMÉTRICA PARA  
DEMONSTRAÇÕES PRÁTICAS EM SALA DE AULA**

A banca examinadora abaixo assinada aprova a dissertação apresentada para a conclusão do curso de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física - MNPEF - do Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal de Alfenas - UNIFAL - MG - como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de mestre em Ensino de Física.

Área de concentração: Ensino de Física

**Aprovado em:**

Prof. Dr. Célio Wisniewski  
Instituto de Ciências exatas – UNIFAL – MG

Assinatura:

Prof. Dr. Silmar Antonio Travain  
Departamento de Física e Química – UNESP – SP

Assinatura:

Prof. Dr. Artur Justiniano Roberto Junior  
Instituto de Ciências exatas – UNIFAL – MG

Assinatura:

Dedico este trabalho a minha incrível esposa, Janaína Marina de Oliveira Mezêncio, que sempre me incentivou, motivou, acreditou no meu desenvolvimento e na minha capacidade para realização deste trabalho.

## **AGRADECIMENTOS**

À Universidade Federal de Alfenas - UNIFAL - MG - por mais uma oportunidade proporcionada.

Ao Professor Dr. Célio Wisniewski, orientador, pela disposição, dedicação, e conhecimentos proporcionados na realização deste trabalho.

Ao Professor Dr. José Antônio Pinto, coorientador, pela dedicação, compartilhamento de ideias e conhecimentos.

Ao Professor Dr. Luciano Soares Pedroso, pela enorme contribuição com ideias valiosas.

Ao Professor Dr. Artur Justiniano Roberto Junior, coordenador do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física - MNPEF - do Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal de Alfenas - UNIFAL – MG.

E por fim, agradeço a CAPES pelo apoio ao curso de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física - MNPEF - do Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal de Alfenas - UNIFAL - MG

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

Eu não posso ensinar nada a ninguém, eu só posso fazê-lo pensar.

(SÓCRATES)

## RESUMO

Este trabalho relata um estudo realizado sobre a associação de práticas experimentais demonstrativas em sala de aula quando associadas a uma sequência didática estruturada a partir das teorias construtivistas de David Ausubel. Além da sequência didática o trabalho apresenta como professores de Física podem construir um kit de óptica geométrica de baixo custo para trabalhar com a sequência didática proposta. Em meio ao desenvolvimento do trabalho ocorreu a pandemia da doença COVID-19, e novos direcionamentos foram adotados. Inicialmente um trabalho que deveria ser desenvolvido totalmente em aulas presenciais foi reelaborado e aplicado em aulas remotas síncronas, utilizando softwares e plataformas digitais como: Google Meet; Google Classroom; Youtube; e WhatsApp. Durante o período de aplicação, foi possível observar momentos de Aprendizagem Significativa, mediante uma análise qualitativa dos debates sobre os questionamentos durante as aulas e respostas escritas dos aprendizes na sequência didática. Assim, observou-se que a introdução de práticas experimentais, mesmo que demonstrativas, ao serem associadas a uma sequência didática, podem ser efetivas no processo de ensino e aprendizagem. Também foi possível verificar que existem plataformas, softwares e Apps gratuitos que podem facilitar o processo de ensino e serem grandes aliados do professor. No entanto, esbarram em aspectos sociais como: a falta de equipamentos; a falta de internet; a dificuldade com os horários; desmotivação devido a situação de enfrentamento à pandemia da COVID-19; e cansaço, pois uma grande parcela de estudantes está aproveitando a não exigência de comparecimento às aulas para trabalhar e ajudar financeiramente à família devido ao momento de recessão econômica.

Palavras – chave: Ensino de Física. Aprendizagem Significativa. Ensino de Óptica Geométrica. Atividade experimental. Kit de Óptica Geométrica.

## **ABSTRACT**

This work reports a study carried out on the association of demonstrative experimental practices in the classroom when associated with a didactic sequence structured from the constructivist theories of David Ausubel. In addition to the didactic sequence, the work presents how physics teachers can build a low-cost geometric optics kit to work with the proposed didactic sequence. Amid the development of the work, the pandemic of the disease COVID-19 occurred, and new directions were adopted. Initially, a work that should be developed entirely in classroom classes was reworked and applied in remote synchronous classes, using software and digital platforms such as: Google Meet; Google Classroom; Youtube; and WhatsApp. During the application period, it was possible to observe moments of Meaningful Learning, through a qualitative analysis of the debates about the questions during the classes and written responses of the learners in the didactic sequence. Thus, it was observed that the introduction of experimental practices, even if demonstrative, when associated with a didactic sequence, can be effective in the teaching and learning process. It was also possible to verify that there are free platforms, software and Apps that can facilitate the teaching process and be great teachers' allies. However, they come up against social aspects such as: the lack of equipment; the lack of internet; difficulty with schedules; demotivation due to the situation of coping with the COVID-19 pandemic; and tiredness, as a large portion of students are taking advantage of the non-requirement to attend classes to work and help the family financially due to the economic recession.

**Keywords:** Physics teaching. Meaningful Learning. Teaching of Geometric Optics. Experimental activity. Geometric Optics Kit.

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> – Relação de pesquisa informando a quantidade de artigos por palavras-chave.....	16
<b>Tabela 2</b> - Relação de artigos da pesquisa realizada no dia 29 de setembro de 2020. .....	17
<b>Tabela 3</b> - Etapas da metodologia de desenvolvimento do trabalho.....	58
<b>Tabela 4</b> – Experimentos que podem ser relacionados e os conceitos abordados em cada experimento.....	62
<b>Tabela 5</b> – Datas programadas para aulas.....	83
<b>Tabela 6</b> – Acompanhamento de evolução das aulas.....	88
<b>Tabela 7</b> – Acompanhamento de frequência.....	88
<b>Tabela 8</b> – Tipos de classificação para respostas.....	96

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> – Representação das frentes de ondas esféricas e planas .....	29
<b>Figura 2</b> – Representação gráfica da reflexão e refração.....	31
<b>Figura 3</b> – Representação da reflexão especular e reflexão difusa .....	32
<b>Figura 4</b> – Formação de uma imagem pontual por um espelho plano.....	36
<b>Figura 5</b> – Formação de uma imagem extensa por um espelho plano.....	37
<b>Figura 6</b> – Imagem reversa formada por um espelho plano .....	37
<b>Figura 7</b> – Espelho côncavo .....	39
<b>Figura 8</b> – Espelho convexo .....	39
<b>Figura 9</b> – 1° Caso para espelhos côncavos .....	41
<b>Figura 10</b> – 2° Caso para espelhos côncavos .....	41
<b>Figura 11</b> – 4° Caso para espelhos côncavos .....	42
<b>Figura 12</b> – 5° Caso para espelhos côncavos .....	42
<b>Figura 13</b> – Caso único para espelhos convexos .....	43
<b>Figura 14</b> – Lâmina de faces paralelas.....	44
<b>Figura 15</b> – Prisma .....	45
<b>Figura 16</b> – Tipos de lentes .....	46
<b>Figura 17</b> – Lentes de bordas grossas .....	47
<b>Figura 18</b> – Elementos de uma lente esférica .....	48
<b>Figura 19</b> – Raios que incidem paralelos ao eixo principal.....	49
<b>Figura 20</b> – Raios que incidem nas lentes passando pelo centro de curvatura.....	49
<b>Figura 21</b> – Raios que incidem nos vértices das lentes.....	50
<b>Figura 22</b> – 1° Caso para lentes convergentes.....	50
<b>Figura 23</b> – 2° Caso para lentes convergentes.....	51
<b>Figura 24</b> – 3° Caso para lentes convergentes.....	51
<b>Figura 25</b> – 4° Caso para lentes convergentes.....	51
<b>Figura 26</b> – 5° Caso para lentes convergentes.....	52
<b>Figura 27</b> – Caso único para lentes divergentes .....	52
<b>Figura 28</b> – Partes do olho humano .....	54
<b>Figura 29</b> – Olho míope .....	56
<b>Figura 30</b> – Olho hipermetrope.....	56
<b>Figura 31</b> – Imagem da tela inicial do vídeo 01: Eclipse solar .....	64
<b>Figura 32</b> – Experimento 01 .....	64

<b>Figura 33</b> – Experimento 02 .....	65
<b>Figura 34</b> – Imagem da tela inicial do vídeo 02: Solomun – Cercle Festival.....	66
<b>Figura 35</b> – Experimento 03 .....	66
<b>Figura 36</b> – Imagem da tela inicial do vídeo 03: Astronauta Francês usa refletores deixados na lua há 50 anos.....	67
<b>Figura 37</b> – Experimento 04 .....	67
<b>Figura 38</b> – Experimento 05 .....	68
<b>Figura 39</b> – Experimento 06 .....	69
<b>Figura 40</b> – Experimento 07 .....	69
<b>Figura 41</b> – Experimento 08 .....	70
<b>Figura 42</b> – Experimento 09 .....	71
<b>Figura 43</b> – Experimento 10 .....	71
<b>Figura 44</b> – Experimento 11 .....	72
<b>Figura 45</b> – Experimento 12 .....	73
<b>Figura 46</b> – Experimento 13 .....	73
<b>Figura 47</b> – Experimento 14 .....	74
<b>Figura 48</b> – Experimento 15 .....	75
<b>Figura 49</b> – Experimento 16 .....	76
<b>Figura 50</b> – Experimento 17 .....	76
<b>Figura 51</b> – Experimento 18 .....	77
<b>Figura 52</b> – Experimento 19 .....	77
<b>Figura 53</b> – Experimento 20 .....	78
<b>Figura 54</b> – Experimento 21 .....	78
<b>Figura 55</b> – Experimento 22 .....	79
<b>Figura 56</b> – Experimento 23 .....	79

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO .....	14
2 REFERENCIAL TEÓRICO .....	20
2.1 A APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA.....	20
2.2 O USO DE PRÁTICAS EXPERIMENTAIS .....	22
2.3 TIPOLOGIA DE CONTEÚDO.....	24
2.4 UNIDADE DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVA .....	25
3 FUNDAMENTOS DE ÓPTICA GEOMÉTRICA .....	27
3.1 CONTEXTO HISTÓRICO.....	27
3.2 FONTES DE LUZ .....	28
3.3 MEIOS DE PROPAGAÇÃO .....	29
3.4 PRINCÍPIOS DA ÓPTICA GEOMÉTRICA .....	30
3.5 REFLEXÃO E REFRAÇÃO .....	31
3.6 DISPERSÃO .....	32
3.7 LEIS DA REFLEXÃO E REFRAÇÃO .....	33
3.8 ESPELHOS PLANOS.....	35
3.9 ESPELHOS ESFÉRICOS .....	38
3.10 FORMAÇÃO DE IMAGENS EXTENSAS POR ESPELHOS ESFÉRICOS.....	40
3.11 LÂMINA DE FACES PARALELAS E O DESVIO LATERAL.....	43
3.12 PRISMAS .....	44
3.13 LENTES ESFÉRICAS .....	45
3.14 FORMAÇÃO DE IMAGENS EXTENSAS POR LENTES ESFÉRICAS .....	50
3.15 EQUAÇÃO DO FABRICANTE DE LENTES.....	52
3.16 ABERRAÇÕES .....	54
3.17 PRINCIPAIS PROBLEMAS VISUAIS.....	54
4 METODOLOGIA.....	58
4.1 IDENTIFICAÇÃO DE SUBSUNÇORES .....	59

4.2 ESTRUTURAÇÃO DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA .....	61
4.3 CONSTRUÇÃO DO KIT DE ÓPTICA GEOMÉTRICA.....	80
4.4 APLICAÇÃO DO PRODUTO.....	81
5 ANÁLISE DE RESULTADOS .....	90
5.1 QUESTIONÁRIO DE CONHECIMENTOS PRÉVIOS: IDENTIFICAÇÃO DE SUBSUNÇORES.....	90
5.2 SEQUÊNCIA DIDÁTICA: ANÁLISE DA APLICAÇÃO DO PRODUTO .....	96
5.3 QUESTIONÁRIO PÓS-APLICAÇÃO DO PRODUTO .....	105
6 CONCLUSÃO.....	107
REFERÊNCIAS.....	109

# 1 INTRODUÇÃO

Existem algumas iniciativas didáticas que se mostram eficientes para diminuir o baixo rendimento dos estudantes na área de Física e podem aumentar sua motivação. Por exemplo, a aplicação de práticas experimentais em sala de aula. Utilizando-as o professor aproxima os alunos de uma melhor compreensão da Física e poderá contribuir com a elevação da qualidade da Educação Brasileira.

Tais práticas permitem que fórmulas, postulados e leis, tradicionalmente apresentados de modo exclusivamente expositivo, possam ser abordados de maneira contextualizada. A abordagem de práticas experimentais permite romper com um ensino transmissivista, porém *“para que a experimentação seja eficiente no processo de ensino-aprendizagem, deve-se buscar mais prática e mais reflexão”*, portanto, acredita-se que a associação das práticas experimentais realizadas sob um contexto de aprendizagem significativa, possam se tornar um elemento com grande potencial para a aprendizagem dos alunos. (RIBEIRO; VERDEAUX, 2013, p.255).

Pacca e Scarinci (2010) descrevem a dificuldade dos professores ao realizarem aulas expositivas com sequência didática pré-definida e mesmo assim, relatam que fica evidente o preconceito dos professores em relação à aula “giz e lousa”. Também destacam nas ideias sobre construtivismo, em todas as atividades planejadas, a necessidade de constante interação explícita com os alunos. Aliado a isso, havia ainda o pressuposto de que, numa aula expositiva, a interação e a participação do aprendiz não ocorrem. (PACCA; SCARINCI, 2010, p. 719). O que pode ser evidenciado nesta citação é que o problema não está somente no método de ensino, como, a aula expositiva, mas na sua exclusividade e também nas concepções pedagógicas dos professores.

Este trabalho se baseia em quatro pilares: as teorias construtivistas de David Ausubel; uma sequência didática visando estimular conflitos cognitivos nos aprendizes; as práticas experimentais demonstrativas em sala de aula; e a construção de um Kit de Óptica Geométrica de Baixo Custo.

Diferente de outros trabalhos publicados na área de óptica geométrica, este tem como diferencial abranger quase todo o conteúdo proposto nos livros didáticos e apostilas utilizados pelas redes de ensino no Brasil.

Professores que optarem pela utilização desta sequência didática e montagem do KOBC – Kit de Óptica Geométrica de Baixo Custo, podem utilizá-los em sua totalidade, fazer adaptações que acharem relevantes e até sedimentações agregando partes específicas a seus próprios métodos de ensino. Por isso, toda a elaboração da sequência didática e criação do KOBC foram extremamente detalhadas e tabeladas.

### **Objetivos**

Os objetivos deste trabalho foram:

- elaborar e aplicar uma sequência didática, embasada pelo referencial teórico da Aprendizagem Significativa de David Ausubel, associada a experimentos demonstrativos;
- e construir um Kit de Óptica Geométrica de Baixo Custo que sirva como aporte para sequência didática.

### **Questão de estudo**

Como elaborar um Kit de Óptica Geométrica de Baixo Custo e uma sequência didática experimental estruturada na aprendizagem significativa, de forma que o aprendiz possa compreender conceitos abstratos, e identificar e/ou conhecer a ciência e tecnologia de problemas associados as questões existentes no âmbito da sociedade?

### **Justificativa**

Estudantes do Ensino Médio possuem grande dificuldade na aprendizagem de Física e tal dificuldade pode estar associada: às práticas pedagógicas dos professores que, por fatores inúmeros relatam a insegurança de utilizar práticas inovadoras; e aos alunos que não conseguem atingir níveis de abstração desejados pelas aulas tradicionais.

O conteúdo da óptica geométrica trabalhado no Ensino Básico pode ser potencialmente significativo, ao ser associado às práticas experimentais, e tende a minimizar os impactos sobre os níveis de abstração desejados em aulas tradicionais. Mas, práticas experimentais enfrentam dificuldades como falta de

laboratórios, falta de materiais para experimentos didáticos, altos custos para compra de materiais e falta de tempo suficiente para preparação de material.

Uma revisão bibliográfica foi realizada em maio de 2019, com intenção de verificar os trabalhos relacionados a aprendizagem significativa, experimentação em sala de aula, e óptica geométrica. Tal revisão foi desenvolvida no Google Acadêmico utilizando nas buscas as seguintes palavras-chave: Aprendizagem Significativa no Ensino de Física; Atividade experimental no Ensino de Óptica Geométrica; Experimentos de Óptica Geométrica; Kit de Óptica Geométrica; e Sequências didáticas de Física em Óptica Geométrica. Filtros de busca foram selecionados em pesquisa avançada, tais como: o idioma em português, com as palavras ocorrendo no título do artigo e datados no período de 2015 a 2019. O período foi delimitado neste intervalo para evidenciar os trabalhos atuais.

**Tabela 1** – Relação de pesquisa informando a quantidade de artigos por palavras-chave

Palavras-chave	Quantidade de artigos selecionados
Aprendizagem Significativa no Ensino de Física	17
Atividade Experimental no Ensino de Óptica Geométrica	0
Experimentos de Óptica Geométrica	1
Kit de Óptica Geométrica	0
Sequências didáticas de Física em Óptica geométrica	0

Fonte: Autor

A seleção dos artigos foi realizada por meio da leitura dos resumos dos artigos, analisando as relações de proximidade com a associação entre as teorias da Aprendizagem Significativa e elaboração de sequências didáticas voltadas para o ensino de óptica geométrica.

Referente a Tabela 1, com a palavra-chave Aprendizagem Significativa no Ensino de Física foram encontrados 17 artigos, onde a aprendizagem significativa é implantada em diversos temas como cinemática, robótica, no Ensino de Física para o Ensino Fundamental, Ensino de Física moderna, na educação escolar indígena, física térmica, ondulatória, lançamento de projéteis e em experimentais didáticos. Portanto, há uma gama extensa de aplicação da aprendizagem significativa no Ensino de Física. O artigo sobre experimentos didáticos descreve sobre o uso destes de forma “tradicional em laboratório, ou de forma mais simples

em sala de aula” (MORAES; JUNIOR, 2014, p.61). No artigo são apresentadas as estatísticas sobre a “relevância da experimentação para o Ensino de Física” (MORAES; JUNIOR, 2014, p.61).

Na busca com a palavra-chave Atividade Experimental no Ensino de Óptica Geométrica não foram localizados artigos que contenham estas palavras no seu título.

Com as palavra-chave Experimentos de Óptica Geométrica foi encontrado um único artigo relatando que o alto custo de equipamentos para realização de experimentos de óptica geométrica está relacionada a pouca utilização de experimentos nesta área, e descrevem um “iluminador de LEDs de baixo custo que apresenta uma alta performance quando comparado com iluminadores comerciais para o estudo de lentes esférica” (CRUZ; et. al., 2018, p.1)

Buscando por Kit de Óptica geométrica e Sequências Didáticas de Física em Óptica Geométrica não foram encontrados resultados para estas buscas. Tentou-se suprimir os termos “de”, “em”, e “Física”, mas mesmo assim não foram encontrados artigos relacionados.

Devido aos poucos artigos relacionados com a busca, e a pobreza de informações utilizando o filtro de palavras ocorrendo no título do artigo, resolveu-se fazer uma nova busca excluindo limitações, e trabalhando na composição das palavras-chave. Para tanto, utilizou-se o Google Acadêmico na seguinte configuração de filtros: período específico de 2015 até 2020; classificando-os por relevância; em páginas em Português; incluindo patentes e citações. Tal pesquisa foi realizada no dia 29 de setembro de 2020. A Tabela 2 mostra os dados obtidos.

**Tabela 2** - Relação de artigos da pesquisa realizada no dia 29 de setembro de 2020.

Palavras-chave	Quantidade de artigos relacionados
Aprendizagem Significativa no Ensino de Física	65
Ensino de Óptica Geométrica	94
Experimentos de Óptica Geométrica	13
Kit de Óptica	5
Sequências didáticas de Óptica Geométrica	1

Fonte: Autor

Dos 65 artigos relacionados com a busca pela palavra-chave Aprendizagem Significativa no Ensino de Física, em uma busca preliminar, verificando títulos e leitura dos resumos, 2 artigos se destacaram na primeira análise.

Coelho (2017), em seu trabalho de conclusão do curso de licenciatura em física, faz a utilização de laser em suas experimentações, mas não relata em nenhum momento a construção de um banco ou canhão de lasers. Tal trabalho foi verificado, pois houve grande dificuldade no alinhamento dos lasers durante a construção de um canhão com cinco lasers paralelos entre si, utilizados neste trabalho.

Moraes e Junior (2015) fazem uma crítica à utilização de experimentos sem a utilização de uma metodologia associada de forma adequada em sua conclusão. Portanto, é necessário que a prática experimental esteja bem fundamentada e em associação com metodologias assertivas de teorias de aprendizagem.

Com a palavra-chave Ensino de Óptica Geométrica, o Google Acadêmico forneceu a relação de 94 artigos. Pode se observar que uma grande quantidade de artigos estava focada em: gamificação, inclusão, e uso de práticas experimentais com aplicação em conteúdos sedimentados e específicos da óptica geométrica.

A utilização de vídeos como forma de recurso didático para explicitar fenômenos de óptica é apoiada pelo trabalho realizado por Ferreira et. al. (2020). Em seu trabalho ele utiliza de *“vídeos, aplicativos e jogos para smartphones, modulados por uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativas (UEPS), articulando aprendizagem significativa no contexto concreto da construção de um material instrucional”* (FERREIRA et. al., p.1,2020).

Utilizando, Experimentos de Óptica Geométrica, como palavra-chave se obteve um resultado de 13 artigos relacionados. Destes, pode se observar artigos relatando alto custo de aparatos de óptica geométrica, materiais de baixo custo para serem utilizados em sala de aula, e montagem de materiais para trabalhar partes específicas da óptica geométrica.

Buscando por Kit de Óptica Geométrica, 5 resultados foram apresentados, onde nenhum destes se mostrou relevante com a avaliação preliminar.

Finalizando as buscas com a palavra-chave Sequências Didáticas de Óptica Geométrica, apenas 1 resultado foi disponibilizado sendo este descartado na avaliação preliminar.

Com as buscas realizadas na segunda pesquisa (Tabela 2), melhores informações sobre os trabalhos relacionados a este foram obtidas. Foi possível observar que existem muitos trabalhos de óptica geométrica, muitos ligados a aprendizagem significativa, mas também fica evidente que os trabalhos, principalmente os associados as práticas experimentais, são específicos de determinados conceitos, não dando continuidade à proposta de aprendizagem construtivista de todo o conteúdo da óptica geométrica abordada no Ensino Médio.

Portanto, a proposta de construção de uma sequência didática potencialmente significativa e a elaboração de um kit de materiais de baixo custo para experimentos em sala de aula, pode ser uma boa alternativa para minimizar as adversidades, tanto para os estudantes como para os professores, na aprendizagem e no ensino de óptica geométrica no Ensino Básico.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 A APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA

A ciência cognitiva surgiu nos Estados Unidos como “[...] fruto da confluência de vários fatores, sendo os principais o aparecimento da inteligência artificial [...] e o enfraquecimento da estratégia behaviorista na psicologia” (OLIVEIRA; OLIVEIRA, 1999, p.7). O termo cognitivo refere-se aos processos mentais envolvidos em diversas atividades como, por exemplo, a resolução de problemas ou, de forma mais abrangente, o próprio aprendizado. O enfoque cognitivista de aprendizado diferencia-se do behaviorismo uma vez que, o segundo se preocupa apenas com estímulos e respostas observáveis, enquanto o primeiro se preocupa com os processos mentais que ocorrem entre o estímulo e a resposta. Dentre as abordagens cognitivistas está a aprendizagem significativa. Ela é uma abordagem construtivista, no sentido de que o aprendizado é um processo de construção de estruturas mentais no qual o envolvimento do estudante tem papel fundamental.

Segundo Moreira (2002), a aprendizagem significativa é aquela que ocorre de forma não literal com base nos conhecimentos existentes na estrutura cognitiva. Para Ausubel, um dos teóricos do cognitivismo, o fator mais importante na aprendizagem é aquilo que o aluno já sabe. É importante ressaltar o papel do professor como responsável pela identificação do que o aluno já sabe.

Moreira (2002) detalha a aprendizagem significativa segundo a visão clássica de David Ausubel, que tem como elemento-chave o subsunçor ou ideia-âncora. O subsunçor é “[...] um conhecimento específico, existente na estrutura de conhecimentos do indivíduo, que permite dar significado a um novo conhecimento que lhe é apresentado [...]” (MOREIRA, 2002, p.4). Por exemplo, o “[...] subsunçor *Conservação de Energia*, que pode servir de ideia-âncora para um outro novo conhecimento: a conservação da quantidade de movimento [...]” (ibidem, p.3).

Quando a aprendizagem é feita sem a ancoragem de um subsunçor ou mesmo na inexistência deste, essa aprendizagem se dá de forma mecânica ou automática e nesse caso é chamada de aprendizagem literal. É uma “[...]”

*aprendizagem de novas informações com pouca ou nenhuma interação com conceitos relevantes existentes na estrutura cognitiva” (MOREIRA, 2011, p.162).*

Na aprendizagem significativa, Ausubel recomenda a utilização “*organizadores prévios*”, ferramenta que tem como função a manipulação da estrutura cognitiva para facilitar a aprendizagem. Os organizadores prévios são “*materiais introdutórios apresentados antes do material a ser aprendido em si*” (ibidem, p.163), servindo como “*pontes cognitivas*” entre o que o aluno sabe e o novo conhecimento.

Além da importância do que o aluno já sabe, Moreira afirma que:

De maneira recíproca, independentemente de quão disposto para aprender estiver o indivíduo, nem o processo nem o produto da aprendizagem serão significativos, se o material não for potencialmente significativo (ibidem, p.164).

Moreira (2011) complementa afirmando que para o material ser potencialmente significativo deve ser “*relacionável [...] à estrutura cognitiva do aprendiz, de maneira não arbitrária e não literal*” (ibidem, p.164). Portanto fica evidente que um material para ser significativo deve ser construído de acordo com a identificação dos subsunçores.

De acordo com a teoria de Ausubel, a construção da estrutura cognitiva é caracterizada por dois processos: a diferenciação progressiva e a reconciliação integradora. A diferenciação progressiva “*[...] é o processo de atribuição de novos significados a um dado subsunçor*” (MOREIRA, 2002, p.6), enquanto a reconciliação integradora “*[...] é um processo [...], simultâneo ao da diferenciação progressiva, que consiste em eliminar diferenças aparentes [...]*” (ibidem, p.6).

Portanto, quando existe a repetição dos processos de ancoragem entre novas informações e subsunçores ou realocação e combinação destes se denomina este processo, quando ocorre proveniente de aprendizagem subordinada, de “*diferenciação progressiva*”, e quando ocorre por aprendizagens superordenada ou combinatória de “*reconciliação integrativa*”, sendo estes processos segundo

Moreira, chamados “*princípios programáticos da matéria de ensino*”. (MOREIRA, 2011, p.168)

## 2.2 O USO DE PRÁTICAS EXPERIMENTAIS

Bassoli (2014) considera as práticas experimentais em sala de aula como “*unanimidade acerca da importância*” no processo de ensino e aprendizagem derivada “[...] *de uma concepção empírica sobre ciência e seus métodos, atribuindo a esta caráter eminentemente prático*” (BASSOLI, 2014, p.580). Afirma ainda que:

Cabe aos professores elaborarem estratégias metodológicas que favoreçam uma maior interatividade entre os objetos de estudo e os alunos, assim como entre aluno-aluno e aluno-professor, o que podemos chamar de interatividade social (BASSOLI, 2014, p.581).

Bassoli (2014) classifica as atividades práticas como: 1) Demonstrações Práticas, realizadas exclusivamente pelos professores, os alunos apenas assistem; 2) Experimentos Ilustrativos, os quais são realizados pelos alunos, favorecendo a interatividade social quando desenvolvidos em grupos; 3) Experimentos Descritivos, os quais são realizados pelos alunos sem constante direcionamento do professor; e 4) Experimentos Investigativos que “*exigem grande participação dos alunos durante sua execução*” (BASSOLI, 2014, p.583) e são diferentes dos outros por envolverem a “[...] *discussão de ideias, elaboração de hipóteses explicativas e experimento para testá-las*” (idem).

Na implantação de Práticas Experimentais nas aulas de Física do Ensino Médio, com ênfase nas escolas públicas, professores relatam suas dificuldades:

[...] não há tempo suficiente para preparação do material, falta-lhes segurança para controlar a classe, conhecimentos para organizar experiências, auxílio técnico para reparação e conservação do material e também, não dispõem de equipamentos e instalações adequados (FEITOSA, 2011, p.317).

Segundo Lindner e Ely (2012), “[...] a abordagem dos conteúdos, a partir de atividades experimentais, oportuniza aos alunos a compreensão da importância do que estão estudando [...]” (LINDNER; ELY, 2012, p.9) e desenvolve no aluno habilidades e competências não restritas apenas aos elementos intelectuais, mas de forma mais geral aquelas necessárias à formação humana.

Laburú e Silva (2008) utilizam materiais de baixo custo e criam experimentos para contribuir com o ensino de Física afirmando que tal utilização pode promover “uma alfabetização científica mais efetiva” e “despertar a atenção dos aprendizes ao dar condições de verificar os conteúdos abstratos” (LABURÚ; SILVA, 2008, p.181).

Segundo Barreiro e Bagnato (1992) as aulas demonstrativas são uma ferramenta didática que oferece campo para a aprendizagem significativa, proporcionando ao aluno a oportunidade para despertar o pensamento reflexivo. Os autores, em suas conclusões, são enfáticos ao afirmar:

Experimentos utilizáveis em sala de aula sobre mecânica, ondas, calor, termodinâmica, ótica, etc, poderão ser capazes de levar os professores à percepção de que é possível fazer do ensino algo mais estimulante e motivador, e da aprendizagem algo significativo (BARREIRO; BAGNATO, 1992, p.244).

Em seu artigo, Sias e Ribeiro (2006), relacionam o experimento a uma atividade que realmente é eficiente no que se refere a atingir a “*contextualização, o entendimento e o envolvimento do aluno*” (SIAS; RIBEIRO, 2006, p.361).

Ribeiro e Verdeaux (2013) relatam que no ensino espera-se que “a observação e compreensão de fenômenos naturais explicados pelas teorias da física estejam presentes na sua apresentação aos alunos” (RIBEIRO; VERDEAUX, 2013, p.240) reforçando o viés de que o ensino de Física por atividades experimentais pode ser em elemento facilitador no processo de aprendizagem, podendo ser relacionado ao cotidiano do aprendiz, despertando interesse e emoção na realização desta prática pedagógica.

A grande maioria dos autores citados, abrangendo um período desde a década de 90 até os dias atuais, afirmam categoricamente que a utilização de experimentos relacionados à Física melhora a prática pedagógica, torna a aprendizagem significativa e menos monótona do que a aprendizagem tradicional utilizando apenas giz e lousa.

## 2.3 TIPOLOGIA DE CONTEÚDO

Para que a atividade seja significativa a escolha do conteúdo e estratégia de ensino devem contemplar capacidades cognitivas, as capacidades motrizes e a interação social, onde deve se ter preocupação com “*a relação estabelecida entre a sua aprendizagem e o desenvolvimento das capacidades ou potencialidades humana.*” (SALVADOR, XXXX, p.291). Sendo que os processos de desenvolvimento e aprendizagem são distintos, sendo o desenvolvimento atribuído “*a uma dinâmica interna da pessoa*” (ibidem, p.291) e a aprendizagem “*a uma pressão externa*”. (ibidem, p.291).

A relevância do conteúdo deve ser levada em consideração, pois “*a educação escolar tem um caráter social e uma função socializadora*” (ibidem, p.298), portanto a integração dos conteúdos disciplinares com a importância da sua utilização dentro da sociedade se faz indispensável.

Salvador defende que os alunos não podem aprender novos conceitos sem que estes estejam em relação com outros conceitos e afirma que quanto “*mais inter-relacionada estiver a rede de conceitos que uma pessoa tem, mais ampla será a sua capacidade para compreender os conteúdos*” (ibidem, p.309). Ele também afirma que as estratégias que têm alcance proveitoso devem ter relações entre “*a aprendizagem e a aplicação eficaz dos conteúdos procedimentais. Em geral devem conter também as características do comportamento caracterizado como estratégico*” (ibidem, p.315), tais como:

Características principais destacadas pelas atividades estratégicas:

- Implicam planejamento, controle, avaliação e possibilidades de modificação.
- Estão acompanhadas da conscientização sobre os meios, as metas e os cursos da atividade.

- Tomam forma em função de determinados conhecimentos do sujeito sobre si próprio, sobre os materiais ou os conteúdos de trabalho e sobre as condições que os demarcam. (ibidem, p.315)

## 2.4 UNIDADE DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVA

Uma unidade de ensino pode se tornar significativa quando fundamentada em teorias de aprendizagem que consigam ajudar o aluno a alocar novos conceitos aos existentes na estrutura cognitiva, de forma com que estes estejam organizados, facilitando o acesso à informação pelo aprendiz quando necessário. Moreira afirma que unidades de ensino potencialmente significativas têm por objetivo serem “*facilitadoras da aprendizagem significativa de tópicos específicos de conhecimento declarativo e/ou procedimental*”. (MOREIRA; VEIT, 2012, p.3)

Moreira defende que as unidades de ensino potencialmente significativa devem defender uma filosofia na qual afirma que:

*só há ensino quando há aprendizagem e esta deve ser significativa; ensino é o meio, aprendizagem significativa é o fim; materiais de ensino que busquem essa aprendizagem devem ser potencialmente significativos.* (MOREIRA; VEIT, 2012, P.3)

Alguns princípios são relatados por Moreira afim de definir os conceitos fundamentais para apresentação de uma unidade de ensino potencialmente significativa e destacam-se:

- o conhecimento prévio é a variável que mais influencia a aprendizagem significativa (Ausubel);
- é o aluno quem decide se quer aprender significativamente determinado conhecimento (Ausubel. Gowin);
- organizadores prévios mostram a relacionabilidade entre novos conhecimentos e conhecimento prévios;
- situações-problema podem funcionar como organizadores prévios;
- as situações-problema devem ser propostas em níveis crescente de complexidade (Vergnaud);
- a diferenciação progressiva, a reconciliação integradora e a consolidação devem ser levadas em conta na organização do ensino (Ausubel);
- o papel do professor é o de provedor de situações-problema, cuidadosamente selecionadas, de organizador do ensino e

mediador da captação de significados de parte do aluno (Vergnaud; Gowin)

- a interação social e a linguagem são fundamentais para a captação de significados (Vygotsky; Gowin);
- a aprendizagem significativa crítica é estimulada pela busca de respostas (questionamento) ao invés da memorização de respostas conhecidas, pelo uso da diversidade de materiais e estratégias instrucionais, pelo abandono da narrativa em favor de um ensino centrado no aluno (Moreira). (MOREIRA; VEIT, 2012, , p.4)

A proximidade entre a uma unidade de ensino potencialmente significativa e a teoria da aprendizagem significativa pode ser observada na afirmação:

A Teoria de Aprendizagem Significativa destaca que a aprendizagem pode ser potencialmente significativa se envolver a relação triádica entre aluno, docente e materiais educativos. A UEPS tem, em sua concepção, princípios norteados nesta teoria, em especial nesta relação triádica. (SOUSA et. al., 2018, p.13)

### 3 FUNDAMENTOS DE ÓPTICA GEOMÉTRICA

Nesta sessão, o intuito é oferecer mediante fundamentação teórica os conceitos sobre óptica geométrica, presentes neste trabalho, especificamente na construção do produto educacional que contém a sequência didática.

A abordagem explicita uma divisão lógica, onde são apresentados o contexto histórico, os princípios, os fenômenos, e instrumentos ópticos como espelhos e lentes, dentro da óptica geométrica.

#### 3.1 CONTEXTO HISTÓRICO

Questionamentos sobre qual a definição ou natureza da luz podem ter sido realizados desde o início da humanidade. Com os grandes filósofos, tais questões tomaram forma e chegaram até a serem respondidas, talvez não da forma que precisava. Platão achava que nossos olhos emitiam partículas que ao chegarem nos objetos os tornavam visíveis. Aristóteles pensava que a luz era um fluído imaterial. Até antes de Isaac Newton, *“muitos cientistas imaginavam que a luz fosse constituída por um feixe de minúsculas partículas”*, os denominados corpúsculos provenientes das fontes de luz. (YOUNG; FREEDMAN, 2004, P.1)

Nussenzveig afirma que quanto a teoria corpuscular da luz *“se costuma (erroneamente) citar Newton como o principal partidário”* (NUSSENZVEIG, 1998, p.1). Na realidade Newton publicou trabalhos de seus resultados sobre *“a decomposição espectral da luz branca e observações de efeitos ondulatórios, como os anéis de Newton”*. (NUSSENZVEIG, 1998, p.1)

Evidências de propriedades ondulatórias cresceram no século XIX e uma divisão de ideias aconteceu. Existiam alguns cientistas que defendiam o modelo corpuscular e outros que lutavam pelas ideias do modelo ondulatório.

A velocidade da luz, Galileu não conseguiu medir, mas James Clerk Maxwell previu a velocidade de ondas eletromagnéticas em 1873 e associando suas pesquisas ao trabalho de Heinrich Hertz (1887) *“mostrou de maneira irrefutável que a luz é efetivamente uma onda eletromagnética.”* (YOUNG; FREEDMAN, 2004, P.1)

Mas, o *“triunfo da teoria ondulatória sobreveio no início do século passado com os trabalhos de Thomas Young e Augustin Fresnel sobre os efeitos de interferência e difração.”* (NUSSENZVEIG, 1998, p.1)

No entanto, a natureza corpuscular da luz podia ser evidenciada nos fenômenos de emissão e absorção da luz. Apesar da discrepância entre os modelos, em *“1930 com o desenvolvimento da eletrodinâmica quântica”* os dois fenômenos puderam ser associados. (YOUNG; FREEDMAN, 2004, P.1)

Com as experiências de Hertz para comprovar a teoria eletromagnética da luz foi possível observar *“as primeiras evidências do efeito fotoelétrico”*, que mais tarde, em 1905, Einstein explicou utilizando a hipótese de Planck *“descrevendo-a em termos de fótons, com caráter corpuscular”*. (NUSSENZVEIG, 1998, p.1)

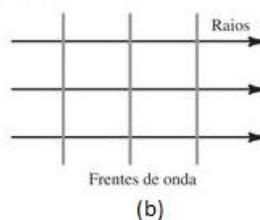
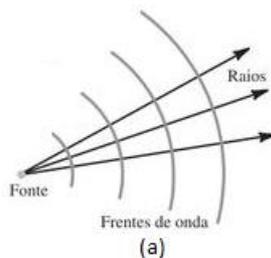
Hoje a definição de luz não é tão simples e têm como modelo de descrição a chamada dualidade onda – partícula. Entretanto, a óptica geométrica é apenas uma parte de estudo da óptica onde a preocupação com a natureza da luz não está presente, pois a análise realizada é meramente comportamental.

### **3.2 FONTES DE LUZ**

As fontes podem ser classificadas entre primárias e secundárias. Quanto as fontes primárias, que emitem sua própria luz, Young e Freedman as chamam de fontes fundamentais. Ao relacionar com as características ondulatórias afirmam que qualquer tipo de corpo emite radiação eletromagnética devido ao movimento molecular (radiação térmica). E em *“temperaturas adequadamente elevadas, todos os corpos emitem quantidade de luz suficiente para se tornarem luminosos”*. (YOUNG; FREEDMAN, 2004, P.1) Portanto, dependendo das condições, todos os corpos podem ser fontes primárias. Outros corpos que não emitem sua própria luz são considerados fontes de luz secundárias e refletem a luz de outra fonte.

Para representar graficamente a luz emitida ou refletida por um corpo são utilizados diagramas para demonstrar a propagação. Utiliza-se de um segmento de reta orientado (raio), que representa a trajetória das partículas de luz na visão corpuscular, ou uma representação imaginária da direção de propagação da onda. Na Figura 1, presente no livro Sears e Zemansky, temos em (a) a representação de frentes de ondas esféricas e em (b) a representação de frentes de onda plana.

**Figura 1** – Representação das frentes de ondas esféricas e planas



Fonte: YOUNG; FREEDMAN, 2009 (Adaptada).

### 3.3 MEIOS DE PROPAGAÇÃO

A luz não necessita de um meio de propagação, por exemplo ela se propaga no vácuo. Mas o meio em que ela se propaga pode influenciar sua velocidade.

No vácuo, a luz se propaga com velocidade  $c = 2,99792458 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ . A velocidade da luz foi demonstrada não ser infinita por vários cientistas, mas o primeiro, segundo Sears e Zemansky, foi Ole Romer, um dinamarquês que conseguiu a façanha em observações do planeta gasoso Júpiter e seus satélites. (YOUNG; FREEDMAN, 2004, P.2)

Os meios de propagação podem ser caracterizados como transparente, translúcido e opaco. O que os diferencia é o comportamento dos raios luminosos ao se propagarem por estes meios ou serem impedidos de se propagarem por estes.

O meio transparente permite que a luz se propague por ele sem que haja desvios ou com desvios uniformes nos raios luminosos. Desta forma, a nitidez da imagem não é perdida por um observador ao olhar para um objeto tendo um meio transparente entre eles. Temos como exemplo o vácuo, o vidro, a água, o ar.

O meio translúcido, no entanto, causa na observação de um objeto entremeado por ele, uma perda de nitidez. Os raios luminosos ao atingirem este

meio sofrem desvios não regulares. Por exemplo: Vidros muito espessos, vidros foscos, vidros jateados, nuvens, e papel vegetal.

O meio opaco é aquele que não permite a passagem da luz. Por exemplo: Madeira, metais e tijolos.

Um meio também pode ser considerado homogêneo quando suas propriedades físicas e químicas são iguais em todas suas partes. E também pode ser chamado de meio isotrópico, quando possui as mesmas propriedades físicas em todas suas dimensões. (YOUNG; FREEDMAN, 2004, p.3)

Entretanto, o meio pode ser opaco a determinados comprimentos de ondas e transparente aos demais, atuando como filtros. Além disso existem ainda uma classe de materiais que não podem ser considerados, transparentes, opacos ou translúcidos, mas que tem propriedades óticas não lineares capazes de provocar alguns fenômenos com a birrefringência, amplificação óptica, transdução, etc, que não estão no escopo deste trabalho.

### 3.4 PRINCÍPIOS DA ÓPTICA GEOMÉTRICA

A óptica geométrica, com sua abordagem por raios representativos, possui princípios caracterizados como conceitos fundamentais de toda a sua estrutura. Tais princípios são:

- A **retilidade dos raios luminosos** que reconhece que em meios homogêneos os raios de luz se propagam em linha reta. Segundo Nussenzveig, *“Huygens procurou explicar a propagação retilínea na teoria ondulatória através do seu célebre Princípio”*, e se fundamenta na formação de sombras. (NUSSENZVEIG, 1998, p.4)
- A **independência dos raios luminosos** que reconhece que raios de luz ao se interceptarem mantêm suas trajetórias.
- A **reversibilidade dos raios luminosos** admite que a trajetória descrita por um raio luminoso pode ser percorrida nos dois sentidos.

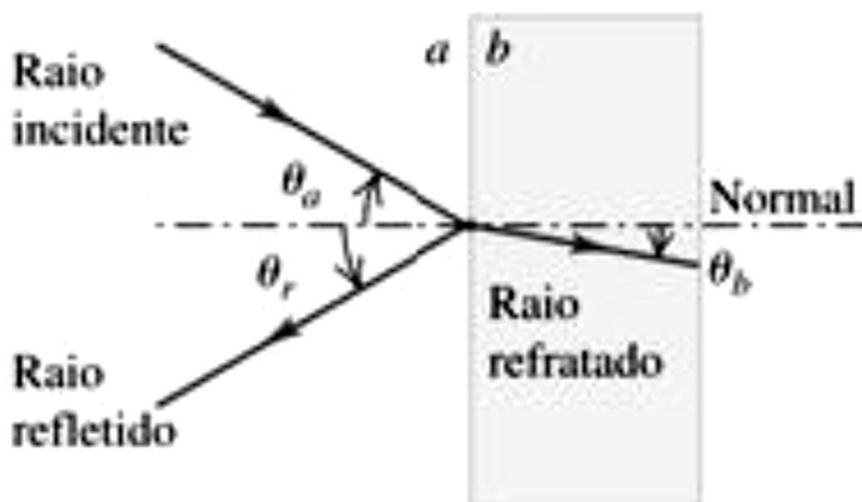
A partir destes princípios, fenômenos como a reflexão e a refração podem ser estudados. Estes fenômenos podem até serem observados ao mesmo tempo, em uma mesma superfície. Segundo Sears e Zemansky quando *“uma onda de luz atinge uma superfície lisa separando dois meios transparentes (...), em geral a onda*

é *parcialmente refletida e parcialmente refratada (transmitida)*” (YOUNG; FREEDMAN, 2004, p.3). Vale ressaltar que uma parte da energia do raio incidente pode ser absorvida pelo material em forma de energia térmica. A seguir a distinção destes fenômenos é realizada e eles são abordados separadamente.

### 3.5 REFLEXÃO E REFRAÇÃO

Uma representação simplificada da reflexão e da refração é geometricamente representada na Figura 2.

Figura 2 – Representação gráfica da reflexão e refração



Fonte: YOUNG; FREEDMAN, 2009.

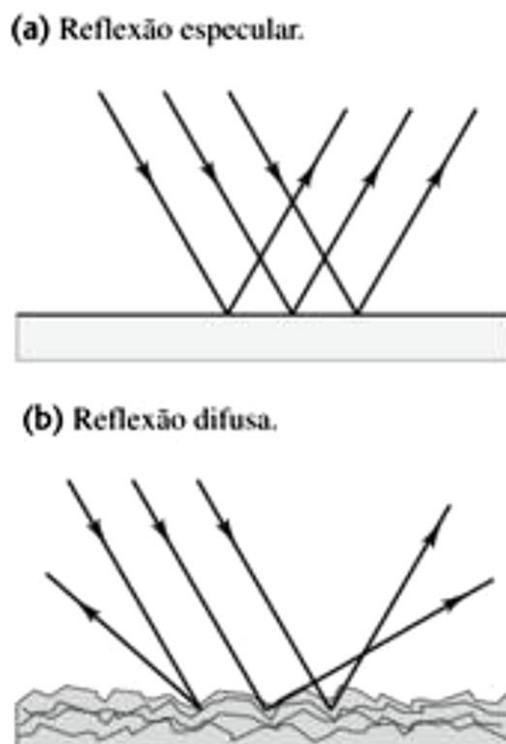
A reflexão é o fenômeno no qual a luz ao atingir um meio não consegue vencê-lo, retornando para o meio de propagação inicial. Por exemplo a luz refletida por um espelho ou por uma parede. Enquanto a refração é o fenômeno óptico que caracteriza a mudança de meio de propagação da luz.

Na Figura 2,  $\theta_a$  representa o ângulo de incidência, formado pela abertura angular entre o raio incidente e a reta normal;  $\theta_b$  representa o ângulo de refração, formado pela abertura angular entre a reta normal e o raio refratado; e  $\theta_r$  representa o ângulo de reflexão formado pela abertura angular entre a reta normal e o raio refletido.

A reflexão ainda pode ser analisada quanto a superfície refletora. Em uma superfície rugosa se tem predominantemente a reflexão difusa, onde os raios

refletidos são “*espalhados em diversas direções*” (YOUNG; FREEDMAN, 2004, P.3). Em uma superfície lisa e polida, por sua vez, tem-se a reflexão especular ou regular, onde os raios refletidos possuem o mesmo ângulo de reflexão. Na Figura 3, pode ser observada em (a) a reflexão especular e em (b) a reflexão difusa.

**Figura 3** – Representação da reflexão especular e reflexão difusa



Fonte: YOUNG; FREEDMAN, 2009.

A reflexão difusa está presente em quase todos os objetos que podem ser visualizados pelo olho humano.

### 3.6 DISPERSÃO

A dispersão da luz é um fenômeno correlacionado a refração, onde a luz branca pode ser evidenciada como uma composição de luzes monocromáticas.

Young e Feedman, afirmam que ao incidir luz branca em um prisma de vidro ou de outros materiais transparentes, o fenômeno da dispersão pode ser evidenciado. As cores do arco-íris podem ser observadas nos raios emergentes. Além disso, relatam que “*Isaac Newton foi o primeiro a demonstrar que o prisma não adiciona cores para a luz branca, mas sim obriga as diferentes cores da luz*

*branca a se propagar através de ângulos diferentes*". (YOUNG; FREEDMAN, 2004, P.1)

Comprimentos de onda na faixa de cor azul e violeta refratam mais que os comprimentos de onda na faixa da cor visível vermelha.

### 3.7 LEIS DA REFLEXÃO E REFRAÇÃO

A reflexão e refração possuem leis que podem ser comprovadas experimentalmente ou pelas equações de Maxwell, e tanto Halliday e Resnick, quanto Young e Freedman compactuam:

- A primeira: *"O raio incidente, o raio refletido, o raio refratado e a normal à superfície estão sobre o mesmo plano."* (YOUNG; FREEDMAN, 2004, p.4)
- A segunda: é a lei da reflexão e indica que *"o raio refletido está no plano de incidência e tem um ângulo de reflexão igual ao ângulo de incidência"*. (HALLIDAY; RESNICK, 2009, p.18)
- A terceira: é a lei da refração e indica que o *"raio refratado está no plano do raio incidente"*, e possui ângulo de incidência e de refração relacionados.

Matematicamente podemos expressar para a reflexão, tomando como base a Figura 2, a seguinte expressão:

$$\theta_r = \theta_a \quad (1)$$

Para a refração, matematicamente pode ser utilizada a conhecida lei de Snell, quando a luz incidente é monocromática:

$$n_a \text{ sen}\theta_a = n_b \text{ sen}\theta_b \quad (2)$$

Onde,  $n_a$  e  $n_b$ , são os índices de refração dos respectivos meios representados pelas letras  $a$  e  $b$ . Este índice de refração de um meio *"é igual a  $c/v$ , onde  $v$  é a velocidade da luz no meio e  $c$  é a velocidade da luz no vácuo"* (HALLIDAY; RESNICK, 2009, p.18). Portanto, temos que:

$$n = \frac{c}{v} \quad (3)$$

A equação 2, segundo Young e Freedman, demonstra que:

*Quando um raio passa de um material (a) para um material (b) que possui índice de refração maior ( $n_a > n_b$ ) e, portanto, se move com velocidade menor, o ângulo  $\theta_b$  com a normal no segundo material é menor que o ângulo  $\theta_a$  com a normal no primeiro material; portanto o raio se desvia aproximando-se da normal (...). Quando o segundo material possui índice de refração menor do que o índice de refração do primeiro material ( $n_b < n_a$ ) e, portanto, se move com velocidade maior, o raio se desvia afastando-se da normal (...) (YOUNG; FREEDMAN, 2004, p.5)*

Além disso, quando temos o raio incidente sobre a reta normal ( $0^\circ$ ) este não sofre desvio.

Analisando as grandezas físicas presentes nas características ondulatórias como a velocidade  $v$ , o comprimento de onda  $\lambda$ , e a frequência  $f$ , temos que para a reflexão todas as características do raio incidente se mantêm no raio refletido. Na refração, apenas a frequência se mantêm constante. Vale ressaltar a equação fundamental da ondulatória:

$$v = \lambda f \quad (4)$$

Nussenzweig cita índices de refração referentes a luz de sódio de cor amarela com comprimento de onda de  $\lambda = 0,589 \mu\text{m}$ : “Ar: 1,000293 (condições NTP); água ( $20^\circ\text{C}$ ): 1,33; álcool etílico ( $20^\circ\text{C}$ ) (...)”. (NUSSENZWEIG, 1998, p. 10)

No subtítulo 3.4 foi relatado que os fenômenos de refração e reflexão podem ser observados ao mesmo tempo. E suas proporcionalidades de transmissão e reflexão estão relacionados com o ângulo de incidência na interface dos meios. Mas quando a luz se propaga de um meio mais refringente para um meio menos refringente, em determinado momento se tem um ângulo de refração reto, onde o raio luminoso transita sobre a interface. Neste momento, tem-se como ângulo de incidência um ângulo limite para que se ocorra o fenômeno de refração. E segundo Young e Freedman, este ângulo “denomina-se ângulo crítico, designado por  $\theta_{\text{crít}}$ ”, para mais, afirmam que além do método experimental para comprovação, esta pode ser realizada pela análise das equações de Maxwell, que mostram que, “a medida

que o ângulo de incidência se aproxima do ângulo crítico, a intensidade do raio transmitido tende a zero". (YOUNG; FREEDMAN, 2004, p.4)

O ângulo crítico pode ser obtido pela lei de Snell, trabalhando a relação abaixo, onde a luz se propaga do meio de índice  $a$  para o meio de índice  $b$ :

$$\text{sen}\theta_{\text{crít}} = \frac{n_b}{n_a} \quad (5)$$

Sobre o ângulo crítico e ao ultrapassá-lo, a reflexão interna total ou apenas reflexão total pode ser observada. Pois, "o raio fica retido no material" de índice de refração mais refringente, "sendo completamente refletido na interface entre os dois materiais" (YOUNG; FREEDMAN, 2004, p.4).

### 3.8 ESPELHOS PLANOS

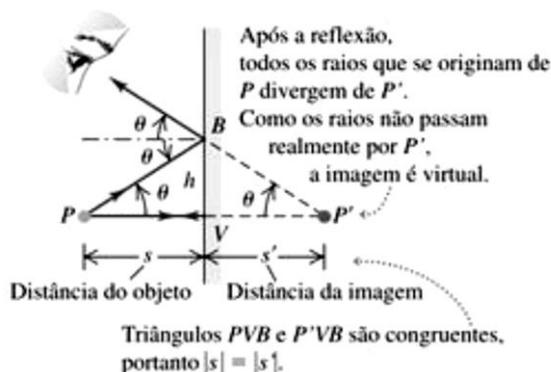
O espelho plano é "um dos elementos óticos mais simples". (NUSSENZVEIG, 1998, p.16)

Para entender o funcionamento de um espelho plano a definição de objeto e imagem deve ser feita. Objeto pode ser "qualquer coisa da qual emanem raios de luz" e podem ser denominados como puntiformes quando representados por um ponto adimensional, ou objetos estendidos quando possuem dimensões reais. (YOUNG; FREEDMAN, 2004, P.32)

Na observação de uma imagem em um espelho, o objeto é visto em uma posição aparente. Além deste conceito, a imagem formada por um espelho plano é chamada de imagem virtual, pois "os raios emergentes não passam efetivamente no local onde se encontra o objeto". (YOUNG; FREEDMAN, 2004, P.32)

A formação de imagem por espelhos planos, admitindo-se espelhos planos ideais, desconsiderando efeitos refrativos, pode ser representada geometricamente conforme a Figura 4.

**Figura 4** – Formação de uma imagem pontual por um espelho plano



Fonte: YOUNG; FREEDMAN, 2009.

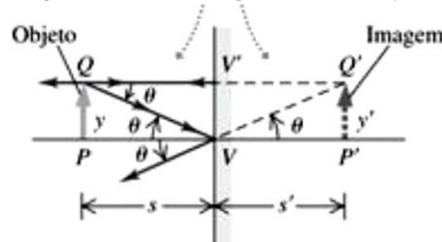
O ponto  $P$  representa um objeto puntiforme situado a uma distância  $S$ , enquanto o ponto  $P'$  representa a imagem gerada por este espelho, que está posicionada a uma distância  $S'$ . As distâncias  $S$  e  $S'$  são iguais e denominadas distância do objeto e distância da imagem. O “raio  $PB$  forma um ângulo  $\theta$  com o raio  $PV$ . Ele atinge o espelho plano com ângulo de incidência  $\theta$  e se reflete formando o mesmo ângulo com a normal”. Os triângulos  $PBV$  e  $P'BV$ , formados na representação gráfica da Figura 4, são congruentes. (YOUNG; FREEDMAN, 2004, P.33)

Young e Freedman definem as regras de sinais aplicáveis “a formação de imagens por meio da reflexão ou da refração em interfaces planas ou esféricas ou de um par de superfícies refratoras que formam uma lente” (YOUNG; FREEDMAN, 2004, P.33). São elas:

1. **Regra do sinal para a distância do objeto:** Quando o objeto está do mesmo lado da luz que incide sobre a superfície refletora ou refratora, a distância do objeto  $S$  é positiva; em caso contrário, é negativa.
2. **Regra do sinal para a distância da imagem:** Quando a imagem está do mesmo lado da luz que emerge da superfície refletora ou refratora, a distância  $S'$  é positiva; em caso contrário, é negativa.
3. **Regra do sinal para o raio de curvatura de uma superfície esférica:** Quando o centro de curvatura  $C$  está do mesmo lado da luz que emerge da superfície refletora ou refratora, o raio de curvatura é positivo; em caso contrário, é negativo. (YOUNG; FREEDMAN, 2004, P.34)

Um objeto estendido pode ser considerado um conjunto de pontos e cada ponto pode ser tratado individualmente. Abaixo, na Figura 5, pode ser vista a representação geométrica da reflexão por um espelho plano de um objeto estendido com tamanho definido.

**Figura 5** – Formação de uma imagem extensa por um espelho plano



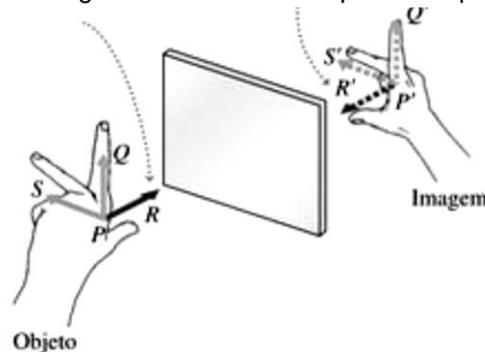
Fonte: YOUNG; FREEDMAN, 2009.

Visualmente é possível observar que  $y$ , o tamanho do objeto, é igual a  $y'$ , tamanho da imagem. “A razão entre a altura da imagem e a altura do objeto, (...), denomina-se *ampliação transversal*” (YOUNG; FREEDMAN, 2004, P.34). Para um espelho plano esta ampliação  $m$  (Equação 6) sempre será igual a 1.

$$m = \frac{y'}{y} \quad (6)$$

A orientação vertical da imagem e do objeto é a mesma, pois a seta que os representa possui o mesmo sentido, desta forma, classificamos esta imagem como ereta ou direita. Caso estivessem com sentidos invertidos a classificação seria de imagem invertida. Ainda relacionado a classificação de imagens, ao se observar a Figura 6, pode ser visto que no eixo da direção frontal ao espelho ocorre inversão da imagem o que pode ser denominado por imagem reversa e facilmente explicada ao se propagar os raios luminosos a partir de cada ponto do objeto, obtendo os pontos respectivos da imagem a uma distância igual, mas do outro lado do espelho. Tal característica pode ser denominada como enantiomorfismo.

**Figura 6** – Imagem reversa formada por um espelho plano



Fonte: YOUNG; FREEDMAN, 2009.

A associação de dois espelhos para que “as diversas reflexões da luz nos espelhos permitam a formação de (...) imagens”, de objetos posicionados entre os espelhos, é possível. (BARRETO; SILVA, 2016, p.160)

O número de imagens obtidas a se associar espelhos pode ser obtida pela expressão abaixo segundo Barreto e Silva:

$$N = \left( \frac{360}{\theta} - 1 \right) \quad (7)$$

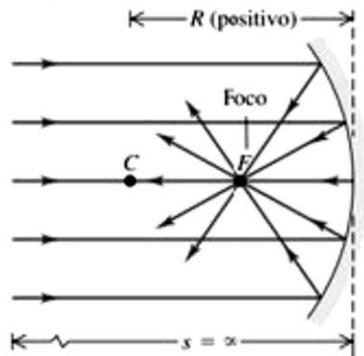
Quando  $\frac{360}{\theta}$  “for um número par, para qualquer posição dos objetos entre os espelhos”, a expressão é válida. Caso,  $\frac{360}{\theta}$  “for um número ímpar”, a expressão só é válida para quando o objeto estiver posicionado sobre o plano bissetor. (BARRETO; SILVA, 2016, p.160)

### 3.9 ESPELHOS ESFÉRICOS

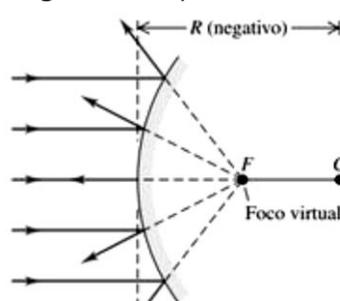
Os espelhos esféricos podem gerar imagens virtuais ou reais, maiores ou menores que o objeto, diferentemente dos espelhos planos que geram apenas imagens virtuais e de mesmo tamanho que o objeto.

As superfícies esféricas são definidas a partir de um centro de curvatura  $C$ . Enquanto o polo da calota definida pela superfície esférica é chamado de vértice e acomoda o ponto  $V$ . O ponto intermediário  $F$  entre os pontos  $C$  e  $V$  é chamado de foco. A distância entre o ponto  $C$  e  $V$  é o raio da superfície esférica, enquanto a distância entre o ponto  $F$  e  $V$  é chamada de distância focal. Estes elementos podem ser observados na Figura 7 e Figura 8.

Os espelhos esféricos podem ser côncavos quando a parte voltada para o centro de curvatura é espelhada, ou podem ser convexos quando sua superfície espelhada é contrária ao centro de curvatura. Na Figura 7, tem-se a representação de raios incidentes paralelos ao eixo principal ou eixo óptico (eixo que passa pelo centro de curvatura e vértice), atingindo um espelho côncavo. Enquanto, na Figura 8, a representação é de um espelho convexo sendo atingido por raios paralelos ao eixo principal.

**Figura 7 – Espelho côncavo**

Fonte: YOUNG; FREEDMAN, 2009.

**Figura 8 – Espelho convexo**

Fonte: YOUNG; FREEDMAN, 2009.

Analisando a Figura 7, utilizando as regras de sinais, pode ser observado que o raio de curvatura do espelho côncavo é positivo. O comportamento dos raios refletidos a partir de uma superfície esférica côncava se direcionam ao ponto de foco, quando inicialmente são incididos de forma paralela. E pelo princípio da reversibilidade pode se afirmar que o raio direcionado ao espelho côncavo que passa pelo foco é refletido de forma paralela ao eixo principal.

Os raios paralelos mencionados acima são aproximações físicas, pois quanto mais distante uma fonte de luz está posicionada, mais paralelos os raios tendem a ficar. Segundo, Young e Freedman, esta aproximação é chamada de “*paraxial*” e os raios “*são chamados de raios paraxiais*”. (YOUNG; FREEDMAN, 2004, P.37)

Na Figura 8, observa-se que o raio de curvatura do espelho convexo é negativo. O comportamento dos raios refletidos após serem incididos de forma paralela ao eixo se propagam na direção definida pelo ponto de contato com a superfície do espelho e o foco. Utilizando-se do princípio da reversibilidade também pode se definir que o raio incidente que é direcionado em sentido ao foco é refletido paralelo ao eixo principal.

A distância focal é definida pela equação:

$$f = \frac{R}{2} \quad (8)$$

Outros raios tem comportamentos notáveis, como o raio que incide no espelho côncavo passando sobre o centro de curvatura e o raio que incide no espelho convexo com direção e sentido ao centro de curvatura. Em ambos casos estes são refletidos no sentido contrário ao raio incidente sobre a mesma direção.

Raios que incidem no vértice no espelho também são notáveis, pois têm o mesmo comportamento para os dois espelhos. A inclinação angular com relação ao eixo principal para o raio incidente é a mesma inclinação angular entre o eixo principal e o raio refletido. Estes raios notáveis serão utilizados ao demonstrar a formação de imagens por espelhos esféricos.

### 3.10 FORMAÇÃO DE IMAGENS EXTENSAS POR ESPELHOS ESFÉRICOS

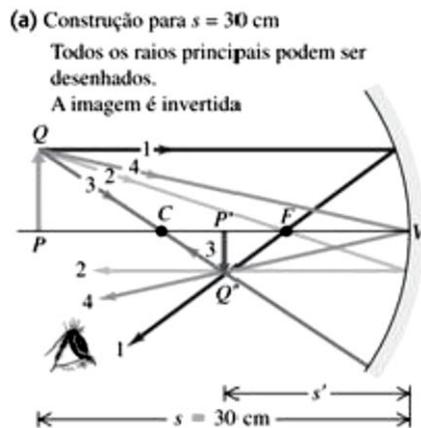
Os espelhos esféricos côncavos possuem 5 possibilidades de formação de imagens, enquanto os espelhos convexos possuem um único tipo de formação de imagens. Estas imagens podem ser classificadas quanto a sua natureza (real ou virtual), quanto ao seu tamanho (maior, menor, ou de mesmo tamanho que o objeto), e quanto a sua orientação (invertida ou direita).

Para identificar a formação da imagem em espelhos esféricos se utiliza os raios notáveis ou como chamados por Young e Freedman, “*raios principais*” (YOUNG; FREEDMAN, 2004, P.42). Mas:

*Embora tenhamos enfatizado os raios principais, na verdade qualquer raio que atinge o espelho deve passar através de um ponto da imagem (para uma imagem real) ou parecer emanar de um ponto da imagem (no caso da imagem virtual). (YOUNG; FREEDMAN, 2004, P.43)*

**1º Caso para espelhos côncavos:** O objeto é posicionado antes do centro de curvatura (Figura 9).

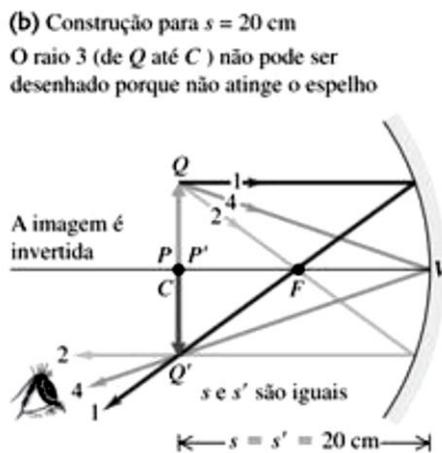
**Figura 9** – 1º Caso para espelhos côncavos



Neste caso, a imagem é classificada como: real, menor e invertida.

**2º Caso para espelhos côncavos:** O objeto está posicionado sobre o centro de curvatura (Figura 10).

**Figura 10** – 2º Caso para espelhos côncavos



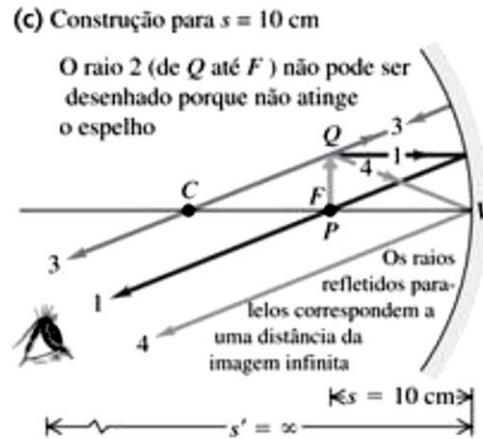
Neste caso, a imagem é classificada como: real, do mesmo tamanho que o objeto e invertida.

**3º Caso para espelhos côncavos:** O objeto está posicionado entre o centro de curvatura e o foco.

Observando a Figura 9 e levando em consideração o princípio da reversibilidade dos raios luminosos, ao se alterar o sentido da trajetória dos raios luminosos, alterando-se objeto por imagem e vice-versa, conseguimos classificar neste caso, a imagem como: real, maior e invertida.

**4° Caso para espelhos côncavos:** O objeto está posicionado sobre o foco (Figura 11).

**Figura 11 – 4° Caso para espelhos côncavos**

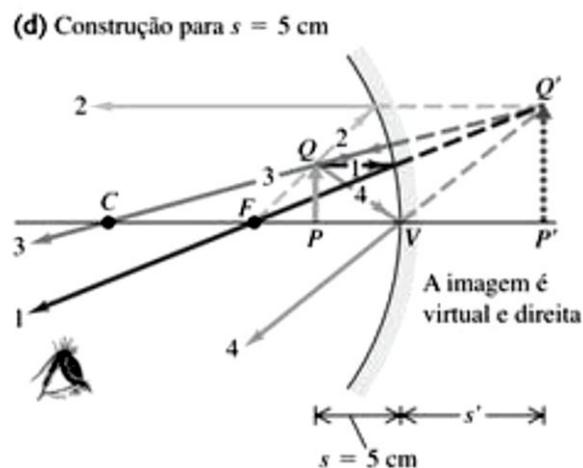


Fonte: YOUNG; FREEDMAN, 2009.

Neste caso, a imagem é classificada como: imprópria, pois os raios emergentes são paralelos. Portanto, não existe ponto de cruzamento.

**5° Caso para espelhos côncavos:** O objeto está posicionado entre o foco e o vértice (Figura 12).

**Figura 12 – 5° Caso para espelhos côncavos**

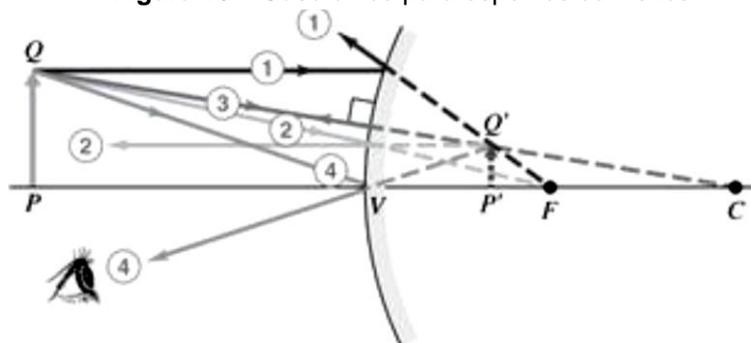


Fonte: YOUNG; FREEDMAN, 2009.

Neste caso, a imagem é classificada como: Virtual, maior e direita.

**Caso único para espelhos convexos:** Objeto posicionado em qualquer distância do lado contrário ao centro de curvatura e foco (Figura 13).

**Figura 13** – Caso único para espelhos convexos



Fonte: YOUNG; FREEDMAN, 2009.

Neste caso, a imagem é classificada como: Virtual, menor e direita.

Young e Freedman, apresentam uma relação entre as distâncias da imagem, do objeto, e do foco. Onde as regras de sinais mencionadas na sessão 3.8 são válidas. Esta relação também é conhecida como equação de Gauss (YOUNG; FREEDMAN, 2004, P.38):

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{s} + \frac{1}{s'} \quad (9)$$

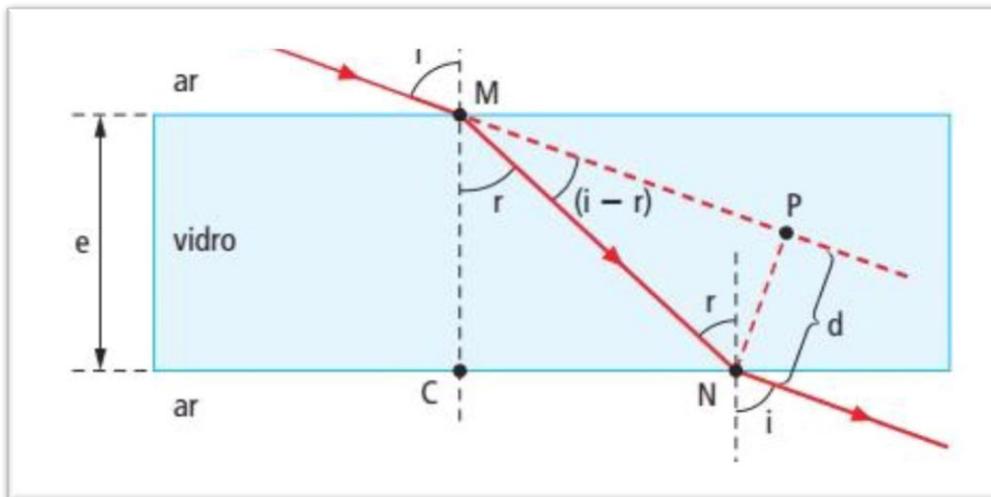
A ampliação transversal (Equação 6) nos espelhos esféricos também pode ser determinada e relacionada mediante semelhança entre os triângulos formados nas representações gráficas, levando-se em consideração as regras de sinais.

### 3.11 LÂMINA DE FACES PARALELAS E O DESVIO LATERAL

Barreto e Silva, relatam que uma lâmina de faces paralelas é um sistema óptico “transparente e homogêneo, (...), constituído por duas superfícies de separação planas e paralelas”, portanto podem sofrer duas refrações em suas extremidades. (BARRETO; SILVA, 2016, p.185)

Na Figura 14, tem-se a representação gráfica de uma lâmina de faces paralelas sendo incidida por um raio de luz monocromático. Esta lâmina é de vidro, possui espessura  $e$ , e está imersa ar.

**Figura 14** – Lâmina de faces paralelas



Fonte: BARRETO; SILVA, 2016.

O raio incidente se propaga inicialmente no ar, e na interface entre ar e vidro, ocorre a primeira refração. A segunda refração ocorre na saída do vidro para o ar. Na primeira refração, tem-se o ângulo de incidência  $i$  e o ângulo de refração  $r$ . Na segunda refração, tem-se o ângulo de incidência  $r$  e o ângulo de refração  $i$ .

O desvio lateral  $d$  é representado pela distância entre a propagação do raio se não houvesse a lâmina e o raio refratado após atravessar toda a lâmina. Este desvio, segundo Barreto e Silva, pode ser calculado pela trigonometria aplicada aos triângulos. (BARRETO; SILVA, 2016, p.186):

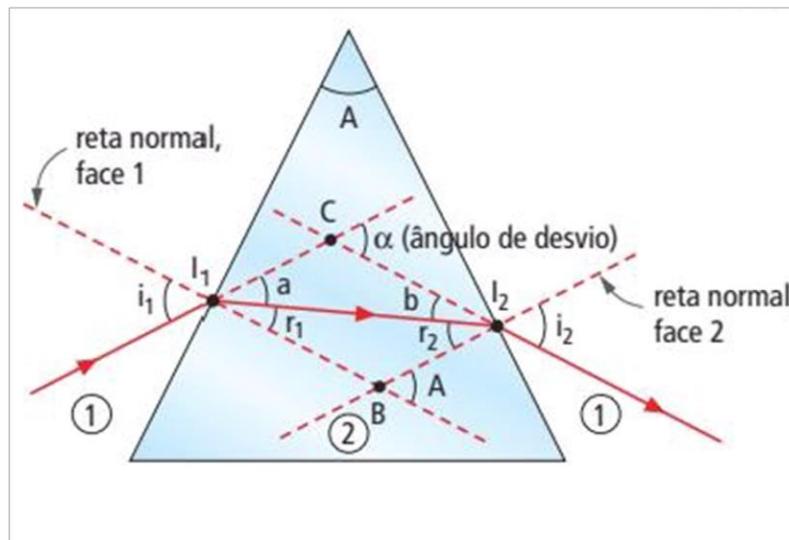
$$d = e \frac{\text{sen}(i - r)}{\cos r} \quad (10)$$

### 3.12 PRISMAS

Um prisma é um sistema formado “por um meio homogêneo e transparente, que possui três faces planas não paralelas, sendo uma delas a base” (BARRETO; SILVA, 2016, p.192).

Uma visão em duas dimensões de um prisma é demonstrada na Figura 15, onde um raio luminoso monocromático é incidido sobre a face 1 do prisma, sofrendo uma refração. O raio emergente da face 1 desloca-se pelo corpo do prisma e é novamente refratado quando atinge a face 2.

Figura 15 – Prisma



Fonte: BARRETO; SILVA, 2016.

Alguns elementos desta composição podem ser destacados:

- $i_1$ : ângulo de incidência na face 1;
- $i_2$ : ângulo de emergência na face 2;
- $r_1$ : ângulo de refração na face 1;
- $r_2$ : ângulo de incidência na face 2;
- $I_1$  e  $I_2$ : pontos de incidência e emergência (respectivamente), do raio luminoso. (BARRETO; SILVA, 2016, p.192)

O desvio angular  $\alpha$  é definido quando a trajetória do raio incidente “é desviada de direção em relação ao percurso que faria caso não tivesse o prisma no caminho” e pode ser calculada pela expressão abaixo, onde  $A$  é o ângulo de refração do prisma. (BARRETO; SILVA, 2016, p.192)

$$\alpha = i_1 + i_2 - A \quad (11)$$

### 3.13 LENTES ESFÉRICAS

Nussenzweig afirma que “uma lente tem duas superfícies refratoras, de raios de curvatura  $R_1$  e  $R_2$ , respectivamente na ordem que são encontradas pela luz incidente” e chamam este dispositivo óptico de lente delgada devido a espessura entre as superfícies ser relativamente pequena. (NUSSENZVEIG, 1998, p.27)

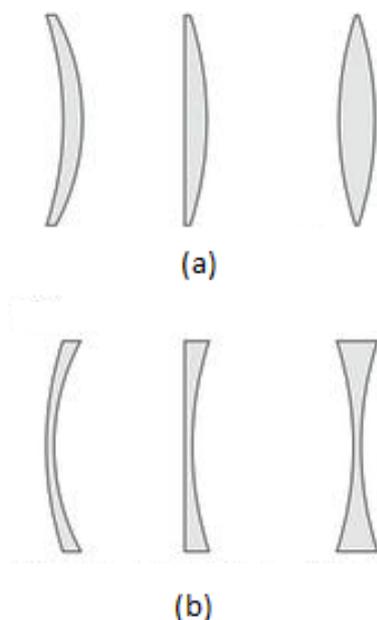
Halliday e Resnick classificam as lentes: “uma lente que faz com que os raios luminosos inicialmente paralelos ao eixo central se aproximem do eixo é chamada de lente convergente”, enquanto isto, denomina a lente que faz o afastamento dos

raios luminosos refratados do eixo central de “*lente divergente*”. (HALLIDAY; RESNICK, 2009, P.51)

As equações 6, 7 e 8, aplicadas aos espelhos, também podem ser aplicadas para as lentes, levando-se em consideração as regras de sinais apresentadas anteriormente.

Alguns tipos de lentes podem ser observados na Figura 16, onde em (a) da esquerda para direita as lentes tem as seguintes denominações: Côncavo-convexa (menisco), plano-convexa, e biconvexa. Em (b), da esquerda para direita, as lentes tem as seguintes denominações: Convexo-côncava (menisco), plano-côncava e bicôncava.

**Figura 16** – Tipos de lentes



Fonte: Fonte: YOUNG; FREEDMAN, 2004.

As lentes de (a), na Figura 16, possuem características físicas semelhantes como as bordas finas. Em (b) as características físicas semelhantes são as bordas grossas. Segundo Barreto e Silva, o caráter de convergência ou divergência de uma lente se dá devido sua geometria “*e pela relação entre os índices de refração da lente e do meio em que ela está imersa*”. (BARRETO; SILVA, 2016, p.197)

As lentes de bordas finas são convergentes quando o índice de refração da lente é maior que o índice de refração do meio em que ela está imersa, e passa a

ser divergente quando imersa em um meio com índice de refração maior que o índice de refração da lente.

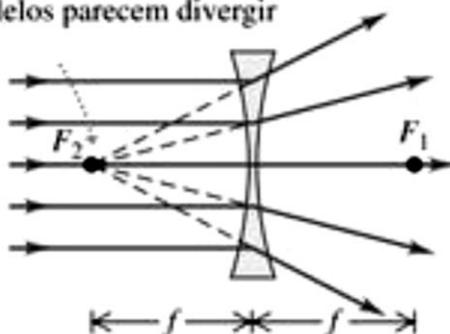
As lentes de bordas grossas são divergentes quando o índice de refração da lente é maior que o índice de refração do meio em que ela está imersa, e passa a ser convergente quando imersa em um meio com índice de refração maior que o índice de refração da lente.

Na Figura 17 é apresentada a representação gráfica de lentes de bordas grossas, quando imersas em meios com índice de refração menor que o índice de refração da lente. As lentes são incididas por raios paraxiais.

Figura 17 – Lentes de bordas grossas

(a)

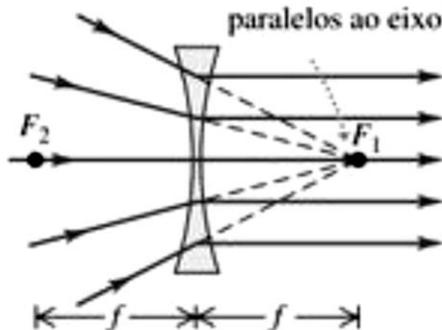
Segundo foco: o ponto do qual os raios incidentes paralelos parecem divergir



Em uma lente delgada divergente  $f$  é negativo

(b)

Primeiro foco: raios convergindo nesse ponto emergem das lentes paralelos ao eixo

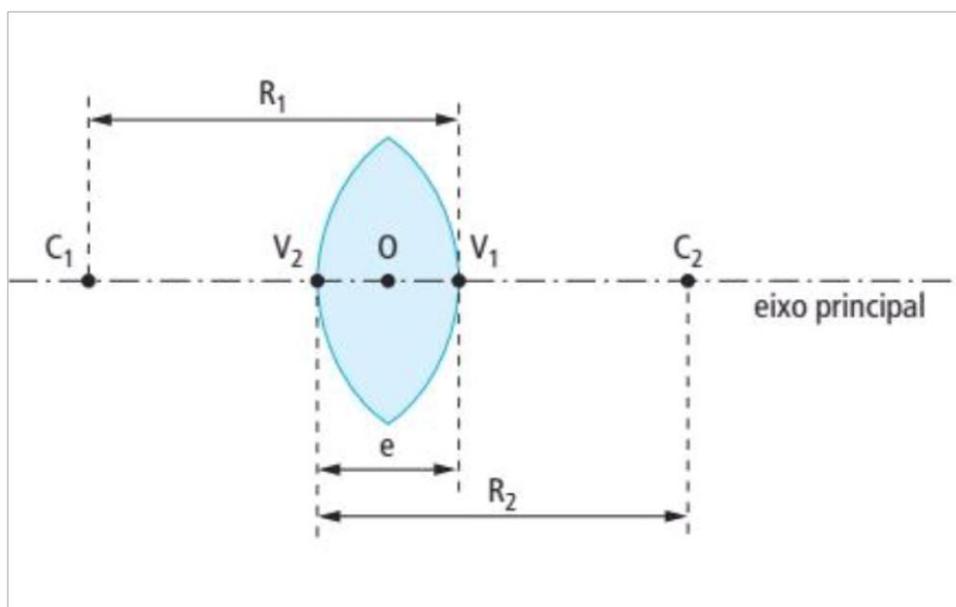


Fonte: YOUNG; FREEDMAN, 2009.

Alguns elementos de uma lente podem ser caracterizados com principais, segundo Barreto e Silva, Figura 18.

- **Centros de curvatura ( $C_1$  e  $C_2$ ):** centros das superfícies esféricas das faces da lente.
- **Raios de curvatura ( $R_1$  e  $R_2$ ):** raios das superfícies esféricas das faces da lente.
- **Vértices ( $V_1$  e  $V_2$ ):** polos das superfícies esféricas.
- **Espessura ( $e$ ):** distância entre os vértices.
- **Eixo principal:** a reta suporte que passa pelo centro de curvatura e pelo vértice da lente.
- **Centro óptico:** ponto particular da lente, em geral contido nela, por onde um raio de luz atravessa a lente sem sofrer desvio. (BARRETO E SILVA, 2016, P.198)

Figura 18 – Elementos de uma lente esférica

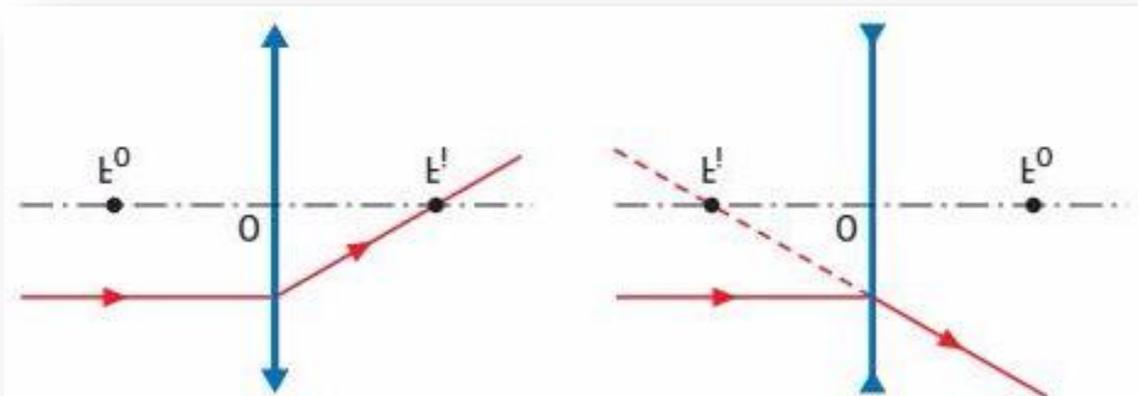


Fonte: BARRETO; SILVA, 2016.

Raios notáveis ou principais podem ser definidos para as lentes e auxiliam na formação das imagens de objetos. Nas Figuras 19, 20 e 21,  $F_o$  é o foco principal,  $F_i$  é o foco secundário,  $P_o$  é o centro de curvatura principal,  $P_i$  é o centro de curvatura secundário e  $O$  é o centro óptico.

Na Figura 19, raios de luz incidem de forma paralela ao eixo principal. Na lente convergente, representada à esquerda, observa-se que o raio emergente converge para o foco secundário. Na lente divergente, representada à direita, o raio emergente diverge a partir do foco secundário, tal evidência se dá com o prolongamento do raio refratado. Se invertermos o sentido de propagação do raio incidente em ambos casos, levando em consideração o princípio da reversibilidade dos raios luminosos, temos que os raios emergentes serão paralelos ao eixo principal.

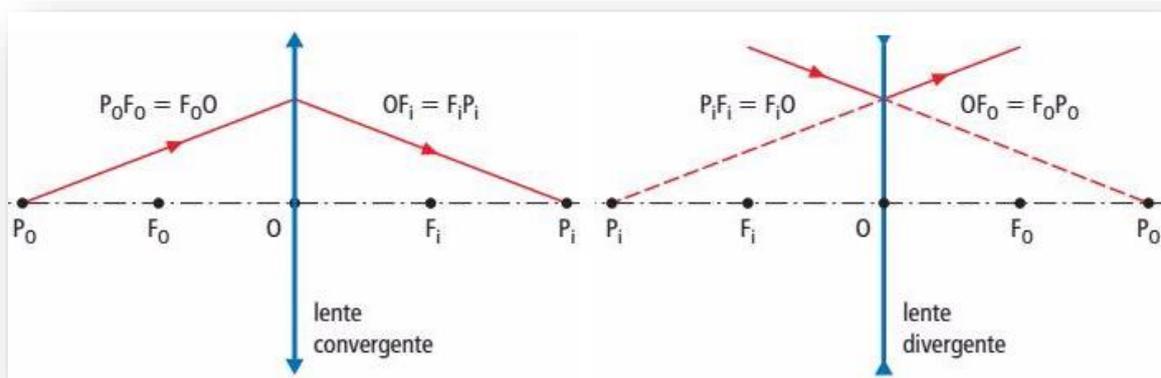
**Figura 19** – Raios que incidem paralelos ao eixo principal



Fonte: Fonte: BARRETO; SILVA, 2016.

A Figura 20, representa os raios quando relacionados com os centros de curvatura. Na lente convergente, o raio incidente que passa pelo centro de curvatura principal é refratado para o centro de curvatura secundário. Na lente divergente o raio incidente que possui direção e sentido ao centro de curvatura é refratado como se estivesse partindo do centro de curvatura secundário.

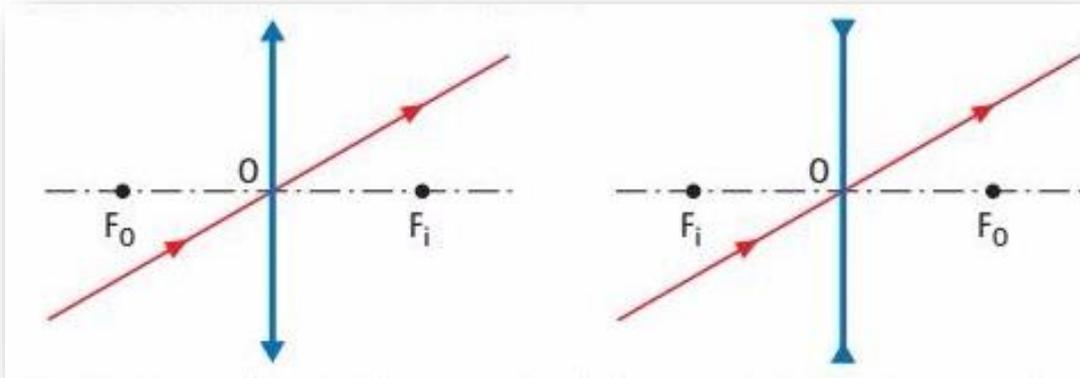
**Figura 20** – Raios que incidem nas lentes passando pelo centro de curvatura



Fonte: Fonte: BARRETO; SILVA, 2016.

Com relação a Figura 21, temos que raios incidentes no centro óptico (centro da lente) “*não sofre nenhum desvio apreciável; no centro da lente, as duas superfícies são paralelas; portanto o raio emergente entra e sai essencialmente na mesma direção.*” (YOUNG; FREEDMAN, 2004, p.52)

Figura 21 – Raios que incidem nos vértices das lentes



Fonte: Fonte: BARRETO; SILVA, 2016.

### 3.14 FORMAÇÃO DE IMAGENS EXTENSAS POR LENTES ESFÉRICAS

Semelhante aos casos descritos nos espelhos esféricos, tem-se que as lentes esféricas convergentes possuem 5 tipos de formação de imagens e as lentes esféricas divergentes apenas um único caso.

**1° Caso para lentes convergentes:** O objeto é posicionado antes do centro de curvatura (Figura 22).

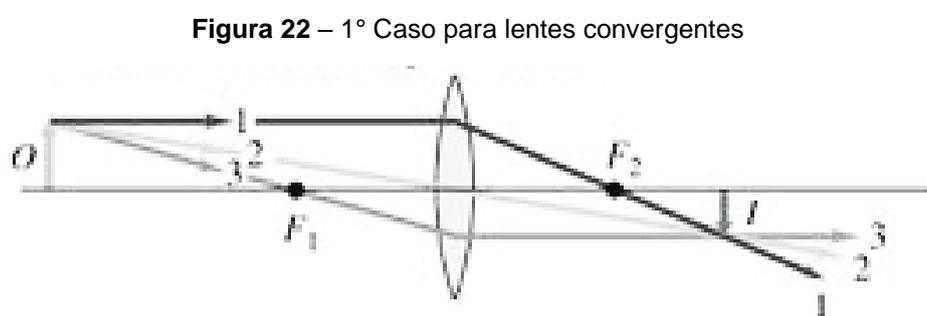


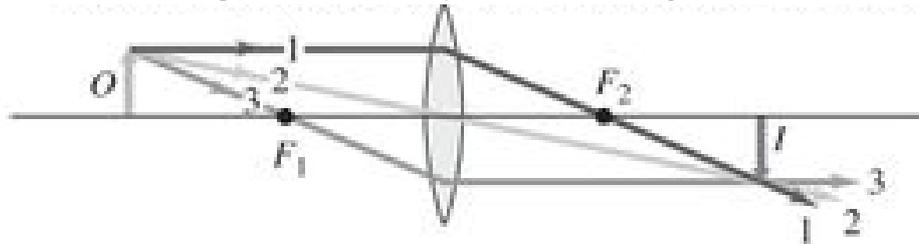
Figura 22 – 1° Caso para lentes convergentes

Fonte: YOUNG; FREEDMAN, 2009.

Neste caso, a imagem é classificada como: real, menor e invertida.

**2° Caso para lentes convergentes:** O objeto está posicionado sobre o centro de curvatura (Figura 23).

**Figura 23 – 2º Caso para lentes convergentes**

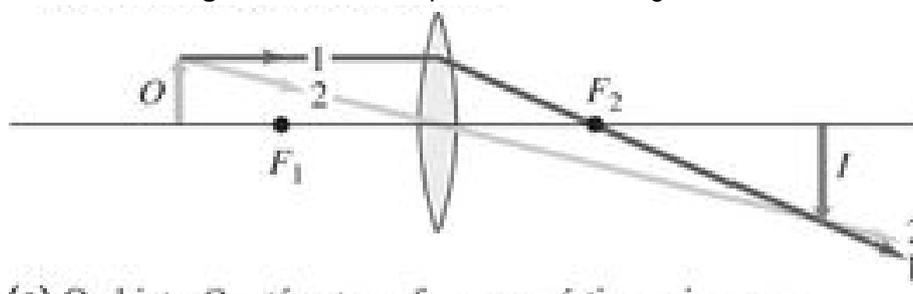


Fonte: YOUNG; FREEDMAN, 2009.

Neste caso, a imagem é classificada como: real, do mesmo tamanho que o objeto e invertida.

**3º Caso para lentes convergentes:** O objeto está posicionado entre o centro de curvatura e o foco (Figura 24).

**Figura 24 – 3º Caso para lentes convergentes**

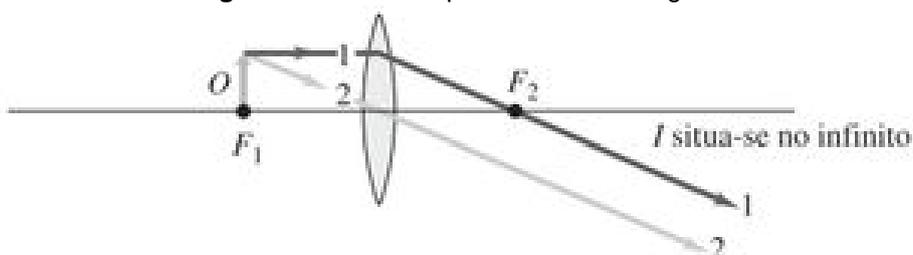


Fonte: YOUNG; FREEDMAN, 2009.

Neste caso, a imagem é classificada como: real, maior e invertida

**4º Caso para lentes convergentes:** O objeto está posicionado sobre o foco (Figura 25).

**Figura 25 – 4º Caso para lentes convergentes**

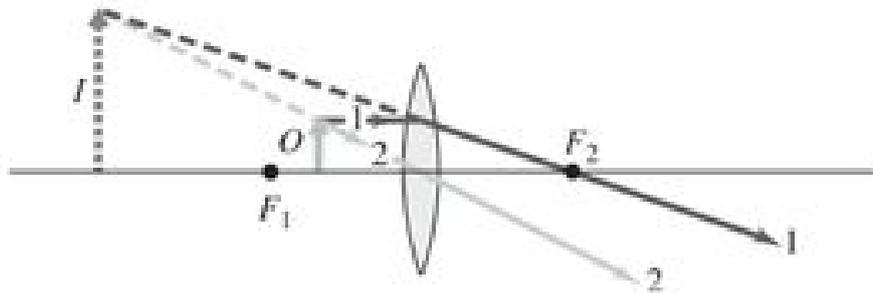


Fonte: YOUNG; FREEDMAN, 2009.

Neste caso, a imagem é classificada como: imprópria, pois os raios emergentes são paralelos. Portanto, não existe ponto de cruzamento.

**5° Caso para lentes convergentes:** O objeto está posicionado entre o foco e o vértice (Figura 26).

Figura 26 – 5° Caso para lentes convergentes

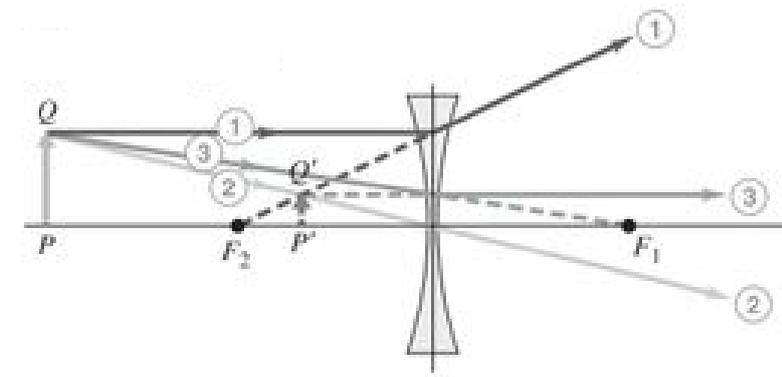


Fonte: YOUNG; FREEDMAN, 2009.

Neste caso, a imagem é classificada como: Virtual, maior e direita.

**Caso único para lentes divergentes:** Objeto pode estar posicionado em qualquer local (Figura 27).

Figura 27 – Caso único para lentes divergentes



Fonte: YOUNG; FREEDMAN, 2009.

Neste caso, a imagem é classificada como: Virtual, menor e direita.

### 3.15 EQUAÇÃO DO FABRICANTE DE LENTES

Young e Freedman descrevem a “*equação do fabricante de lentes, que fornece uma relação entre a distância focal  $f$ , o índice de refração  $n$  do material da lente e os raios de curvatura  $R_1$  e  $R_2$  das superfícies da lente*”. (YOUNG E FREEDMAN, 2004, p.50). Assim, temos a seguinte relação:

$$\frac{1}{f} = (n - 1) \left( \frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right) \quad (12)$$

A equação acima está relacionada com lentes onde o meio de imersão é o ar. Caso contrário deve-se utilizar a equação 13.

$$\frac{1}{f} = \left( \frac{n_{lente}}{n_{meio}} - 1 \right) \left( \frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right) \quad (13)$$

As regras de sinais apresentadas anteriormente devem ser obedecidas.

A razão  $\frac{1}{f}$ , segundo Barreto e Silva, pode ser chamada de “*convergência ou vergência*”. (BARRETO; SILVA, 2016, p.206)

$$C = \frac{1}{f} \quad (14)$$

A vergência  $C$  no sistema internacional de medidas, possui unidade igual ao “*inverso do metro ( $m^{-1}$ ), denominada dioptria (di)*”. (BARRETO; SILVA, 2016, p.206)

Quando um instrumento óptico possui uma associação de lentes justapostas, isto é, quando “*a distância entre elas é considerada desprezível*”, admite-se que “*elas se comportam como se fossem apenas uma lente, que denominamos lente equivalente*”, e sua vergência pode ser determinada pela “*soma algébrica das vergências*”, conforme equação 12. (BARRETO; SILVA, 2016, p.206)

$$C = C_1 + C_2 + C_3 + \dots + C_n \quad (15)$$

Quando em uma associação de lentes, duas lentes estiverem separadas por uma distância não desprezível, utiliza-se a generalização do teorema das vergências, onde  $d$  é a distância entre as lentes.

$$C = C_1 + C_2 - C_1 \cdot C_2 \cdot d \quad (16)$$

### 3.16 ABERRAÇÕES

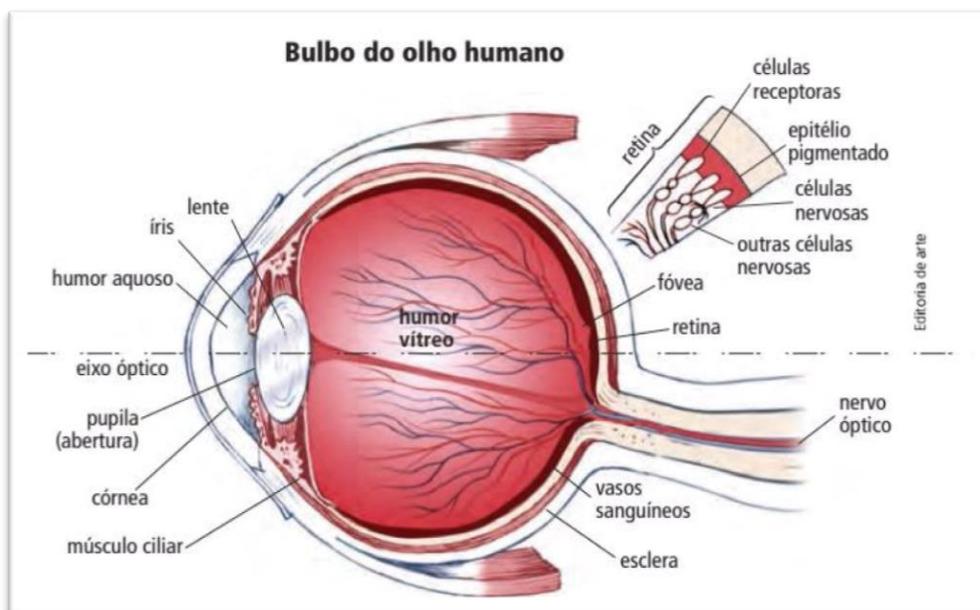
As aberrações são comportamentos não esperados que refletem a incapacidade de produção de imagens nítidas por “um espelho ou uma lente (...)”. Existem basicamente dois tipos de aberrações: a **aberração cromática**, que envolve a dependência da imagem com o comprimento de onda, e a **aberração monocromática**, que ocorre mesmo no caso de a luz incidente ser monocromática”, e possuem relação com a aproximação paraxial (YOUNG; FREEDMAN, 2004, p.78)

### 3.17 PRINCIPAIS PROBLEMAS VISUAIS

Para se entender os problemas visuais é necessário ter conhecimento sobre o olho humano, que possui partes importantes, e pode ser considerado um sistema óptico. “O comportamento do olho é semelhante ao da máquina fotográfica”. Mas, o seu formato é próximo do esférico “com diâmetro aproximadamente igual a 2,5 cm” (YOUNG; FREEDMAN, 2004, p.769)

Na Figura 28, tem-se a representação ilustrativa de um olho humano, segundo Barreto e Silva.

Figura 28 – Partes do olho humano



Fonte: BARRETO; SILVA, 2016.

Os principais elementos são: a **córnea** “*uma membrana dura e transparente*”; o **humor aquoso** que é um líquido posicionado logo após a córnea; o **crystalino** que tem a função de “*uma lente em forma de cápsula com uma gelatina fibrosa dura no centro e progressivamente mais macia à medida que se aproxima de sua periferia*”; o **músculo ciliar** que sustenta a lente do cristalino e consegue deformá-la para realizar a acomodação visual provocando variações na sua vergência; o **humor vítreo** composto por “*um líquido gelatinoso*”; a **retina** “*uma membrana sensível a luz situada junto a superfície interna da parte traseira do olho*”; os **cones e bastonetes** são fotocélulas que “*captam a imagem e transmitem os impulsos através do nervo óptico para o cérebro*”; e a **íris** parte colorida que possui uma “*abertura com diâmetro variável denominada pupila que se abre e fecha para adaptar a entrada da luz.*” (YOUNG; FREEDMAN, 2004, p.69-70)

A imagem deve ser formada sobre a retina, que serve como anteparo, para que haja nitidez. Ela é uma imagem real. Os músculos ciliares ajudam nesta acomodação visual, mas devido as “*possíveis anomalias do olho, há casos em que a acomodação visual não ocorre plenamente e a imagem não é vista com nitidez.*” (BARRETO; SILVA, 2016, p.216)

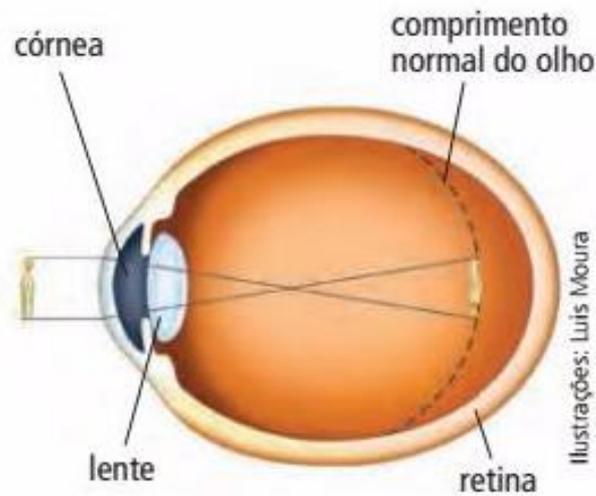
A visão possui um intervalo de distâncias no qual é possível obter distinção visual e os extremos deste intervalo são chamados de “*ponto próximo e de ponto distante. O ponto distante de um olho normal se encontra no infinito. A posição do ponto próximo depende da capacidade do músculo ciliar de reduzir o raio de curvatura do cristalino.*” (YOUNG; FREEDMAN, 2004, p.70)

Ocorre o aumento da distância do ponto próximo à medida que a pessoa envelhece. Pois, a capacidade refrativa da lente do olho diminui, devido à perda de líquidos. Este problema é chamado de “*vista cansada e o nome científico (...) presbiopia.*” (YOUNG; FREEDMAN, 2004, p.70)

Deformações no bulbo do olho são responsáveis pelos dois problemas mais conhecidos: a miopia e a hipermetropia.

Um olho míope possui o bulbo ocular “*muito alongado em comparação com o raio de curvatura da córnea (ou a córnea é encurvada muito fortemente) e os raios de um objeto situado no infinito são focalizados antes da retina*”, Figura 29. (YOUNG; FREEDMAN, 2004, p.71)

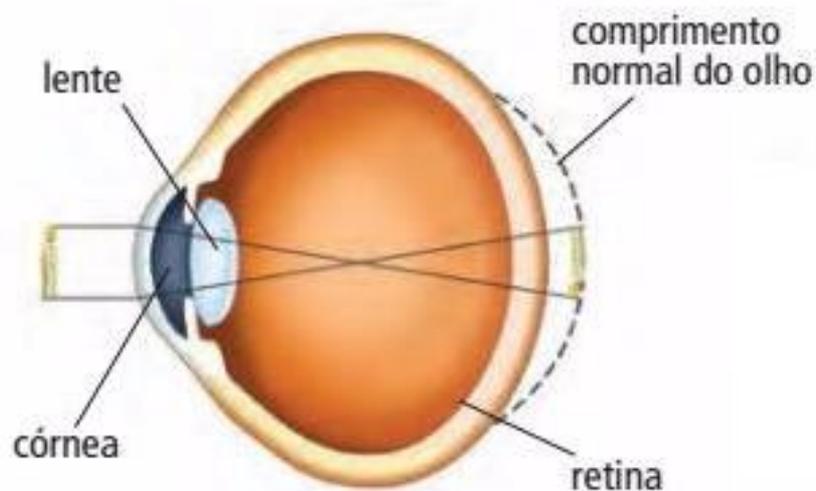
**Figura 29** – Olho míope



Fonte: BARRETO; SILVA, 2016.

Diferente da deformação de achatamento vertical e alongamento horizontal do olho míope, o olho hipermetrope possui achatamento horizontal e alongamento vertical “ou a córnea não é suficientemente encurvada, e, assim, os raios de um objeto situado no infinito são focalizados atrás da retina”, Figura 30. (YOUNG; FREEDMAN, 2004, p.71)

**Figura 30** – Olho hipermetrope



Fonte: BARRETO; SILVA, 2016.

Para a hipermetropia e presbiopia é recomendado a utilização de lentes corretivas convergentes, e para a miopia é recomendado a utilização de lentes corretivas divergentes.

O astigmatismo é acometido por uma deformação da córnea devido à perda de sua esfericidade, tal fato ocasiona “*a formação das imagens sem nitidez sobre a retina*”. A correção deste problema visual pode ser realizada com lentes cilíndricas. (BARRETO; SILVA, 2016, p.219)

## 4 METODOLOGIA

A metodologia de desenvolvimento deste trabalho se deu em etapas conforme a Tabela 3, abaixo:

**Tabela 3** - Etapas da metodologia de desenvolvimento do trabalho

Etapa 1	Identificação dos subsunçores	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Criação de um questionário de conhecimentos prévios;</li> <li>• aplicação do questionário a estudantes;</li> <li>• e análise do questionário.</li> </ul>
Etapa 2	Construção da sequência didática	<p>Estruturação da sequência didática a partir da análise dos conhecimentos prévios dos alunos, associando:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• questionamentos que favoreçam o conflito cognitivo;</li> <li>• experimentos demonstrativos;</li> <li>• vídeos;</li> <li>• conteúdo em texto sobre óptica geométrica;</li> <li>• e avaliações somativas.</li> </ul> <p>Nesta etapa é realizada a diferenciação progressiva e reconciliação integradora.</p>
Etapa 3	Construção do Kit de Óptica Geométrica de Baixo Custo - KOBC	<p>Construção do KOBC para apoiar a sequência didática.</p>
Etapa 4	Aplicação do produto	<ul style="list-style-type: none"> <li>• A aplicação do produto de forma remota devido a pandemia da doença COVID-19 com a utilização de plataformas como:             <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Google Meet;</li> <li>○ Google Classroom;</li> <li>○ Youtube;</li> <li>○ Goolgle formulários;</li> <li>○ e WhatsApp.</li> </ul> </li> </ul>
Etapa 5	Análise da aplicação do produto	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ De forma qualitativa são feitas observações:             <ul style="list-style-type: none"> <li>• durante as aulas;</li> <li>• após as aulas pelas gravações;</li> <li>• e das apostilas preenchidas pelos estudantes.</li> </ul> </li> </ul>

Fonte: Autor

## 4.1 IDENTIFICAÇÃO DE SUBSUNÇORES

Para organizar a sequência didática para a aprendizagem significativa, a definição dos conceitos e as relações que com eles podem ser estabelecidas, pode ser construída por meio da identificação dos conhecimentos prévios (subsunçores) dos aprendizes, assim, foi realizada a aplicação de um questionário. Este teve por objetivo a identificação de conhecimentos presentes na estrutura cognitiva do aluno que possam ser utilizados como conceitos básicos e gerais, servindo como ancoradouro para novos conceitos facilitando o processo de aprendizagem.

Como primeiro passo foi feita a escolha do conteúdo a ser ministrado, pois o conteúdo deve ser potencialmente significativo, além de contemplar as capacidades cognitivas, capacidades motrizes e interação social. Tal conteúdo é a óptica geométrica, aplicada aos fenômenos ópticos, espelhos, lentes e problemas visuais, tendo como base gerar o fatural de dados para que o aluno possa entender uma realidade que está próxima a ele. A identificação de conceitos pré-existentes serve como base para a construção dos organizadores prévios.

O questionário foi aplicado a alunos que ainda não fizeram o curso de óptica geométrica, por tanto, os alunos que se enquadraram foram alunos que estavam no final do 1º ano do Ensino Médio. O questionário foi aplicado aos alunos de duas escolas estaduais em duas cidades distintas, sendo elas Carmo do Rio Claro – MG e Conceição da Aparecida – MG.

Em Carmo do Rio Claro - MG os aprendizes de 4 turmas de 1º ano do Ensino Médio responderam ao questionário no dia 07 de novembro de 2019, e em Conceição da Aparecida os aprendizes de 3 turmas de 1º ano responderam ao questionário no dia 12 de novembro de 2019. Assim totalizou-se 238 questionários respondidos, onde apenas 6 alunos deixaram o questionário totalmente em branco.

O questionário possui 5 questões e com cada uma pretende-se identificar um tipo de subsunçor essencial dos princípios e conceitos:

Primeira questão, enunciado: “Eclipses são fenômenos raros que acontecem quando não podemos visualizar um astro no céu. O eclipse solar é a ocultação do

Sol, enquanto o eclipse lunar é a ocultação da Lua. Explique por que este fenômeno ocorre.”

Objetivos da primeira questão: identificar subsunçores que se relacionem ao princípio da retilinidade dos raios luminosos, formação de zonas de sombra (umbra), zonas de penumbra, e os meios de propagação da luz (especificamente o meio opaco).

Segunda questão, enunciado: “Imagine que você está em uma academia de musculação que possui um grande espelho em uma de suas paredes, e do local onde você está posicionado, você pode ver a imagem de um colega que está utilizando um equipamento em um local distante de você. Este colega também poderá enxergar a sua imagem no espelho?”

Objetivos da segunda questão: identificar subsunçores relacionados ao princípio da reversibilidade dos raios luminosos e campo visual.

Terceira questão, enunciado: “O que você enxergaria no céu, em uma noite, caso não houvessem estrelas?”

Objetivos da terceira questão: identificar subsunçores relacionados às fontes primárias e fontes secundárias de luz.

Quarta questão, enunciado: “Em uma noite de lua minguante você fica preso em um quarto pequeno que possui um espelho e inesperadamente a luz deste quarto se apaga, e você não consegue enxergar nada. Se você possuísse uma lanterna na sua mão direita, para que você consiga ver sua imagem no espelho, para onde você deve direcionar a luz desta lanterna?”

Objetivos da quarta questão: identificar subsunçores relacionados ao fenômeno da reflexão e formação de imagens em espelhos.

Quinta questão, enunciado: “O arco-íris é um fenômeno que acontece frequentemente após chuvas. Como o arco-íris é formado?”

Objetivos da quinta questão: identificar subsunçores relacionados ao fenômeno de refração dos raios luminosos.

## 4.2 ESTRUTURAÇÃO DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA

A sequência didática, produto educacional deste trabalho, foi elaborada de forma a associar demonstrações práticas de experimentos as teorias da aprendizagem significativa de David Ausubel. Tais experimentos, devem ser realizados pelo professor como estratégia para despertar o interesse e atenção dos aprendizes, além de servirem como base para estimular os conflitos cognitivos. Desta forma, pretende-se facilitar a compreensão dos conteúdos, tornando a aprendizagem significativa.

Utilizando-se de questionamentos sequenciados, abordando conceitos mais simples e evoluindo para conceitos mais elaborados, espera-se facilitar a introdução de conceitos na estrutura cognitiva dos aprendizes.

Pensando nos professores que possuem dificuldade de utilizar uma abordagem experimental em sala de aula devido à falta de tempo para elaboração do material, foi criado um Kit de Óptica Geométrica de Baixo Custo – KOBC para demonstrações práticas em sala de aula. O Apêndice A, da sequência didática, possui todas as informações para construção deste kit que pode apoiar o trabalho.

A sequência didática relaciona conflitos cognitivos e experimentos demonstrativos. Em alguns momentos, vídeos são entremeados aos conflitos cognitivos. Desta forma, acredita-se ser possível tornar a sequência didática uma unidade potencialmente significativa, que pode ser efetiva na ampliação do rendimento escolar.

A utilização de experimentos, mesmo que demonstrativos, em aulas de óptica geométrica rompe com o método apenas transmissivista e despende de menor quantidade de tempo para sua aplicação que experimentos investigativos.

A sequência didática contempla uma gama de 23 experimentos demonstrativos, e aborda grande parte da óptica geométrica trabalhada no Ensino Médio. Mas, caso o professor queira trabalhar apenas determinado conteúdo com sua turma a sequência pode ser sedimentada e trabalhada parcialmente. Desta forma, a Tabela 4 foi criada para que os experimentos que se inter-relacionam sejam facilmente evidenciados. Esta tabela também contém links de vídeos, disponibilizados no Youtube, com a realização dos experimentos, como forma de assessorar professores.

**Tabela 4** – Experimentos que podem ser relacionados e os conceitos abordados em cada experimento

Experimento	Associação	Conceitos abordados	Link vídeo
01	Vídeo 01	Princípio da retilinidade dos raios luminosos, zonas de sombra e penumbra, meios de propagação, fontes de luz e o fenômeno da refração	<a href="https://youtu.be/GfteTIXnoDY">https://youtu.be/GfteTIXnoDY</a>
02	Experimento 01 e Vídeo 01	Meios de propagação da luz	<a href="https://youtu.be/Ps7YZ-xS-oo">https://youtu.be/Ps7YZ-xS-oo</a> <a href="https://youtu.be/shRNRxz5PKw">https://youtu.be/shRNRxz5PKw</a>
03	Vídeo 02	Princípio da Independência dos raios luminosos	<a href="https://youtu.be/sRXHqDHH3Ag">https://youtu.be/sRXHqDHH3Ag</a>
04	Vídeo 03	Princípio da reversibilidade dos raios luminosos	<a href="https://youtu.be/POJQbG_iskk">https://youtu.be/POJQbG_iskk</a>
05	Experimento 06	Reflexão regular da luz	<a href="https://youtu.be/JqU0bZodYec">https://youtu.be/JqU0bZodYec</a>
06	Experimento 05	Reflexão difusa da luz	<a href="https://youtu.be/WoB6_wkZ60c">https://youtu.be/WoB6_wkZ60c</a>
07	Experimento 08	Refração da luz	<a href="https://youtu.be/euQkRLOvT98">https://youtu.be/euQkRLOvT98</a>
08	Experimento 07	Dispersão dos raios luminosos e a luz branca	<a href="https://youtu.be/RsBdoO0gtU0">https://youtu.be/RsBdoO0gtU0</a>
09	Experimentos: 05 e 06	Leis da reflexão	<a href="https://youtu.be/cjELKwxbbng">https://youtu.be/cjELKwxbbng</a>
10	Experimentos: 05 e 09	Enantiomorfismo	<a href="https://youtu.be/aJbAvuF8-58">https://youtu.be/aJbAvuF8-58</a>
11	Vídeo 04	Associação de espelhos planos	<a href="https://youtu.be/kr4_NnICtpQ">https://youtu.be/kr4_NnICtpQ</a>
12	Experimentos: 13 e 14	Comportamento de raios de luz paralelos ao incidir um espelho côncavo, espelhos côncavos, e foco em espelhos côncavos	<a href="https://youtu.be/891ntPRiyYY">https://youtu.be/891ntPRiyYY</a>
13	Experimentos: 12 e 14	Comportamento de raios de luz paralelos ao incidir um espelho convexos, espelhos convexos, e foco em espelhos convexos	<a href="https://youtu.be/ew9pogihMNI">https://youtu.be/ew9pogihMNI</a>
14	Experimentos: 12 e 13	Raios notáveis e propriedades dos raios incidentes em espelhos esféricos	<a href="https://youtu.be/i-aEDTM7MfY">https://youtu.be/i-aEDTM7MfY</a> <a href="https://youtu.be/ju1ilbYuBbU">https://youtu.be/ju1ilbYuBbU</a> <a href="https://youtu.be/EI-6CQMu29g">https://youtu.be/EI-6CQMu29g</a> <a href="https://youtu.be/yAT81UC21Z4">https://youtu.be/yAT81UC21Z4</a>

15	Experimentos: 16, 17, 18 e 19	Leis da refração	<a href="https://youtu.be/Vl29zm6yMd4">https://youtu.be/Vl29zm6yMd4</a>
16	Experimentos: 15, 17, 18 e 19	Dioptros planos	<a href="https://youtu.be/0Eq6L86Pys0">https://youtu.be/0Eq6L86Pys0</a>
17	Experimentos: 15, 16, 18 e 19	Lâminas de faces paralelas	<a href="https://youtu.be/EzoNxM-H9YA">https://youtu.be/EzoNxM-H9YA</a>
18	Experimentos: 15, 16, 17, e 18	Ângulo limite e reflexão total	<a href="https://youtu.be/EGvxp7E8g0c">https://youtu.be/EGvxp7E8g0c</a>
19	Experimentos: 15, 16, 17 e 18	Prismas, desvio angular e ângulo de refração	<a href="https://youtu.be/IH61bNWioNs">https://youtu.be/IH61bNWioNs</a>
20	Experimento 12	Comportamento dos raios de luz em lentes de bordas finas	<a href="https://youtu.be/SZvRDkGGvow">https://youtu.be/SZvRDkGGvow</a>
21	Experimento 13	Comportamento dos raios de luz em lentes de bordas grossas	<a href="https://youtu.be/E4VEI-q1kQc">https://youtu.be/E4VEI-q1kQc</a>
22	Experimento 14	Raios notáveis e propriedades dos raios incidentes em lentes esféricas	<a href="https://youtu.be/vPvGlbQLyjs">https://youtu.be/vPvGlbQLyjs</a> <a href="https://youtu.be/USOd_zjPEtI">https://youtu.be/USOd_zjPEtI</a> <a href="https://youtu.be/OrUISCu2KVg">https://youtu.be/OrUISCu2KVg</a> <a href="https://youtu.be/K9_vgrccoEc">https://youtu.be/K9_vgrccoEc</a>
23	Experimentos: 12 e 14	Formação de imagens por lentes esféricas	<a href="https://youtu.be/uHMF-Y_zUO8">https://youtu.be/uHMF-Y_zUO8</a> <a href="https://youtu.be/T3HCK9jgl74">https://youtu.be/T3HCK9jgl74</a>

Fonte: Autor

Na sequência didática foi escrita uma apresentação do material aos professores. Nela existem informações sobre a importância da Física na sociedade, função e objetivos da sequência didática, e expectativa de tempo para trabalhá-la.

Toda a sequência didática foi elaborada à luz dos conceitos da aprendizagem significativa de David Ausubel. Em geral, adotou-se a seguinte estruturação: primeiro é realizada a diferenciação progressiva como processo de ancoragem de novas informações (aprendizagem subordinada), e em seguida se realiza o reforço dos conceitos. Esperando que as informações estejam desorganizadas na estrutura cognitiva do aprendiz é realizada a reconciliação integrativa em uma abordagem tradicional, visando a organização dos conceitos de forma lógica e ordenada.

Na introdução da sequência didática foram realizados dois questionamentos: “O que é a luz?” e “Como podemos enxergar os objetos?”, como perguntas filosóficas para iniciar uma introdução histórica e conceitual sobre a luz. Em seguida, a definição da óptica geométrica é realizada.

Buscando a diferenciação progressiva dos subsunçores iniciais necessários para compreensão da óptica geométrica (os princípios da óptica geométrica), foram

utilizados vídeos sobre: o fenômeno do eclipse solar (Figura 31), um show musical (Figura 34), e a medição entre a Terra e a Lua (Figura 36).

Com o fenômeno do eclipse solar, espera-se que os subsunçores: Princípio da retilinidade dos raios luminosos, zona de sombra, zona de penumbra, meios de propagação, fontes de luz e o fenômeno da refração, sejam diferenciados progressivamente em processos de repetição de ancoragem mediante aquisição de novas informações com a utilização de um vídeo contendo uma reportagem sobre o fenômeno do eclipse solar. Uma imagem da tela inicial do vídeo 01 é apresentada na Figura 31.

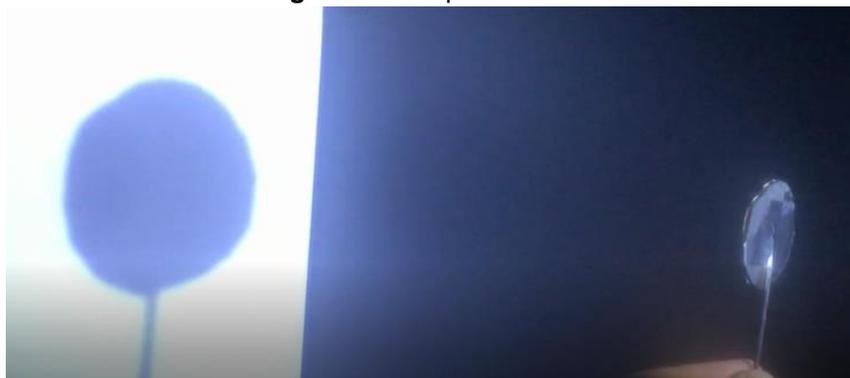
**Figura 31** – Imagem da tela inicial do vídeo 01: Eclipse solar



Fonte: Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=izWI8aCr7s>>. Acesso em 16 jan. 2020.

O experimento da lanterna e da moeda, apresentado mediante uma imagem na Figura 32, e os questionamentos progressivos ficam a cargo do reforço dos conceitos abordados na discussão sobre a reportagem sobre o fenômeno do eclipse solar.

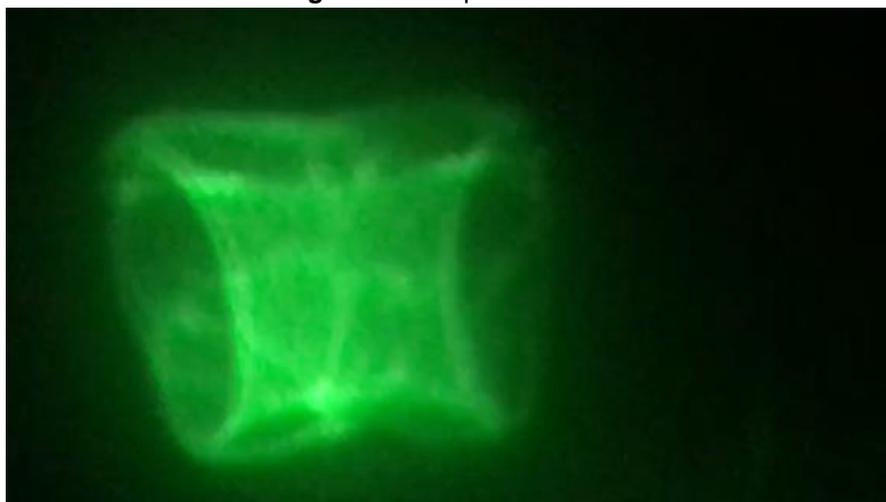
**Figura 32** – Experimento 01



Fonte: Thalles Abreu Mezêncio

O experimento da lâmina de vidro jateado foi elaborado para trabalhar a diferenciação progressiva e ou o reforço de conceitos relacionados aos meios de propagação da luz. Na Figura 33 é apresentada a projeção de um feixe de lasers em um quadro negro de metal, após o feixe passar por um meio de propagação translúcido.

**Figura 33** – Experimento 02



Fonte: Thalles Abreu Mezêncio

Todos os passos são mediados por questionamentos que estimulam a alocação de novas informações, de forma que estas também possam ser utilizadas como subsunçores e possam servir como ancoradouro para novos conhecimentos. Transformando a aprendizagem em uma construção em cadeia de ancoragens de novos conceitos.

Com um vídeo de um festival de música, que na Figura 34 é apresentada a imagem da tela inicial do vídeo, têm-se ao observar o palco inúmeros canhões de luz. Nas imagens impressionantes do vídeo, podem ser trabalhados conceitos sobre o princípio da independência dos raios luminosos e a interferência residual no ponto de encontro entre estes raios.

**Figura 34** – Imagem da tela inicial do vídeo 02: Solomun – Cercle Festival



Fonte: Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=YgBwTcpskgU>>. Acesso em 16 jan. 2020.

O reforço dos conceitos trabalhados com o vídeo 02 é realizado no experimento 03, onde se faz o cruzamento dos raios de um feixe de laser verde com um feixe de LED branco, Figura 35.

**Figura 35** – Experimento 03



Fonte: Thalles Abreu Mezêncio

O vídeo 03 da sequência didática, tem a imagem inicial de sua tela apresentada na Figura 36. Este vídeo contém uma reportagem realizada com um astronauta francês que faz a medição entre a Terra e a Lua, com refletores posicionados pela equipe americana em sua visita a Lua. Espera-se com este vídeo, evidenciar conceitos como: o princípio da reversibilidade dos raios luminosos, a velocidade da luz e o fenômeno da reflexão.

**Figura 36** – Imagem da tela inicial do vídeo 03: Astronauta Francês usa refletores deixados na lua há 50 anos



Fonte: Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=AA5ty0VKVyk>>. Acesso em 16 jan. 2020.

O reforço dos conceitos sobre o princípio da reversibilidade dos raios luminosos abordados no vídeo 03 é realizado por um experimento de reversibilidade em espelhos planos (Experimento 04) elaborado para que o aprendiz consiga relacionar o experimento ao vídeo. Na Figura 37 pode ser observado o momento de reflexão de um feixe de laser verde ao atingir a superfície de um espelho plano e as demarcações realizadas com giz, evidenciando a trajetória do feixe de luz durante a realização do experimento 04.

**Figura 37** – Experimento 04



Fonte: Thalles Abreu Mezêncio

Dentro de todas etapas da sequência didática o professor tem a função de mediador e pode introduzir novos questionamentos para estimular os alunos conforme sua experiência docente permitir e achar relevante.

No decorrer da alocação de novos conteúdos, é esperado que todos estes novos conceitos estejam desorganizados na estrutura cognitiva do aprendiz. Para

realocar estes subsunçores é feita a reconciliação integrativa. Desta forma, estas novas informações adquiridas pelos aprendizes são transformadas em conceitos mais amplos, organizando-os de forma a dar uma sequência mais lógica. Para isto, é feita uma abordagem de forma resumida e ordenada, onde as fontes primárias são diferenciadas das fontes secundárias, e também se diferencia as fontes pontuais e extensas com um exemplo de fácil compressão mediante questionamentos que gerem conflitos cognitivos. Os meios de propagação são classificados em uma abordagem tradicional, diferenciando os em: transparente, translúcido e opaco. Os princípios da óptica geométrica também são lembrados e quando é abordado o princípio da reversibilidade dos raios luminosos são introduzidos os conceitos de ângulo visual e acuidade visual, com exemplos e questionamentos. Os eclipses que serviram para identificação e alocação de novos subsunçores também são abordados em uma perspectiva tradicional, de uma forma mais aprofundada, explicitando-se as zonas de sombra e penumbra.

Após a introdução dos princípios da óptica geométrica, se dá o início da abordagem aos fenômenos ópticos. Inicialmente, de forma resumida, mas posteriormente há o aprofundamento nos fenômenos da reflexão e refração da luz.

No experimento 05 é estimulada a absorção de novos conceitos, por diferenciação progressiva, com uma demonstração da reflexão regular. Na Figura 38 pode ser observado o momento em que raios de luz paralelos, provenientes de um banco de lasers verdes estão direcionados à superfície lisa e polida de um espelho plano.

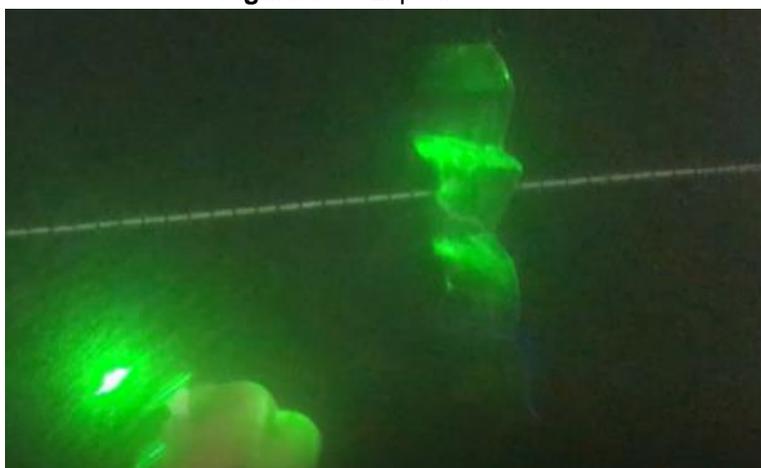
**Figura 38** – Experimento 05



Fonte: Thalles Abreu Mezêncio

Com o experimento 06, faz-se a diferenciação entre a reflexão regular e reflexão difusa. Na Figura 39, é apresentada uma imagem capturada do vídeo referente ao experimento 06, disponível na Tabela 04. Nesta figura pode se observar a superfície irregular e ondulada do material utilizado para realização da reflexão difusa.

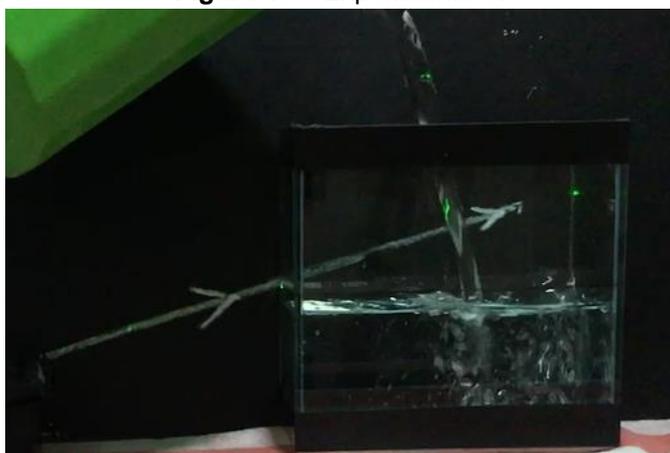
**Figura 39** – Experimento 06



Fonte: Thalles Abreu Mezêncio

O experimento 07 foi elaborado para demonstrar conceitos sobre a refração da luz. Nele é utilizado um aquário, onde inicialmente se observa a propagação da luz sem que ele esteja cheio de água. Posteriormente, coloca-se água, e se verifica a refração da luz na mudança de meio de propagação. O momento de introdução da água no aquário é apresentado na Figura 40.

**Figura 40** – Experimento 07

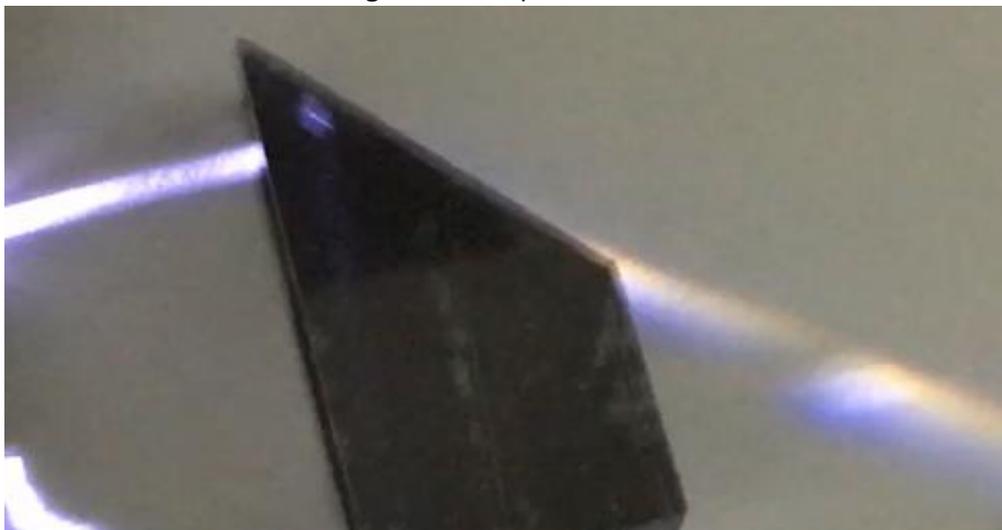


Fonte: Thalles Abreu Mezêncio

Outros fenômenos ópticos como a absorção, dispersão e espalhamento também são apresentados.

No experimento 08, Figura 41, utiliza-se de um prisma de acrílico para demonstrar conceitos sobre a dispersão dos raios luminosos e análise da luz branca.

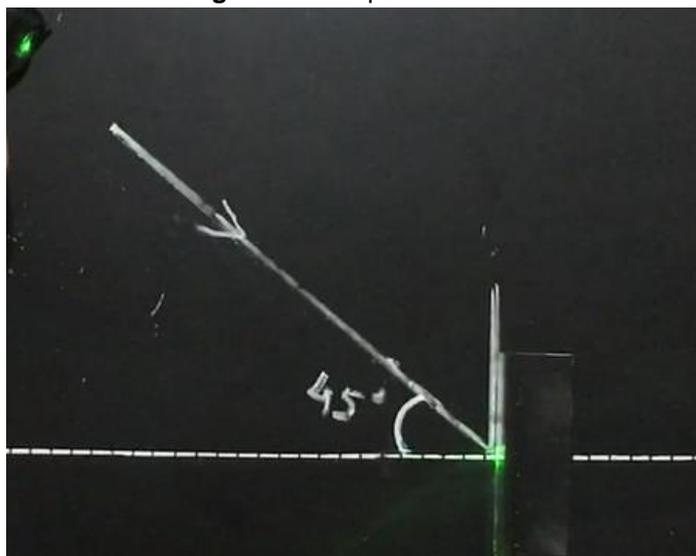
**Figura 41** – Experimento 08



Fonte: Thalles Abreu Mezêncio

Para introdução de conceitos sobre absorção e espalhamento, é realizado o conflito cognitivo mediante questionamentos, aproveitando os subsunçores gerados com a apresentação do fenômeno de dispersão. Conceitos sobre a cor de um corpo também são apresentados neste momento.

As leis da reflexão são demonstradas com o experimento 09, onde se mede o ângulo de incidência e o ângulo de reflexão, em uma reflexão regular. Na Figura 42, pode se observar as demarcações realizadas com um giz, deixando evidente uma inclinação de  $45^\circ$  com relação a uma reta referencial, utilizada como reta normal. Dois pontos luminosos, verdes, também podem ser observados e são eles que determinam o caminho percorrido pelo raio incidente. Desta forma, busca-se acondicionar à estrutura cognitiva do aprendiz os conceitos: que o raio incidente, o raio emergente, e a reta normal são coplanares; e que o ângulo de incidência e de reflexão são iguais.

**Figura 42** – Experimento 09

Fonte: Thalles Abreu Mezêncio

A construção de imagens de objetos pontuais e corpos extensos é trabalhada pelo experimento 10, onde se posiciona uma palavra frente a um espelho plano (Figura 43), para que os alunos identifiquem as características do enantiomorfismo da imagem gerada. Questionamentos sobre os motivos pelos quais as palavras tem orientação diferente da convencional em adesivos de ambulâncias e viaturas são realizados para se efetuar o conflito cognitivo.

**Figura 43** – Experimento 10

Fonte: Thalles Abreu Mezêncio

Conceitos sobre ponto objeto e ponto imagem são inseridos na sequência didática em uma abordagem tradicional, utilizando-se de conflitos cognitivos sobre a utilização do termo virtual. A introdução dos conceitos sobre os termos: real e impróprio, utilizados na óptica geométrica, também é realizada sob uma perspectiva tradicional e literal, com intuito de organização dos conceitos acondicionados na estrutura cognitiva em forma de reconciliação integradora.

Com conceitos definidos quanto a formação de imagens, introduziu-se os conceitos de translação e rotação de um espelho plano, trabalhando-se a matemática envolvida.

Com o experimento 11, são inseridos conceitos sobre associação de espelhos planos. Neste experimento, pretende-se fazer a diferenciação progressiva de conceitos sobre ângulo de abertura e plano bissetor, como forma de facilitar a compreensão da equação para cálculo de número de imagens. Na Figura 44, pode ser observado o objeto, cap de tubo PVC (tampa de tubulação), posicionada frente a uma associação de espelhos planos.

**Figura 44** – Experimento 11



Fonte: Thalles Abreu Mezêncio

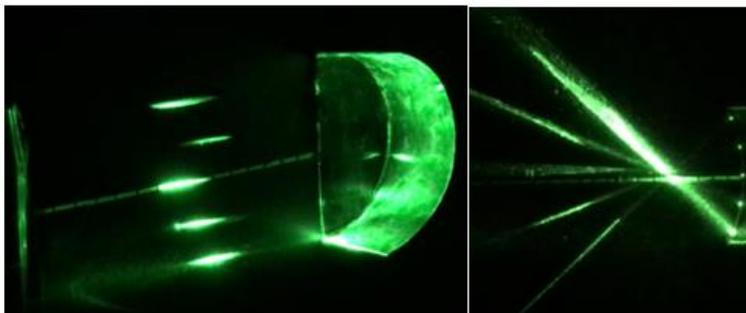
A formação de imagens ao se posicionar os espelhos de forma paralela é questionada, e para realizar o conflito cognitivo é utilizada uma cena do filme A origem.

A introdução de conceitos sobre espelhos esféricos é feita mediante diferenciação progressiva de novos conceitos, utilizando três experimentos (experimentos 12, 13 e 14). Entre os experimentos são feitos questionamentos com

níveis progressivos de dificuldade, que permitem ao aprendiz a alocação de novos conceitos na sua estrutura cognitiva.

No experimento 12, demonstra-se o comportamento de raios de luz paralelos ao incidir o espelho côncavo. Na Figura 45, temos a imagem da realização do experimento. Onde é possível observar esta incidência de raios paralelos e a reflexão em direção ao foco do espelho.

**Figura 45** – Experimento 12



Fonte: Thalles Abreu Mezêncio

O experimento 13, demonstra o comportamento de raios de luz paralelos ao incidirem no espelho convexo. A Figura 46, apresenta uma imagem da realização do experimento 13 no momento onde os raios incidentes no espelho convexo são refletidos.

**Figura 46** – Experimento 13

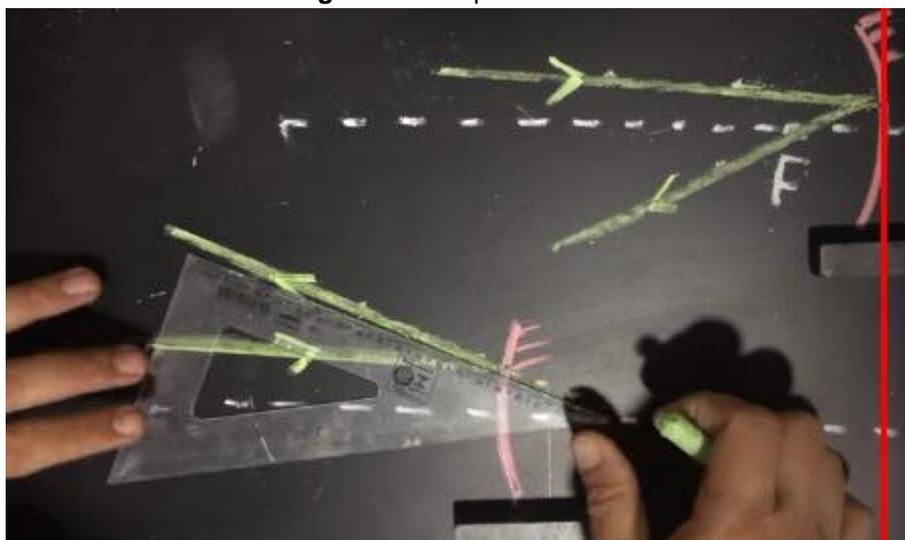


Fonte: Thalles Abreu Mezêncio

Entre os experimentos 12 e 13 são abordados os conceitos de representação gráfica dos espelhos esféricos, os principais elementos de um espelho, e as condições de Gauss.

Finalizando os experimentos sobre espelhos esféricos, as propriedades dos raios incidentes – raios notáveis – são apresentadas no experimento 14. Na Figura 47 é possível observar as demarcações de giz, realizadas durante o experimento, para um raio de luz incidido paralelamente ao eixo principal do espelho côncavo, representado na parte de cima da imagem, e no espelho convexo representado na parte de baixo da imagem.

**Figura 47** – Experimento 14



Fonte: Thalles Abreu Mezêncio

A reconciliação integrativa dos conceitos sobre espelhos esféricos é feita no momento da apresentação da construção de imagens, trabalhando os princípios da ótica geométrica e os conceitos sobre raios notáveis inseridos anteriormente. A apresentação e representação gráfica da construção de imagens nos espelhos planos é trabalhada de forma tradicional dentro da sequência didática, mas é recomendado que sejam apresentadas durante a aula de forma interativa por slides com animações.

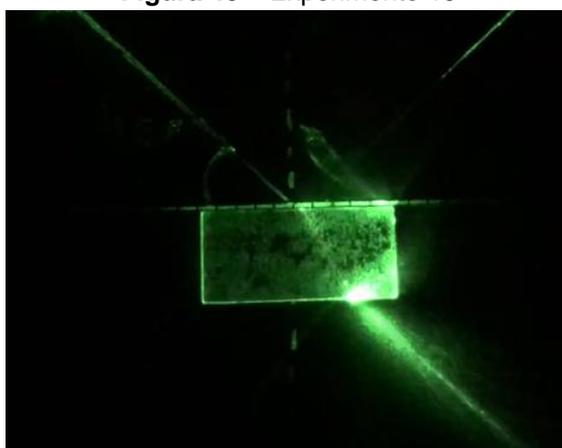
Em sequência, informações sobre o referencial de Gauss para espelhos esféricos, a equação de Gauss e a equação do aumento linear são apresentadas, tendo como base metodológica a aula tradicional.

Nesta parte se encerra o trabalho com os conceitos sobre a reflexão luminosa. Para verificar a consolidação de conceitos e se o aprendiz é capaz de resgatar informações em sua estrutura cognitiva foi elaborada uma avaliação somativa. Nela, o aprendiz deve relacionar os conceitos desenvolvidos sobre reflexão luminosa, analisando uma arma bélica que possivelmente foi desenvolvida na Segunda Guerra Púnica.

Com a apresentação do fenômeno da refração, logo no início da sequência didática, temos os subsunçores ligados a mudança de meio de propagação, desvio da luz e alteração da velocidade da luz. Partindo do pressuposto que estes conceitos estão alocados na estrutura cognitiva do aprendiz, são introduzidos 5 experimentos (experimentos 15, 16, 17, 18 e 19) que trabalham novos conceitos sobre refração, por diferenciação progressiva.

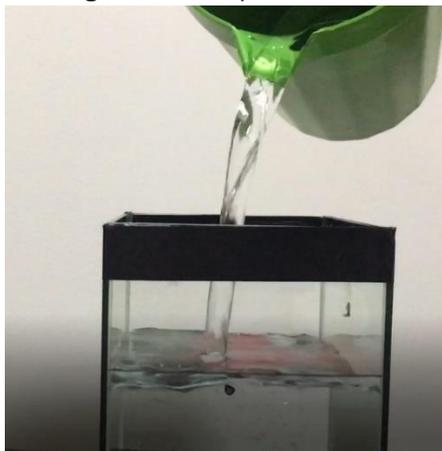
O primeiro, experimento 15, trabalha as leis da refração e o índice de refração. Na Figura 48, pode ser observado o comportamento de um raio de luz monocromático verde ao sofrer refrações em uma lâmina de faces paralelas de vidro. Entremeados a questionamentos com níveis de dificuldade escalonados, as leis da refração e a análise das aplicações da lei de Snell – Descartes são realizadas.

**Figura 48** – Experimento 15



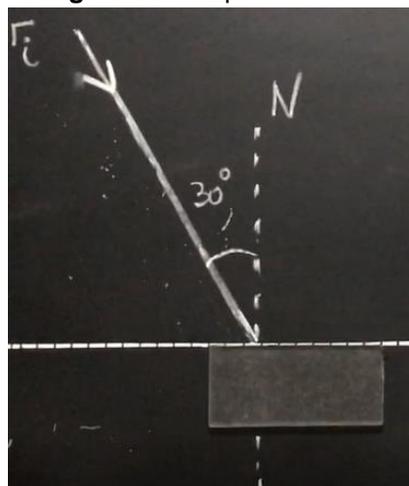
Fonte: Thalles Abreu Mezêncio

O segundo, é o experimento 16, sobre dioptros planos. Trabalha o reforço de conceitos sobre a mudança de meio de propagação. A Figura 49 mostra um aquário sendo enchido com água para se formar as superfícies do dioptro plano.

**Figura 49** – Experimento 16

Fonte: Thalles Abreu Mezêncio

No terceiro, denominado experimento 17, é realizado o reforço de conceitos sobre desvio lateral com uma lâmina de faces paralelas. Na figura 50 podem ser observadas as demarcações da reta normal, o trajeto que o raio luminoso deve percorrer até chegar à lâmina de faces paralelas, o ângulo de incidência e a lâmina de faces paralelas.

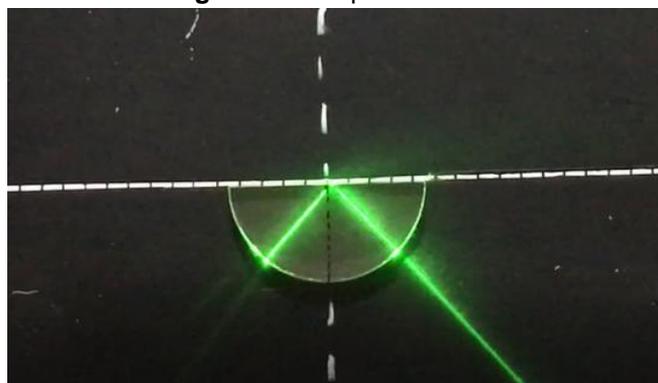
**Figura 50** – Experimento 17

Fonte: Thalles Abreu Mezêncio

O experimento 18, é o quarto, e introduz os conceitos de ângulo limite e reflexão total. A Figura 51 retrata o posicionamento da peça de acrílico posicionada com sua face plana formando um ângulo de  $90^\circ$  com uma linha referencial (reta normal traçada com giz no quadro negro de metal), e a incidência de um raio luminoso monocromático verde na superfície convexa. O raio de luz é rotacionado ao redor da peça de acrílico até atingir o ângulo limite para que se possa demonstrar

a reflexão total. A reconciliação dos conceitos obtidos na diferenciação progressiva com o experimento 18 é realizada por questionamentos sobre fibra óptica, miragens e posição aparente de estrelas no céu.

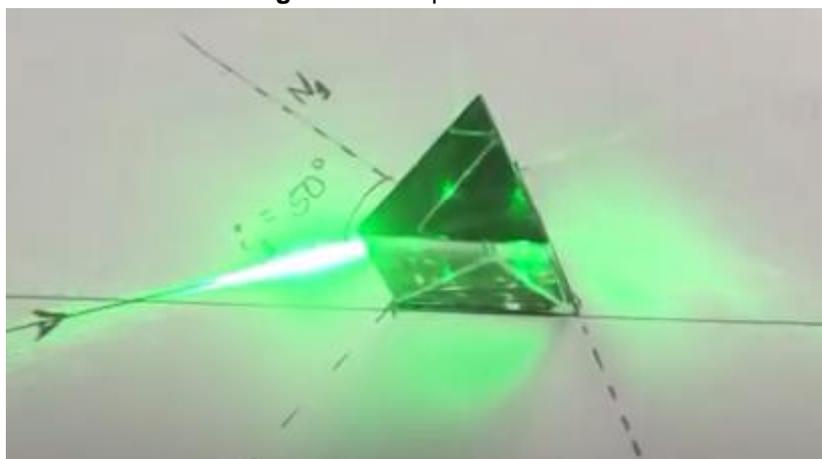
**Figura 51** – Experimento 18



Fonte: Thalles Abreu Mezêncio

O quinto, experimento 19, relativo aos conceitos sobre ângulo de refração, desvio angular e prolongamento dos raios luminosos, é trabalhado com um prisma óptico de vidro. A Figura 52 mostra o momento que durante a realização do experimento um raio de luz monocromática verde, incidente uma das faces do prisma com um ângulo de incidência de  $50^\circ$ .

**Figura 52** – Experimento 19

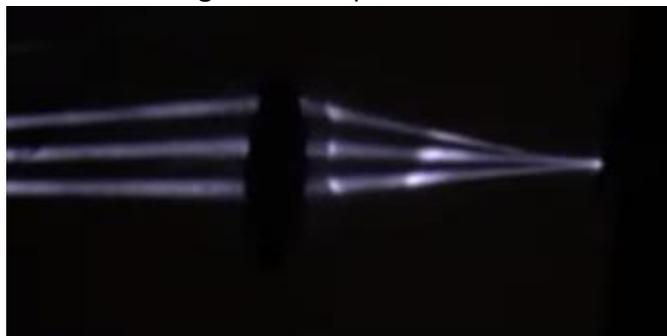


Fonte: Thalles Abreu Mezêncio

As lentes esféricas foram apresentadas, diferenciando-as entre lentes de bordas finas e lentes de bordas grossas. Com dois experimentos (experimentos 20 e 21) se demonstrou o comportamento dos raios luminosos ao serem refratados por elas. Foram trabalhados os conceitos de foco e elementos das lentes esféricas.

No experimento 20, utiliza-se de uma lente de acrílico com bordas finas e sobre ela, raios de luz paralelos entre si, são incididos. Ao atingir a lente os raios convergem para o ponto focal. Esta convergência pode ser observado na Figura 53.

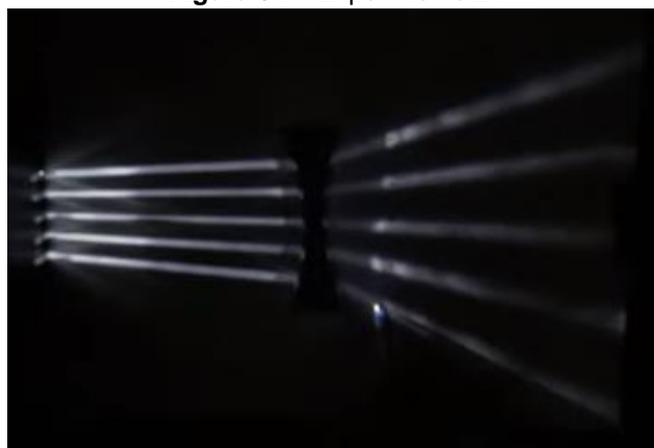
**Figura 53** – Experimento 20



Fonte: Thalles Abreu Mezêncio

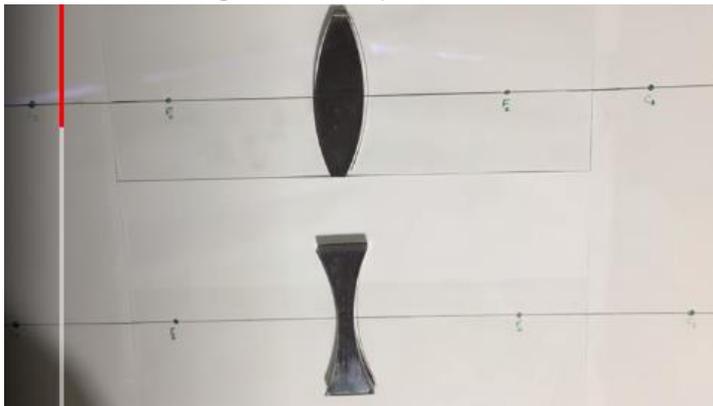
No experimento 21, os mesmos procedimentos do experimento 20 são realizados, mas há a alteração da lente para uma com bordas grossas. Na Figura 54 pode se observar a divergência dos raios de luz a passarem pela lente.

**Figura 54** – Experimento 21



Fonte: Thalles Abreu Mezêncio

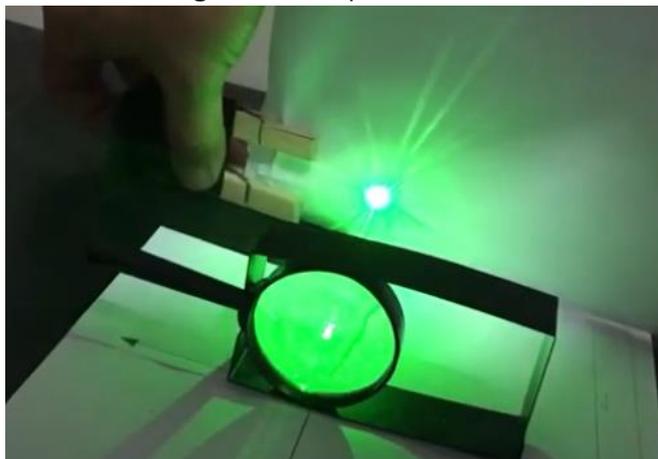
Com o experimento 22 foi apresentado o comportamento dos raios notáveis que incidem em lentes esféricas. Na sequência, conflitos cognitivos visando a comparação do comportamento dos raios refratados por lentes de bordas finas e lentes de bordas grossas, foram inseridos. Na Figura 55, têm-se a montagem do experimento 22, onde as lentes estão posicionadas sobre folhas A4 brancas afixadas no quadro negro de metal, e seus focos e centros de curvatura definidos sobre o eixo principal.

**Figura 55** – Experimento 22

Fonte: Thalles Abreu Mezêncio

Para evidenciar a construção de imagens por lentes esféricas foi elaborado o experimento 23, que utiliza de uma lente convergente para se demonstrar a formação de imagens quando o objeto está posicionado nos seguintes pontos: antes do centro de curvatura; sobre o centro de curvatura; entre o centro de curvatura e o foco; sobre o foco; e entre o foco e o vértice. Com um anteparo pode ser demonstrada a formação de imagens nas três primeiras posições.

Na Figura 56, pode ser observado o momento de definição do foco da lupa utilizada no experimento 23. O anteparo, foi formado com uma folha de papel A4 presa a prendedores. Por conflitos cognitivos, os aprendizes são conduzidos a resgatar em sua estrutura cognitiva, informações utilizadas para caracterização das imagens em espelhos esféricos e utilizar na caracterização das imagens formadas em lentes esféricas.

**Figura 56** – Experimento 23

Fonte: Thalles Abreu Mezêncio

Neste momento, acredita-se que os alunos tenham conhecimento da grande maioria dos conceitos apresentados sobre óptica geométrica no Ensino Médio. Assim, os conceitos sobre equação de Gauss, referencial de Gauss para lentes esféricas, equação do aumento linear, equação de Halley e associação de lentes, são apresentados seguindo uma metodologia tradicional, de forma a estimular o resgate de conceitos existentes na própria estrutura cognitiva dos aprendizes.

Durante toda a estruturação da sequência didática os questionamentos trabalhados em forma de conflitos cognitivos têm por objetivo serem avaliações formativas, com formato colaborativo de integração entre aprendiz-aprendiz e aprendiz-professor, sempre sendo discutidas mediante a mediação do professor.

Outra avaliação somativa para evidenciar se a aprendizagem ocorreu foi elaborada e introduzida na sequência didática logo após o experimento 23. Espera-se que o aprendiz tenha a capacidade de identificar quais tipos de lentes corretivas devem ser utilizadas para correção de problemas visuais como a miopia e a hipermetropia. Ressalta-se que os problemas visuais ainda não foram mencionados na estrutura da sequência didática.

Após a realização da avaliação somativa são apresentados os problemas visuais englobando: o olho humano normal, acomodação visual, miopia, hipermetropia, presbiopia, astigmatismo, glaucoma, daltonismo, estrabismo e catarata. Neste momento é recomendado que se enfatize a importância dos estudos sobre óptica geométrica para melhoria da qualidade de vida das pessoas, principalmente com a solução de vários problemas visuais a partir destes estudos.

### **4.3 CONSTRUÇÃO DO KIT DE ÓPTICA GEOMÉTRICA**

Para apoiar a sequência didática foi importante a criação de um Kit de óptica geométrica, de forma a tornar a sequência didática mais eficiente. Como a grande maioria dos laboratórios escolares são desaparelhados, foi necessário a construção visando baixo investimento, de forma que professores consigam facilmente desenvolvê-lo. Desta forma, denominou-o como: Kit de Óptica Geométrica de Baixo Custo (KOBC).

O KOBC foi elaborado com materiais adquiridos em obras de construção civil, retalhos de vidros, materiais doados, muita criatividade e pouco investimento. Ele conta com 34 peças e um custo aproximado de R\$200,00. Toda a sua construção, organização, e suas imagens estão apresentadas no Apêndice A do produto educacional (sequência didática) que acompanha esta dissertação.

#### **4.4 APLICAÇÃO DO PRODUTO**

Esta etapa foi programada para ser realizada dentro de sala de aula, utilizando-se do período regular de aulas para aplicação da sequência didática e utilização do KOBC. Mas devido a interrupção das aulas presenciais devido a pandemia de Coronavírus (COVID-19), uma solução para aplicação do produto foi trabalhá-lo de forma remota com a utilização de plataformas como o Google Meet, Google Classroom, Youtube e WhatsApp.

Quando a interrupção das aulas foi realizada, grupos de WhatsApp de todas as turmas foram criados para que o contato entre professores e aprendizes pudesse ser mantido. Utilizando destes grupos, uma mensagem de convite para que os aprendizes que tivessem interesse em participar de uma unidade de óptica geométrica foi encaminhada, conforme abaixo:

*Prezados estudantes,*

*Convido-os a participar de uma unidade de Óptica Geométrica no período de 05/10 a 21/10, no horário de 19h às 21h, nos dias: segunda-feira, quarta-feira, quinta-feira e sexta-feira.*

*A unidade consiste em aulas síncronas utilizando o Google Meet e Google Classroom, onde apresentarei experimentos demonstrativos enquanto trabalhamos uma apostila com uma sequência didática.*

*Os estudantes que se interessarem, favor entrar em contato, de forma privada, pelo WhatsApp.*

Este convite foi enviado para duas turmas de 2º ano do Ensino Médio de uma escola estadual de Carmo do Rio Claro – MG. E para outras duas turmas de 2º ano do Ensino Médio de uma escola estadual em Conceição da Aparecida – MG. Estas turmas totalizam uma quantidade de 165 estudantes.

Conforme os estudantes demonstravam interesse em participar, outra mensagem lhes era encaminhada:

*Olá! Bom dia!*

*Obrigado pelo seu interesse na unidade de Óptica Geométrica!*

*As aulas ocorrerão no período de 07/10 a 23/10, no horário de 19h às 21h, nos dias: segunda-feira, quarta-feira, quinta-feira e sexta-feira.*

*No dia 02/10 às 19h faremos uma aula para orientação de utilização dos programas.*

*Você deve me enviar os seguintes dados:*

- *Nome Completo:*
- *Telefone:*
- *E-mail:*
- *Endereço:*

*Você receberá em sua casa até o dia 05/10 o material com a sequência didática.*

*Um grupo de WhatsApp será criado para facilitar a comunicação e orientação.*

Infelizmente apenas 7 estudantes demonstraram interesse em participar, sendo 3 estudantes de Carmo do Rio Claro – MG e 4 estudantes de Conceição da Aparecida - MG. Este percentual de aproximadamente 4,24% demonstra que estudantes não possuem interesse em disciplinas como a física. Também é importante ressaltar que possa haver outros interessados, mas que não possuem recursos como internet de boa qualidade para acessar as plataformas utilizadas para aplicação do produto, falta de equipamentos, dificuldade com os horários, cansaço devido a serem estudantes que trabalham, entre outros.

Vale ressaltar que os estudantes que demonstraram interesse em participar desta unidade de óptica geométrica se enquadram na teoria da Aprendizagem

Significativa de David Ausubel, simplesmente pelo fato de quererem aprender, caracterizando um ponto relevante para aplicação desta metodologia.

Com estes 7 aprendizes foi criado um grupo de WhatsApp para facilitar o compartilhamento de informações sobre o assunto. Uma sala do Google Classroom foi criada com intensão de disponibilizar as aulas gravadas e os links de acesso as reuniões das aulas pelo Google Meet.

No dia 02 de outubro de 2020, às 19h, foi realizada pelo Google Meet uma reunião, com duração de aproximadamente 20 minutos para orientar os estudantes. Foi solicitado que durante todos os encontros eles mantivessem as câmeras desligadas para que se tenha melhor estabilidade do Google Meet e para resguardar os direitos de imagem. Testes de utilização dos microfones e compartilhamento de tela foram realizados. O acesso e utilização do programa Google Classroom foram demonstrados em compartilhamento de tela. E os encontros subsequentes foram marcados conforme a Tabela 5, abaixo.

**Tabela 5** – Datas programadas para aulas

Aula	Data	Dia	Horário
1	07/out	quarta-feira	19h
2	08/out	quinta-feira	19h
3	09/out	sexta-feira	19h
4	13/out	terça-feira	19h
5	14/out	quarta-feira	19h
6	15/out	quinta-feira	19h
7	16/out	sexta-feira	19h
8	19/out	segunda-feira	19h
9	21/out	quarta-feira	19h
10	22/out	quinta-feira	19h

Fonte: Autor

Aula1: A reunião para primeira aula ocorreu no dia 07/10/2020, com início às 19h04min e término às 21h. Inicialmente os estudantes demonstraram um pouco de receio ao responder aos questionamentos, mas no decorrer da aula a interação melhorou.

Os 7 aprendizes foram classificados em A1, A2, A3, A4, A5, A6 e A7, por ordem de demonstração de interesse em participar das aulas, após o convite realizado. Seis aprendizes participaram da aula, sendo o faltoso o A5, que esclareceu sua falta informando que receberia visita de familiares em sua casa, pelo fato de ter sido diagnosticado com depressão. No entanto, a aula foi gravada e disponibilizada na sala de aula do aplicativo Google Classroom para que o aprendiz faltoso pudesse assistir.

As perguntas foram direcionadas aos aprendizes de forma que fossem distribuídas uniformemente. A cada pergunta pelo menos dois estudantes eram estimulados a darem suas respostas e a palavra era aberta a qualquer outro estudante que se interessasse a opinar.

Percebeu-se muita curiosidade em relação aos fenômenos físicos pelo aprendiz A1. Em determinado momento houve relação entre conceitos desenvolvidos durante a aula com conceitos de mecânica quântica.

Um intervalo de 5 minutos foi oferecido após 1h de aula, e em seguida o retorno se deu sem problemas e sem atrasos significativos.

Durante a aula foram trabalhados os conteúdos dos itens 1 até 3.2 da sequência didática. Dentro deste tópico do trabalho serão mencionados por diversas vezes os itens, sendo eles referentes ao produto educacional (sequência didática).

Aula 2: A reunião ocorreu no dia 08/10/2020, com início às 19h e término às 21h. Seguindo o mesmo comportamento da aula 1. Participaram desta aula apenas os aprendizes A1, A4, A5, A6 e A7.

A2 e A3 relataram previamente que não poderiam participar. A2 não esclareceu o motivo e A3 informou estar participando de outra aula. Não descartando a possibilidade de imprevistos, temos nesta postura apresentada, que estes aprendizes são relativamente imaturos para acompanhamento das aulas de forma remota e não se preocupam com os acordos previamente firmados. Faltas também são frequentes durante o período de aulas presenciais regulares, mas

estas foram previamente acordadas na reunião de orientação. Mesmo assim a aula foi gravada e disponibilizada no dia seguinte.

No decorrer da aula problemas referentes a disponibilização da internet em determinado provedor ocorreram e os aprendizes A4 e A5 não conseguiram se manter na aula.

Os aprendizes A1, A6 e A7 continuaram presentes durante todo decorrer da aula. Eles melhoraram o desempenho com relação a aula anterior sendo muito mais participativos. No entanto, A1 se destacou demonstrando muito interesse não só pela óptica geométrica, mas pela área de ciências em geral.

Durante a aula foram trabalhados os conteúdos dos itens 4 até 9.2. Acredita-se que a aula teve uma boa evolução e que o fator predominante foi o número reduzido de alunos, que reduziu o tempo de discussão nos conflitos cognitivos. Infelizmente, também devemos levar em consideração que este baixo número de aprendizes pode empobrecer os conflitos cognitivos pelo baixo número de opiniões compartilhadas.

Aula 3: A reunião ocorreu no dia 09/10/2020, com início às 19h e término às 21h. Previamente os aprendizes A1 e A7 informaram não poderem participar pela necessidade de trabalhar em um comercio familiar na sexta-feira. A1 relatou que caso conseguisse terminar seu trabalho mais cedo entraria na aula posteriormente. Mas a assiduidade nesta aula foi baixíssima, participaram apenas dois aprendizes A2 e A4.

No entanto a aula foi muito produtiva, onde em todos os questionamentos foi estimulado que os dois aprendizes relatassem suas visões.

A aula 4 que estava programada para o dia 13/10/2020 foi cancelada e remarcada em sequência para o dia 14/10/2020. Foi sugerido aos alunos que por ventura, perderam alguma aula, assistissem às gravações disponibilizadas na plataforma do Google Classroom.

Aula 4: Aconteceu no dia 14/10/2020, iniciando-se e terminando nos mesmos horários que as aulas anteriores. Previamente foi feita a retomada do assunto

tratado mediante uma breve revisão de conceitos. Participaram da aula os aprendizes A1, A3, A5, A6 e A7. O aprendiz A4 entrou em contato via WhatsApp e informou estar com uma reação alérgica à anestesia que um dentista lhe aplicou. O aprendiz A2 não manifestou o motivo de sua ausência.

Durante o experimento 14, que apresenta os raios notáveis em espelhos esféricos, os aprendizes A3 e A5, comentaram que o experimento é extenso com relação aos anteriores. Como o experimento 14 foi realizado no final da aula, a reapresentação deste foi realizada no início da aula 5 sendo melhor detalhado.

Aula 5: Ocorreu no dia 15/10/2020 com duração de 2h e início às 19h. Os experimentos 12, 13 e 14, foram refeitos durante a aula em tempo real, e intercalados com os questionamentos da sequência didática. Durante a demonstração dos experimentos foram exploradas todas as dúvidas dos aprendizes.

Nesta aula se desenvolveu apenas os itens 13.7 e 13.8. Participaram da aula os aprendizes A1, A2, A3, A6 e A7.

No dia 17/10 seria realizada uma aula às 19h, mas não houve comparecimento dos aprendizes. Portanto, a aula foi cancelada, sendo retomada no dia útil seguinte.

Aula 6: Realizada no dia 19/10, contou com a presença dos aprendizes A1, A2, A4, A6 e A7. Durante esta aula foi observado uma melhor desenvoltura dos aprendizes no compartilhamento das discussões. Mas, o aprendiz A6 demonstrou insegurança ao responder os questionamentos.

Nesta aula os conteúdos dos itens 13.9 ao 14.3, foram desenvolvidos. O rendimento desta aula foi proveitoso, sendo trabalhada a primeira avaliação somativa e o início do aprofundamento dos conceitos do fenômeno da refração.

Todos os aprendizes demonstraram possuir dificuldades de aplicação de conceitos básicos de matemática, como trabalhar com as propriedades de uma equação algébrica. Eles identificam as grandezas físicas na equação, mas não conseguem trabalhar a álgebra sem que haja intervenção do mediador.

Aula 7: Momentos antes do início da aula, no dia 21/10/2020 o aprendiz A5 encaminhou mensagem via WhatsApp informando que não iria continuar participando das aulas, pois, havia perdido muitas aulas e não estava assistindo às aulas gravadas. Informou que seu estado psicológico, passando por um quadro de depressão, agravou de forma que não conseguia atingir níveis de concentração esperado para participar da aula.

Às 19h se iniciou a aula que contou com a presença dos aprendizes A1, A4 e A7. Nesta aula novos conceitos de aplicação da Lei de Snell – Descartes foram trabalhados na definição do ângulo limite de refração, quando a luz se propaga de um meio mais refringente para um meio menos refringente, e como esperado, os aprendizes tiveram muita dificuldade em trabalhar com a expressão matemática.

Aula 8: Esta aula aconteceu no dia 22/10/2020, com duração de 2h, e foi a aula de encerramento, onde foi finalizado o conteúdo da sequência didática. Participaram desta aula os aprendizes A2, A4, A6 e A7. Em determinado momento os aprendizes A2 e A6, perderam a conexão de internet e não retornaram à aula, mas informaram via WhatsApp o problema.

Finalizando o conteúdo em 8 aulas, temos que a previsão de 20h para aplicação da sequência didática foi atingida com sobra de 4h. Este fato se deu devido aos experimentos terem sido apresentados mediante gravações de vídeo, tendo apenas um dia de experimentos em tempo real. No dia em que o experimento foi realizado em tempo real se observou que a demanda de tempo para realização deste, foi consideravelmente extenso. Portanto, acredita-se que a perspectiva de aplicação do produto em 20h deve ser mantida para aplicação em sala de aula presencial, onde também deve ser levado em consideração a quantidade de aprendizes em uma sala de aula presencial. Acredita-se que quanto maior o número de alunos dentro da sala de aula, mais extensas serão as discussões das questões, devido as divergências de opiniões.

Na Tabela 6, temos o acompanhamento do desenvolvimento de conteúdo com o tempo gasto. É relevante levar em consideração que a turma de aprendizes que participou da aplicação deste produto é formada por estudantes bons, com nível de desenvolvimento adequado, e cursaram todo o primeiro ano do componente

curricular de Física do Ensino Médio com o professor mediador da aplicação deste trabalho.

**Tabela 6** – Acompanhamento de evolução das aulas

Aula	Tempo de aula	Item de início	Item de fim
1	2h	1	3.2
2	2h	4	9.1
3	2h	9.2	12.2
4	2h	12.3	13.7
5	2h	13.7	13.8
6	2h	13.9	14.3
7	2h	14.3	15.5.5
8	2h	15.6	Final
9	-	-	-
10	-	-	-

Fonte: Autor

Na Tabela 7 temos a relação de frequência e faltas dos aprendizes durante todas as aulas.

**Tabela 7** – Acompanhamento de frequência

Aprendiz	Aulas										Faltas
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	nº
A1	P	P	F	P	P	P	P	F	-	-	2
A2	P	F	P	F	P	P	F	P	-	-	3
A3	P	F	F	P	P	F	F	F	-	-	5
A4	P	P	P	F	F	P	P	P	-	-	2
A5	F	P	F	P	F	F	F	F	-	-	6
A6	P	P	F	P	P	P	F	P	-	-	2
A7	P	P	F	P	P	P	P	P	-	-	1
Presenças						P					
Faltas						F					

Fonte: Autor

O absenteísmo dos aprendizes A3 e A5 foi altíssimo. A5 relatou desistência, no entanto, suas respostas por áudio foram transcritas, mas não comparadas com suas respostas escritas, devido a não devolução da sequência didática impressa.

Enquanto isto, o aprendiz A3 devolveu sua sequência didática e relatou ter acompanhado todas as aulas gravadas e disponibilizadas no Google Classroom. Portanto, suas respostas foram comparadas e analisadas.

As sequências didáticas foram recolhidas no dia 27/10/2020 e posteriormente devolvidas aos aprendizes no dia 30/10/2020.

## 5 ANÁLISE DE RESULTADOS

### 5.1 QUESTIONÁRIO DE CONHECIMENTOS PRÉVIOS: IDENTIFICAÇÃO DE SUBSUNÇORES

Questão 1, enunciado: *“Eclipses são fenômenos raros que acontecem quando não podemos visualizar um astro no céu. O eclipse solar é a ocultação do Sol, enquanto o eclipse lunar é a ocultação da lua. Explique por que este fenômeno ocorre.”*

Respostas que se destacaram:

*“Por que um corpo celeste se sobrepõe entre um e outro, tampando a luz em certos pontos do corpo celeste em questão.”*

*“Conheço o fenômeno mas não conheço a razão.”*

*“Porque os astros se alinham. Eclipse lunar: Os astros em movimento se alinham e a Terra faz sombra na lua. Eclipse solar: Sol é ocultado pela lua.”*

*“Ocorre quando eles se aliam na mesma linha em direção a Terra.”*

*“Ocorre quando o sol e a lua se alinham formando uma sombra.”*

*“Quando é eclipse solar a lua passa na frente do sol, quando é lunar o sol passa na frente”*

*“Por causa do movimento de translação.”*

*“Conheço o fenômeno mais não sei o porque isto ocorre.”*

*“O alinhamento dos três astros causa eclipse.”*

*“Esse fenômeno ocorre normalmente quando o sol ou a lua ocultam a nossa visão de ambos em um certo local do planeta.”*

*“Por conta que o sol e a lua estão alinhados e a lua acaba fazendo sombra na Terra.”*

*“Pelo conflito da órbita”*

*“A lua e o sol se encontram e aparece a sombra deles.”*

*“Esse fenômeno ocorre porque o sol e a lua se encontram em um mesmo eixo, assim uma tampa o outro.”*

Nas respostas a primeira questão pode-se verificar que poucos aprendizes desconheciam o fenômeno, e existiam alguns que conheciam o fenômeno, mas não sabiam explicar suas causas. Fica evidente que a grande maioria consegue definir que o fenômeno ocorre devido ao alinhamento entre Sol, Lua e Terra, e alguns conseguem relacionar que a ocultação é devida ao impedimento da passagem de luz. O termo sombra aparece, mas em poucos questionários.

Com a primeira questão fica evidente que o eclipse pode ser trabalho para identificar os subsunçores: princípio da retilinidade dos raios luminosos e meios de propagação da luz.

Questão 2, enunciado: *“Imagine que você está em uma academia de musculação que possui um grande espelho em uma de suas paredes, e do local onde você está posicionado, você pode ver a imagem de um colega que está utilizando um equipamento em um local distante de você. Este colega também poderá enxergar a sua imagem no espelho?”*

Respostas que se destacaram:

*“Sim, se posso vê-lo através do espelho, ele também pode me ver.”*

*“Depende do ângulo”*

*“Sim, o efeito espelho vai reproduzir a imagem da realidade, refletindo o que está a sua frente, então na visão dele você estará refletido também.”*

*“Sim”*

*“Sim, o que você enxerga no espelho você também será enxergado.”*

*“Sim. Por quê se dá maneira que ele consegue me ver eu consigo ver ele também.”*

*“Sim, pois o reflexo é mostrado tanto em sua perspectiva quanto a perspectiva dele.”*

*“Sim, pois refletirá a imagem da realidade. O que eu vejo, a outra pessoa também vê.”*

*“Sim, pois ele terá o mesmo ângulo de visão.”*

*“Não, pois ele não tem a mesma visão que eu tenho dele.”*

*“Sim, se eu o enxergo, ele me enxergará.”*

*“Sim, imagino que de um ‘reflexo’ pela posição que ele está em referência ao espelho.”*

Nas respostas a segunda questão pode-se verificar que ao relacionar uma análise de conceitos físicos com uma atividade cotidiana, que é a utilização de um espelho, facilitou a interpretação dos alunos, onde eles conseguem identificar o fenômeno de reflexão, e em algumas respostas fica evidente que alguns alunos possuem subsunçores relativos ao princípio da reversibilidade dos raios luminosos e reflexão de raios luminosos.

Questão 3, enunciado: *“O que você enxergaria no céu, em uma noite, caso não houvessem estrelas?”*

Respostas que se destacaram:

*“Nada, como não terá luz não terá cores o céu então será apenas escuridão.”*

*“A escuridão do infinito.”*

*“A lua, talvez algumas nuvens dependendo da noite.”*

*“Não tendo estrelas, veria somente um lugar ‘preto’ no céu.”*

*“Nada, pois o Sol é uma estrela.”*

*“Um céu escuro, apenas com uma lua e nuvens escuras.”*

*“Uma escuridão.”*

*“A Lua, outros planetas e nuvens.”*

*“Somente a lua.”*

*“A lua”*

*“Ecuridão total. Um grande nada.”*

*“Os planetas mais próximos, a lua.”*

*“A lua e talvez algumas nuvens.”*

*“Nada, pois considerando que não haveriam mais estrelas, não existiria o Sol, e como consequência a Lua não refletirá essa claridade à noite.”*

*“O céu preto, um vácuo.”*

*“Se a lua não for contada como estrela iremos ver a lua, mas se sim, não enxergaremos nada.”*

*“O brilho da lua.”*

*“Caso não houvessem estrelas enxergaríamos nada, pois as estrelas iluminam o espaço, é a luz.”*

*“Enxergaria o céu negro.”*

*“Absolutamente nada.”*

Nas respostas a terceira questão pode-se verificar que os conhecimentos sobre fontes de luz primária e fontes de luz secundária estão divididos em uma parcela de alunos que acreditam que a Lua emite sua própria luz e outra parcela menor que consegue definir a Lua como uma fonte de luz secundária. Talvez esta divisão se dê pelo fato de os alunos não terem conhecimento sobre astronomia. Mas com esta questão pode-se verificar a existência de subsunçores relativos a: fontes de luz primárias, fontes de luz secundárias e reflexão.

Questão 4, enunciado: *“Em uma noite de lua minguante você fica preso em um quarto pequeno que possui um espelho e inesperadamente a luz deste quarto*

*se apaga, e você não consegue enxergar nada. Se você possuísse uma lanterna na sua mão direita, para que você consiga ver sua imagem no espelho, para onde você deve direcionar a luz desta lanterna?"*

Respostas que se destacaram:

*"Para o meu rosto."*

*"Abaixo do queixo, ou penduraria no teto e faria uma luminária improvisada."*

*"De frente pra mim ou sendo colocada em algum lugar."*

*"Posicionaria a lanterna direcionando-a para a cara mas não botando na frente da cara."*

*"Pra mim."*

*"No seu rosto, corpo."*

*"Eu iria direcionar para o espelho."*

*"Para o espelho, para a luz refletir no meu corpo"*

*"Para mim mesma, não sei se para o espelho também daria certo, mas creio que eu só enxergaria a luz."*

*"Para o teto do quarto."*

*"Tem que colocar a lanterna de frente pra mim"*

*"Apontaria pra si próprio, pois clariaria você, e dava pra se ver no espelho."*

*"Você deve segurar ela em cima de sua cabeça direcionada para baixo."*

*"Pra mim mesmo, pois se eu direcionar no espelho não vou me enxergar pois a luz vai refletir."*

*"De cima pra baixo."*

Nas respostas a quarta questão pode-se verificar que apesar de alguns aprendizes terem a concepção de que devem apontar a lanterna para o espelho,

colocá-la no teto, ou até direcioná-la para o teto, grande parte dos alunos respondeu que a lanterna deveria ser apontada para seu próprio corpo. Pode-se verificar que existem subsunçores relacionados a reflexão de luz por fontes secundárias. Interessante observar que alguns aprendizes escreveram que ao apontar a luz para o espelho, esta poderia ofuscar sua visão.

Questão 5, enunciado: *“O arco-íris é um fenômeno que acontece frequentemente após chuvas. Como o arco-íris é formado?”*

Respostas que se destacaram:

*“Os raios solares o refletem no vapor da chuva, e de acordo com sua frequência forma cada uma das cores.”*

*“Através da fragmentação dos raios solares ocasionada pelas gotículas de chuva.”*

*“Pelo reflexo nas gotas.”*

*“A luz do sol reflete nas gotículas de água na atmosfera, e se divide em 7 cores, as cores do arco-íris.”*

*“Por uma parábola, e é formado por 7 cores.”*

Nas respostas a quinta questão pode-se verificar que os aprendizes conhecem o fenômeno, e que ele ocorre devido à presença de gotículas de água em suspensão após chuvas, serem iluminadas pelos raios solares. Mas associam este fenômeno a reflexão. Em nenhum momento o termo refração foi utilizado. Interessante observar que alguns aprendizes conseguem associar o fenômeno a fragmentação da luz solar, assim, pode-se identificar subsunçores para luz monocromática e luz policromática, sendo ainda que um estudante utilizou o termo frequência para diferenciar as cores. Portanto com esta questão identifica-se os subsunçores: Mudança de meio de propagação, frequência, cores monocromáticas e cores policromáticas.

Observa-se que os alunos possuem muitos subsunçores, mas não conseguem relacioná-los, portanto estes não estão interligados cognitivamente.

## 5.2 SEQUÊNCIA DIDÁTICA: ANÁLISE DA APLICAÇÃO DO PRODUTO

Uma análise qualitativa intentando reconhecer pontos de desenvolvimento da prática construtivista da aprendizagem significativa foi realizada observando as discussões provenientes dos conflitos cognitivos no decorrer das aulas e nas respostas escritas na sequência didática.

A interpretação e sintetização das informações contidas nas respostas dos alunos se deu tipificando-as conforme Tabela 8:

**Tabela 8** – Tipos de classificação para respostas

Tipos de classificação	Subtipos de classificação
CP - Concepções prévias e pós desenvolvimento de conteúdo	CP1 - Concepção alternativa
	CP2 - Concepção de relação com o cotidiano
	CP3 - Concepção correta
	CP4 - Concepção errada
	CP5 - Concepção parcialmente correta
AS - Aprendizagem Significativa	AS1 - Evolução da estrutura cognitiva por adição de novos subsunçores (Diferenciação progressiva)
	AS2 - Subsunçores desorganizados
	AS3 - Subsunçores realocados (Reconciliação integrativa)
	AS4 - Resgate de informações na estrutura cognitiva
	AS5 - Sem identificação de aprendizagem significativa

Fonte: Autor

Todas as respostas, suas respectivas classificações e análises foram realizadas. As respostas informadas pelos estudantes durante a aula, por voz ou por mensagem, estão precedidas pela sigla RVM. A sigla RSD precede a resposta que os estudantes informaram dentro da sequência didática, após terem sido feitos os conflitos cognitivos. Ressalta-se que nas avaliações somativas existem apenas as respostas escritas na sequência didática.

Este item do trabalho ficou resguardado para evidenciar as respostas e análises em destaque. Destacam-se:

- Questão pertencente ao item 1 da sequência didática: Como podemos enxergar os objetos? (Trata-se de uma questão introdutória e se espera que os aprendizes tenham concepções prévias.)

Respostas do aprendiz A4:

RVM: “Através da luz.” (CP3 – Conceção correta)

RSD: “Através de alguma fonte de luz que ilumina os objetos e é refletido até os nossos olhos.” (AS1 – Evolução da estrutura cognitiva por adição de novos subsunçores – diferenciação progressiva)

O aprendiz melhora sua resposta escrita na sequência didática evidenciando o fenômeno da reflexão, mas não cita os tipos de fontes de luz.

- Questão pertencente ao item 2.2 da sequência didática: Por que foram formadas as zonas de sombra? (Espera-se a associação das zonas de sombra com a retilinidade dos raios luminosos.)

Resposta do aprendiz A4:

RSD: “Porque o experimento faz uso de uma fonte extensa de luz. A sombra não recebe luz de região alguma, mas a região parcialmente iluminada recebe luz da fonte.” (CP5 – Conceção parcialmente correta, AS1 – Evolução da estrutura cognitiva por adição de novos subsunçores e AS4 – Resgate de informações na estrutura cognitiva)

O aprendiz não conseguiu relacionar as zonas de sombra com o princípio da retilinidade. Mas definiu a fonte luz com extensa, onde acredita-se que o aprendiz resgatou informações em sua estrutura cognitiva utilizando conceitos sobre fontes de luz previamente trabalhados.

Respostas do aprendiz A6:

RVM: “Porque houve um rompimento da luz. Do feixe de luz.” (CP4 – Conceção errada)

RSD: “Pois há uma interrupção na propagação da luz.” (AS1 – Evolução da estrutura cognitiva por adição de novos subsunçores)

O aprendiz não conseguiu relacionar as zonas de sombra com o princípio da retilinidade. Mas houve evolução da estrutura cognitiva, podendo ser verificado ancoragem de subsunçores relacionados ao meio opaco.

- Questão pertencente ao item 2.3 da sequência didática: Qual a diferença na forma com que o laser chega até o quadro negro de metal nos três tipos de material? (Espera-se que haja a identificação de desvios da luz em determinados materiais e a não propagação da luz em outros.)

Respostas do aprendiz A6:

RVM: “No primeiro vidro, na lâmina transparente, ele molda, transparece do mesmo jeito a luz espalha. pelo vidro jateado ele molda, tem o formato do vidro. Pelo papelão ele tem a luz interrompida.” (CP5 – Concepção parcialmente correta)

RSD: “Transparente: a luz se propaga normalmente, sem interrupções; Jateado: a luz se molda, podendo ser modificada suas direções; Papelão: a luz é totalmente interrompida.” (AS1 – Evolução da estrutura cognitiva por adição de novos subsunçores)

Inicialmente pode ser observado que o aprendiz consegue diferenciar os tipos de propagação utilizando de termos do seu dia-a-dia. Na resposta da sequência didática ele consegue fazer a diferenciação dos meios perfeitamente.

- Questão pertencente ao item 2.3 da sequência didática: A atmosfera terrestre pode ser considerada um meio de propagação da luz? Se sim, qual classificação podemos dar a ela? (Espera-se a associação da atmosfera com um meio de propagação transparente.)

Respostas do aprendiz A1:

RVM: “A luz não atravessa no meio da Terra. Na atmosfera meia interrupção.” (CP1 – Concepção alternativa)

RSD: Sim, transparente.” (AS1 – Evolução da estrutura cognitiva por adição de novos subsunçores)

O aprendiz demonstra uma concepção alternativa no primeiro momento e na sequência didática, após as discussões da questão, responde de forma correta.

Resposta do aprendiz A3:

RSD: “Sim, ela pode ser classificada como o vidro transparente.” (CP3 – Conceção correta, AS1 – Evolução da estrutura cognitiva por adição de novos subsunçores e AS4 – Resgate de informações na estrutura cognitiva)

O aprendiz consegue resgatar informações na sua estrutura cognitiva fazendo a relação entre o vidro e a atmosfera.

- Questão pertencente ao item 3.1 da sequência didática: Porque um raio de luz não interrompe o outro quando eles se cortam? (Espera-se a identificação do princípio da independência dos raios luminosos, e do comportamento ondulatório da luz no ponto de interceptação.)

Respostas do aprendiz A4:

RVM: “Não sei dizer bem porque, mas basicamente um não interfere no outro. As trajetórias são independentes.” (CP5 – Conceção parcialmente correta e AS3 – subsunçores realocados)

RSD: “Porque os raios luminosos assumem o comportamento de ondas, sendo independentes.” (CP3 – Conceção correta, AS1 – Evolução da estrutura cognitiva por adição de novos subsunçores, AS3 – Subsunçores realocados e AS4 – Resgate de informações na estrutura cognitiva)

Inicialmente o aprendiz possui insegurança ao responder o questionamento. Aparentemente o aprendiz possui os subsunçores para definir o comportamento ondulatório e o princípio da independência dos raios luminosos, mas estes podem estar desorganizados em sua estrutura cognitiva. Após a discussão da questão o aprendiz apresenta uma resposta que demonstra que estes subsunçores foram reorganizados de forma que o resgate de informações na estrutura cognitiva foi efetivo em uma resposta na sequência didática conforme o esperado em uma aprendizagem significativa.

- Questão pertencente ao item 4.2 da sequência didática: Imagine que você está em uma academia de musculação que possui um grande espelho e em uma de suas paredes, e do local onde você está posicionado, você pode ver a imagem de um colega que está utilizando um equipamento em um local distante de você. Este colega também poderá enxergar a sua imagem no espelho? (Espera-se que associem ao princípio da reversibilidade.)

Respostas do aprendiz A6:

RVM: “Eu acredito que sim. Mas, eu não vou saber te explicar.” (AS2 – Subsunçores desorganizados)

RSD: “Sim, pois o raio percorre em direção oposta, sendo o mesmo caminho.” (CP3 – Conceção correta e AS4 – Resgate de informações na estrutura cognitiva)

Observa-se que inicialmente os subsunçores referentes ao princípio da reversibilidade estão desorganizados na estrutura cognitiva, fazendo com que o aprendiz se sinta inseguro para elaborar a resposta. Mas, após a discussão e reforço do conteúdo, observa-se que pela resposta na sequência didática houve o resgate de informações na estrutura cognitiva, caracterizando a aprendizagem significativa.

- Questão pertencente ao item 7.3.2 da sequência didática: Imagine-se em uma praia onde você pode observar um navio petroleiro a uma distância que possa ser considerada pequena. Conforme o navio se afasta o que ocorre? Porquê? (Espera-se a identificação da diminuição do ângulo visual.)

Respostas do aprendiz A1:

RVM: “O navio parece que vai ficando menor, menor, menor, e quando vai chegando no horizonte ele começa a sumir por causa da curvatura da Terra. O navio não diminui, o que diminui é ponto de visão, no nosso ponto de visão ele está diminuindo.” (CP1 – Conceção alternativa e CP5 – Conceção parcialmente correta)

RSD: “Ele parece diminuir, pois o ângulo visual para enxerga-lo fica muito pequeno.” (CP3 – Conceção correta e AS4 – Resgate de informações na estrutura cognitiva)

Inicialmente o aprendiz possui uma concepção prévia, talvez alternativa, ao associar a palavra “ponto de visão”. Na sequência didática, após discussões sobre o assunto conseguiu responder conforme esperado, explicitando a identificação da diminuição do ângulo visual.

- Questão pertencente ao item 9.3.2 da sequência didática: A quais conclusões sobre a luz branca você pode chegar ao observar o experimento? (Espera-se que haja a identificação da composição da luz branca.)

Respostas do aprendiz A2:

RVM: “Acho que ela foi refletida e acabou, assim, pelo prisma ser material diferente da água, ficou de outras cores.” (CP4 – Conceção de relação com o cotidiano e AS2 – Subsunçores desorganizados)

RSD: “A cor branca é formada por todas as cores.” (CP3 – Conceção correta, AS3 – Subsunoçores realocados e AS4 – Resgate de informações na estrutura cognitiva)

O aprendiz inicialmente fez uma associação com o fenômeno da reflexão, e uma diferença entre o material do prisma e a água, ficando evidente que os subsunoçores estão mal organizados na estrutura cognitiva. Na resposta a sequência didática consegue definir os conceitos sobre a composição da luz branca conforme esperado.

- Questão pertencente ao item 9.3.3 da sequência didática: Por que o céu é azul? (Espera-se que identifiquem os fenômenos de absorção e reemissão da luz pelos gases nitrogênio e oxigênio.)

Respostas do aprendiz A2:

RVM: “É o reflexo da água.” (CP1 – Conceção alternativa)

RSD: “É a forma como a luz se espalha pelas moléculas na atmosfera.” (CP3 – Conceção correta e AS4 – Resgate de informações na estrutura cognitiva)

Verifica-se uma concepção prévia alternativa. Na resposta da sequência didática têm-se a aprendizagem significativa, onde após a discussão sobre o assunto, o aprendiz conseguiu resgatar informações na sua estrutura cognitiva para responder o questionamento.

- Questão pertencente ao item 10 da sequência didática: De que cor enxergaremos a bandeira do Brasil quando ela for iluminada por uma luz verde? (Espera-se que identifiquem que o verde refletirá verde; que o amarelo absorverá o verde, que o azul absorverá o verde; e que o branco refletirá o verde.)

Respostas do aprendiz A2:

RVM: “Verde, azul. O verde fica verde. O amarelo vai virar azul. Ah, não sei. Acho que vai mudar as cores.” (CP4 – Conceção errada e AS2 – Subsunoçores desorganizados)

RSD: “Verde e preto.” (CP3 – Conceção correta, AS4 – Resgate de informações na estrutura cognitiva)

Inicialmente observa-se certa confusão ao definir as cores, dessa forma, acredita-se que os subsunoçores estão desorganizados na estrutura cognitiva do aprendiz. Na resposta a sequência didática se têm uma realocação dos conceitos, evidenciando a aprendizagem significativa quanto o aprendiz acessa sua estrutura cognitiva e consegue responder à questão de forma adequada.

- Questão pertencente ao item 12.4 da sequência didática: O que ocorrerá com as imagens quando o objeto estiver entre os espelhos, com estes paralelos entre si, e com as faces refletoras viradas uma para a outra? (Espera-se a identificação de formação de infinitas imagens.)

Respostas do aprendiz A1:

RVM: “Acho que vai criar uma fileira com infinitas imagens. Ou com 4.” (CP5 – Concepção parcialmente correta e AS2 – Subsuniões desorganizados)

RSD: “Haverão cópias infinitas.” (CP3 – Concepção correta e AS4 – Resgate de informações na estrutura cognitiva)

Inicialmente o aprendiz estava confuso e não soube determinar com exatidão o que aconteceria. Após a apresentação do vídeo do filme onde é feita a associação em paralelo de dois espelhos, ele conseguiu responder na sequência didática da forma esperada.

- Questão pertencente ao item 13.1 da sequência didática: Qual o comportamento dos raios de luz após serem refletidos por uma superfície côncava? (Espera-se que a identificação da reflexão de todos os raios em direção a um mesmo ponto.)

Respostas do aprendiz A7:

RVM: “Não eram em direção oposta?” (CP4 – Concepção errada e AS2 – Subsuniões desorganizados)

RSD: “Eles retornam para o ponto focal.” (CP3 – Concepção correta e AS4 – Resgate de informações na estrutura cognitiva)

Observa-se certa dificuldade em realizar associações de subsuniões existentes com a observação realizada no experimento. Após discussão e análise do experimento, observa-se que o aprendiz, mesmo que utilizando do termo “retornam” ao invés de são refletidos, consegue identificar o direcionamento para o ponto de foco.

- Questão pertencente ao item 13.12 da sequência didática: Avaliação somativa 01 - Uma das histórias interessantes da Segunda Guerra Púnica é a de que os navios romanos eram incendiados ao transitarem próximos a costa de Cartago. E foi Arquimedes o responsável pela engenhosidade de criar uma arma bélica com espelhos.

A função do espelho de Arquimedes era utilizar o Sol, que ao invés de favorecer o ataque dos navios devido a sua posição, e direcionar um raio de luz poderoso que queimava as embarcações.

Esta arma ficou conhecida como “O raio da morte”.

Utilizando os conhecimentos que vocês possuem sobre espelhos e o fenômeno da reflexão, descreva qual tipo de espelho Arquimedes utilizou e onde os navios romanos deveriam estar posicionados para que o raio da morte os atingisse. (Espera-se que haja o resgate de informações na estrutura cognitiva evidenciando a aprendizagem significativa, onde os aprendizes consigam identificar que o espelho poderia ser côncavo e que as embarcações deveriam estar posicionadas no ponto de foco do espelho.)

Resposta do aprendiz A1:

RSD: “Ele usou um espelho côncavo, feito de prata extremamente polida para que os navios fossem incendiados era necessário inclinar o espelho até que o ângulo de onde vinha os raios de luz fosse onde estivesse as velas dos navios.”

O aprendiz conseguiu responder o questionamento e associar o tipo de espelho a ser utilizado. Pode ser observado que houve pesquisa realizada na internet para responder o questionamento, pois foi utilizada informação como “feito de prata extremamente polida” que não foi mencionado em momento nenhum na sequência didática nem durante as aulas remotas.

Resposta do aprendiz A3:

RSD: “O espelho utilizado por Arquimedes para incendiar o inimigo, foi um espelho côncavo, no qual ao meu ver a distância focal igual a distância do espelho até a embarcação. Eu considero que o inimigo precise ficar de frente para o espelho, para que quando o raio do sol bater no espelho, passa a refletir e incendiar o inimigo.” (CP3 – Concepção correta e AS4 – Resgate de informações na estrutura cognitiva)

Observa-se que o aprendiz foi assertivo em sua resposta, conseguindo relacionar o tipo de espelho e a distância da embarcação com o espelho côncavo e a distância focal.

- Questão pertencente ao item 14.1.1 da sequência didática: Conhecendo a 2ª Lei da Refração calcule o índice de refração da lâmina de faces paralelas do experimento 15. (Espera-se que obtenham o resultado de aproximadamente 1,41.)

Respostas do aprendiz A4:

RVM: “Pode dar negativo? O meu deu menos 0,13, aproximadamente.” (CP4 – Concepção errada)

RSD: “ $n_2 = 1,41$ ” (CP3 – Concepção correta e AS4 – Resgate de informações na estrutura cognitiva)

Observou-se que neste questionamento o aprendiz conseguiu identificar as grandezas físicas, mas possuiu dificuldade na aplicação de conceitos matemáticos para trabalhar a igualdade.

- Questão pertencente ao item 15.14 da sequência didática: Avaliação somativa 02 - A miopia e a hipermetropia são problemas visuais caracterizados por deformações no globo ocular. O olho míope é mais longo que o olho normal enquanto o olho hipermetrope é mais curto, conforme pode ser visto nas imagens abaixo.

A hipermetropia causa dificuldade de enxergar objetos que estão próximos, e a miopia causa dificuldade de enxergar objetos que estão longe, mas há como corrigir estas situações com o uso de lentes que já estudamos.

Observe que no olho hipermetrope a imagem se forma depois da retina e no olho míope a imagem se forma antes da retina. Sendo que em um olho humano normal a imagem deve estar posicionada sobre a retina, utilize os conhecimentos que vocês possuem para identificar qual tipo de lente é adequado para corrigir cada problema e descreva como chegaram a esta conclusão. (Espera-se que haja o resgate de informações na estrutura cognitiva e que consigam identificar para o problema visual de miopia a lente de correção divergente e para o problema de hipermetropia a lente corretiva convergente.)

Respostas do aprendiz A7:

RSD: “Miopia pode ser corrigida com lentes côncavas. Hipermetropia pode ser corrigida com lentes convexas.” (CP3 – Concepção correta e AS4 – Resgate de informações na estrutura cognitiva)

O aprendiz conseguiu resgatar informações na sua estrutura cognitiva e associar corretamente para cada tipo de problema visual apresentado uma lente corretiva adequada.

### 5.3 QUESTIONÁRIO PÓS-APLICAÇÃO DO PRODUTO

Com intenção de verificar a satisfação dos aprendizes e possíveis sugestões foi criado um questionário que pode ser observado no Apêndice C da sequência didática (produto educacional). Para o ensino remoto este questionário foi adaptado e construído a partir do Google Formulários, sendo o link enviado para o grupo criado no WhatsApp, no dia seguinte ao término das aulas de aplicação do produto.

O questionário encaminhado aos aprendizes possui 7 questões, que deveriam ser avaliadas de 1 a 10, usando-se 0 para o menor nível de satisfação e 10 para o maior nível de satisfação. E a última questão solicitava sugestões por respostas dissertativas.

O questionário foi respondido pelos aprendizes A1, A2, A3, A4 e A6, todos no dia 23/11/2020. Generalizando as respostas têm-se um resultado de satisfação muito bom.

Primeira pergunta: O quão relevante foi o curso de óptica abordado de forma remota para seu aprendizado? – 80% das respostas marcadas com satisfação de nível 10 e 20% marcadas com satisfação de nível 8.

Segunda pergunta: Os vídeos de experimentos demonstrativos facilitaram sua aprendizagem? – 100% das respostas marcadas com satisfação de nível 10.

Terceira pergunta: A mediação do professor durante os questionamentos favoreceu sua aprendizagem? – 100% das respostas marcadas com satisfação de nível 10.

Quarta pergunta: Quanto a sequência didática (apostila) com questionamentos favoreceu sua aprendizagem? – 80% das respostas marcadas com satisfação de nível 10 e 20% marcadas com satisfação de nível 8.

Quinta pergunta: A utilização do Google Meet e do Google Classroom ajudou nestas aulas remotas? – 100% das respostas marcadas com satisfação de nível 10.

Sexta pergunta: O curso de óptica geométrica superou suas expectativas? – 90% das respostas marcadas com satisfação de nível 10 e 10% marcadas com satisfação de nível 8.

Sétima pergunta: Você faria outro curso de física de forma remota? – 80% das respostas marcadas com satisfação de nível 10 e 20% marcadas com satisfação de nível 8.

Oitava pergunta: Você tem alguma sugestão a fazer para melhoria do curso?

Respostas para oitava pergunta: “A mudança do horário das aulas para de manhã!”; “Não, tive muita facilidade em aprender desse modo que as aulas ocorreram.”; “Física Quântica (superposição e se puder uma passada sobre quarks, spins e fótons), Buracos negros e Buracos brancos, relação tempo-espaço”; “Está tudo perfeito!!!”; e “Não”.

Portanto, observa-se que há nível de satisfação máximo em mais de 80% dos aprendizes em todas as questões. Vale ressaltar que os vídeos demonstrativos, a mediação do professor, e a utilização de recursos como o Google Meet e Google Classroom, foram avaliados por 100% dos aprendizes com nível de satisfação 10. Assim, entende-se que os aprendizes avaliaram de forma satisfatória a aplicação do produto em forma de curso remoto com aulas síncronas.

## 6 CONCLUSÃO

A quantidade de estudantes que decidiram participar da aplicação deste produto foi muita pequena com relação ao número de convites realizados. Apesar de os que demonstraram interesse enquadrarem em umas das premissas da Aprendizagem Significativa, que o aprendiz deve querer aprender, o pequeno número de participantes pode empobrecer os debates, discussões, e opiniões, o que afeta diretamente o trabalho dos conflitos cognitivos. Tal falta de interesse em participar desta unidade de óptica geométrica pode ser devido: a falta de equipamentos; a falta de internet; a dificuldade com os horários; desmotivação devido a situação de enfrentamento à pandemia da COVID-19; e cansaço devido a uma grande parcela de estudantes estarem aproveitando a não exigência de comparecimento às aulas para trabalhar e ajudar financeiramente à família devido ao momento de recessão econômica.

A falta de assiduidade é comum até em aulas presenciais, mas dentro da aplicação deste produto se observou uma grande quantidade de fatores que prejudicaram a presença dos aprendizes, levando a um nível de absenteísmo alto devido a: problemas com provedor de internet, instabilidade dos softwares utilizados, visitas inesperadas em casa no horário da aula, problemas de saúde, conflito de horários com outras aulas e até falta de interesse de participação em alguns dias. Tais faltas prejudicaram não só o desenvolvimento cognitivo individual do faltoso, mas a evolução do grupo como um todo, pois os debates poderiam ter sido mais proveitosos. Para minimizar a perda de conteúdo dos faltosos a gravação das aulas e disponibilização no Google Classroom foi um ótimo recurso.

O número reduzido de aprendizes facilitou o trabalho com as tecnologias utilizadas para aplicação do produto de forma remota. Principalmente por terem sido utilizados experimentos demonstrativos que puderam ser gravados antecipadamente.

Observou-se que este tipo de abordagem, mediante a utilização de experimentos demonstrativos, pode ser aliado do professor de física, pois favorece aos aprendizes uma oportunidade de contato, mesmo que apenas visual, com conceitos que o ensino não experimental não contempla. Desta forma, acredita-se que os impactos causados pela exigência de níveis de abstração desejados pelas

aulas tradicionais sejam minimizados. Importante ressaltar que o problema não está na aula tradicional expositiva mencionada, mas sim na forma em que ela é utilizada, tanto que este recurso foi utilizado como ferramenta para realocação dos conceitos desorganizados na estrutura cognitiva dos aprendizes após a diferenciação progressiva por meio de experimentos e questionamentos.

Observa-se momentos que a aprendizagem significativa pode ser evidenciada ao relacionar as respostas por áudio, no momento de construção do conhecimento, com as respostas descritas na apostila, após as discussões sobre os questionamentos. Processos de diferenciação progressiva de alocação de novos conhecimentos são evidentes em alguns aprendizes após a utilização de recursos como vídeos e experimentos, mas conforme a teoria de David Ausubel, devem ser feitos os devidos reforços, pois a ligação de um conceito a outro é frágil no primeiro momento, e a utilização de questionamentos progressivos em nível de dificuldade pode ajudar este momento.

A utilização da postura expositiva do professor, a chamada aula tradicional, tem importância significativa na associação deste tipo de prática pedagógica, no momento de organizar os conceitos na estrutura cognitiva do aprendiz. Pois, faz com que os aprendizes se sintam familiarizados com o tipo de aula que estão acostumados a assistir desde o início de sua vida estudantil.

Os pilares determinados neste trabalho podem ajudar a melhorar o ensino de Física no Ensino Médio, pois quebra o paradigma do alto custo de materiais para laboratórios de óptica geométrica, e pode ajudar professores que se sentem inseguros em abordar uma prática pedagógica experimental em sala de aula. Além disso, o nível de satisfação dos aprendizes participantes foi evidentemente alto, superando as expectativas, como pode ser observado no questionário pós aplicação do produto.

A aplicação deste produto trouxe à tona novas possibilidades de estratégias educacionais que podem ser abordadas por professores. Este produto foi elaborado para ser utilizado em aulas presenciais, no entanto, o advento da pandemia da doença COVID-19, fez com que este fosse adequado a nova situação, demonstrando que existem tecnologias para auxiliar a adaptação de aulas. Pois, inicialmente se acreditava não haver recursos para ministrar estas aulas de forma remota e obter um resultado satisfatório para esta prática.

## REFERÊNCIAS

BARREIRO, A. C.; BAGNATO, V. **Aulas Demonstrativas nos Cursos Básicos de Física**. Cad. Bras. Ens. Fis., Florianópolis, v.9, n.3: p.238-244, dez.1992.

BASSOLI, F. **Atividades práticas e o ensino-aprendizagem de ciência(s): mitos, tendências e distorções**. Ciência & Educação, v.20, n.3, p.579-593, 2014.

BENIGNO, B. F.; SILVA, C. X. **Física aula por aula: Termologia, óptica, ondulatória**. 2º Ano – 3ª ed. – São Paulo: FTD, 2016.

COELHO, B.S. **A utilização da experimentação com lasers e materiais de baixo custo no ensino de óptica**. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí, Teresina, 2017.

CRUZ, G. K.; VIATROSKI, M. A.; LEVY, M. E. M.; SIQUEIRA, F. N.; GOMEZ, S. L.; BONARDI, C. **Um iluminador de baixo custo para a realização de experimentos de óptica geométrica**. Revista Brasileira de Ensino de Física, vol. 40, nº.3, São Paulo, 2018.

FERREIRA, M.; FILHO, O. L. S.; MOREIRA, M. A.; FRANZ, G. B.; PORTUGAL, K. O.; NOGUEIRA, D. X. P. **Unidade de Ensino Potencialmente Significativa sobre óptica geométrica apoiada por vídeos, aplicativos e jogos para smartphones**. Revista Brasileira de Ensino de Física, vol. 42, 2020.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R. **Fundamentos de Física**, volume 4: óptica e física moderna / Halliday, Resnick, Jearl Walker; Tradução e revisão técnica Ronaldo Sérgio de Biasi. – Rio de Janeiro: LTC, 2009.

LABURÚ, C. E., SILVA, O. H. M. **Laboratório Caseiro – Para-Raios: Um Experimento Simples e de Baixo Custo para a eletrostática**. Cad. Bras. Ens. Fis., v.25, n.1: p.168-182, abr.2008.

LINDNER, E. L.; ELY, C. R. (Orgs) **Diversificando em Física: atividades práticas e experiências de laboratório** – Porto Alegre: Mediação, 2012, MOREIRA, M. A. **O que é afinal aprendizagem significativa?** Curriculum, La Laguna. Espanha, 2002.

MORAES, J. U. P.; JUNIOR, R. S. S. **Experimentos didáticos no Ensino de Física com foco na Aprendizagem Significativa.** Lat. Am. J. Phys. Educ. Vol. 9, Nº 2, June 2015.

MORAIS, J. U. P.; JUNIOR, R. S. S. **Experimentos didáticos no ensino de física com foco na aprendizagem significativa** – Aprendizagem Significativa em Revista / Meaningful Learning Review – V4(3), pp.61-67, 2014.

MOREIRA, M. A. **Teorias de Aprendizagem.** 2. ed. ampl. - São Paulo: EPU, 2011.

MOREIRA, M. A.; VEIT, E. A. **Unidades de Ensino Potencialmente Significativas UEPS** – Porto Alegre: UFRGS, Instituto de Física, 2012.

NUSSENZVEIG, H. M. Curso de Física básica: Ótica, relatividade, física quântica – vol. 4, 1ª Edição – São Paulo: Editora Blucher, 1998

OLIVEIRA, M. B.; OLIVEIRA, M. K. (Org.) **Investigações Cognitivas** – Conceitos, Linguagem e Cultura. Porto Alegre: Editora Artes Médicas, 1999.

PACCA, J. L. A.; SCARINCI, A. L. **O que pensam os professores sobre a função da aula expositiva para a aprendizagem significativa.** Ciência & Educação, v.16, n. 3, p. 709-721, 2010.

RIBEIRO, J.L.P; VERDEAUX, M. F. S. **Uma Investigação da Influência da Reconcitualização das Atividades Experimentais Demonstrativas no Ensino da Óptica no Ensino Médio.** Investigações em Ensino de Ciências – V18(2), pp.239-262, 2013.

SALVADOR, CESAR COLL et al. **Psicologia do ensino.** Porto Alegre: Arned, 2000.

SIAS, D. B.; RIBEIRO, R. M. T. **Resfriamento de um Corpo: A Aquisição Automática de Dados Propiciando Discussões Conceituais no Laboratório Didático de Física no Ensino Médio.** Cad. Bras. Ens. Fis., v.23, n.3: p.360-381, dez. 2006.

SOUSA, A. C.; SILVA, E. D.; ROCHA, A. S.; GOMES, E. C. **Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UPES):** A importância para as aulas de óptica geométrica no estado do Tocantins. Aprendizagem Significativa em Revista/Meaningful Learning Review – V8 (1), pp. 1-20, 2018

YOUNG, H. D.; FREEDMAN, R. A. **Sears e Zemansky física IV: ótica e física moderna;** tradução Cláudia Martins e revisão técnica Adir Moysés Luiz. – São Paulo: Addison Wesley, 2009.

YOUNG, H. D.; FREEDMAN, R. A. **Sears e Zemansky física IV: ótica e física moderna;** tradução e revisão técnica Adir Moysés Luiz. – São Paulo: Addison Wesley, 2004.