



UNIVERSIDADE ESTADUAL DO CEARÁ
FACULDADE DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIAS E LETRAS DE IGUATU
CURSO DE GRADUAÇÃO EM LICENCIATURA EM FÍSICA

MÁRCIO JOSÉ SILVA NOGUEIRA

**A HISTÓRIA DA ÓPTICA CLÁSSICA CONTADA ATRAVÉS DE EXPERIMENTOS:
DE PTOLOMEU A NEWTON**

IGUATU – CEARÁ

2022

MÁRCIO JOSÉ SILVA NOGUEIRA

A HISTÓRIA DA ÓPTICA CLÁSSICA CONTADA ATRAVÉS DE EXPERIMENTOS:
DE PTOLOMEU A NEWTON

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Física da Faculdade de Educação, Ciências e Letras de Iguatu da Universidade Estadual do Ceará, como requisito parcial à obtenção do grau de Licenciado em Física.

Orientador: Prof. Dr. Celio Rodrigues Muniz.

IGUATU – CEARÁ

2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Estadual do Ceará
Sistema de Bibliotecas

Nogueira, Marcio Jose Silva.

A história da óptica clássica contada através de experimentos: de Ptolomeu a Newton [recurso eletrônico] / Marcio Jose Silva Nogueira. - 2022. 40 f. : il.

Trabalho de conclusão de curso (GRADUAÇÃO) - Universidade Estadual do Ceará, Faculdade de Educação, Ciências e Letras de Iguatu, Curso de Física, Iguatu, 2022.

Orientação: Prof. Dr. Celio Rodrigues Muniz.

1. Ensino de Física. 2. Proposta Educacional. 3. História da Óptica. 4. Ensino com Experimentos. I. Título.

MÁRCIO JOSÉ SILVA NOGUEIRA

A HISTÓRIA DA ÓPTICA CLÁSSICA CONTADA ATRAVÉS DE EXPERIMENTOS:
DE PTOLOMEU A NEWTON

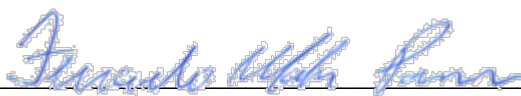
Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Física da faculdade de Educação, Ciências e Letras de Iguatu da Universidade Estadual do Ceará, com requisito parcial para à obtenção do grau de Licenciatura em Física.

Aprovada em: 13 de janeiro de 2022

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Celio Rodrigues Muniz (orientador)
Faculdade de Educação, Ciências e Letras de Iguatu – FECLI
Universidade Estadual do Ceará – UECE



Prof. Dr. Fernando Martins de Paiva
Faculdade de Educação, Ciências e Letras de Iguatu – FECLI
Universidade Estadual do Ceará - UECE



Prof. Me. Leonardo Tavares de Oliveira
Faculdade de Educação, Ciências e Letras de Iguatu – FECLI
Universidade Estadual do Ceará - UECE

Às quatro pessoas mais importantes da minha vida: Samuel de Oliveira Nogueira (filho), Luciene Silva Nogueira (mãe) João Justino Nogueira (pai), Etina de Oliveira Nogueira (esposa).

AGRADECIMENTOS

A minha mãe Luciene por todo carinho e apoio nos momentos mais difíceis para me tornar um homem de bem.

A meu filho Samuel, amor infinito, presente divino, que me dar forças para lutar.

A minha esposa Etina por estar sempre ao meu lado dividindo momentos bons e ruins.

Ao Prof. Dr. Celio Rodrigues Muniz pela orientação e apoio à elaboração deste trabalho.

Aos professores da banca, Prof. Me. Leonardo Tavares de Oliveira, Prof. Dr. Fernando Martins de Paiva.

Aos professores que fizeram parte da minha graduação: Prof. Me. Leonardo Tavares de Oliveira, Prof. Dr. Fernando Martins de Paiva e Prof.^a Dr.^a Lázara Silveira Castrilho que foram primordiais, pacientes e dedicados durante minha formação.

À Instituição UECE-FECLI por proporcionar o curso de Física de forma competente e comprometida com a educação.

Aos amigos do curso de Graduação da UECE-FECLI, Regilânia Nascimento, Antônio Neto, Belarmino Nunes, Celio Vicente por tantos momentos de aprendizado compartilhado.

A todos que contribuíram de alguma forma para minha formação.

“Uma ciência que hesita em esquecer os seus fundadores está perdida”.

(Alfred Whitehead)

RESUMO

O presente trabalho defende uma proposta educacional e tem como tema a história da óptica clássica contada através de experimentos, de Ptolomeu a Newton. Com o objetivo de ressaltar a importância da história da óptica clássica para o ensino de Física, foram reproduzidos experimentos, acompanhados de sua fundamentação teórica, criados por grandes nomes da ciência como Cláudio Ptolomeu, Al-Hazen, Johannes Kepler e Isaac Newton, entre outros, que contribuíram para o surgimento da óptica moderna. O método desenvolvido na pesquisa tem um caráter qualitativo, com finalidades de proposta educacional. Foi fundamentado em fontes da internet, artigos, livros e documentos eletrônicos, relacionados à história da óptica clássica e ao ensino com experimentos. Foram reproduzidos quatro experimentos numa sequência cronológica de acordo com conceitos históricos de cada época. Contudo, para testar a eficácia da proposta educacional é necessário que seja feita a aplicação em sala de aula pelo professor. As dificuldades enfrentadas que não permitiram essa aplicação se deram pela pandemia de COVID-19 ocorrida isocronicamente ao desenvolvimento do trabalho, visto que as aulas nas escolas e atendimentos em bibliotecas, foram suspensas. Devido a esses contratemplos, portanto, o trabalho não atingiu os objetivos de forma plena; no entanto, fica em aberto para novas perspectivas de desenvolvimento da pesquisa e/ou sua aplicação.

Palavras-chave: Ensino de Física. Proposta Educacional. História da Óptica. Ensino com Experimentos.

ABSTRACT

The present work defends an educational proposal and has as its theme the history of classical optics told through experiments, from Ptolemy to Newton. In order to emphasize the importance of the history of classical optics for the teaching of Physics, experiments were reproduced, accompanied by their theoretical foundation, created by great names in science such as Cláudio Ptolemy, Al-Hazen, Johannes Kepler and Isaac Newton, among others. , who contributed to the emergence of modern optics. The method developed in the research has a qualitative character, with the purpose of educational proposal. It was based on internet sources, articles, books and electronic documents, related to the history of classical optics and teaching with experiments. Four experiments were reproduced in a chronological sequence according to historical concepts of each period. However, to test the effectiveness of the educational proposal, it is necessary to apply it in the classroom by the teacher. The difficulties faced that did not allow this application were due to the COVID-19 pandemic that occurred isochronically to the development of work, since classes in schools and services in libraries were suspended. Due to these setbacks, therefore, the work did not fully achieve its objectives; however, it remains open to new perspectives for the development of research and/or its application.

Keywords: Teaching Physics. Educational Proposal. History of Optics. Teaching with Experiments.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Representação gráfica do fenômeno de refração.....	17
Figura 2 - Imagem descritiva da refração corpuscular de Descartes	17
Figura 3 - A ilustração gráfica representa Princípio de Fermat para refração: o tempo de A à B é mínimo, que corresponde ao caminho APB.....	18
Figure 4 - A imagem representa uma Câmara Escura com imagem invertida de um eclipse solar projetado no fundo.....	21
Figura 5 - Representação gráfica da imagem A'B' formada de um objeto AB através da Câmara Escura de Orifício.....	21
Figura 6 - A representação gráfica da formação de imagem de uma luneta astronômica	23
Figura 7 - Representação esquemática de seis tipos de lentes	24
Figura 8 - Representação gráfica da imagem oblonga de um raio solar após atravessar um prisma conforme visto por Newton.....	25
Figura 9 - Representação gráfica do experimento crucis realizado por Newton	26
Figura 10 - Desvio da luz produzida por um prisma de secção triangular	26
Figura 11 - Representação gráfica do raio de luz branca ao incidir e refratar num prisma	28
Figura 12 e 12a - A Figura 12 mostra um recipiente opaco vazio, a Figura 12a, mostra o mesmo recipiente com água e uma moeda aparecendo no fundo	30
Figura 13 - Foto de uma Câmara Escura de Orifício.....	31
Figure 14 - A imagem mostra a Câmara Escura de Orifício e a projeção da imagem de uma chama de vela no fundo	32
Figura 15 - Imagem mostra os materiais utilizados na confecção da luneta.....	33
Figure 16 - A imagem mostra a luneta montada de acordo com a tabela 3.....	34
Figura 17 - Foto do prisma construído de base triangular	35
Figure 18 - A imagem mostra a refração e dispersão da luz solar pelo prisma.....	36

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	14
2.1	A história e a óptica geométrica.....	15
2.1.1	A luz	15
2.1.2	Recipiente opaco com água e uma moeda no fundo	16
2.1.3	Leis da Reflexão e Refração.....	19
2.1.4	Índice de refração	20
2.1.5	A Origem da Câmara Escura de Orifício	20
2.1.6	Câmara Escura de Orifício	21
2.1.7	Princípios fundamentais da óptica geométrica.....	22
2.1.8	A história da Luneta	22
2.1.9	Luneta Astronômica	22
2.1.10	Lentes esféricas e delgadas.....	23
2.1.11	A história do prisma	24
2.1.12	Propriedades do prisma	26
3	METODOLOGIA	29
3.1	Recipiente opaco com água e uma moeda no fundo.....	30
3.2	Câmara Escura de Orifício.....	31
3.3	Luneta astronômica.....	32
3.4	Prisma.....	35
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	37
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	38
	REFERÊNCIAS	39

1 INTRODUÇÃO

Desde muitos séculos atrás até os dias atuais, o homem desenvolveu um vasto conhecimento do que é a luz e como ela se comporta. A óptica, de modo geral, é um ramo da ciência que estuda a natureza da luz e sua propagação nos meios materiais ou no vácuo. Diante da necessidade de comprovar e compreender os fenômenos observados, foram criados diversos instrumentos para se estudar e se fazer uso do comportamento da luz.

Podemos observar a presença desses instrumentos no nosso cotidiano, tais como: óculos, lunetas, câmeras fotográficas, laser, entre outros, que possibilitam uma melhor qualidade de vida para as pessoas. Portanto o conhecimento surgiu da necessidade e desafios específicos enfrentados pelo homem ao longo do tempo e que, ao produzir conhecimento, se tornou cada vez mais hábil na compreensão da realidade, o que possibilitou viver de forma satisfatória. (LUCKESI, 2011, p. 146).

A ideia do tema para este trabalho teve como base duas disciplinas cursadas na graduação por parte do autor: Prática como Componente Curricular de Óptica (PCC de Óptica), e Fundamentos Históricos, Filosóficos e Sociológicos da Ciência (FHFSC). O professor da disciplina de PCC de Óptica propôs a criação de instrumentos para o ensino da Óptica no Ensino Médio historicamente contextualizados; na ocasião foram feitos vários experimentos, surgindo assim a ideia do tema de pesquisa como uma proposta educacional que fosse pautado na história da óptica, relacionado com experimentos ópticos de época e a reprodução de alguns deles.

O ensino teórico de Física em sala de aula têm sido um desafio para o professor devido a métodos tradicionais insuficientes, muitos professores ensinam de forma mecânica e não estão preocupados com resultados significativos para o educando (LUCKESI, 2011, p. 141). Diante desses embates, a abordagem histórico-conceitual do ensino de Física muitas vezes é ignorada, como diz (KUHN *apud* BARRA, 2012, p. 26).

[...] o estudante de ciência não é encorajado a ler os clássicos de história do seu campo - obras onde poderia encontrar outras maneiras de olhar as questões discutidas nos textos, mas onde também poderia encontrar problemas, conceitos e soluções padronizadas que a sua futura profissão há muito pôs de lado e substituiu. Whitehead apreendeu esse aspecto bastante específico das ciências quando escreveu algures: 'uma ciência que hesita em esquecer os seus fundamentos está perdida.

Sendo assim, o presente texto faz um passeio pela história da óptica geométrica, desde Ptolomeu 90 dC a Newton (1642-1727) e traz como proposta de ensino uma abordagem empírica e histórico-conceitual, baseada em alguns instrumentos criados por cientistas e

filósofos para demonstrar fenômenos da natureza que desencadearam descobertas revolucionárias para o entendimento da óptica moderna e possibilitaram aplicações tecnológicas de largo alcance. O método desenvolvido é fundamentado em fontes que remontam à história da óptica clássica de Ptolomeu a Newton, contada através de experimentos e procurando seguir uma sequência cronológica, especificamente com destaque para alguns experimentos ópticos criados pelos próprios cientistas em sua época.

Conforme o Plano Nacional de Educação – PNE, Lei nº 13.005, de 25 de junho de 2014, anexo com 20 metas e estratégias determina que:

7.12) incentivar o desenvolvimento, selecionar, certificar e divulgar tecnologias educacionais para a educação infantil, o ensino fundamental e o ensino médio e incentivar práticas pedagógicas inovadoras que assegurem a melhoria do fluxo escolar e a aprendizagem, assegurada a diversidade de métodos e propostas pedagógicas, com preferência para softwares livres e recursos educacionais abertos, bem como o acompanhamento dos resultados nos sistemas de ensino em que forem aplicadas; (BRASIL, 2014, p. 473).

Complementar a isso, a Base Nacional Comum Curricular (BNCC) aponta para a importância de se valorizar a história do conhecimento científico (BRASIL, 2018).

O objetivo geral do presente trabalho é apresentar uma proposta educacional para o ensino da óptica clássica através de experimentos com uma abordagem histórica, que possa contribuir de forma relevante para o ensino de óptica geométrica e mostrar a importância do seu contexto histórico, sugerindo a reprodução de experimentos simples que revolucionaram o entendimento desse ramo da ciência.

O texto que se segue foi dividido em seções e subseções. Logo após a introdução, temos a fundamentação teórica, com conceitos pedagógicos, fundamentação física, matemática e histórica. Na segunda seção serão representados teoricamente de acordo com fundamentos físicos os experimentos e um pouco da história da óptica geométrica envolvendo cada experimento. Na terceira seção, apresentaremos a Metodologia, onde serão mostrados modelos de experimentos reproduzidos pelo autor. Na quarta seção serão apresentados os resultados da pesquisa. Por fim, fechamos o trabalho com a seção das Conclusões, fazendo um apanhado geral sobre a pesquisa do tema e sua importância para o ensino de óptica como também as dificuldades enfrentadas.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A importância de se ensinar Física com experimentos está cada vez mais evidente no processo de aprendizado dos alunos do Ensino Básico, “[...] percebe-se que por meio da Física Experimental os alunos são incentivados a raciocinar e a adquirir competências de aplicação dos conhecimentos adquiridos nas aulas teóricas para analisar e resolver problemas.” (GRASSELLI; GARDELLI, 2014, p. 5).

A história é importante para o ensino de ciência porque preserva a memória de descobertas e possibilita a transferência do conhecimento para as próximas gerações. Matos (2001, p. 52). afirma “A memória tem uma função básica na história da humanidade; a melhor compreensão do presente e a reflexão de um futuro que se referencie em situações já vivenciadas, por vezes positivas e noutras nem tanto, deixando em ambas o aprendizado necessário”.

A importância da abordagem histórica no ensino de Física mostra como surgiram grandes descobertas que de alguma forma mudaram a qualidade de vida das pessoas. De acordo com a BNCC:

Indica que as decisões pedagógicas devem estar orientadas para o desenvolvimento de competências. Por meio da indicação clara do que os alunos devem “saber” (considerando a constituição de conhecimentos, habilidades, atitudes e valores) e, sobretudo, do que devem “saber fazer” (considerando a mobilização desses conhecimentos, habilidades, atitudes e valores para resolver demandas complexas da vida cotidiana, do pleno exercício da cidadania e do mundo do trabalho), a explicitação das competências oferece referências para o fortalecimento de ações que assegurem as aprendizagens essenciais definidas na BNCC. (BRASIL, 2018, p. 13).

A LDB determina, ainda, em seu art. 35-A, alterado em 2017 que: a parte diversificada dos currículos de que trata o *caput* do art. 26, definida em cada sistema de ensino, deverá estar harmonizada à Base Nacional Comum Curricular e ser articulada a partir do contexto histórico, econômico, social, ambiental e cultural. (BRASIL, 1996, p. 13).

De acordo com a BNCC, de modo geral, o desenvolvimento das competências para o saber histórico na educação básica pressupõe:

Valorizar e utilizar os conhecimentos historicamente construídos sobre o mundo físico, social, cultural e digital para entender e explicar a realidade, continuar aprendendo e colaborar para a construção de uma sociedade justa, democrática e inclusiva. (BRASIL, 2018. p. 9).

Segundo as normas da BNCC, a contextualização histórica da ciência é válida desde que não se ocupe em meras exposições de datas e nomes de cientistas, mas de “apresentar os conhecimentos científicos como construções socialmente produzidas, com seus impasses e contradições [...]”. (BRASIL, 2018, p. 550).

Aplicar o ensino da história da ciência é importante por diversos motivos:

A tradição contextualista assevera que a história da ciência contribui para o seu ensino porque: (1) motiva e atrai os alunos; (2) humaniza a matéria; (3) promove uma compreensão melhor dos conceitos científicos por traçar seu desenvolvimento e aperfeiçoamento; (4) há um valor intrínseco em se compreender certos episódios fundamentais na história da ciência -a Revolução Científica, o darwinismo, etc.; (5) demonstra que a ciência é mutável e instável e que, por isso, o pensamento científico atual está sujeito a transformações que (6) se opõem a ideologia científicista; e, finalmente, (7) a história permite uma compreensão mais profícua do método científico e apresenta os padrões de mudança na metodologia vigente (MATHEWS 1995, p. 72).

Tal aspecto foi constatado, por exemplo, no trabalho UNIDADE DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVA (UEPS): A IMPORTÂNCIA PARA AS AULAS DE ÓPTICA GEOMÉTRICA NO ESTADO DO TOCANTINS, que discute a relevância dos saberes da óptica geométrica ao longo da história e no processo de ensino-aprendizagem em sala de aula, ressaltando a importância da proposta educacional para ensinar óptica clássica através de experimentos com base no contexto histórico (SOUSA *et al*, 2018).

2.1 A história e a óptica geométrica

Entre a Idade Antiga e a Idade Média decorreram aproximadamente 400 anos sem qualquer registro catalogado do estudo da óptica. Fontes pesquisadas apontam para a estagnação do desenvolvimento de tal área nesse período. Nessa época predominava a óptica geométrica, pois não havia ainda discussões sobre a natureza da luz (BASSALO, 1986, p. 147).

2.1.1 A luz

Os relatos apontam que os gregos antigos, por volta de 800 a.C., foram os primeiros a discutir sobre o comportamento da luz, sua formação e como era captada pelos olhos. As primeiras civilizações acreditavam que a luz era um fenômeno divino. Rosmorduc (1983 *apud* BASSALO, 1986) em *De Tales a Einstein*, diz que os antigos egípcios acreditavam que a luz

era Maât, filha de Rá, o Deus sol. Já para os antigos Hebreus, defendiam Deus como criador da luz.

De acordo com Rosmorduc (1983 *apud* BASSALO, 1986) os registros apontam que a formação e a propagação da luz foram questionadas pela primeira vez pelos antigos gregos, de um ponto de vista mais racional, sem recurso a deuses e mitos. Ainda segundo esse autor e sua obra, para Homero, poeta grego do século IX ou VIII a.C., a luz se originava dos olhos.

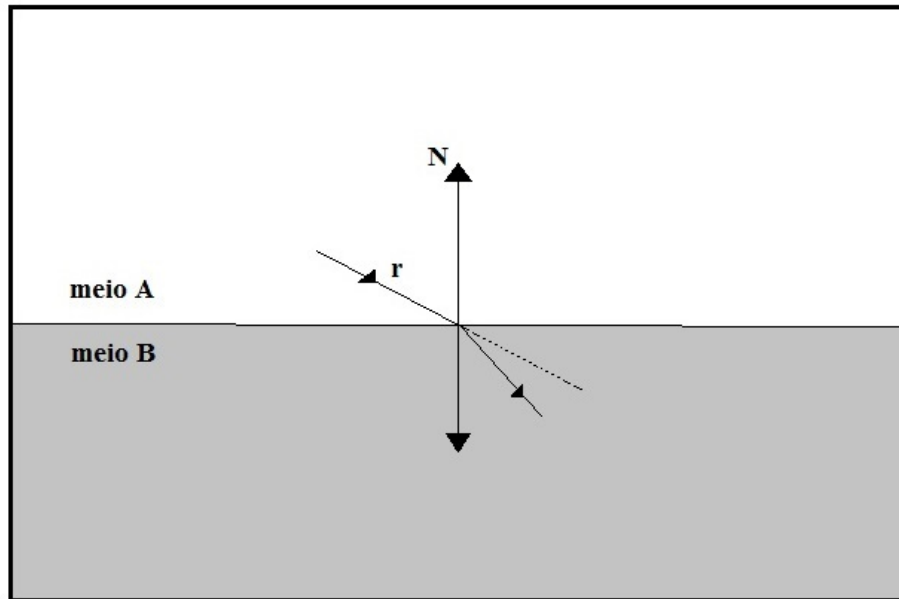
Conforme Hoffmannem (1981 *apud* BASSALO, 1986), Em *L'Etrange Histoire des Quanta*, para o filósofo grego Pitágoras (580-500 a.C.), os objetos é que emitiam luz para os olhos. Como também podemos ver em *A Escalada do Homem*, Bronowski (*apud* BASSALO, 1986), ressalta que a origem e a natureza da luz só foram explicadas de modo definitivo pelo físico e matemático iraquiano Abu- Ali Al-Hasan Ibn Al-Haytham (Al-Hazen), (a.C. 965-1038) ao acreditar que a fonte dos raios luminosos está no Sol ou em qualquer outro objeto que emita luz, e que a visão se deve tão somente à reflexão desses raios para os olhos que estão observando determinado objeto. A natureza da luz como entendida por Johannes Kepler, a luz não tinha massa e possuía velocidade instantânea.

Com base nesse entendimento a luz não era matéria e não tinha contato com os componentes dos olhos, o que contribuiu para o entendimento da ótica geométrica. (TOSSATO, 2007). Por muito dessa tentativa de compreensão dos fenômenos ópticos só foi possível graças à realização de experimentos simples e à construção de aparatos igualmente simples, mas engenhosos.

2.1.2 Recipiente opaco com água e uma moeda no fundo

Um dos primeiros estudos sobre o fenômeno da refração foi descrito pelo astrônomo grego Cláudio Ptolomeu 90 d.C, em seu livro *Óptica*, no século II d.C. O experimento realizado por Ptolomeu remete à ótica geométrica visto que a maioria dos experimentos modernos estão voltados para ótica física. Para descrever a refração, Ptolomeu em seu livro argumenta sobre o experimento da moeda no fundo de um recipiente opaco, que ao encher-se com água, torna visível o objeto. (MARTINHO; SOARES, 2017, p. 2).

Figura 1 - Representação gráfica do fenômeno de refração



Fonte: Elaborado pelo autor.

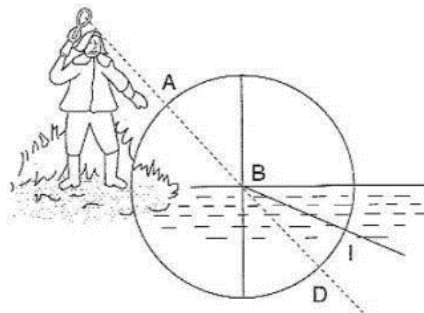
A Figura 1 representa a lei de refração como conhecemos atualmente, meio A e meio B com raio r incidindo na superfície e ao atravessar para o meio B se aproximando da reta normal N .

A lei de refração, já conhecida por Willebrord Snell em 1621, explicada por Descartes em 1637 diz que o raio refratado também permanece no plano de incidência e é dado por:

$$\frac{\text{sen}\theta_a}{\text{sen}\theta_b} = n_{ab} \quad (2.1.1)$$

onde n_{ab} é constante e representa o índice de refração do meio B relativo ao meio A.

Figura 2 - Imagem descritiva da refração corpuscular de Descartes



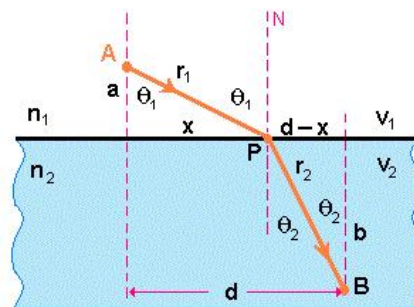
Fonte: Adaptado de Nussenzveig (1998).

A explicação corpuscular da refração mostrada na figura original de Descartes, Figura 2, uma bola de tênis voa pelo ar e penetra na água no ponto B e desvia da trajetória original BD para BI pois perde parte da componente vertical de sua velocidade ao penetrar na água em que tem sua velocidade reduzida (NUSSENZVEIG, 1998, p. 8).

Fermat (1698-1759) mostrou o princípio do tempo mínimo com a hipótese de que o inverso da velocidade da luz em meios mais densos era maior que a dos meios menos densos. (BASSALO, 1986, p.152). Portanto, a luz procura o menor tempo para prosseguir seu caminho.

Pelo princípio de Fermat, a lei de refração, conhecida também como lei de Snell-Descartes, diz que dados dois meios homogêneos, com índices de refração diferentes n_1 e n_2 , a luz ao atravessar o meio n_2 , desvia sua trajetória, devido ao fenômeno de refração.

Figura 3 - A ilustração gráfica representa Princípio de Fermat para refração: o tempo de A à B é mínimo, que corresponde ao caminho APB



Fonte: <https://www.infoescola.com/fisica/principio-de-fermat/>

Como podemos ver na Figura 3, AP corresponde o raio de luz incidente r_1 , PB o raio refratado r_2 . O tempo que o raio percorre AB é igual à soma de AP com PB.

Conforme a equação abaixo, o tempo é dado por:

$$t = \frac{r_1}{v_1} + \frac{r_2}{v_2}. \quad (2.1.2)$$

O índice de refração é definido como a razão da velocidade da luz no vácuo pela velocidade da luz no meio, v é obtido como:

$$v = \frac{c}{n}. \quad (2.1.3)$$

Utilizando (2.1.3) em (2.1.2) temos:

$$t = \frac{n_1 r_1}{c} + \frac{n_2 r_2}{c}. \quad (2.1.4)$$

Através de manipulação algébrica, de acordo com a Figura 3, substituímos r_1 e r_2 :

$$\frac{dt}{dx} = \frac{1}{c} \left[n_1 \cdot \sqrt{a^2 + x^2} + n_2 \cdot \sqrt{b^2 + (d - x)^2} \right]. \quad (2.1.5)$$

Derivando a expressão (2.1.5) e igualando a 0 para obter o valor mínimo de x obtemos:

$$\frac{n_1 \cdot x}{\sqrt{a^2 + x^2}} = \frac{n_2 (d - x)}{\sqrt{b^2 + (d - x)^2}}. \quad (2.1.6)$$

Portanto, através da expressão (2.1.6) temos:

$$n_1 \cdot \text{sen}\theta_1 = n_2 \cdot \text{sen}\theta_2. \quad (2.1.7)$$

A equação (2.1.6) é a lei de refração de Snell-descartes, que corresponde o tempo mínimo de A até B.

2.1.3 Leis da Reflexão e Refração

A Lei da reflexão, consiste na relação da reta normal com raio incidente formar um ângulo igual ao ângulo do raio refletido.

$$\theta_1 = \theta_2. \quad (2.1.8)$$

Lei de refração, dado uma luz monocromática que atravessa dois meios a e b, separados pela interface diz que a razão entre o seno dos ângulos θ_a e θ_b em que esses ângulos estão relacionados a normal com superfície é igual ao inverso da razão entre os dois índices de refração (YOUNG, 2008, p. 25). como mostra a equação:

$$\frac{\text{sen}\theta_a}{\text{sen}\theta_b} = \frac{n_b}{n_a}. \quad (2.1.9)$$

2.1.4 Índice de refração

O índice de refração caracteriza os meios transparentes e homogêneos como o ar, vidro, água, entre outros. Quando um raio de luz atravessa dois meios com índice de refração diferentes ocorre uma mudança de velocidade da luz, com isso ocorre um desvio. “Em 1850, Foucault e Fizeau mediram as velocidades da luz no ar e na água e mostraram que a velocidade na água é menor do que no ar”. (NUSSENZVEIG, 1998, p. 10).

O índice de refração no vácuo é considerado igual a 1 e para se obter n , índice de refração absoluto de um meio, devemos considerar a razão c que é a velocidade da luz no vácuo e v , velocidade do raio de luz no meio como:

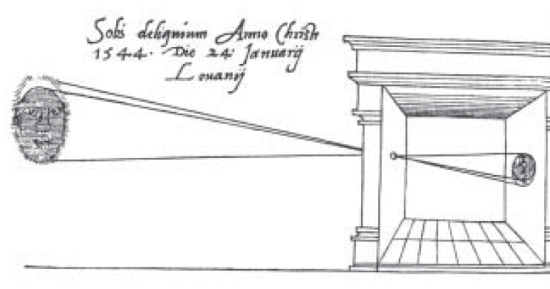
$$n = \frac{c}{v}. \quad (2.1.10)$$

2.1.5 A Origem da Câmara Escura de Orifício

Os mesmos princípios utilizados nas câmeras fotográficas atuais, se assemelha a Câmara Escura de Orifício. Segundo os registros, as primeiras descobertas que originou a descoberta da Câmara Escura de Orifício, aponta para o filósofo grego Aristóteles do século IV a.C. Della Porta em sua obra *Magia Naturalis* (1589) descreveu como descobrir uma imagem através da Câmara Escura. Vitelo, ao longo da história foi outro grande nome a explicar o princípio da Câmara Escura (BASSALO, 1986, p. 149).

Por volta dos séculos XVI e XVII, a utilização de Câmara Escura de Orifício para observações astronômicas era bastante comum. Com a utilização desse instrumento, Johannes Kepler (1571-1630), aprofundou os estudos em óptica para compreender fenômenos astronômicos como eclipses solares (CANATO, 2008). Kepler utilizou as descobertas dos anatomistas Félix Plater (1536-1614) e Johannes Jessenius de Jessen (1566-1621) para mostrar que a Câmara Escura é semelhante ao olho humano. (TOSSATO, 2007). No olho a luz refrata e forma imagem na retina. Na Câmara Escura, ocorre o mesmo princípio, o raio de luz ao passa por um pequeno orifício forma a imagem no fundo como representado graficamente na Figura 4.

Figure 4 - A imagem representa uma Câmara Escura com imagem invertida de um eclipse solar projetado no fundo



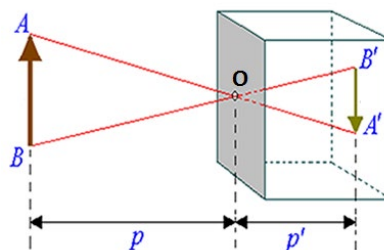
Fonte: <https://www.revistas.usp.br/ss/article/view/11096/12864>

A figura 4 datada de 1544 com inscrição Solis Designium (desenho do sol) de acordo com Motta (2011), surge a primeira ilustração da Câmara Escura, na obra de Reiner Gemma Frisius (1508-1555), físico e matemático holandês.

2.1.6 Câmara Escura de Orifício

A Câmara Escura de Orifício é um instrumento óptico, têm formato de uma caixa com suas paredes opacas e um pequeno orifício. Utiliza os mesmos princípios de uma câmera fotográfica, esse instrumento apresenta o princípio da independência dos raios de luz. Quando posicionamos um objeto na frente da Câmara Escura de Orifício, raios de luz refletidos ou emitidos, pelo objeto, passam através do orifício e forma uma imagem menor e invertida no fundo da caixa conforme a Figura 5:

Figura 5 - Representação gráfica da imagem A'B' formada de um objeto AB através da Câmara Escura de Orifício



Fonte: <https://brasilescola.uol.com.br/fisica/camara-escura-orificio.htm>.

Como podemos observar na Figura 5, A'B' representa a imagem formada no fundo da caixa, P' representa a distância do orifício O ao fundo da caixa e P é a distância do objeto até o orifício O. As alturas do objeto e da imagem podem ser relacionadas pelas distâncias P e

P', geometricamente por semelhanças de triângulos (TORRES; RERRARO; SOARES; PENTEADO, 2013, p. 199).

Para os triângulos da Figura 5, temos a relação:

$$\frac{A'B'}{AB} = \frac{P'}{P}. \quad (2.1.11)$$

2.1.7 Princípios fundamentais da óptica geométrica

Os fundamentos da óptica geométrica se baseiam em três princípios fundamentais:

O primeiro é a propagação retilínea da luz em meios homogêneos – a luz se propaga em linha reta e em várias direções e sentidos.

O segundo é a independência dos raios de luz, quando se cruzam não interferem na trajetória um do outro.

E no terceiro princípio tem-se que a trajetória percorrida por um raio de luz é a mesma que ele percorreria caso seu sentido de propagação fosse invertido.

2.1.8 A história da Luneta

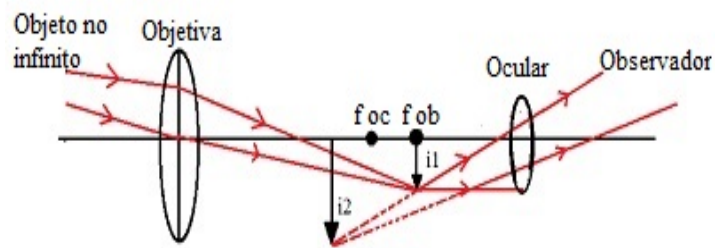
A capacidade de polir o vidro propiciou um importante avanço para obtenção de lentes de boa qualidade para correção dos problemas da visão. Com isso surgiram os fabricantes de óculos que foram os inventores dos instrumentos ópticos. (BASSALO, 1986, p. 148).

Os primeiros relatos sobre a criação da luneta, surgiu através do Alemão Hans Lippershey (1570-1619). (BASSALO, 1986, p. 148). Com base nas descobertas de Lippershey, Galileu Galilei (1564-1642) em 1609 constrói sua própria luneta e faz importantes descobertas científicas, contrariando as crenças daquela época ao demonstrar com o uso da luneta que a Terra não era o centro do universo. (LUIZA, 2016).

2.1.9 Luneta Astronômica

As lunetas astronômicas são instrumentos ópticos utilizados para observar objetos muito distantes. Esse instrumento utiliza duas lentes, convergentes, uma objetiva, com diâmetro maior e a outra ocular com diâmetro menor.

Figura 6 - A representação gráfica da formação de imagem de uma luneta astronômica



Fonte: <https://www.preparaenem.com/fisica/telescopio.html>

A formação da imagem vista por um observador em uma luneta, ocorre quando a luz que vem do infinito refrata na lente objetiva e forma uma imagem real i_1 e invertida no foco imagem da objetiva f_{ob} . Por sua vez, a imagem da objetiva f_{ob} será objeto para lente ocular, que forma uma imagem virtual maior e invertida i_2 de acordo com a Figura 6.

Já o aumento visual de uma luneta, é expresso por G na equação que é a relação da distância focal da objetiva e a distância focal da ocular:

$$G = \frac{f_{ob}}{f_{oc}}. \quad (2.1.12)$$

A dioptria é a capacidade de uma lente convergir ou divergir raios de luz incidente (TORRES, *et al*, 2013, p. 249). A expressão que determina a dioptria D é o inverso da distância focal.

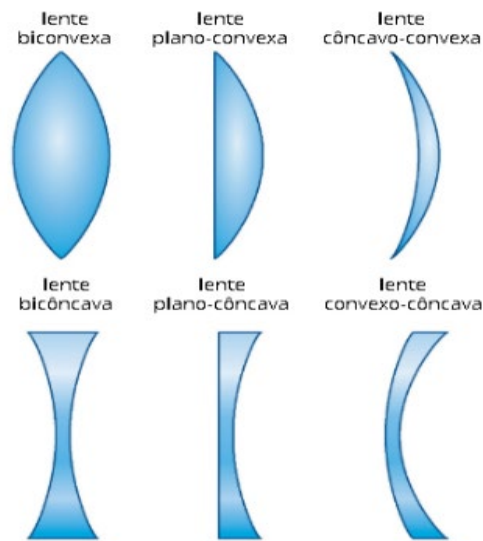
$$D = \frac{1}{f}. \quad (2.1.13)$$

2.1.10 Lentes esféricas e delgadas

As lentes são materiais geralmente de vidro e são utilizadas em câmeras fotográficas, óculos e instrumentos de observações astronômicas. As lentes podem ser divergentes ou convergentes, e são utilizadas para formar imagens por refração.

Existem seis tipos de lentes; biconvexa, plano-convexa e côncavo-convexa que são lentes delgadas de bordas finas; já as lentes de borda espessas são; bicôncava, plano-côncava e convexo-côncava. (RAMALHO JUNIOR; FERRARO; SOARES, 2003, p. 278). A Figura 7 mostra graficamente os tipos de lentes.

Figura 7 - Representação esquemática de seis tipos de lentes



Fonte: <https://brasilecola.uol.com.br/fisica/equacao-dos-fabricantes-lentes.htm>.

2.1.11 A história do prisma

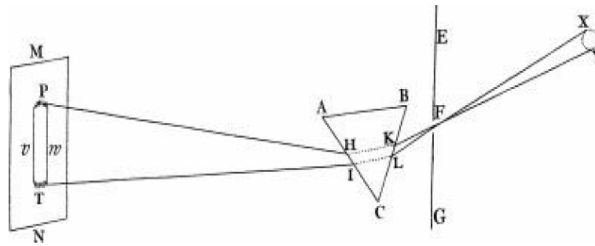
Nos livros didáticos atuais o prisma é apresentado como um instrumento para o ensino da óptica ressaltando que a luz ao atravessar o prisma se decompõe em sete cores diferentes. Ao longo da história da óptica, o prisma surgiu da necessidade de responder a algumas perguntas, uma delas era sobre a dispersão da luz, fenômeno observado na natureza como no arco-íris, em que a luz branca se dispersava em cores diferentes ao atravessar um meio transparente, como nas gotículas de água. Conforme mostra Bassalo (1986), Wileto escreveu *Perspectiva*, um tratado fundamentado em Ptolomeu e AL-Hazen, escrito em 1274, descreve a dispersão da luz branca através de um prisma hexagonal e em esferas de vidro cheias de água.

Na tentativa de explicar as cores a dispersão da luz branca, foi Isaac Newton (1642-1727) o primeiro a explicar de forma razoável esse fenômeno (BASSALO, 1986, p. 141).

Newton dizia que a luz branca ou luz solar não eram tão pura como se acreditava e sim uma mistura com raios de diferentes cores:

Para realizar minha recente promessa ao senhor, direi sem maiores cerimônias que, no ano de 1666, ... equpei-me com um prisma triangular de vidro, para tentar [testar] com ele o famoso *Fenômeno das cores*. E, tendo para isso escurecido meu quarto e feito um pequeno furo na veneziana da janela, para deixar entrar apenas a quantidade conveniente de luz solar, coloquei meu prisma nessa entrada, para que assim essa fosse refratada para a parede oposta. No início foi um divertimento muito agradável ver as cores vívidas e intensas serem produzidas desse modo (CREASE, 2006, p. 65).

Figura 8 - Representação gráfica da imagem oblonga de um raio solar após atravessar um prisma conforme visto por Newton



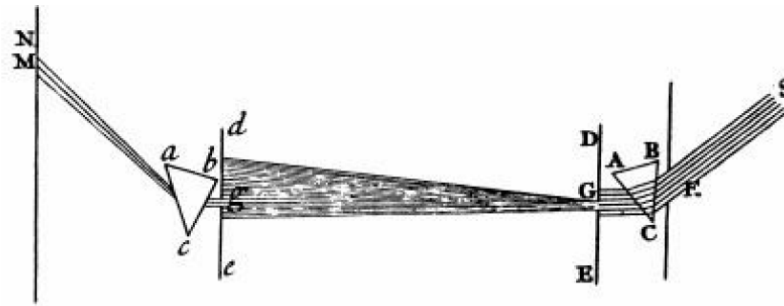
Fonte: Adaptado de Crease (2006).

De acordo com conceito de refração da época, Newton ficou intrigado com as formas assumidas pelas cores: “Fiquei surpreso ao vê-las numa forma *oblonga*; as quais, de acordo com as leis recebidas sobre a refração, deveriam ser *circulares*”. Para Newton as cores apresentavam em faixas horizontais com vermelho em uma extremidade e o azul em outra (CREASE 2006, p. 70). Conforme Crease (2006), para Descartes e outros, acreditavam que o prisma modificava a luz branca para produzir o espectro. Como podemos ver na Figura 8, o raio que sai do prisma deveria ser circular conforme o raio que o penetra. Outro aspecto observado por Newton, os contornos da imagem formada pareciam borrados enquanto que as faixas estreitas eram nítidas.

Como pode-se observar, Newton descreve o experimento que chamou de ‘*experimentum crucis*’ ou ‘experimento crucial’ da seguinte forma:

A remoção gradativa dessas suspeitas levou-me ao *experimentum crucis*, que era o seguinte: peguei duas pranchas e coloquei uma delas perto, por trás do prisma, na janela, de modo que a luz passasse através de um pequeno furo, nela feito com esse propósito, e caísse na outra prancha, que coloquei a cerca de 3,65m de distância, tendo primeiro feito também uma perfuração nela, para que alguma luz incidente passasse através dele. Então coloquei outro prisma por trás dessa segunda prancha, de modo que a luz, atravessando ambas as pranchas, pudesse atravessar também esse prisma e novamente ser refratada antes de chegar à parede. Feito isso, tomei o primeiro prisma em minha mão e girei-o lentamente, de cima para baixo, em torno do eixo, de modo a fazer com que as várias partes da imagem, captadas pela segunda prancha, passassem sucessivamente através do furo feito nela, para que eu pudesse observar em que lugares da parede o segundo prisma as refrataria. E vi, pela variação desses lugares, que a luz tendente para aquele fim da imagem, em direção do qual a refração do primeiro prisma se processava, fazia com que o segundo prisma sofresse uma refração consideravelmente maior que a luz tendente para a outra extremidade (CREASE, 2006, p. 72).

Figura 9 - Representação gráfica do experimento crucis realizado por Newton



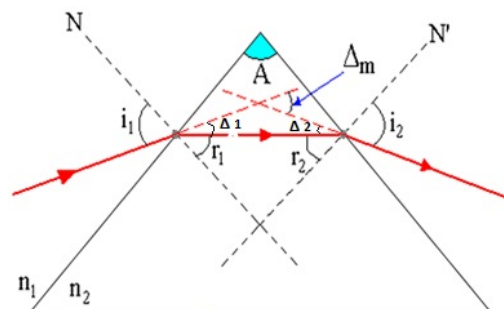
Fonte: Adaptado de Crease (2006).

Newton concluiu ao observar o experimento que os raios azuis sofriam uma maior refração no segundo prisma, já os raios vermelhos sofriam uma menor refração no segundo prisma do que no primeiro. Outro ponto observado foram os contornos da forma oblongas borrados que seriam devido a poucos raios de luz que chegavam nas extremidades de cima e de baixo. Newton também disse que os raios azuis e vermelhos refratados não dependiam do ângulo de incidência e concluiu que a refração dos raios eram uma propriedade dos próprios raios e não do prisma. Os raios conservavam sua refração enquanto passavam através dos dois prismas. (CREASE, 2006, p. 73).

2.1.12 Propriedades do prisma

O prisma é um instrumento óptico transparente com formato triangular e de faces não paralelas, que de modo geral provoca um desvio da luz branca ou monocromática. Os raios de luz que atravessam o prisma obedecem à lei da refração, outro princípio da óptica geométrica.

Figura 10 - Desvio da luz produzida por um prisma de secção triangular



Fonte: <https://mundoeducacao.uol.com.br/fisica/conhecendo-desvio-angular.htm>

Se considerarmos a Figura 10, um raio de luz monocromática e um prisma de vidro com índice de refração n_2 e o meio n_1 o ar, o ângulo Δ_m é o desvio angular, o ângulo i_1 é o ângulo de incidência na primeira face, i_2 é o ângulo emergente, r_1 , ângulo de refração na primeira face, r_2 é o ângulo de incidência na segunda face, A é o ângulo de refração entre as faces (RAMALHO JUNIOR; FERRARO; SOARES, 2003, p. 258).

Através da Figura 10, podemos obter a seguinte relação geométrica:

O ângulo externo de um triângulo é igual à soma de dois ângulos internos não adjacentes a ele, portanto, o ângulo A fica:

$$A = r_1 + r_2 . \quad (2.1.14)$$

Outra relação que pode ser obtida conforme a Figura 10 é o desvio angular:

$$\Delta_m = \Delta_1 + \Delta_2 . \quad (2.1.15)$$

Temos também $i_1 = \Delta_1 + r_1$ e $i_2 = \Delta_2 + r_2$ por serem ângulos opostos pelo vértice temos que:

$$\Delta_m = i_1 + i_2 - A . \quad (2.1.16)$$

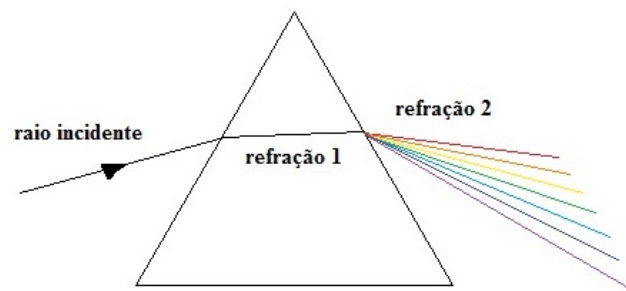
A equação (2.1.16) mostra que o desvio angular depende do ângulo de incidência i_1 , da abertura A e do índice de refração n_2 no meio de i_2 .

O desvio da luz ao atravessar o prisma tem um valor mínimo δ , ocorre quando o ângulo de incidência i_1 é igual ao ângulo de emergência i_2 , portanto temos:

$$A = 2r . \quad (2.1.17)$$

$$\delta = 2i - A . \quad (2.1.18)$$

Figura 11 - Representação gráfica do raio de luz branca ao incidir e refratar num prisma



Fonte: Elaborado pelo autor.

3 METODOLOGIA

A pesquisa aqui apresentada segue um aspecto qualitativo (teórico e prático), com a finalidade de uma proposta educacional, de acordo com uma abordagem histórico-conceitual e empírica. Os procedimentos de pesquisa foram fundamentados em estudos bibliográficos, coletados de documentos como sites da Internet, livros, artigos, revistas científicas e anotações obtidas nas aulas das disciplinas de PCC de Óptica e FHFSC, assim como em discussões com o orientador da pesquisa. A finalidade desta originalmente foi a de se aplicar uma proposta educacional em turmas do Ensino Médio, o que não foi possível devido ao cenário de pandemia que ainda vivemos. Mas fica a proposta de sua confecção e utilização em sala de aula.

Os experimentos desenvolvidos e apresentados são em número de quatro, a saber: o do copo com água e moeda, da câmara escura, do prisma e da luneta, os quais basicamente ilustram os fenômenos da reflexão e da refração, assim como os princípios da óptica geométrica, descobertos desde a antiguidade até a era moderna. Estes experimentos foram produzidos com materiais de baixo custo e podem ser reproduzidos facilmente para o ensino de óptica geométrica fazendo-se a devida contextualização histórica, uma vez que a óptica física, que trata da natureza da luz, só começou a se desenvolver a partir do século XIX, estando fora, portanto, do escopo do presente trabalho.

Os experimentos citados foram confeccionados por nós, com base exclusivamente em materiais alternativos e de fácil acesso para reprodução, visando o ensino de óptica geométrica para turmas do Ensino Médio. Com base em pesquisas de textos que remontam a história da óptica geométrica, os experimentos foram organizados em ordem cronológica, ou seja, de acordo com cada época.

A proposta educacional enfocada se baseou em uma pesquisa teórica, a partir de verificações de fontes bibliográficas e discussões com o orientador da pesquisa, procurando evidenciar a importância da história e da demonstração da óptica geométrica de forma empírica dentro do contexto de cada época, realizadas para o entendimento de seus conceitos e princípios.

O tema apresentado tem como objetivo contribuir para o ensino de óptica geométrica, visto que a história da ciência potencializa o entendimento das suas descobertas como é apresentada atualmente. Portanto a ideia tem como proposta o professor reproduzir experimentos e evidenciar abordagens histórico-conceitual.

3.1 Recipiente opaco com água e uma moeda no fundo.

No experimento do recipiente opaco com água, século II d.C. Proposto por Cláudio Ptolomeu, demonstra-se a lei da refração, também conhecida nos livros didáticos atuais como lei de Snell-Descartes. Os raios de luz, refletidos pela moeda no fundo do copo opaco não será visto até que seja colocado água no recipiente conforme a Figura 12 e 12a.

Figura 12 e 12a - A Figura 12 mostra um recipiente opaco vazio, a Figura 12a, mostra o mesmo recipiente com água e uma moeda aparecendo no fundo



Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 1– A tabela mostra respectivamente através de coluna os materiais e montagem do experimento da seção (4.1) da figura 12 e 12a

MATERIAIS	MONTAGEM
Uma moeda 2 cm de diâmetro.	Fixar uma moeda 2 cm de diâmetro no fundo do recipiente opaco branco com formato cilíndrico, 7 cm de diâmetro por 10 cm de altura.
Um recipiente opaco branco com formato cilíndrico, 7 cm de diâmetro por 10 cm de altura.	
285 ml de água.	

Fonte: Elaborado pelo autor.

Foi feita a execução do experimento da seguinte forma:

O recipiente com uma moeda no fundo, foi colocado sobre o solo e tomado uma distância de 100 cm do observador, não foi possível ver a imagem da moeda no fundo do recipiente de acordo com a Figura 12. Já na Figura 12a, podemos ver a moeda após preencher o recipiente com água.

Pode-se concluir que o fenômeno de refração ocorre quando podemos visualizar a moeda que está em um meio com índice de refração maior, água, e o observador em um meio com índice de refração menor, o ar.

3.2 Câmara Escura de Orifício

A criação da câmara escura, de acordo com a história, tem origem por volta de IV a.C, um dos instrumentos mais antigos da história da óptica.

A Imagem externa projetada através de um pequeno orifício no interior da câmara escura, obedece ao princípio da propagação retilínea da luz, devido a formação invertida no fundo da Câmara Escura.

Figura 13 - Foto de uma Câmara Escura de Orifício



Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 2 - A tabela mostra respectivamente através de colunas os materiais e montagem do experimento da seção (3.2) da Figura 13

MATERIAIS	MONTAGEM
Quatro tábuas de madeira MDF 25 x 10 cm x 3 mm.	Primeiro passo: Serrar um quadrado de 8 x 8 cm inscrito em uma das tábuas de 10 x 10 cm que contém a base menor, o fundo da câmara escura.
Duas tábuas MDF 10 x 10 cm x 3 mm.	Segundo passo: Na outra tábua 10 x 10 cm x3 mm, fazer um pequeno furo no centro com um pequeno prego para entrada dos raios de luz.
Papel Vegetal 10 x 10 cm.	Terceiro passo: Usar cola branca de papel e juntar as partes no formato de uma caixa.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Como mostra a Figura 13, a Câmara Escura tem um formato geométrico de um paralelepípedo retangular. Com as dimensões 25 x 10 x 10 cm, base maior 25 cm, base menor 10 cm e altura 10 cm, que pode ser montada através das instruções na Tabela 2.

Figure 14 - A imagem mostra a Câmara Escura de Orifício e a projeção da imagem de uma chama de vela no fundo



Fonte: Elaborado pelo autor

A Figura 14 mostra a imagem, chama de vela no fundo da Câmara Escura de Orifício, podemos ver através do papel vegetal que a imagem aparece invertida e que obedece aos princípios da óptica geométrica como mostrado na seção 2.1.7.

3.3 Luneta astronômica

A luneta astronômica, um importante instrumento óptico que revolucionou a ciência, principalmente do campo da astronomia foi Galileu Galilei um dos principais cientistas a fazer descobertas com esse instrumento.

A luneta da Figura 15 foi confeccionada com materiais de PVC e lentes convergentes de óculos.

Figura 15 - Imagem mostra os materiais utilizados na confecção da luneta



Fonte: Elaborado pelo autor.

A lente convergente ocular da Luneta astronômica tem Dioptria +5 di, a lente convergente objetiva tem Dioptria +1,5 di, como foi dito na seção (2.1.9), a dioptria é a capacidade de uma lente convergir ou divergir os raios de luz através da refração. A luneta pode ser montada de acordo com as instruções da Tabela 3 e conforme os materiais da Figura 15.

Tabela 3 – A tabela mostra respectivamente através de colunas os materiais e montagem do experimento da seção (3.3) da Figura 15

MATERIAIS	MONTAGEM
7. Luva soldável 25 mm.	Primeiro passo: encaixar 1. Lente ocular em 2.
4. Bucha de redução soldável 20 x 25 mm.	Segundo passo: rosquear 3. em 2.
2. Luva PVC Solda Cola e Rosca Lr de 25 mm x $\frac{3}{4}$.	Terceiro passo: encaixar 4. em 3.
5. PVC 20 mm por 40 cm de comprimento.	Quarto passo: encaixar 5. em 4.
6. PVC 25 mm por 42 cm	Quinto passo: encaixar 6. em 7.
3. Adaptador PVC Solda Rosca Curto de 25 mm x $\frac{3}{4}$	Sexto passo: encaixar 8. em 7.
8. Lente objetiva +1,5 de dioptria.	Sétimo passo: inserir 6. em 5.
1. Lente ocular de +5 de dioptria.	

Fonte: Elaborado pelo autor.

Através da Figura 16 pode se ver a Luneta astronômica montada. Devido ao PVC 20 mm, ficar dentro do PVC 25 mm, o observador poderá ajustar o foco para melhorar a visualização.

Figure 16 – A imagem mostra a luneta montada de acordo com a tabela 3



Fonte: Elaborado pelo autor.

3.4 Prisma

A reprodução do prisma foi possível com vidro 3 mm com auxílio de um cortador de vidro, para obter as medidas desejadas. O cortador de vidro é de fácil acesso em lojas de matérias de construção. Na Figura 17 podemos ver o prisma montado de acordo com a Tabela 4.

Figura 17 – Foto do prisma construído de base triangular



Fonte: Elaborado pelo autor.

Através da Figura 17 podemos ver o prisma montado. A foto foi tirada da parte de cima do prisma, que está sobre uma superfície plana, que pode ser montado de acordo com as instruções da Tabela 4.

Tabela 4 – A tabela mostra respectivamente através de colunas os materiais e montagem do experimento da seção (3.4) da Figura 17

MATERIAIS	MONTAGEM
Vidros de espessura 3 mm	Primeiro passo: Juntar as partes com cola silicone as arestas dos Três vidros retangulares de 5 x 14,5cm cada para dar forma ao prisma
Três vidros retangulares de 5 x 14,5cm cada	Segundo passo: Usar colar silicone em uma das bases triangular
Dois vidros triangular com 7cm de lado cada	Terceiro passo: encher o prisma com água e colar a outra parte triangular para fechar o prisma completamente.
Água	
Cola de silicone	
Agulha com seringa	

Fonte: Elaborado pelo autor.

Ao reproduzir o experimento com prisma, pôde-se observar através dos resultados finais a dispersão da luz solar branca em diversas cores, como pode ser observado através da Figura 18:

Figure 18 - A imagem mostra a refração e dispersão da luz solar pelo prisma



Fonte: Elaborado pelo autor.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O tema pesquisado optou por uma pesquisa qualitativa (teórica/empírica), através de métodos históricos e experimentais com uma proposta de reproduzir experimentos para o ensino de óptica clássica tendo em vista que, torna mais interessante para o educando compreender os desafios enfrentados diante de tecnologias atuais.

O ensino com experimentos que remontam a história da óptica clássica pode ser realizado como um recurso auxiliar e complementar em sala de aula, visto que muitas vezes o contexto histórico é negligenciado e também suprimido. De acordo com a BNCC, o ensino que aborda o contexto histórico de desenvolvimento das ideias científicas deve ser valorizado.

Os experimentos que aparecem na seção (3), podem ser utilizados como modelos a serem reproduzidos, feitos com materiais alternativos e de fácil acesso.

Após a aplicação dos experimentos e diante de várias formas de avaliar a aprendizagem do aluno, o professor poderá elaborar questionários semi-estruturados com perguntas conceituais de caráter qualitativo, tais como:

Qual contexto vivia a humanidade na época em que Isaac Newton (1642-1727) fez várias descobertas para ciência, inclusive a óptica?

A ciência era livre pra divulgar as descobertas?

A descoberta da Luneta teve uma grande importância para a astronomia. A luneta, quando foi descoberta, teve como propósito inicial fazer descobertas astronômicas?

Quais as transformações mais relevantes sofridas pela óptica geométrica?

São perguntas que envolvem o contexto científico e social, revelando o aspecto humano da ciência, mostrando assim que ela tem um caráter mutável que se opõe mas que também confirma certas ideologias, com o aluno aprendendo a partir dos desafios enfrentados em cada época.

Contudo a pesquisa como proposta de ensino não pode ser aplicada devido a momentos de pandemia (COVID 19) em que o mundo está vivendo, com aulas presenciais paralisadas.

Portanto, através dos resultados alcançados a proposta de ensino aqui defendida, fica em aberto, com possibilidade para aperfeiçoamento e teste com alunos de ensino Médio,

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A ocasião que deu início ao desenvolvimento do trabalho surgiu do resgate de anotações obtidas após as disciplinas cursadas na graduação, (PCC de óptica) e (FHFSC). O objetivo geral teve como proposta reproduzir experimentos de baixo custo como modelo, que possibilitasse aos alunos aprender conceitos ópticos de forma histórico-conceitual, visto que a história da ciência, assim como a prática com experimentos quantitativos e qualitativos, possui um potencial de aprendizagem interessante para os alunos e é defendida nos métodos de ensino atuais.

O experimento na seção (3.1), recipiente com água e uma moeda dentro da Figura 12 e 12a como exemplo é relativamente simples, explica um conceito óptico da refração de forma bastante prática, fácil e curiosa para o entendimento do aluno, sem descuidar do aspecto matemático, e o mais interessante é mostrar a história por trás do experimento, como nos outros casos estudados.

A proposta educacional defendida neste trabalho veio, assim, ressaltar a importância da história para o ensino de ciência, particularizada para a história da óptica geométrica desde Ptolomeu em 90 d.C a Newton (1642-1727) através de experimentos realizados em cada época, como o já citado recipiente-água-moeda, Câmara Escura de Orifício, prisma de Newton, e Luneta, elucidando os principais fenômenos e princípios da óptica geométrica.

A construção dos experimentos foi possível com materiais de baixo custo e de simples reprodução. Em sala de aula, o professor juntamente com os alunos poderá empregá-los de forma fácil e interativa. A proposta de ensino, no entanto, não foi aplicada devido ao momento de pandemia que o mundo está atravessando, e essa nova realidade tornou impossível que fosse testada nas escolas. A pesquisa teve como fonte artigos, livros eletrônicos por meio da internet, notas de aula e discussão com o professor orientador. O acesso à biblioteca também não foi possível devido à pandemia, o que deixou de contribuir para atingir de forma plena os objetivos esperados.

Portanto, a ideia da proposta de ensino desenvolvida foi fundamentada nas leis universais da Física, deixando em aberto possibilidades para aperfeiçoamento e aplicações. A pesquisa se restringiu à história da óptica geométrica; contudo, sabemos que a ciência filosoficamente segue várias vertentes, e o conhecimento histórico é primordial para entender o presente e contribuir para a revolução da ciência e, conseqüentemente, para o seu ensino e aprendizagem.

REFERÊNCIAS

- BARRA, Eduardo Salles de Oliveira. **A função do dogma na investigação científica, de Thomas Kuhn**. 2012. Disponível em: <https://www.acervodigital.ufpr.br/handle/1884/29751>, Acesso em: 20 de nov. 2021.
- BASSALO, José Maria Filardo. A CRÔNICA DA ÓTICA CLÁSSICA. **Cad. Cat. Ensino Física**, Florianópolis, v. 3, n. 3, p.138-159, dez. 1986. Disponível em: <file:///C:/Users/realcaixa/Downloads/Dialnet-ACronicaDaOticaClassica-5165743.pdf>. Acesso em: 28 de nov. 2019.
- BRASIL. Governo Federal do Brasil. LEI Nº 9.394, DE 20 DE DEZEMBRO DE 1996. 1996. **Diário Oficial da União**, Brasília, 1996. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19394.htm. Acesso em: 22 nov. 2021.
- BRASIL. **Base Nacional Comum Curricular - Educação é a Base**. Brasília: MEC, 2018. Disponível em <http://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/BNCC_EI_EF_110518_-versaofinal_site.pdf>. Acesso em: 23 set. 2019.
- BRASIL. Mec. **Plano Nacional de Educação - PNE**. Lei nº 13.005, de 25 de junho de 2014. **Diário Oficial da União**, Brasília, 2014. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2014/lei/113005.htm. Acesso em: 23 de nov. 2021.
- CADERNO BRASILEIRO DE ENSINO DE FÍSICA. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 1995-. Quadrimestral. ISSN 2175-7941. DOI: <https://doi.org/10.5007/%25x>. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/7084>. Acesso em: 10 mai. 2021.
- CANATO, Veranice *et al.* **A solução para os problemas da câmara escura no Paralipomena de Johannes Kepler (1571–1630)**. 2008. Dissertação (Mestrado em História da Ciência) – Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, São Paulo, 2008. Disponível em: <https://sapientia.pucsp.br/bitstream/handle/13395/1/Veranice%20Canato.pdf>. Acesso em: 17 de mai. 2021.
- CREASE, Robert P. **Os Dez Mais Belos Experimentos Científicos**. Zahar. 2006.
- GRASSELLI, Erasmo Carlos; GARDELLI, Daniel. **O ensino da física pela experimentação no ensino médio: da teoria à prática. Os Desafios da Escola Pública Paraense na Perspectiva do Professor**, Paraná, 2014. Disponível em: http://www.diaadiaeducacao.pr.gov.br/portals/cadernospde/pdebusca/producoes_pde/2014/2014_uem_fis_artigo_erasmo_carlos_grasselli.pdf, Acesso em: 04 de jan. 2022.
- HELERBROCK, Rafael. **"Equação dos fabricantes de lentes"; *Brasil Escola***. Disponível em: <https://brasilescola.uol.com.br/fisica/equacao-dos-fabricantes-lentes.htm>. Acesso em: 14 de nov. 2020.
- LUIZA, Caires. **Galileu e sua luneta sacudiram a astronomia no século 17: “Entender estrelas” revela as descobertas de Galileu ao observar o céu pela primeira vez com uma**

Iuneta. Jornal da USP. São Paulo, Universidade de São Paulo, 25 novembro, 2016- . Atualidades. Disponível em: jornal.usp.br/?p=55735. Acesso em: 16 nov. 2020.

LUCKESI, C. C. **Avaliação da aprendizagem escolar:** estudos e proposições. 22. ed. São Paulo: Cortez editora, 2011.

MARTINHO, Marcos Paulo; SOARES, Vitorvani. Determinação do índice de refração dos materiais pelo método de Ptolomeu. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 39, n. 3. 2017. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/WFjYtWgnqDmpp8K7ntt7dGs/abstract/?lang=pt>. Acesso em 22 nov.2021.

MATOS, K. S. L. D., & VIEIRA, S. L. **Pesquisa educacional:** o prazer de conhecer. rev. e ampl. Fortaleza: Edições EDR, 2001.

MOTTA, Bárbara, A câmera escura, o princípio da fotografia. Blog História da Fotografia, A fotografia como arte, a arte como fotografia. 16 de outubro, 2011. Disponível em: <http://fotografia-como-arte.blogspot.com/2011/10/camera-escura-o-principio-da-fotografia.html>. Acesso em: 10 out. 2021.

NUSSENZVEIG, Herch Moysés. **Curso de física básica: Ótica, relatividade, física quântica (vol. 4).** Editora Blucher, 1998.

RAMALHO JUNIOR, Francisco; FERRARO, Nicolau Gilberto; SOARES, Paulo Antônio de Toledo. Fundamentos da física 2. 8. ed. São Paulo: Moderna, 2003. 469 p.

SILVA, Domiciano Correa Marques da. "Câmara escura de orifício"; *Brasil Escola*. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/fisica/camara-escura-orificio.htm>. Acesso em: 13 de nov. 2020.

SOUSA, Alana Cruz et al. Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS): A importância para as aulas de óptica geométrica no estado do Tocantins. **Aprendizagem Significativa em Revista**, v. 8, n. 1, p.1-20, 2018. Disponível em: http://www.if.ufrgs.br/asr/artigos/Artigo_ID131/v8_n1_a2018.pdf. Acesso em: 19 mai. 2021.

TORRES, Carlos Magno A; FERRARO, Nicolau Gilberto; SOARES, Paulo Antônio de Toledo; PENTEADO, Paulo Cesar Martins. **Física: Ciência e Tecnologia 2**, 3a. ed, São Paulo, Moderna, 2013.

TOSSATO, C. R. **Os fundamentos da óptica geométrica de Johannes Kepler.** Scientiae Studia, [S. l.], v. 5, n. 4, p. 471-499, 2007. DOI: 10.1590/S1678-31662007000400003. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/ss/article/view/11096>. Acesso em: 18 out. 2021.

YOUNG, Hugh D.; FREEDMAN, Roger A., **FÍSICA IV - ÓTICA E FÍSICA MODERNA**, 12a ed. São Paulo, Addison Wesley, 2008.