

**Universidade Federal do Ceará (UFC)**  
**Centro de Ciências – Departamento de Física**  
**Licenciatura em Física**

**UMA PROPOSTA DE ABORDAGEM EXPERIMENTAL NO ENSINO DE ÓPTICA  
PARA O ENSINO MÉDIO**

**Lucas Silveira Rocha**

**Fortaleza**  
**2017**

**Lucas Silveira Rocha**

**UMA PROPOSTA DE ABORDAGEM EXPERIMENTAL NO ENSINO DE ÓPTICA  
PARA O ENSINO MÉDIO**

Monografia apresentada como exigência para  
obtenção do grau de Licenciatura em Física  
da Universidade Federal do Ceará (UFC).

Orientadora: Dra. Carla Maria Salgado Vidal  
Silva

**Fortaleza  
2017**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Biblioteca Universitária

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

- R574p Rocha, Lucas Silveira.  
Uma Proposta de Abordagem Experimental no Ensino de Óptica para o Ensino Médio / Lucas Silveira Rocha. – 2017.  
54 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências, Curso de Física, Fortaleza, 2017.  
Orientação: Profª. Dra. Carla Maria Salgado Vidal.
1. Ensino Experiemntal. 2. Óptica no Ensino Médio. 3. Experimentos de Baixo Custo. 4. Aprendizagem Significativa. I. Título.

CDD 530

---

**Lucas Silveira Rocha**

**UMA PROPOSTA DE ABORDAGEM EXPERIMENTAL NO ENSINO DE ÓPTICA  
PARA O ENSINO MÉDIO**

Monografia apresentada como exigência para a  
obtenção do título de Licenciado em Física pela  
Universidade Federal do Ceará (UFC).

Aprovada em 30 de Janeiro de 2017

**COMISSÃO EXAMINADORA**

*Carla Maria Salgado Vidal Silva*

---

**Prof. Dra. Carla Maria Salgado Vidal**  
Universidade Federal do Ceará

*Marcos Antônio Araújo Silva*

---

**Prof. Dr. Marcos Antônio Araújo Silva**  
Universidade Federal do Ceará

*Rocicler Oliveira Holanda*

---

**Prof. Dra. Rocicler Oliveira Holanda**  
Universidade Estadual do Ceará

**Fortaleza**

**2017**

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus por me dar a saúde e a disposição necessária para concluir esse trabalho.

A meus pais, Pedro Jorge Rocha e Maria do Socorro Silveira, que me apoiaram durante toda a minha graduação.

À minha irmã, Luana Silveira Rocha, que colaborou na montagem dos experimentos propostos neste trabalho.

À minha Orientadora, Professora Carla Maria Salgado Vidal Silva, que aceitou me orientar nesse trabalho, disponibilizando seu tempo para sanar as minhas dúvidas.

Aos meus amigos de graduação, em especial Patricia Gonçalves, Pedro Rodrigo e Francisco de Assis, que me ajudaram a superar as dificuldades encontradas durante o curso.

A todos os professores que com os quais eu tive a oportunidade de aprender cada vez.

A todos os funcionários do Departamento de Física, que colaboram para a manutenção e preservação das dependências físicas da Universidade.

À Escola Dom Helder Câmara e à SME, onde tive oportunidade de estágios que me ajudaram a conhecer a profissão para qual me preparo.

À COFAC/PACCE e à CAD, através das bolsas, me deram não apenas suporte financeiro como a chance de adquirir novos conhecimentos e experiências.

À UFC por todo apoio logístico que me foi dado durante o meu período de graduação.

“Minhas ideias levaram as pessoas a reexaminar a física de Newton. Naturalmente alguém um dia irá reexaminar minhas próprias ideias. Se isto não acontecer haverá uma falha grosseira em algum lugar” (Albert Einstein)

## RESUMO

O conteúdo de Física nas escolas é, muitas vezes, apresentado apenas de forma expositiva, onde o professor expõe a teoria e as equações de um determinado conteúdo, e os alunos recebem aquela informação, mas podem não entendê-la por falta da visualização da parte prática, ou pela falta de interesse no conteúdo, pois muitos alunos têm uma visão de que a Física é uma disciplina distante do cotidiano vivido por eles. Este trabalho tem como objetivo trazer experimentos na área de ótica para suprir essa necessidade da parte prática dentro das escolas e mostrar o quão próximo o conteúdo de Física, sobretudo na parte de Óptica, faz parte do dia-a-dia e é muito importante obter esses conhecimentos, além de estimular os alunos a participarem ativamente do processo de aprendizagem, para que o conhecimento adquirido seja duradouro, e não apenas uma memorização momentânea. No entanto, vale lembrar que muitas escolas não têm recursos para manter um laboratório de ciências, logo os experimentos apresentados neste trabalho possuem baixo custo para a sua montagem, sendo assim possível que professores e alunos possam fazê-los sem dificuldades.

**Palavras-chave:** Ensino Experimental; Óptica no Ensino Médio; Experimentos de Baixo Custo; Aprendizagem Significativa.

## **ABSTRACT**

The content of physics in schools is often presented only in an expositive way, where the teacher exposes the theory and the equations of a given content, and the students receive that information, but may not understand it for lack of visualization of the part Practice, or lack of interest in content, since many students have a view that physics is a discipline far from the daily life experienced by them. This work aims to bring experiments in the area of optics to meet this need of the practical part within schools and show how close the content of Physics, especially in the part of Optics, is part of everyday life and it is very important to obtain And stimulate students to participate actively in the learning process, so that the knowledge acquired is lasting, not just momentary memorization. However, it is worth remembering that many schools do not have the resources to maintain a science laboratory, so the experiments presented in this work have a low cost for their assembly, so it is possible that teachers and students can do them without difficulties.

**Keywords:** Experimental Teaching; Optics in High School; Low Cost Experiments; Meaningful Learnin



## SUMÁRIO

### LISTA DE FIGURAS

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	2
3. O CONTEÚDO DE ÓPTICA NO ENSINO MÉDIO.....	6
3.1. INTRODUÇÃO À ÓPTICA GEOMÉTRICA.....	6
3.2. REFLEXÃO DA LUZ. ESPELHOS PLANOS.....	12
3.3. ESPELHOS ESFÉRICOS.....	16
3.4. REFRAÇÃO DA LUZ.....	24
3.5. LENTES ESFÉRICAS DELGADAS.....	29
3.6. INSTRUMENTOS ÓPTICOS.....	37
4. METODOLOGIA.....	42
5. RESULTADOS.....	43
5.1. Experimento 1 - Luz no Fim do Túnel.....	43
5.1.1. Materiais utilizados no Experimento 1.....	43
5.1.2. Procedimento do Experimento 1.....	43
5.1.3. Discussão sobre o Experimento 1.....	44
5.2. Experimento 2 - Pisca-pisca Infinito.....	44
5.2.1. Materiais utilizados no Experimento 2.....	45
5.2.2. Procedimento do Experimento 2.....	45
5.2.3. Discussão sobre o Experimento 2.....	47
5.3. Experimento 3 - Espelho Côncavo.....	47
5.3.1. Materiais utilizados no Experimento 3.....	47
5.3.2. Procedimento do Experimento 3.....	48
5.3.3. Discussão sobre o Experimento 3.....	49
5.4. Experimento 4 - Fibra Óptica.....	49
5.4.1. Materiais utilizados no Experimento 4.....	49
5.4.2. Procedimento do Experimento 4.....	50
5.4.3. Discussão sobre o Experimento 4.....	51
5.5. Experimento 5 - Truque da Moeda.....	51
5.5.1. Materiais utilizados no Experimento 5.....	51
5.5.2. Procedimento do Experimento 5.....	51
5.5.3. Discussão sobre o Experimento 5.....	52
6. CONCLUSÃO.....	53
7. REFERÊNCIAS.....	54

## LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 - Feixes de Luz.....	6
Figura 3.2 - Objeto visto através de meios (a) transparente, (b) translúcido e (c) opaco.....	8
Figura 3.3 - Reflexão (a) e (b) Difusa.....	9
Figura 3.4 - Refração (a) Regular e (b) Difusa.....	9
Figura 3.5 - Absorção da Luz.....	10
Figura 3.6 - Cores de vários objetos determinadas pela luz refletida por eles.....	10
Figura 3.7 – Espectro Solar.....	11
Figura 3.8 - Formação de sombra e penumbra devido à propagação retilínea da luz.....	11
Figura 3.9 - Demonstração do princípio da reversibilidade da luz.....	11
Figura 3.10 - Demonstração do Princípio da Independência dos Raios de Luz.....	12
Figura 3.11 - Reflexão de um raio de luz ( $i = r$ ).....	12
Figura 3.12 - Formação da imagem de um objeto pontual (P).....	13
Figura 3.13 - Formação da imagem de um objeto extenso.....	13
Figura 3.14 - Representação gráfica do campo visual (parte escura).....	14
Figura 3.15 - Esquema gráfico da Translação de um espelho.....	14
Figura 3.16 - Rotação de um espelho plano.....	15
Figura 3.17 - Formação de imagens em dois espelhos. A área pintada é o ângulo morto.....	16
Figura 3.18- Espelho Côncavo (a) e Espelho Convexo (b).....	17
Figura 3.19 – Elementos Geométricos de um Espelho Esférico.....	17
Figura 3.20 – ângulos de incidência e de reflexão em espelhos esféricos.....	18
Figura 3.21 – Raios Incidentes refletidos sobre si mesmos ao incidir em um eixo de espelhos esféricos.....	18
Figura 3.22 – Foco Principal dos espelhos esféricos (a) côncavo e (b) convexo.....	19
Figura 3.23 – Raios paralelos refletem na direção do foco.....	19
Figura 3.24 – Raios na direção do foco refletem paralelos.....	20
Figura 3.25 – Raios na direção do centro de curvatura refletem sobre si mesmo.....	20
Figura 3.26 – Raios que incidem no vértice refletem com o mesmo ângulo.....	20
Figura 3.27 – Formação da imagem $A'B'$ do objeto $AB$ por um espelho convexo.....	21
Figura 3.28 – Objeto atrás do centro de curvatura.....	21
Figura 3.29- Objeto sobre o centro de curvatura.....	22
Figura 3.30 – Objeto entre o centro de curvatura e o foco.....	22
Figura 3.31 - Objeto sobre o foco.....	22
Figura 3.32 – Objeto entre o foco e o vértice.....	22
Figura 3.33 – Referencial de Gauss.....	23
Figura 3.34 – Incidência (a) oblíqua e (b) perpendicular.....	24
Figura 3.35 – Fenômenos de reflexão e refração ocorrendo simultaneamente.....	25
Figura 3.36 - Bastão de vidro imerso em tetracloroetileno ( $C_2Cl_4$ ), ambos têm a mesma refração.....	25
Figura 3.37 – Raio Incidente, Normal e Raio Refratado.....	26
Figura 3.38 – Comportamento da luz ao passar de um meio mais refringente para um meio menos refringente.....	26
Figura 3.39 – (a) imagem mais próxima e (b) imagem mais distante.....	27
Figura 3.40- Lâmina de faces paralelas.....	28
Figura 3.41 – Prisma e seus componentes.....	28
Figura 3.42 – Dispersão da Luz.....	29
Figura 3.43 – Elementos Geométricos das Lentes Esféricas.....	30
Figura 3.44 – Tipos de lentes esféricas separadas por tipo.....	30

Figura 3.45 – Comportamento das lentes de vidro de bordas (a) delgadas e (b) espessas, imersas no ar ( $n_{\text{ar}} < n_{\text{vidro}}$ ).....	31
Figura 3.46 – Comportamento das lentes de vidro de bordas (a) delgadas e (b) espessas, imersas em sulfeto de carbono ( $n_{\text{vidro}} < n_{\text{sc}}$ ).....	31
Figura 3.47 – Segmentos de retas representando lentes (a) convergentes e (b) divergentes.....	31
Figura 3.48 – Foco Objeto de lentes (a) convergente e (b) divergente.....	32
Figura 3.49 – Foco Imagem de lentes (a) convergente e (b) divergente.....	32
Figura 3.50 – Comportamento dos raios luminosos em lentes (a) convergentes e (b) divergentes.....	33
Figura 3.51 – Formação da imagem A'B' do objeto AB por uma lente divergente.....	33
Figura 3.52 – Objeto atrás do Ponto Antiprincipal Objeto.....	34
Figura 3.53 – Objeto sobre o Ponto Antiprincipal Objeto.....	34
Figura 3.54 – Objeto entre o Ponto Antiprincipal Objeto e o Foco Objeto.....	34
Figura 3.55 – Objeto sobre o Foco Objeto.....	35
Figura 3.56 – Objeto entro o Foco Objeto e o Centro Óptico.....	35
Figura 3.57 – Referencial de Gauss para lentes (a) convergentes e (b) divergentes.....	35
Figura 3.58 – Relação da distância focal e o desvio da luz (vergência).....	36
Figura 3.59 – Foto (a) com aberração cromática e (b) sem aberração cromática, corrigido por lentes justapostas.....	38
Figura 3.60 – Representação simplificada do funcionamento de uma câmera fotográfica.....	38
Figura 3.61 – Representação simplificada de um projetor.....	38
Figura 3.62 – Funcionamento de uma lupa.....	39
Figura 3.63 – Olho reduzido.....	39
Figura 3.64 – Formação da imagem no olho reduzido.....	40
Figura 3.65 – Formação de imagem num olho míope.....	40
Figura 3.66 – Correção para miopia.....	40
Figura 3.67 – Formação de imagem num olho hipermetrope.....	40
Figura 3.68 – Correção da hipermetropia.....	41
Figura 5.1 – Materiais utilizados no Experimento 1.....	43
Figura 5.2 – Conexão das duas partes do tubo de cartolina.....	44
Figura 5.3 – Resultado do Experimento 1.....	45
Figura 5.4 – Materiais utilizados no Experimento 2.....	46
Figura 5.5 – Tiras de papelão.....	46
Figura 5.6 – “Parede” de papelão com pisca-pisca.....	46
Figura 5.7 – Resultado do Experimento 2.....	47
Figura 5.8 – Materiais Utilizados no Experimento 3.....	48
Figura 5.9 – Espelho Côncavo formado pela garrafa e embalagem de salgadinho.....	48
Figura 5.10 – Resultado do Experimento 3.....	49
Figura 5.11 – Materiais utilizados no Experimento 4.....	50
Figura 5.12 – Resultado do Experimento 4.....	50
Figura 5.13 – Materiais utilizados no Experimento 5.....	51
Figura 5.14 – Resultado do Experimento 5.....	52

## 1. INTRODUÇÃO

Comumente, a disciplina de Física é muito mal vista pelos alunos do Ensino Médio, pois por ter muitas equações a serem lembradas e utilizadas, muitos alunos a associam à Matemática, outra disciplina não popular entre os alunos, e parece distante da vida cotidiana deles.

É necessário fazer com que os alunos percebam que a Física é mais do que as equações e matemática, apesar delas serem ferramentas importantes, trazendo situações onde a física ocorre no dia-a-dia, para que os alunos percebam importância desta disciplina. Além disso, o conteúdo é abordado, na maioria das vezes, de forma expositiva e os alunos não participam ativamente do processo da própria aprendizagem, o que torna a aula cansativa e desinteressante para os mesmos

Em minha experiência como docente, pude perceber que mesmo as experiências mais simples, como uma folha de papel caindo junto com o caderno, já deixa os alunos mais instigados e curiosos com a razão daquilo ocorrer, e conseqüentemente participam mais ativamente da aula.

Óptica é a área da Física que estuda os fenômenos luminosos e até mesmo a visão, logo é a área onde se faz mais necessária uma demonstração visual para uma melhor compreensão dos discentes, por esse motivo este trabalho tem como objetivo trazer uma proposta de abordagem mais experimental para o ensino de Física, sugerindo experimentos de baixo custo voltados para a área da Óptica que podem facilmente ser levados para a sala de aula, assim os alunos poderão ver como a Física está presente no dia-a-dia, deixando a aula mais interessante e atrativa para os alunos, assim as equações servirão apenas para provar matematicamente os resultados vistos experimentalmente.

Os experimentos aqui propostos demonstram os fenômenos como reflexão e refração e como estes fenômenos estão presentes no cotidiano, mas que muitas vezes passam despercebidos. Estes experimentos são apenas uma pequena amostra dos mais variados experimentos que podem ser feitos para estimular a aprendizagem do aluno.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A história da Óptica descrita a seguir foi adaptada do artigo *A História da Ciência Iluminando o Ensino da Visão*, publicado na Revista de Ciências & Educação (Barros et. Carvalho, 1998).

Do grego *optiké*, que significa “visão”. A Óptica é uma importante área da Física, é ela que explica a visão e o comportamento da luz. Desde a antiguidade vários pensadores tentavam explicar a visão através de teorias, que depois de um período se mostravam falhas, e assim surgiam novas teorias, até surgir a Óptica como nós a conhecemos atualmente.

Antigamente, acreditava-se que todo tipo de sensação só era possível através do contato, logo, para explicar como era possível enxergar objetos à distância, surgiu a teoria de que uma espécie de pele se desprendia do objeto real e chegava ao olho, contraindo-se a ponto de caber na pupila do olho, transportando informações como a cor e a formado objeto. No entanto essa teoria se mostrou falha, pois o olho poderia estar a qualquer distância do objeto, então essa “pele” teria que se contrair em diferentes proporções dependendo da distância, por isso essa teoria não foi aceita.

Paralelamente, foi proposta a teoria dos raios visuais. Defendida por Platão (~580-500 a.C.), essa teoria fala que um raio saía do olho humano explorando o mundo externo e trazia as informações necessárias para a mente. Porém essa teoria também tinha seus obstáculos como: se os raios visuais saíam do olho, por que não era possível enxergar no escuro? Como esses raios conseguiam alcançar os astros como o Sol e a Lua? Apesar desses obstáculos, essa foi a teoria mais aceita se estendo até a Idade Média.

Para o filósofo Platão (428-347 a.C.), o raio visual não era o suficiente para explicar a visão, era necessária, também, uma fonte de luz, assim o objeto era atingido simultaneamente por raios luminosos proveniente dos olhos e de uma fonte luminosa, que se combinavam e voltavam ao olho, dando a sensação da visão.

As teorias da visão propostas por Platão foram quebradas por Abu Ali al-Hasan Ibn Al-Haitham (965-1039), que contribuiu com o estudo da óptica geométrica, com a sua obra *Tesouro da Óptica* (1038, aproximadamente). Al Hazen considerou que depois de olhar o Sol por algum tempo e fechar o olho, uma pessoa continuaria a ver a imagem do Sol, quebrando completamente a ideia de que a visão estava associada a raios visuais que partiam do olho.

Al Hazen ainda notou que se olhar para o Sol por muito tempo, uma pessoa sentiria efeitos como ofuscamento e dor, essa percepção ajudou a quebrar a ideia dos raios visuais, pois

segundo Al Hazen, o corpo humano não emitiria raios visuais se isto envolvesse causar dor a si mesmo.

Para ele, o fenômeno da visão exigia um agente externo capaz de impressionar o olho humano, e se esse agente fosse muito forte a impressão poderia ficar algum tempo no olho, mesmo com ele fechado. Para explicar a formação da imagem de um objeto, Al Hazen propôs que a luz do Sol era tão forte que era capaz de desprender pontos imagens do objeto que se propagavam em todas as direções, que poderiam entrar na pupila, sem sofrer alterações no meio do caminho, a união dos pontos imagens na pupila formava a imagem completa do objeto. A ideia de que a luz era formada por pequenos corpos materiais já estava expressa na obra de Al Hazen, sendo o primeiro a propor a natureza corpuscular da luz (Ronchi, 1957).

Foi somente em 1604 com a obra *Suplento a Witelo* que Kepler (1571-1630) propôs a primeira explicação cientificamente aceita para o mecanismo da visão. Para ele um corpo era formado por vários pontos que emitiam raios que se propagavam em linha reta para todas as direções. Quando o olho se encontra na frente de um ponto, os raios que conseguiam entrar no olho formavam um cone, onde o vértice estava no ponto, e a base na pupila. Os raios que passavam pelo olho eram refratados pela córnea e formavam outro cone, com a base na pupila e o vértice num ponto sobre a retina, transmitindo os sinais recebidos para mente, que localiza a posição do objeto e criava uma imagem idêntica do objeto. Kepler ainda explicou que a localização do objeto estava associada ao ponto da retina que era estimulado pelos raios que atravessavam a pupila.

No ensino tradicional o professor é o detentor de todo o saber e a autoridade máxima dentro da sala de aula, cabe a ele transmitir o conhecimento aos alunos de forma sistemática, e cabe ao aluno receber esse conhecimento como verdade absoluta, sem poder questioná-lo. Dessa forma, o aluno guardava a informação através de memorização e repetição, até que não a esquecesse. Apesar de ser considerado ultrapassado, esse método ainda é muito utilizado nos dias atuais, o que pode causar desinteresse aos alunos nas aulas de Física, sobretudo na área da Óptica, onde, por estudar os fenômenos da luz e da visão, requer um meio visual que possa ilustrar e instigar os alunos a estudar.

O ensino da Óptica pode ser aprimorado com o uso de experimentos que possam demonstrar os conceitos abordados na aula expositiva-teórica, ou podem ser utilizados para instigar os alunos a pesquisarem e buscarem o conhecimento necessário para compreender o fenômeno visto, tornando-se agentes ativos da própria aprendizagem.

O construtivismo, idealizado por Jean Piaget (1896-1980), sugere que o conhecimento é o resultado da relação entre o sujeito e objeto que se quer conhecer. É necessário que o aluno

deseje estar no centro da própria aprendizagem, construindo o próprio conhecimento através da interação com o meio em que vive, pois a aprendizagem só é possível se o aluno está interessado a aprender. Para Piaget a aprendizagem ocorre através de dois processos fundamentais a *assimilação* e a *acomodação*. Na assimilação o aluno incorpora a experiência e na acomodação ele adapta essa experiência à sua realidade, formando assim o conhecimento.

Em *O nascimento da inteligência na criança* (Piaget, 1987) temos que a assimilação e a acomodação são as dimensões de toda ação humana, destacando as ações do sujeito sobre o objeto, logo o conhecimento se constrói pelas necessidades e situações do sujeito. Para Piaget a inteligência “[...] não principia, pois, pelo conhecimento do eu nem pelo das coisas como tais, mas pelo da sua interação; e é orientando-se simultaneamente para os dois polos dessa interação que a inteligência organiza o mundo, organizando a si própria (1975, p. 330)

Ausubel (1918-2008) se preocupava com o ensino e a aprendizagem dentro da sala de aula. Para ele a aprendizagem deveria ter significado para o aluno, ou seja, o aluno deveria enxergar a necessidade de adquirir o conhecimento e que esse conhecimento será útil no seu cotidiano. Ausubel também descentraliza o conhecimento, que antes pertencia somente ao professor, mas agora o aluno também possui conhecimento, adquirido através da sua vivência e experiência, e esse conhecimento prévio do aluno é importante, pois o aluno irá associar o novo conhecimento com o conhecimento prévio, facilitando assim a aprendizagem. Isso pode ser visto na obra *The psychology of meaningful verbal learning* (A psicologia da aprendizagem verbal significativa, 1963), onde Ausubel determina que a predisposição a aprender e o conhecimento prévio adequado são as duas condições necessárias para que a aprendizagem ocorra.

Barbosa et. al. (1999) realizaram um estudo sobre o Ensino de Física Experimental no Ensino Médio, onde aplicaram um questionário para alunos com idade média de 16 anos da Escola Técnica Federal do Mato Grosso com o objetivo de saber quais seriam as concepções espontâneas dos alunos sobre o tema estudado. Após o questionário, os alunos foram divididos em duas turmas, uma turma manteve o ensino tradicional e na outra foi aplicado o método experimental, ao final do curso de 15 horas para cada turma, com o conteúdo seguindo a mesma sequência em ambas as turmas, foi realizado um novo questionário, onde pôde-se perceber uma maior eficiência no método experimental.

Barbosa (1986) adverte que o método experimental, quando este é aplicado, ocorre sem relação com o conteúdo, o aluno apenas segue um roteiro como uma receita para que se alcance um resultado esperado, dessa forma errônea o método não permite que o aluno possa de fato aprender, mas apenas decorar um procedimento.

Apesar de todas as vantagens de usar o método experimental, a maioria dos professores não utilizam esse método, dando como justificativas, segundo Laburú et. al. (2007), o número excessivo de alunos, a falta de uma sala de laboratório, restrições da instituição, carência de recursos, ausência de horários próprios.



### 3. O CONTEÚDO DE ÓPTICA NO ENSINO MÉDIO

O conteúdo de Física no Ensino Médio é dividido em várias áreas como a Mecânica, Termometria, Eletricidade e a Óptica. Esta última ainda pode ser subdividida em Óptica Física e Óptica Geométrica.

A Óptica Física estuda a natureza da luz e sua propagação como uma onda, assim como os fenômenos de interferência, difração, absorção dentre outros. Já a Óptica Geométrica estuda a propagação da luz apenas como um feixe luminoso, com isso os fenômenos estudados são os de reflexão e refração, além de alguns instrumentos ópticos como espelhos planos, espelhos esféricos, lentes e o olho humano.

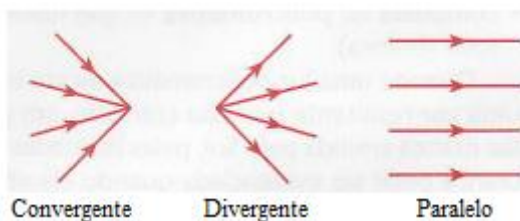
Nas escolas, o conteúdo de óptica começa a ser estudado a partir do terceiro bimestre do 2º Ano do Ensino Médio, como é visto em ementas de vários colégios, aqui citada a Rede Estadual do Mato Grosso do Sul. O foco do conteúdo está na óptica geométrica, no entanto, também é possível que seja introduzido o conceito da natureza da luz. Na Tabela 3.1 está descrita a Ementa Curricular no Ensino Médio para a área de Óptica

A teoria dos tópicos da Ementa será descrita a seguir e está baseada no livro *Os Fundamentos da Física - Volume 2* (RAMALHO et. al., 2007)

#### 3.1. Introdução à Óptica Geométrica

No início do conteúdo o raio luminoso é definido como linhas, ou setas, orientadas que indicam a direção e o sentido em que a luz se propaga, e o conjunto de vários raios luminosos é chamado de feixe luminoso. Este feixe pode ser convergente, quando os raios partem de lugares diferentes e se encontram num ponto em comum; divergente, quando os raios partem de um ponto e se dispersam; e paralelo, quando os raios de luz não se encontram (Figura 3.1).

Figura 3.1 - Feixes de Luz.



Fonte: RAMALHO et. al., 2007.

Tabela 3.1. Ementa do Curso de Óptica no Ensino Médio.

1. Introdução à Óptica Geométrica	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Considerações iniciais;</li> <li>- Meios transparentes, translúcidos e opacos;</li> <li>- Fenômenos ópticos;</li> <li>- A cor de um corpo por reflexão;</li> <li>- Princípio da propagação retilínea da luz;</li> <li>- Princípio da reversibilidade dos raios de luz;</li> <li>- Princípio da independência dos raios de luz.</li> </ul>
2. Reflexão da Luz. Espelhos Planos	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Reflexão da luz. Leis da reflexão;</li> <li>- Imagem de um ponto num espelho;</li> <li>- Imagem de um objeto extenso;</li> <li>- Campo visual de um espelho plano;</li> <li>- Translação de em espelho plano;</li> <li>- Rotação de um espelho plano;</li> <li>- Imagens de um objeto entre dois espelhos.</li> </ul>
3. Espelhos Esféricos	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Definições e elementos;</li> <li>- Espelho esférico de Gauss;</li> <li>- Focos de um espelho esférico de Gauss;</li> <li>- Propriedades dos espelhos esféricos de Gauss;</li> <li>- Construção geométrica de imagens;</li> <li>- Estudo analítico dos espelhos esféricos.</li> </ul>
4. Refração da Luz	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Considerações preliminares;</li> <li>- Índice de refração. Refringência;</li> <li>- Leis de refração;</li> <li>- Ângulo limite. Reflexão total;</li> <li>- Dioptra plano;</li> <li>- Lâmina de faces paralelas;</li> <li>- Prisma;</li> <li>- Dispersão luminosa.</li> </ul>

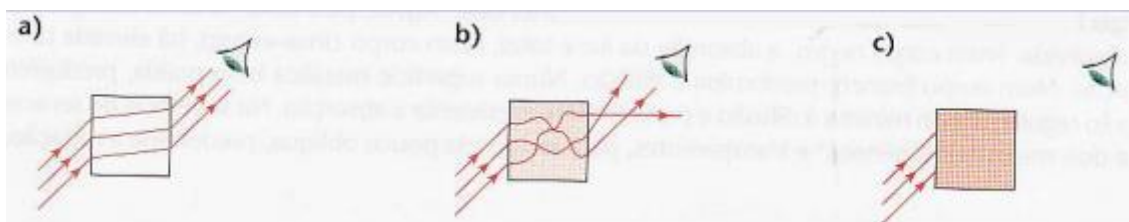
## Continuação da Tabela 3.1.

5. Lentes Esféricas Delgadas	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Introdução;</li> <li>- Comportamento óptico das lentes;</li> <li>- Focos de uma lente delgada;</li> <li>- Construção geométrica de imagens;</li> <li>- Estudo analítico das lentes.</li> </ul>
6. Instrumentos Ópticos	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Associação de lentes. Lentes justapostas;</li> <li>- Instrumentos de projeção;</li> <li>- O olho humano;</li> <li>- Anomalias da visão.</li> </ul>

O feixe luminoso tem como origem o que se chama de fonte de luz, há dois tipos de fontes de luz: fontes primárias ou corpos luminosos são corpos que emitem luz própria, como o Sol, as estrelas, uma vela acesa, etc.; fontes secundárias ou corpos iluminados são corpos que não emitem luz própria, apenas refletem a luz que chega até eles, como a Lua, paredes e roupas.

Ao se propagar em um meio, a luz pode encontrar obstáculos, esses obstáculos podem permitir que a luz os atravesse, assim é possível ver nitidamente o que há por trás destes obstáculos, estes são chamados de meios transparentes (Figura 3.2a). Quando um obstáculo permite que a luz o atravesse, porém a visão através dele não é muito nítida é chamado de meio translúcido (Figura 3.2b). E quando um objeto não permite a travessia da luz, impedindo a visão através dele, é chamado de meio opaco (Figura 3.2c).

Figura 3.2 - Objeto visto através de meios (a) transparente, (b) translúcido e (c) opaco.

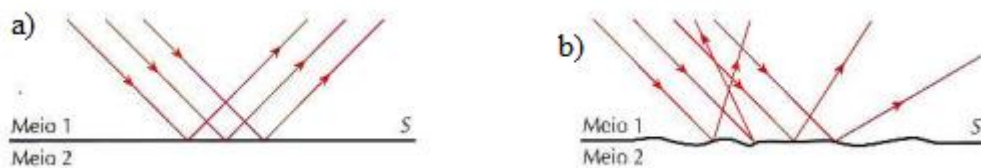


Fonte: RAMALHO et. al., 2007.

Estudando a luz como um feixe luminoso, os fenômenos que podem ser estudados são os de reflexão, refração e absorção. A reflexão ocorre quando um feixe luminoso, que se

propaga em um meio, incide sobre uma superfície e o feixe volta ao mesmo meio em que se propagava, ela ainda pode ser regular, quando os raios luminosos incidem e refletem paralelos, isto ocorre quando a superfície em que a luz incide é polida (Figura 3.3a), ou difusa, quando os raios incidem paralelos, porém refletem em várias direções, perdendo o paralelismo, ocorre quando a superfície em que a luz incide não é polida (Figura 3.3b).

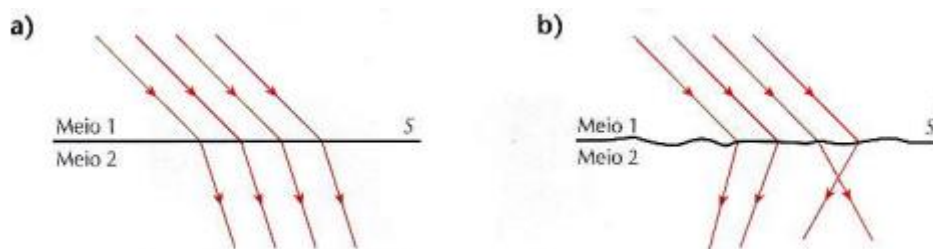
Figura 3.3 - Reflexão (a) Regular e (b) Difusa.



Fonte: RAMALHO et. al., 2007.

A refração ocorre quando um feixe luminoso, que se propaga num meio, incide sobre uma superfície e a atravessa mudando o meio em que se propaga, assim como a reflexão, ela pode ser regular, quando incide em um meio transparente (Figura 3.4a), ou difusa, quando incide em um meio translúcido (Figura 3.4b).

Figura 3.4 - Refração (a) Regular e (b) Difusa



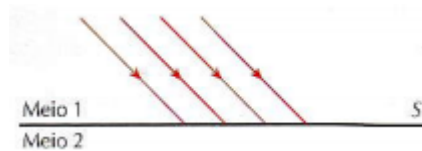
Fonte: RAMALHO et. al., 2007.

Absorção ocorre quando o feixe luminoso que se propaga num meio e incide numa superfície, não reflete para o primeiro meio, e nem se propaga para um segundo meio, mas o feixe luminoso é absorvido pelo objeto em que está incidindo (Figura 3.5). É importante salientar que, devido à natureza ondulatória da luz, há transporte de energia, e mesmo durante os fenômenos de reflexão e refração, parte dessa energia é absorvida.

O Sol, como fonte primária de luz, emite luz própria de cor branca, que na verdade é a união das sete cores que compõem o espectro visível, elas são: vermelho, laranja, amarelo, verde, azul, índigo e violeta. A luz branca ao incidir em um objeto é parcialmente absorvida de

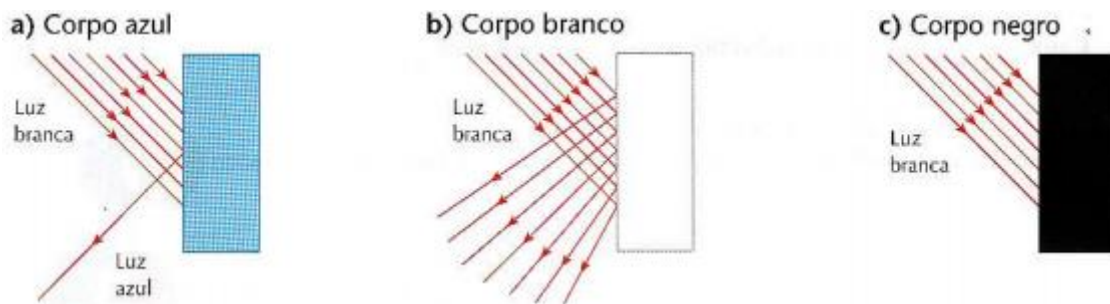
forma que é refletida somente a luz com a cor em que enxerga-se o objeto, desse modo, se um objeto possui cor azul, significa que a luz branca, ao incidir nele, deve ter todo o seu espectro absorvido, exceto pela luz azul, que foi refletida até o olho humano, se o objeto for branco, significa que todo o espectro foi refletido, e se o objeto for preto, significa que todo o espectro foi absorvido e nada foi refletido. Há também a possibilidade de o objeto refletir mais de uma cor, variando a intensidade delas, dessa forma existem objetos de cores bastantes variadas que não fazem parte das luzes primárias encontradas no espectro de luz visível. (Figura 3.6). Além do espectro visível o Sol emite ondas eletromagnéticas não-visíveis ao olho humano, as ondas ultravioletas e as ondas infravermelhas (Figura 3.7)

Figura 3.5 - Absorção da Luz



Fonte: RAMALHO et. al., 2007.

Figura 3.6 - Cores de vários objetos determinadas pela luz refletida por eles.

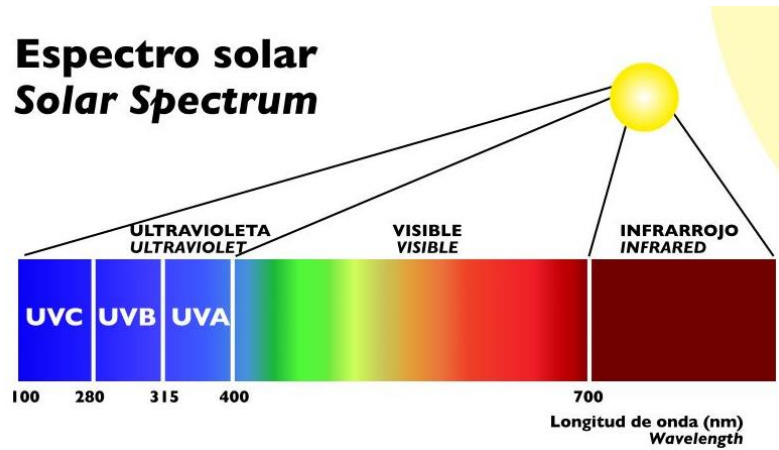


Fonte: RAMALHO et. al., 2007.

Existem três princípios sobre a propagação da luz como um raio luminoso. O primeiro é o princípio da propagação retilínea da luz, ou seja, em um meio transparente e uniforme, a luz se propaga em linha reta, uma forma de observar isso é a formação de uma sombra, ou o funcionamento de uma câmara escura (Figura 3.8). O segundo é o princípio da reversibilidade dos raios luminosos, este princípio fala que se um raio de luz se propaga numa direção e sentido, pode existir também um raio de luz que se propaga na mesma direção, porém em sentido contrário, o mesmo vale para reflexões e refrações (Figura 3.9), assim se duas pessoas estão em salas diferentes, ligadas por um corredor e neste corredor existe um espelho, se a primeira pessoa olhar para o espelho e ver o reflexo da segunda, logo a segunda pessoa também poderá

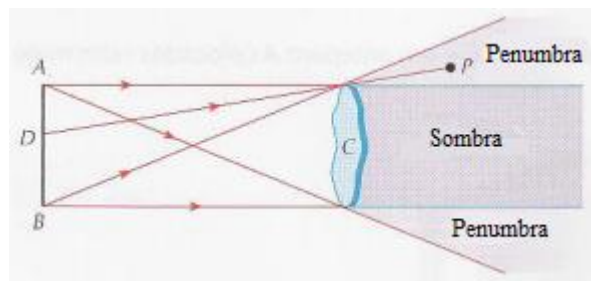
ver o reflexo da primeira, ao olhar para o espelho. E por último, existe o princípio da independência dos raios luminosos, ou seja, se dois raios de luz se cruzarem, eles seguirão o mesmo caminho como se o outro não existisse (Figura 3.10).

Figura 3.7 – Espectro Solar.



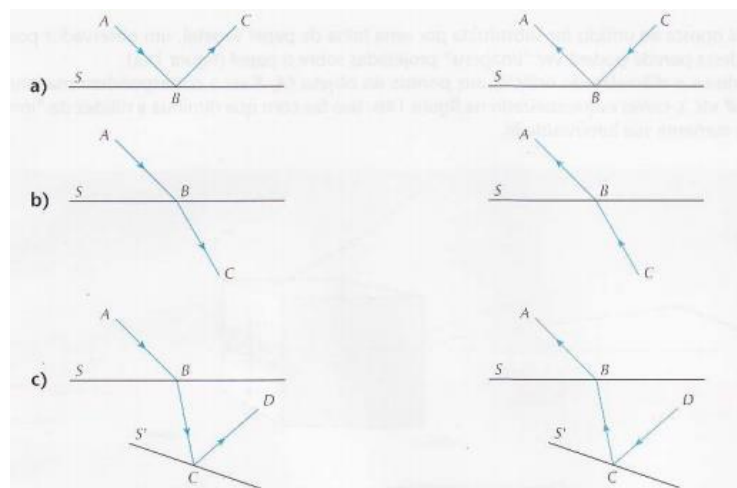
Fonte: [http://segurancaesaudenotrabalho-smst.blogspot.com.br/2013\\_03\\_01\\_archive.html](http://segurancaesaudenotrabalho-smst.blogspot.com.br/2013_03_01_archive.html)

Figura 3.8 - Formação de sombra e penumbra devido à propagação retilínea da luz.



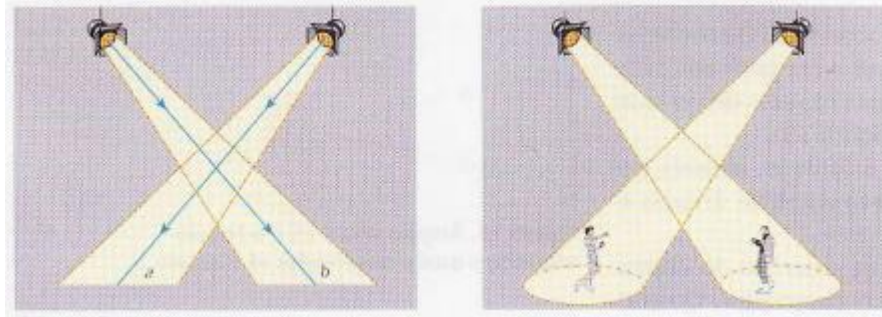
Fonte: RAMALHO et. al., 2007.

Figura 3.9 - Demonstração do princípio da reversibilidade da luz.



Fonte: RAMALHO et. al., 2007.

Figura 3.10 - Demonstração do Princípio da Independência dos Raios de Luz.

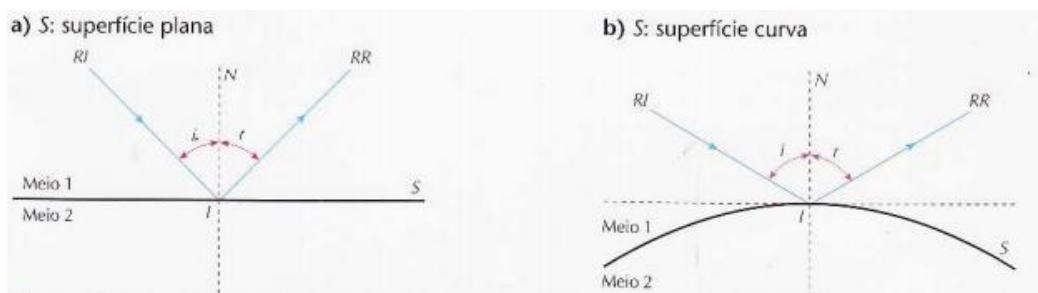


Fonte: RAMALHO et. al., 2007.

### 3.2. Reflexão da Luz. Espelhos Planos.

Ao estudar mais fundo a reflexão da luz, é indispensável o estudo dos espelhos planos e a imagem de um objeto devido à reflexão. Um raio de luz ao incidir em uma superfície polida, ou espelho, formando um ângulo com a normal da superfície, chamado de ângulo incidente, será refletido de forma que o raio refletido terá um ângulo com a normal da superfície igual ao ângulo incidente, de forma que o raio incidente, a normal da superfície e o raio refletido estão situados no mesmo plano (Figura 11). Se o raio de luz incide sobre a normal, ele será refletido sobre si mesmo.

Figura 11 - Reflexão de um raio de luz ( $i = r$ ).

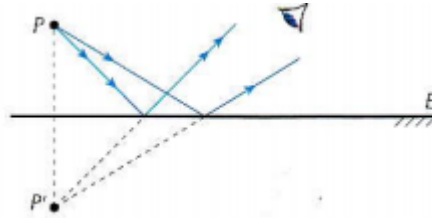


Fonte: RAMALHO et. al., 2007.

Um objeto pontual que está localizado na frente de um espelho a uma distância “d” terá sua imagem formada a uma distância “d” atrás do espelho, ou seja, o objeto real e sua imagem se equidistam do espelho. Graças às leis da reflexão pode-se determinar os raios provenientes do objeto que refletem no espelho, se os raios refletidos forem prolongados para dentro do

espelho, eles passaram pela imagem, assim a imagem é definida pela interseção dos prolongamentos dos raios refletidos pelo espelho que partiram do objeto (Figura 3.12).

Figura 3.12 - Formação da imagem de um objeto pontual (P).

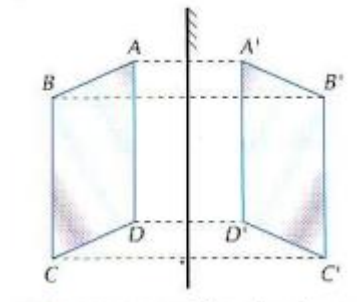


Fonte: RAMALHO et. al., 2007.

O objeto tem natureza real, pois está localizado na interseção dos raios que incidem no espelho, enquanto a imagem possui natureza virtual, pois está localizada na interseção dos prolongamentos dos raios refletidos pelo espelho, que partem do objeto real.

Um objeto extenso é formado por objetos pontuais, o espelho conjuga imagens a estes pontos, e o conjunto de imagens pontuais forma a imagem do objeto extenso (Figura 3.13). Quando o objeto extenso não é simétrico, a imagem formada pelo espelho não pode ser sobreposta ao objeto, neste caso, imagem e objeto são enantiomorfo, um em relação ao outro.

Figura 3.13 - Formação da imagem de um objeto extenso.

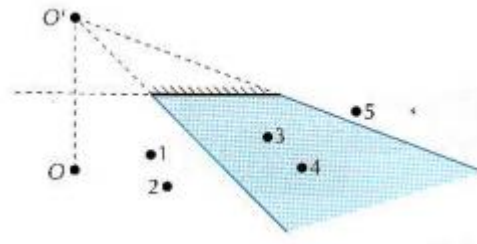


Fonte: RAMALHO et. al., 2007.

O campo visual de um espelho plano é toda a região que um observador consegue ver pelo espelho através da reflexão. O campo visual pode ser determinado graficamente, para isso faz-se primeiro a imagem do observador, depois a partir dessa imagem traça-se duas retas que passam pelas bordas do espelho, assim o campo visual é tudo aquilo que se encontra entre essas retas (Figura 3.14).



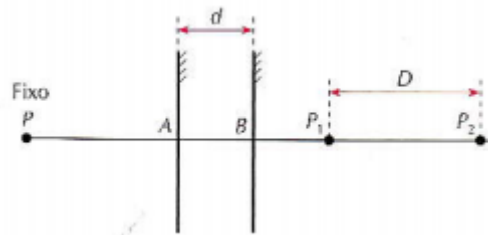
Figura 3.14 - Representação gráfica do campo visual (parte escura).



Fonte: RAMALHO et. al., 2007.

Translação de um espelho significa mudar a posição do espelho em relação ao objeto, logo também há uma mudança da posição da imagem, tanto em relação ao espelho como em relação ao objeto (Figura 3.15).

Figura 3.15 - Esquema gráfico da Translação de um espelho.



Fonte: RAMALHO et. al., 2007.

Pela Figura 3.14, têm-se que a distância do objeto (P) até a sua imagem antes da translação do espelho ( $P_1$ ) é igual a  $2d$ , e a distância do objeto (P) em relação à sua imagem após a translação do espelho ( $P_2$ ) é igual a  $2(d + x)$ , onde  $x$  é igual ao deslocamento que o espelho sofreu entre as duas situações. Assim:

$$PP_1 = 2d. \quad (3.1)$$

$$PP_2 = 2(d + x) = 2d + 2x. \quad (3.2)$$

Também temos que a distância  $D$  é igual ao deslocamento da imagem após a translação do espelho, ou seja:

$$D = PP_2 - PP_1. \quad (3.3)$$

Substituindo as Equações 3.1 e 3.2 na Equação 3.3, obtêm-se:

$$D = 2d + 2x - 2d$$

$$D = 2x. \quad (3.4)$$

Logo o deslocamento sofrido pela imagem é duas vezes maior que o deslocamento sofrido pelo espelho.

O deslocamento da imagem e do espelho são simultâneos, ou seja, ocorrem ao mesmo tempo, a condição de seus deslocamentos pode ser estendida para as suas velocidades. Assim sendo a velocidade da imagem em relação ao objeto é duas vezes a velocidade do espelho em relação ao objeto:

$$v_i = 2v_e. \quad (3.5)$$

A rotação de um espelho ocorre quando ele gira em torno de um eixo que pertence ao seu plano. Quando um raio de luz  $I$  incide sobre o espelho plano ele origina um raio refletido  $R_1$ . Se o espelho rotacionar um ângulo  $\alpha$  em torno de um eixo, o mesmo raio incidente irá originar um segundo raio refletido  $R_2$ . O ângulo de rotação do raio refletido, ou seja, o ângulo entre  $R_1$  e  $R_2$ , é igual a  $\Delta$  (Figura 3.16).

Denominando  $i_1$  como o ângulo de incidência (e reflexão) na primeira posição do espelho e  $i_2$  como o ângulo de incidência (e reflexão) na segunda posição de espelho, o ângulo entre as normais  $N_1$  e  $N_2$  nas diferentes posições do espelho também é igual a  $\alpha$ . No triângulo  $AI_1I_2$ , o ângulo externo  $i_2$  é igual à soma dos ângulos internos não-adjacentes, ou seja,  $\alpha$  e  $i_1$ :

$$i_2 = \alpha + i_1 \rightarrow \alpha = i_2 - i_1. \quad (3.6)$$

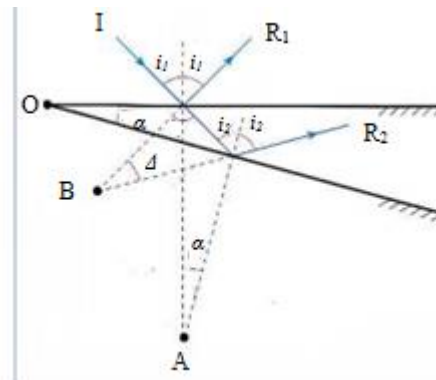
No triângulo  $BI_1I_2$ , o ângulo externo  $2i_2$  é igual à soma dos ângulos internos não-adjacentes, ou seja,  $2i_1$  e  $\Delta$ :

$$2i_2 = \Delta + 2i_1 \rightarrow \Delta = 2i_2 - 2i_1 \rightarrow \Delta = 2(i_2 - i_1). \quad (3.7)$$

Substituindo a Equação 3.6 na Equação 3.7, obtêm-se:

$$\Delta = 2\alpha. \quad (3.8)$$

Figura 3.16 - Rotação de um espelho plano.



Fonte: RAMALHO et. al., 2007.

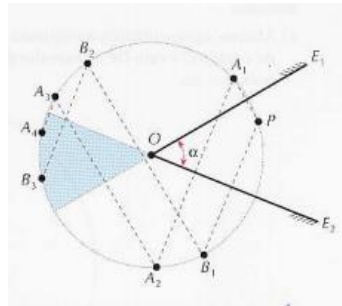
Quando um objeto está entre dois espelhos que formam um ângulo entre si, o objeto terá mais de uma imagem, isto ocorre porque um espelho irá refletir a imagem formada pelo outro,

formando assim outra imagem, que também será refletida pelo primeiro espelho, assim sucessivamente, porém quando a imagem “cai” no ângulo formado pelo prolongamento dos espelhos, esta não forma realmente uma imagem, esse ângulo é denominado ângulo morto (Figura 3.17).

Para calcular o número  $N$  de imagens formadas pelos dois espelhos, utiliza-se a seguinte Equação:

$$N = \frac{360^\circ}{\alpha} - 1. \quad (3.9)$$

Figura 3.17 - Formação de imagens em dois espelhos. A área pintada é o ângulo morto.



Fonte: RAMALHO et. al., 2007.

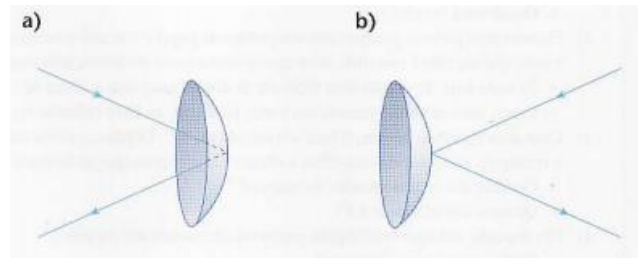
Onde  $\alpha$  é o ângulo formado entre os espelhos. Porém essa equação só é válida em determinadas situações:

- Se a relação  $\frac{360^\circ}{\alpha}$  for igual a um número par, a equação é válida para qualquer posição do objeto em relação aos espelhos.
- Se a relação  $\frac{360^\circ}{\alpha}$  for igual a um número ímpar, a equação só é válida quando o objeto estiver na plano bissetor do ângulo formado entre os espelhos.

### 3.3 Espelhos Esféricos

Espelho esférico é definido como uma calota esférica onde uma das superfícies possui propriedades de reflexão. Se a superfície refletora é a interna, o espelho é denominado côncavo (Figura 3.18a), mas se a superfície for a externa, o espelho é denominado convexo (Figura 3.18b).

Figura 3.18- Espelho Côncavo (a) e Espelho Convexo (b).

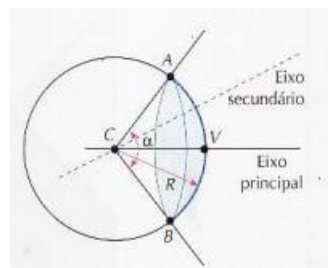


Fonte: RAMALHO et. al., 2007.

Um espelho esférico é caracterizado por alguns elementos geométricos, estes são (Figura 3.19):

- Centro de curvatura do espelho (C): é o centro da esfera de onde a calota espelhada foi retirada;
- Raio de curvatura do espelho (R): é o raio da esfera de onde a calota espelhada foi retirada;
- Vértice do espelho (V): é o polo da calota;
- Eixo principal do espelho: é a reta que passa pelo centro do espelho, assim como o seu vértice;
- Eixo secundário do espelho: é qualquer outra reta que passa pelo centro do espelho, mas não pelo seu vértice;
- Abertura do espelho ( $\alpha$ ): é o ângulo formado pelos eixos secundários que passam por pontos diametralmente opostos na borda do espelho.

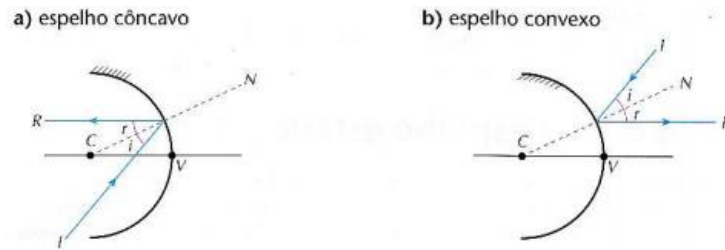
Figura 3.19 – Elementos Geométricos de um Espelho Esférico.



Fonte: RAMALHO et. al., 2007.

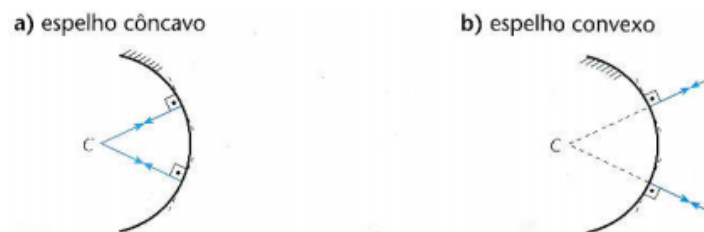
Mesmo estes espelhos sendo esféricos, as leis da reflexão ainda são válidas, ou seja, o ângulo de incidência é igual ao ângulo de reflexão (Figura 3.20). Também é possível perceber que se um raio de luz que incide sobre o espelho numa direção que passa pelo centro de curvatura, ele irá refletir sobre si mesmo (Figura 3.21).

Figura 3.20 – ângulos de incidência e de reflexão em espelhos esféricos.



Fonte: RAMALHO et. al., 2007.

Figura 3.21 – Raios Incidentes refletidos sobre si mesmos ao incidir em um eixo de espelhos esféricos.

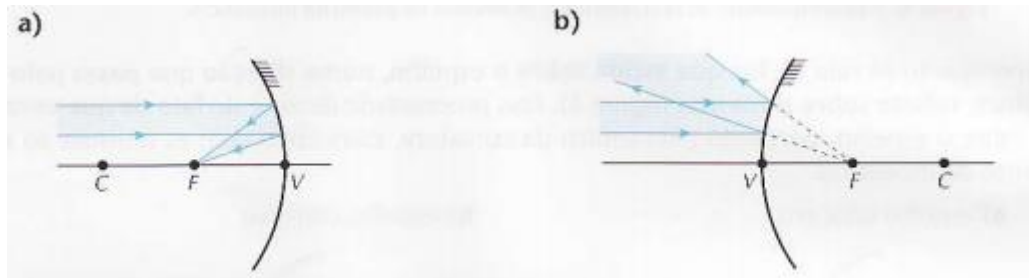


Fonte: RAMALHO et. al., 2007.

Diferente dos espelhos planos, as imagens produzidas pelos espelhos esféricos não são nítidas e são deformadas, assim um ponto luminoso tem como imagem uma mancha luminosa e um objeto plano possui uma imagem não-plana. Porém o matemático e físico alemão Carl Friedrich Gauss (1777 - 1855), através de experiências, observou que, se os raios luminosos que partem do objeto atingissem o espelho sobre certas condições, a imagem do objeto seria mais nítida e sem deformações significativas. As condições de nitidez de Gauss, como tais condições ficaram conhecidas, são de que os raios que incidem no espelho devem ser paralelos ao eixo principal e para-axiais, ou seja, próximos ao eixo principal de espelho. Os espelhos esféricos onde os raios incidentes obedecem as condições de nitidez observadas por Gauss são chamados de espelhos esféricos de Gauss.

Ao incidir um feixe de luz paralelo em um espelho esférico de Gauss em paralelo com o seu eixo principal, o eixo refletido pode ser convergente, se o espelho for côncavo (Figura 3.22a) ou divergente, se o espelho for convexo (Figura 3.22b). O ponto de encontro dos raios refletidos (ou de seus prolongamentos) está situado no eixo principal, e este ponto é dado o nome de Foco Principal.

Figura 3.22 – Foco Principal dos espelhos esféricos (a) côncavo e (b) convexo.



Fonte: RAMALHO et. al., 2007.

O foco principal será real nos espelhos côncavos, pois os raios do feixe luminoso se encontram de fato, e será virtual nos espelhos convexos, pois os raios de luz do feixe luminoso não se encontram, apenas os seus prolongamentos.

Nos espelhos esféricos de Gauss o foco principal do espelho está localizado, aproximadamente no ponto médio entre o centro de curvatura do espelho e o vértice do espelho.

Os espelhos de esféricos de Gauss possuem propriedades que permite enunciar o comportamento dos raios de luz após serem refletidos

- Os raios de luz que incidem paralelos ao eixo principal são refletidos em uma direção que passa pelo foco principal (Figura 3.23);
- Os raios de luz que incidem numa direção que passa pelo foco principal são refletidos paralelos ao eixo principal (Figura 3.24);
- Os raios de luz que que incidem numa direção que passa pelo centro de curvatura são refletidos sobre ele mesmo (Figura 3.25);
- Os raios de luz que incidem sobre o vértice com um ângulo de incidência  $i$  em relação ao eixo principal é refletido com um ângulo de reflexão  $r$  em relação ao eixo principal, onde  $i = r$  (Figura 3.26).

Figura 3.23 – Raios paralelos refletem na direção do foco.



Fonte: RAMALHO et. al., 2007.

Figura 3.24 – Raios na direção do foco refletem paralelos.



Fonte: RAMALHO et. al., 2007.

Figura 3.25 – Raios na direção do centro de curvatura refletem sobre si mesmo.



Fonte: RAMALHO et. al., 2007.

Figura 3.26 – Raios que incidem no vértice refletem com o mesmo ângulo.



Fonte: RAMALHO et. al., 2007.

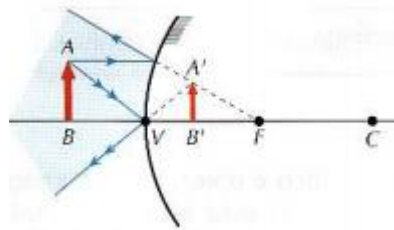
Utilizando as propriedades dos espelhos esféricos de Gauss é possível fazer a construção geométrica de imagens. Tendo uma seta como objeto, os raios de luz que saem do topo da seta incidem no espelho esférico, seguindo as propriedades dos espelhos esféricos de Gauss, o ponto de encontro dos raios refletidos será o topo da imagem da seta. A imagem de um objeto pode ser classificada quanto às suas características. Quanto ao tamanho, a imagem pode ser MENOR que o objeto, ou MAIOR e ainda pode ser do MESMO TAMANHO. Quanto à natureza da imagem, ela pode ser REAL, quando se forma na frente do espelho, ou seja, é formada pelo encontro dos raios refletidos, ou VIRTUAL, quando se forma atrás do espelho, ou seja, ela é formada pelo encontro dos prolongamentos dos raios refletidos. Por fim, quanto à sua orientação, ela pode ser DIREITA, quando está na mesma orientação do objeto, ou INVERTIDA, quando está na orientação contrária.

Um espelho esférico convexo produzirá sempre um tipo de imagem: VIRTUAL, DIREITA e MENOR (Figura 3.27).

Se o espelho for côncavo a imagem produzida por ele terá diferentes características dependendo da posição do objeto em relação ao espelho:

a) Quando o objeto está atrás do centro de curvatura a imagem que se forma é REAL, INVERTIDA e MENOR, e se localiza entre o foco e o centro de curvatura (Figura 3.28);

Figura 3.27 – Formação da imagem  $A'B'$  do objeto  $AB$  por um espelho convexo.



Fonte: RAMALHO et. al., 2007.

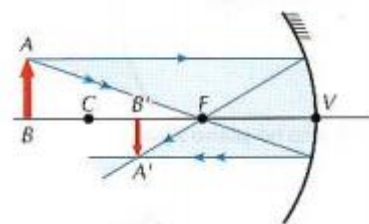
b) Quando o objeto está sobre o centro de curvatura a imagem que se forma é REAL, INVERTIDA e do MESMO TAMANHO, e também se localiza sobre o centro de curvatura (Figura 3.29);

c) Quando o objeto está entre o centro de curvatura e o foco a imagem é REAL, INVERTIDA e MAIOR, e se localiza atrás do foco (Figura 3.30);

d) Quando o objeto está sobre o foco a imagem é IMPRÓPRIA, ou seja, ela se forma no infinito (Figura 3.31);

e) Quando o objeto está entre o foco e o vértice a imagem que se forma é VIRTUAL, DIREITA e MAIOR (Figura 3.32).

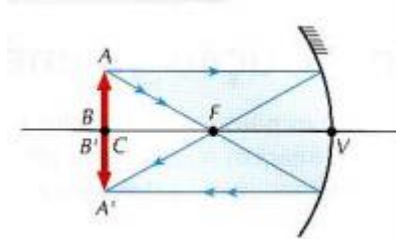
Figura 3.28 – Objeto atrás do centro de curvatura.



Fonte: RAMALHO et. al., 2007.

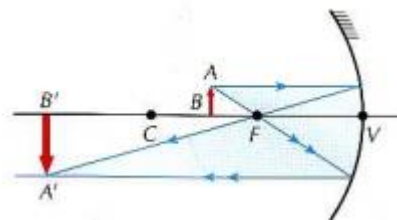


Figura 3.29 - Objeto sobre o centro de curvatura.



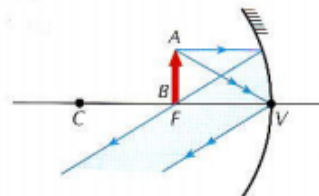
Fonte: RAMALHO et. al., 2007.

Figura 3.30 – Objeto entre o centro de curvatura e o foco.



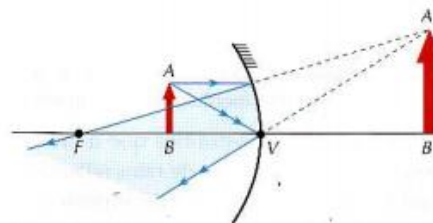
Fonte: RAMALHO et. al., 2007.

Figura 3.31 - Objeto sobre o foco.



Fonte: RAMALHO et. al., 2007.

Figura 3.32 – Objeto entre o foco e o vértice.



Fonte: RAMALHO et. al., 2007.

Ainda é possível fazer um estudo analítico dos espelhos esféricos, para isso é necessário adotar um sistema de coordenadas onde a origem se encontra no vértice do espelho, o eixo das abscissas que tem a mesma direção do eixo principal do espelho e sentido contrário da luz

incidente e o eixo das ordenadas tem direção perpendicular ao eixo principal e sentido para cima, a este sistema dá-se o nome de referencial de Gauss (Figura 3.33).

No referencial de Gauss os objetos e a imagem real terão abscissas positivas, já a imagem virtual terá abscissa negativa. A abscissa do objeto é indicada por  $p$  e a abscissa da imagem é indicada por  $p'$ , assim:

Figura 3.33 – Referencial de Gauss.



Fonte: RAMALHO et. al., 2007.

Objeto real:  $p > 0$

Imagem real:  $p' > 0$

Imagem virtual:  $p' < 0$

As abscissas  $f$  do foco e  $C$  do centro de curvatura do espelho côncavo são positivas, e do espelho convexo são negativas:

Espelho côncavo:  $f > 0$ ;  $C > 0$

Espelho convexo:  $f < 0$ ;  $C < 0$

As ordenadas da ponta do objeto e da ponta do objeto indicam a orientação do objeto e da imagem, se ambos possuem o mesmo sinal a imagem é direita em relação ao objeto, se possuírem sinais contrários, então a imagem é invertida em relação ao objeto.

A equação dos pontos conjugados de Gauss relaciona as abscissas do objeto, da imagem e do foco:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'} \quad (3.10)$$

O aumento linear transversal é a relação entre o tamanho da imagem e o tamanho do objeto, por semelhança triangular também pode ser escrita como uma relação entre a abscissa da imagem e a abscissa do objeto:

$$A = \frac{i}{o} = - \frac{p'}{p} \quad (3.11)$$

Ainda pode-se deduzir sobre o aumento linear transversal:

- $A > 0$ : Imagem direita;

- $A < 0$ : Imagem invertida;
- $|A| > 1$ : Imagem maior que o objeto;
- $0 < |A| < 1$ : Imagem menor que o objeto.

### 3.4 Refração da Luz

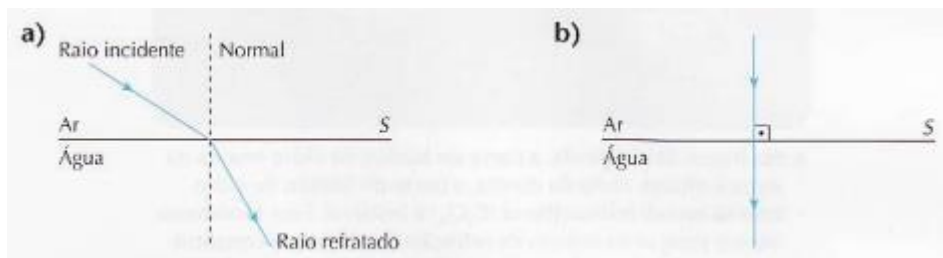
A refração da luz é a mudança de velocidade da luz quando esta passa de um meio de propagação para outro. Se a luz incide sobre a superfície que separa os meios de forma oblíqua, além da mudança de velocidade, também ocorre uma mudança de direção da luz (Figura 3.34a), mas se a luz incidir perpendicularmente a mudança de direção não irá ocorrer (Figura 3.34b).

Quando uma luz incide numa superfície, parte dela irá refratar e parte dela irá refletir, pois os dois fenômenos ocorrem simultaneamente (Figura 3.35). O fenômeno da refração será predominante se o segundo meio for transparente.

Todo meio transparente tem um índice de refração absoluto  $n$  característico. Este índice é a razão entre a velocidade da luz no vácuo ( $c$ ) e a velocidade da luz ( $v$ ) no meio cujo o índice se quer saber:

$$n = \frac{c}{v}. \quad (3.12)$$

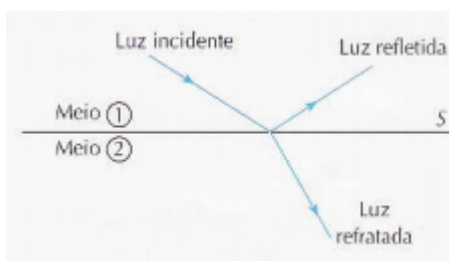
Figura 3.34 – Incidência (a) oblíqua e (b) perpendicular.



Fonte: RAMALHO et. al., 2007.

Como a velocidade da luz no vácuo é sempre maior, e como é uma razão entre duas velocidades, o índice de refração  $n$  é adimensional e sempre maior que uma unidade. O índice de refração de um meio também depende do tipo de luz que se propaga, pois luzes monocromáticas possuem velocidades diferentes, assim o índice de refração apresenta valor máximo quando a luz é violeta e valor mínimo quando a luz é vermelha.

Figura 3.35 – Fenômenos de reflexão e refração ocorrendo simultaneamente.



Fonte: RAMALHO et. al., 2007.

Para indicar que um meio tem maior índice de refração que o outro, pode-se dizer que ele tem maior refração. Quando dois meios possuem a mesma refração, ou seja, o mesmo índice de refração, um se torna invisível em relação ao outro, esse fenômeno é chamado de continuidade óptica (Figura 3.36).

Um raio de luz, ao incidir sobre uma superfície formando um ângulo de incidência  $i$  com a Normal da superfície, irá atravessar esse meio, ocorrendo a refração, o raio refratado irá formar um ângulo de refração  $r$  com a Normal, de forma que o raio incidente, a Normal e o raio refratado estão situados no mesmo plano (Figura 3.37).

Diferentemente da reflexão os ângulos de incidência  $i$  e de refração  $r$  não são iguais, os ângulos seguem uma lei proposta pelo matemático e astrônomo holandês Wilebrord Snell (1580 – 1626) e pelo matemático e físico francês René Descartes (1596 – 1650), conhecida como lei de Snell-Descartes, que fala que o produto do seno do ângulo de incidência  $i$  pelo índice de refração do meio 1 ( $n_1$ ) é igual ao produto do seno do ângulo de refração pelo índice de refração do meio 2 ( $n_2$ ):

$$n_1 \cdot \text{sen } i = n_2 \cdot \text{sen } r. \quad (3.13)$$

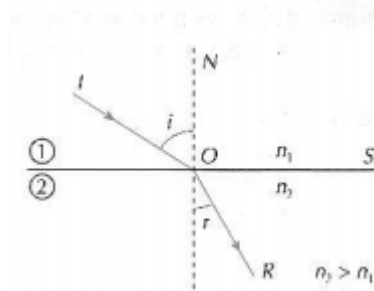
Figura 3.36 - Bastão de vidro imerso em tetracloroetileno ( $\text{C}_2\text{Cl}_4$ ), ambos têm a mesma refração.



Fonte: RAMALHO et. al., 2007.

Pela Equação 3.13 pode-se deduzir que os índices de refração dos meios são inversamente proporcionais aos senos dos ângulos, dessa forma se a luz passa de um meio menos refringente para um meio mais refringente, o raio de luz se aproxima da normal, e se a luz passa de um meio mais refringente para um meio menos refringente, o raio de luz se afasta da normal.

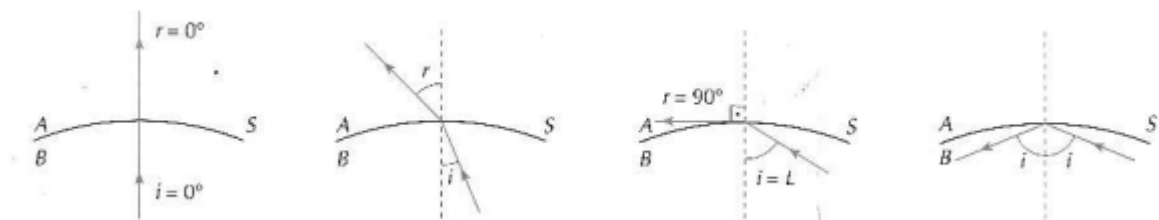
Figura 3.37 – Raio Incidente, Normal e Raio Refratado.



Fonte: RAMALHO et. al., 2007.

Quando a luz passa de um meio mais refringente para um meio menos refringente, o raio refratado vai se afasta da normal. Se o ângulo de incidência aumentar, o ângulo de refração também irá aumentar, e chegará um momento que o ângulo será de  $90^\circ$ , o ângulo de incidência que produz um ângulo de refração igual a  $90^\circ$  é chamado de ângulo limite  $L$ , pois se o ângulo de incidência for maior que o ângulo limite não ocorrerá mais refração e somente reflexão, este fenômeno se chama reflexão total (Figura 3.38).

Figura 3.38 – Comportamento da luz ao passar de um meio mais refringente para um meio menos refringente.



Fonte: RAMALHO et. al., 2007.

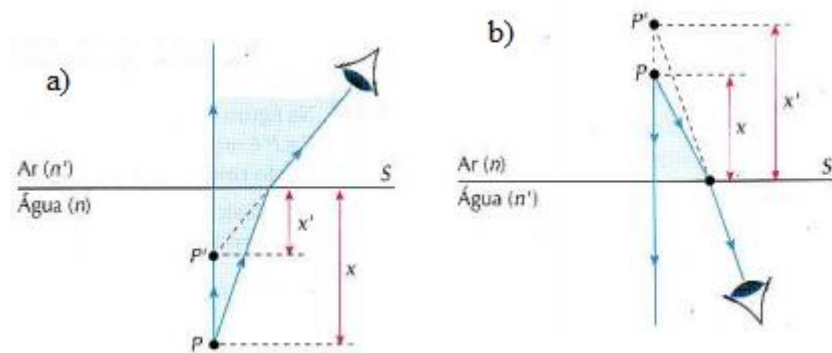
É possível encontrar o valor do ângulo limite usando a lei de Snell-Descartes, onde  $n_1$  será o índice de refração do meio mais refringente e  $n_2$  será o índice de refração do meio menos

refringente, para que o ângulo de incidência seja o ângulo limite o ângulo de refração deve ser igual a  $90^\circ$ , assim:

$$\begin{aligned} r = 90^\circ &\rightarrow \text{sen } r = \text{sen } 90^\circ \rightarrow \text{sen } r = 1. \\ n_1 \cdot \text{sen } i &= n_2 \cdot \text{sen } r. \\ n_1 \cdot \text{sen } L &= n_2. \\ \text{sen } L &= \frac{n_2}{n_1}. \end{aligned} \quad (3.14)$$

Dois meios transparentes e homogêneos separados por uma superfície plana formam um dióptro plano. Um objeto luminoso que se encontra em um dos meios do dióptro plano emite um raio de luz, que após refratar, chega ao olho de um observador que se encontra no outro meio do dióptro, como o cérebro humano interpreta a luz sempre em linha reta o observador verá uma imagem do objeto real, esta imagem será mais próxima em relação ao observador do que o objeto real, se o objeto real estiver no meio mais refringente e o observador no meio menos refringente (Figura 3.39a), no entanto se o objeto real estiver no meio menos refringente e o observador estiver no meio mais refringente, o observador irá enxergar uma imagem mais distante (Figura 3.39b).

Figura 3.39 – (a) imagem mais próxima e (b) imagem mais distante.



Fonte: RAMALHO et. al., 2007.

Isto ocorre devido ao afastamento da luz em relação à normal (no primeiro caso) e à aproximação da luz em relação à normal (no segundo caso) ao passar de um meio para outro.

Para determinar a distância  $x$  do objeto e a distância  $x'$  imagem em relação à superfície utilize-se a Equação 3.15:

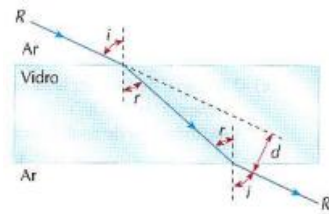
$$\frac{x}{x'} = \frac{n}{n'}. \quad (3.15)$$

Onde  $n$  é o índice de refração do meio em que se encontra o objeto luminoso e  $n'$  é o índice de refração do meio onde se encontra o observador.

Quando três meios transparentes e homogêneos, separados por duas superfícies planas e paralelas se unem obtém-se uma lâmina de faces paralelas, um exemplo disso é uma vidraça onde os meios extremos são o ar e o meio intermediário é o vidro (Figura 3.40).

Quando um raio de luz incide na primeira superfície da lâmina, supondo esta ser mais refringente que o primeiro os meios extremos, ele irá se aproximar da normal, ao incidir na segunda superfície, o raio de luz irá se afastar da normal, se os meios extremos forem os mesmos, o raio de luz não sofrerá desvio angular, apenas desvio lateral, ou seja, o raio de luz que sai no terceiro meio é paralelo ao raio que incidente.

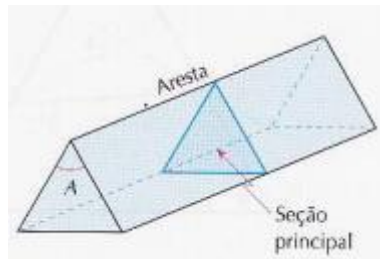
Figura 3.40 - Lâmina de faces paralelas.



Fonte: RAMALHO et. al., 2007.

Se três meios transparentes e homogêneos separados por duas superfícies planas não-paralelas se unem obtém-se um prisma, onde as superfícies planas são as faces do prisma, e a reta em que as faces se encontram é chamada de aresta. O ângulo  $A$ , que é formado pelas faces do prisma, é formado pelas faces do prisma, este ângulo se chama ângulo de refringência. Os fenômenos ópticos que acontecem no prisma são analisados num plano perpendicular à aresta, este plano tem o nome de seção principal (Figura 3.41). Ao contrário da lâmina de faces paralelas, no prisma ocorrerá um desvio angular.

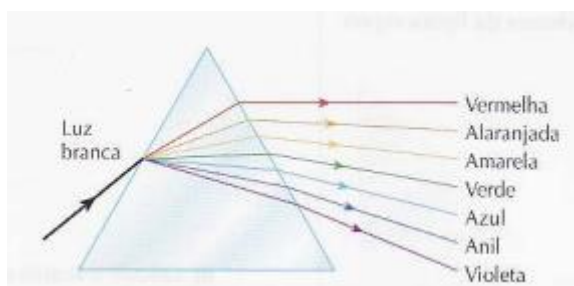
Figura 3.41 – Prisma e seus componentes.



Fonte: RAMALHO et. al., 2007.

A luz branca é formada pelas cores que compõem o arco-íris que vai da luz vermelha à luz Violeta. Em qualquer meio de propagação a velocidade da luz vermelha é a maior, e a velocidade da luz violeta é a menor, sendo as velocidades das demais luzes, que compõem a luz branca, intermediárias. Desse modo se a luz branca sofrer refração, as luzes que a compõem terão velocidades diferentes no segundo meio, assim elas sofreram inclinações diferentes, separando-se, este fenômeno é chamado de dispersão luminosa (Figura 3.42).

Figura 3.42 – Dispersão da Luz.



Fonte: RAMALHO et. al., 2007.

### 3.5 – Lentes Esféricas Delgadas

Uma lente esférica delgada é um sistema óptico formado por três meios homogêneos e transparentes separados por duas superfícies esféricas, ou uma superfície esférica e outra plana. Normalmente os meios extremos são idênticos, separados pelo meio intermediário formado pela lente.

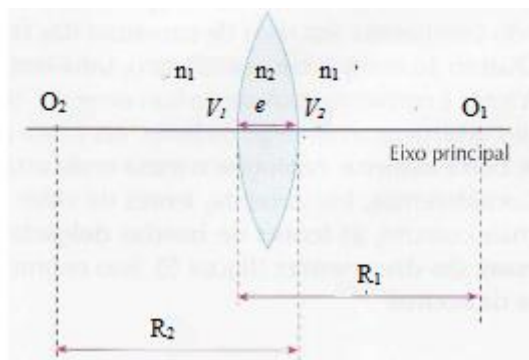
As lentes esféricas possuem elementos geométricos (Figura 3.43), muito parecidos com os elementos geométricos dos espelhos esféricos:

- Os centros de curvatura ( $O_1$  e  $O_2$ ) das faces das lentes;
- Os raios ( $R_1$  e  $R_2$ ) das mesmas faces;
- O eixo principal: reta que passa pelos centros de curvatura;
- Vértices ( $V_1$  e  $V_2$ ): ponto de encontro entre o eixo principal e as faces da lente;
- Espessura ( $e$ ): a distância entre os vértices.

Existem seis tipos de lentes que são divididas igualmente em Lentes Esféricas de Bordas Delgadas e Lentes Esféricas de Bordas Espessas. Para nomear as lentes pega-se as faces voltadas para o meio exterior, a face que possui o maior raio de curvatura é assinalada em primeiro no nome (Figura 3.44).



Figura 3.43 – Elementos Geométricos das Lentes Esféricas.

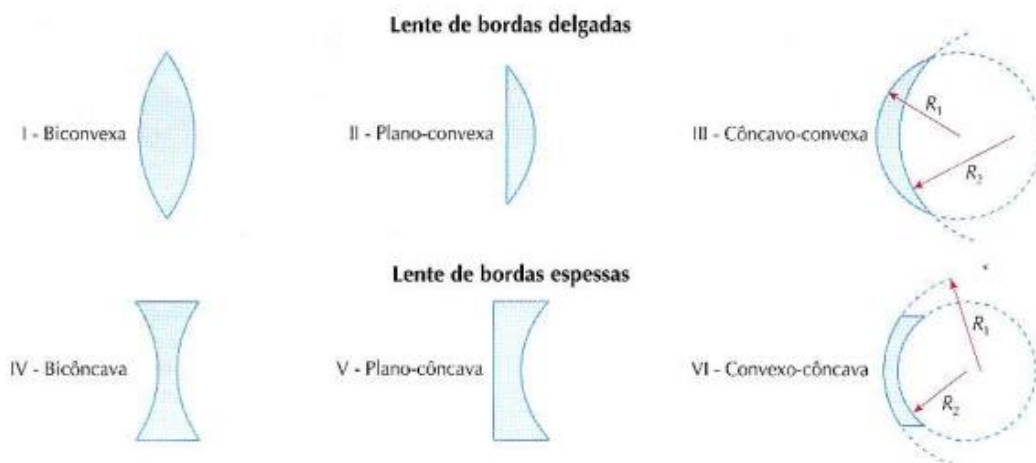


Fonte: RAMALHO et. al., 2007.

As Lentes Delgadas são assim chamadas pois a sua espessura é muito pequena quando comparada aos raios de curvatura das faces.

As lentes podem ser divididas também quanto ao seu comportamento. Quando raios de luz paralelos incidem sobre uma lente e esta os faz convergir a um ponto, ela é chamada de lente convergente, do contrário, se a lente faz os raios divergirem, ela é chamada de lente divergente. Tanto lentes de bordas delgadas como lentes de bordas espessas podem ser convergentes ou divergentes. Se o meio externo tiver um índice de refração menor que a lente, as lentes de bordas delgadas terão comportamento convergente e as lentes de bordas espessas terão comportamento divergente (Figura 3.45), porém se o meio externo tiver um índice de refração maior que a lente, as lentes de bordas delgadas terão comportamento divergente e as lentes de bordas espessas terão comportamento convergente (Figura 3.46).

Figura 3.44 – Tipos de lentes esféricas separadas por tipo.



Fonte: RAMALHO et. al., 2007.

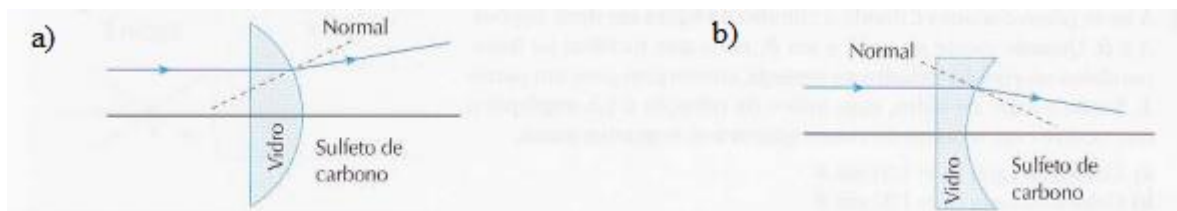
Para melhorar o estudo das lentes delgadas, elas são representadas por um segmento de reta perpendicular ao eixo principal, assim não é necessário descrever o trajeto do raio luminoso dentro das lentes. As pontas das setas dos segmentos que representam as lentes indicam se eles são convergentes, quando as pontas apontam para fora (Figura 3.47a), ou divergentes, quando as setas apontam para dentro (Figura 3.47b). O cruzamento da reta que representa a lente como eixo principal é denominado centro óptico  $O$ .

Figura 3.45 – Comportamento das lentes de vidro de bordas (a) delgadas e (b) espessas, imersas no ar ( $n_{\text{ar}} < n_{\text{vidro}}$ ).



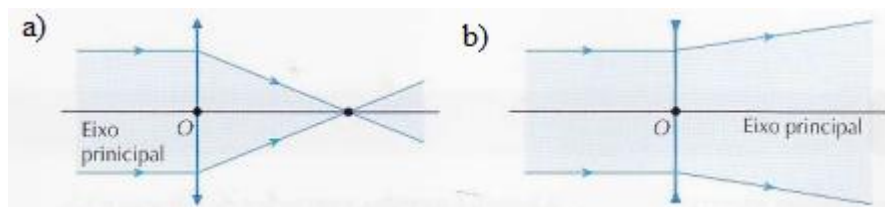
Fonte: RAMALHO et. al., 2007.

Figura 3.46 – Comportamento das lentes de vidro de bordas (a) delgadas e (b) espessas, imersas em sulfeto de carbono ( $n_{\text{vidro}} < n_{\text{sc}}$ ).



Fonte: RAMALHO et. al., 2007.

Figura 3.47 – Segmentos de retas representando lentes (a) convergentes e (b) divergentes.



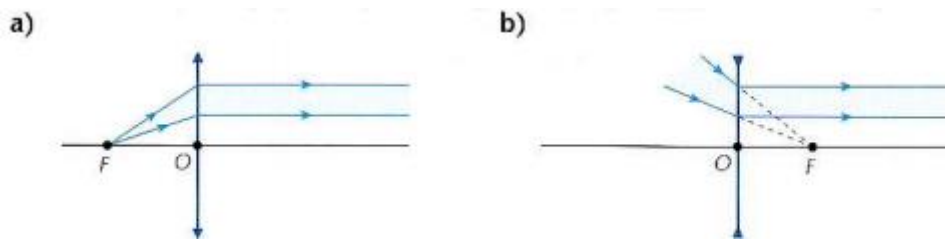
Fonte: RAMALHO et. al., 2007.

Assim como os espelhos esféricos as lentes possuem focos, como as lentes possuem duas faces, elas possuem dois focos, o foco objeto  $F$ , e o foco imagem  $F'$ . O foco objeto é o

ponto no eixo principal que conjuga os raios paralelos que emergem da lente (Figura 3.48a e 3.48b). O foco imagem é o ponto no eixo principal que conjuga os raios paralelos que incidem na lente (Figura 3.49a e 3.49b).

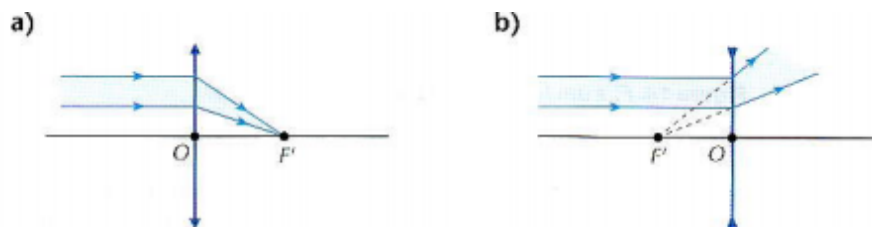
Nota-se que os focos das lentes convergentes são reais, pois são definidos pelo cruzamento dos raios luminosos, já nas lentes divergentes os focos são virtuais, pois são definidos pelo cruzamento dos prolongamentos dos raios luminosos. Se os dois meios extremos são o mesmo meio, os focos objeto e imagem são simétricos.

Figura 3.48 – Foco Objeto de lentes (a) convergente e (b) divergente.



Fonte: RAMALHO et. al., 2007.

Figura 3.49 – Foco Imagem de lentes (a) convergente e (b) divergente.

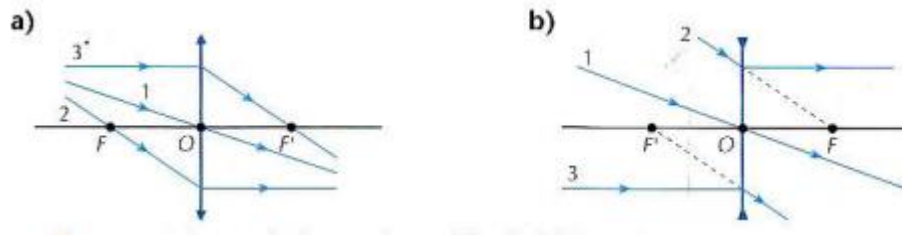


Fonte: RAMALHO et. al., 2007.

Após estudar esses conceitos é possível determinar o comportamento de alguns raios luminosos (Figura 3.50):

- Os raios de luz que passam pelo centro óptico não sofrem desvio;
- Os raios de luz que incidem paralelos ao eixo principal emergem numa direção que passa pelo foco imagem;
- Os raios de luz que incidem numa direção que passa pelo foco objeto emergem paralelos ao eixo principal.

Figura 3.50 – Comportamento dos raios luminosos em lentes (a) convergentes e (b) divergentes.

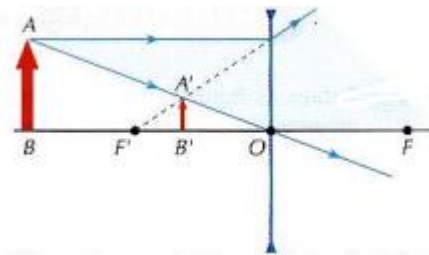


Fonte: RAMALHO et. al., 2007.

Assim como nos espelhos esféricos é possível fazer uma construção geométrica das imagens formadas por uma lente usando suas propriedades, e as imagens formada por uma lente podem ser descritas do mesmo modo que as imagens formadas por um espelho esférico.

Uma lente divergente sempre produzirá uma imagem VIRTUAL, DIREITA e MENOR (Figura 3.51).

Figura 3.51 – Formação da imagem  $A'B'$  do objeto  $AB$  por uma lente divergente.



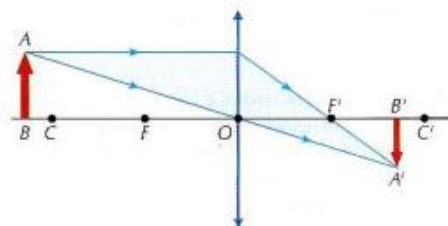
Fonte: RAMALHO et. al., 2007.

As lentes convergentes fornecem imagens com características diferentes dependendo da posição do objeto em relação à lente, denomina-se pontos antiprincipais  $C$  e  $C'$  como o ponto situado a uma distância duas vezes a distância dos focos  $F$  e  $F'$ , estes pontos servirão de referência para definir as posições possíveis do objeto em relação ao espelho. As possíveis posições e as suas respectivas imagens são:

- Objeto atrás do ponto antiprincipal objeto: a imagem formada será REAL, INVERTIDA e MENOR que o objeto, e está localizada entre o foco imagem e o ponto antiprincipal imagem (Figura 3.52);
- Objeto em cima do ponto antiprincipal objeto: a imagem formada será REAL, INVERTIDA e do MESMO TAMANHO que o objeto, e está localizada em cima do ponto antiprincipal imagem (Figura 3.53);

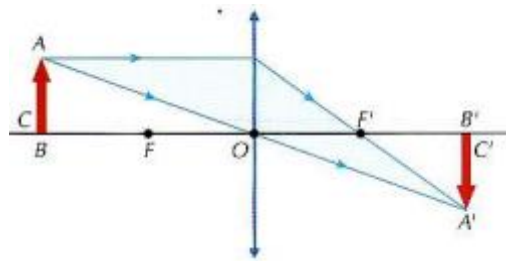
- c) Objeto entre o ponto antiprincipal objeto e o foco objeto: a imagem formada será REAL, INVERTIDA e MAIOR que o objeto, e está localizada atrás do ponto antiprincipal imagem (Figura 3.54);
- d) Objeto sobre o foco objeto: a imagem será IMPRÓPRIA, ou seja, ela se forma no infinito (Figura 3.55);
- e) Objeto entre o foco principal e o centro óptico: a imagem formada será VIRTUAL, DIREITA e MAIOR que o objeto (Figura 3.56).

Figura 3.52 – Objeto atrás do Ponto Antiprincipal Objeto.



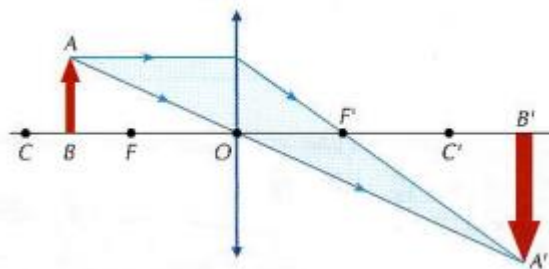
Fonte: RAMALHO et. al., 2007.

Figura 3.53 – Objeto sobre o Ponto Antiprincipal Objeto.



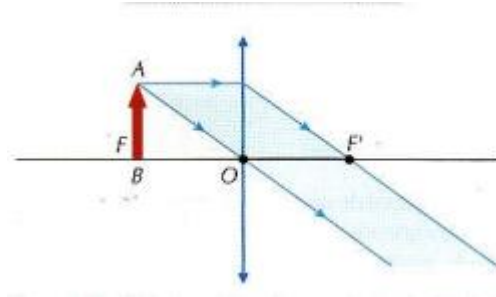
Fonte: RAMALHO et. al., 2007.

Figura 3.54 – Objeto entre o Ponto Antiprincipal Objeto e o Foco Objeto.



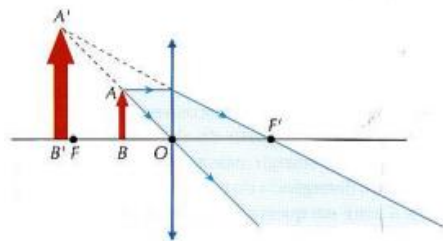
Fonte: RAMALHO et. al., 2007.

Figura 3.55 – Objeto sobre o Foco Objeto.



Fonte: RAMALHO et. al., 2007.

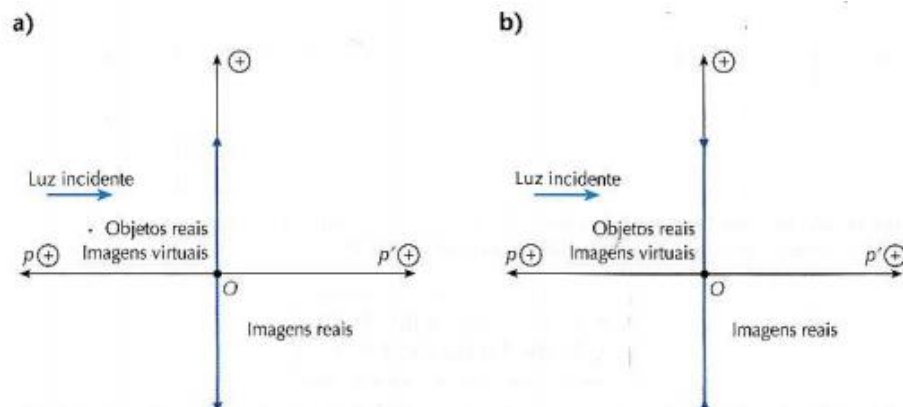
Figura 3.56– Objeto entre o Foco Objeto e o Centro Óptico.



Fonte: RAMALHO et. al., 2007.

Assim como nos espelhos esféricos, pode-se usar o referencial de Gauss para fazer um estudo analítico das lentes delgadas, onde a origem está situada no centro óptico da lente, o eixo das abscissas possui a mesma direção que o eixo principal da lente e sentido contrário ao sentido da luz incidente para os objetos e a favor para as imagens, e o eixo das ordenadas possui direção perpendicular ao eixo principal da lente (Figura 3.57).

Figura 3.57 – Referencial de Gauss para lentes (a) convergentes e (b) divergentes.



Fonte: RAMALHO et. al., 2007.

No referencial de Gauss, considerando a luz incidente vindo da esquerda, o objeto real (à esquerda da lente) terá abscissa  $p$  positiva e a imagem real (à direita da lente) terá a abscissa  $p'$  também positiva, a imagem virtual (à esquerda da lente) terá abscissa  $p'$  negativa, assim:

Objeto real:  $p > 0$ ;

Imagem real:  $p' > 0$ ;

Imagem virtual:  $p' < 0$ .

As ordenadas  $o$  da ponta do objeto e  $i$  da ponta do objeto indicam a orientação do objeto e da imagem, se ambos possuem o mesmo sinal a imagem é direita em relação ao objeto, se possuírem sinais contrários, então a imagem é invertida em relação ao objeto.

Apesar das lentes esféricas possuírem dois focos  $F$  e  $F'$ , é considerada apenas uma distância focal de abscissa  $f$ , pois as lentes são estudadas imersas em meios extremos idênticos. A distância focal será positiva para lentes convergentes e negativa para lentes divergentes. A capacidade que uma lente possui para desviar a luz incidente é chamada de vergência  $D$ , e que por definição é igual ao inverso da distância focal, pois uma lente que possui uma distância focal pequena é capaz de desviar a luz incidente em um ângulo maior que uma lente que possui uma distância focal maior (Figura 3.58):

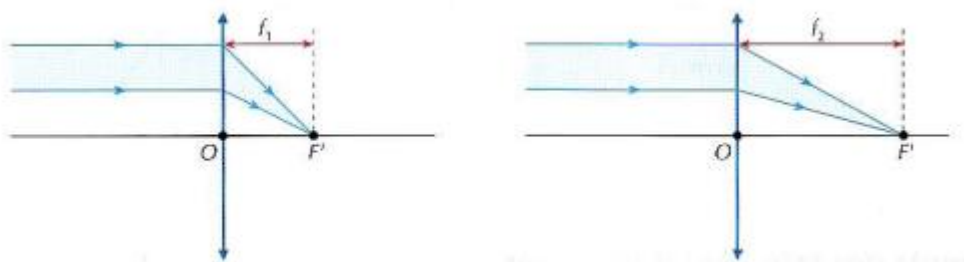
$$D = \frac{1}{f}. \quad (3.16)$$

Lente Convergente:  $f > 0$ ;  $D > 0$ ;

Lente Divergente:  $f < 0$ ;  $D < 0$ ;

$$f_1 < f_2 \rightarrow D_1 > D_2.$$

Figura 3.58 – Relação da distância focal e o desvio da luz (vergência).



Fonte: RAMALHO et. al., 2007.

Conhecendo os índices de refração do meio externo  $n_1$  e da lente  $n_2$  e os raios de curvatura das faces da lente ( $R_1$  e  $R_2$ ), é possível determinar a distância focal da lente através equação denominada equação dos fabricantes de lentes, proposta pelo astrônomo e matemático Edmund Halley (1656 – 1742):

$$\frac{1}{f} = \left( \frac{n_2}{n_1} - 1 \right) \cdot \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right). \quad (3.17)$$

Existe uma convenção de sinais para os raios de curvatura que deve ser utilizada na equação anterior. Se a face for convexa, o raio de curvatura terá sinal positivo, se a face for côncava, o raio de curvatura terá sinal negativo. No entanto se a face for plana, seu raio é considerado próximo ao infinito, ou seja, o termo  $\frac{1}{R_p}$ , onde  $R_p$  é o raio de curvatura da face plana, é considerado nulo, e a Equação 3.17 se resume a:

$$\frac{1}{f} = \left( \frac{n_2}{n_1} - 1 \right) \cdot \left( \frac{1}{R} \right). \quad (3.18)$$

Também é possível determinar a distância focal através da equação dos pontos conjugados de Gauss (Equação 3.10). Também é possível calcular o aumento linear transversal (Equação 3.11), estas mesmas equações são utilizadas nos espelhos esféricos.

### 3.6. Instrumentos Ópticos

Muitos instrumentos ópticos são formados por associação de lentes, essas associações têm como objetivo corrigir defeitos causados pela utilização de uma única lente ou são determinadas pelo tipo de imagem que o instrumento dever formar.

O tipo de associação de lentes mais simples é a associação de lentes justapostas, onde duas lentes são colocadas juntas, sem separação entre elas. Este tipo de associação tem como objetivo corrigir a aberração cromática causada pela decomposição da luz, quando esta passa por uma única lente (Figura 3.59).

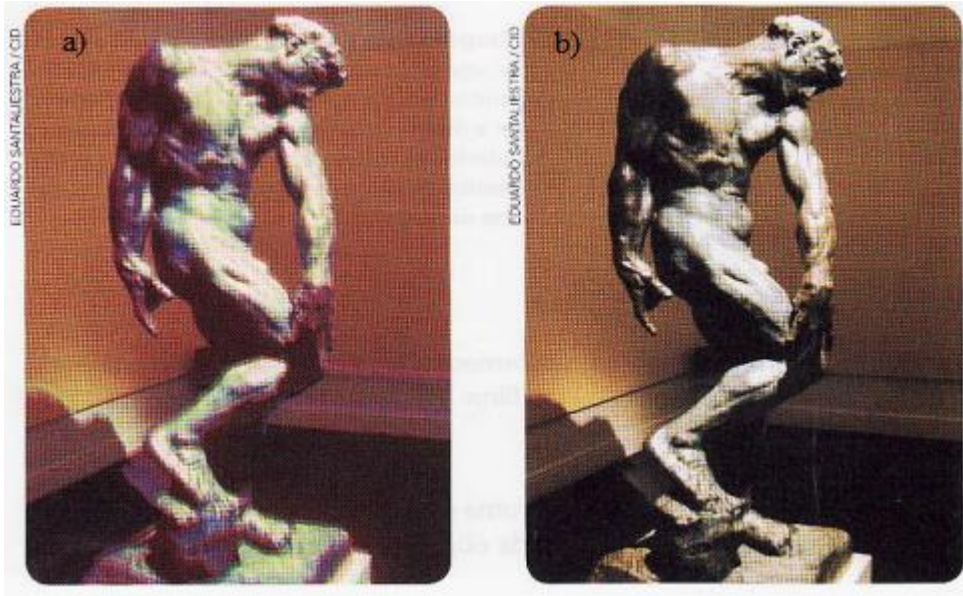
Os instrumentos ópticos são divididos em instrumentos de projeção e instrumentos de observação. Os instrumentos de projeção fornecem uma imagem real, pois têm como objetivo que essa imagem seja projetada em um anteparo.

A câmera fotográfica é um exemplo de instrumento de projeção. Ela é constituída basicamente por uma câmera escura provida de uma lente, chamada objetiva, e o filme, posicionado na parede oposta, perpendicular ao eixo óptico da lente (Figura 3.60).

Outro exemplo de instrumento de projeção são os próprios projetores, a objetiva é uma lente convergente que fornece uma imagem real, invertida e maior de um objeto bem iluminado. Para uma melhor iluminação do objeto é colocada um espelho côncavo atrás de uma lâmpada, esta lâmpada está localizada no centro de curvatura do espelho (Figura 3.61).

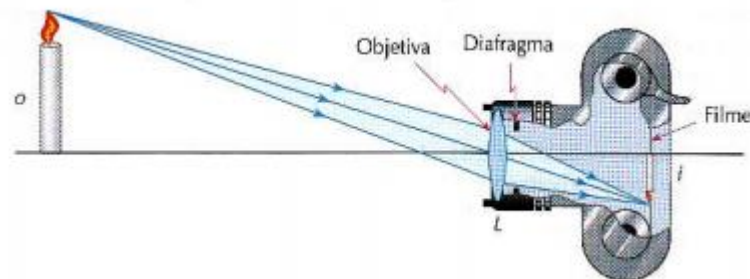


Figura 3.59 – Foto (a) com aberração cromática e (b) sem aberração cromática, corrigido por lentes justapostas.



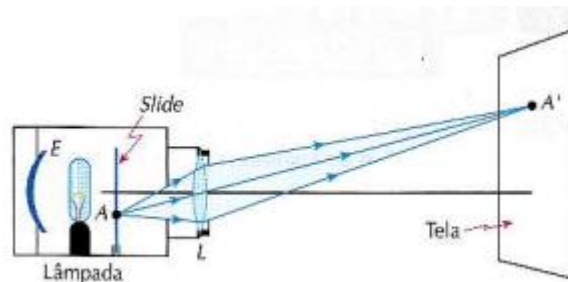
Fonte: RAMALHO et. al., 2007.

Figura 3.60 – Representação simplificada do funcionamento de uma câmera fotográfica.



Fonte: RAMALHO et. al., 2007.

Figura 3.61 – Representação simplificada de um projetor.

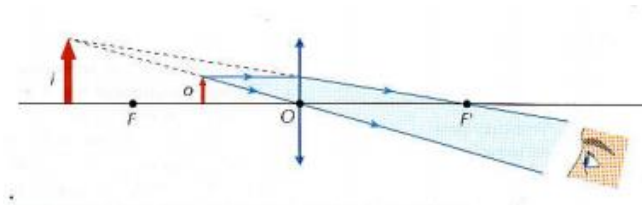


Fonte: RAMALHO et. al., 2007.

Os instrumentos de observação fornecem uma imagem virtual, pois têm como objetivo que a imagem virtual chegue ao olho.

Um exemplo de instrumento de observação é uma lupa, ou lente de aumento, que consiste simplesmente de uma lente convergente que fornece uma imagem virtual, direita e maior (Figura 3.62).

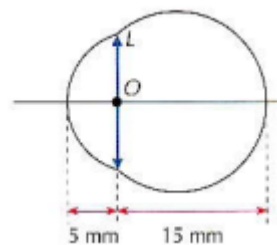
Figura 3.62 – Funcionamento de uma lupa.



Fonte: RAMALHO et. al., 2007.

O olho humano é um sistema óptico muito complexo, porém para facilitar o estudo da formação da imagem no olho, utiliza-se uma representação simplificada, o olho reduzido, que é constituído onde todos os componentes do olho são representados a 5 mm da córnea e a 15 mm da retina (Figura 3.63).

Figura 3.63 – Olho reduzido.



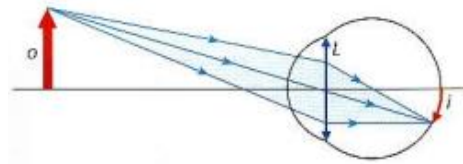
Fonte: RAMALHO et. al., 2007.

O olho humano normal pode enxergar objetos com uma distância mínima de 25 cm, conhecido como ponto próximo, até o infinito, conhecido como ponto remoto. A imagem de um objeto deve se formar na retina do olho, e ela deve ser virtual, invertida e menor (Figura 3.64).

As anomalias da visão mais conhecidas são a miopia e a hipermetropia. A miopia acontece quando o olho humano é muito alongado na direção do eixo óptico, fazendo com que a imagem se forme antes da retina (Figura 3.65), assim uma pessoa míope tem dificuldade em

enxergar de longe. Para corrigir essa anomalia é necessária uma lente corretora divergente (Figura 3.66).

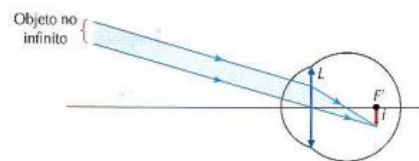
Figura 3.64 – Formação da imagem no olho reduzido.



Fonte: RAMALHO et. al., 2007.

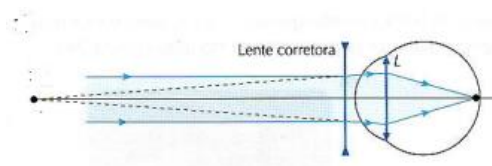
Já a hipermetropia é causada pelo encurtamento do olho, fazendo com que a imagem se forme além da retina (Figura 3.67), assim uma pessoa com hipermetropia tem dificuldade de enxergar de perto. E para corrigir essa anomalia, a lente corretora deve ser convergente (Figura 3.68).

Figura 3.65 – Formação de imagem num olho míope.



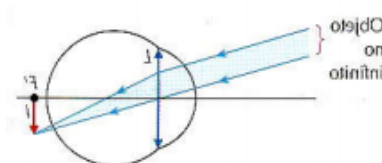
Fonte: RAMALHO et. al., 2007.

Figura 3.66 – Correção para miopia.



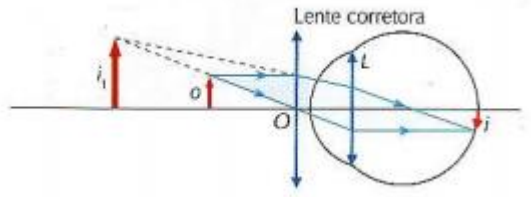
Fonte: RAMALHO et. al., 2007.

Figura 3.67 – Formação de imagem num olho hipermetrope.



Fonte: RAMALHO et. al., 2007.

Figura 3.68 – Correção da hipermetropia.



Fonte: RAMALHO et. al., 2007.

#### 4. METODOLOGIA

Para melhorar o entendimento da Física na área de Óptica serão propostos experimentos simples e de baixo custo, permitindo que o professor possa levá-los para a sala de aula, não sendo necessário que a escola tenha um laboratório de Física ou Ciências, realidade em muitas Escolas da rede pública.

Os experimentos propostos são: “Luz no Fim do Túnel”, “Pisca-pisca infinito”, “Espelho Côncavo”, “Fibra Ótica” e “Truque da Moeda”.

Com o experimento “Luz no Fim do Túnel” é possível mostrar aos alunos a reflexão regular da luz, onde o ângulo de incidência da luz no espelho é igual ao ângulo de reflexão (seção 3.2). Também é possível demonstrar o princípio da propagação retilínea da luz e o princípio da reversibilidade dos raios de luz (seção 3.1).

O experimento “Pisca-pisca infinito” demonstra a formação de imagens infinitas quando dois espelhos planos são postos em paralelos com um objeto entre eles (seção 3.2).

No experimento “Espelho Côncavo”, como o nome sugere, é possível ver como os raios de luz se comportam ao refletir em um espelho esférico, podendo medir o foco e o centro de curvatura (seção 3.3).

No experimento “Fibra Ótica” é possível ver o funcionamento de uma fibra ótica real, utilizada para transmitir informações através de radiações como a luz, através da reflexão total da luz (seção 3.4).

No experimento “Truque da Moeda”, é possível perceber como ocorre a troca de direção dos raios de luz na refração, ao incidir em um meio de índice de refração diferente (seção 3.4).

## 5. RESULTADOS

A seguir estão mostrados os cinco experimentos de baixo custo que foram propostos para serem usados durante as aulas de Óptica, os experimentos são: Luz no Fim do Túnel (1), Pisca-Pisca Infinito (2), Espelho Côncavo (3), Fibra Óptica (4) e Truque da Moeda (5).

### 5.1. Experimento 1 - Luz no Fim do Túnel.

Com este experimento é possível observar a lei da reflexão para espelhos planos.

#### 5.1.1. Materiais utilizados no Experimento 1:

Os materiais utilizados neste experimento estão listados a seguir e podem ser vistos na Figura 5.1.

- Espelho Plano (1);
- Cartolina preta fosca (2);
- Fita Adesiva (3);
- Tesoura (4);
- Laser (5);
- Prato (6);
- Lápis ou lapiseira (7);
- Folha de Papel (8);
- Transferidor (9).

Figura 5.1 – Materiais utilizados no Experimento 1.



#### 5.1.2. Procedimento do Experimento 1.

A seguir está o passo-a-passo para montar o Experimento 1:

Passo 1: Corte a cartolina em um retângulo, do tamanho que deseja o tubo;

Passo 2: Enrole a cartolina formando um tubo e use fita adesiva para manter a cartolina enrolada;

Passo 3: Com uma tesoura corte o tubo na metade do seu comprimento, mas deixe uma ponta ligando as duas partes do tubo (figura 5.2);

Figura 5.2 – Conexão das duas partes do tubo de cartolina.



Passo 4: Numa folha de papel em branco desenhe um círculo com a ajuda de um prato e corte-o ao meio;

Passo 5: Com o transferidor faça um disco graduado em graus no semicírculo feito com o papel;

Passo 6: Monte o experimento colocando o disco graduado em frente ao espelho plano e o tubo com ângulo variável em cima do disco, a fim de medir o ângulo formado. Jogue a luz do laser dentro de um dos lados do tubo, incidindo no espelho, e deixe esse lado fixo, varie o outro lado, descobrindo em qual ângulo é possível a luz do laser que refletiu no espelho, não olhe diretamente para a luz do laser, ou do seu reflexo, utilize um anteparo, como a própria mão, para verificar se o reflexo do laser está saindo do outro lado do tubo. Peça para dois alunos olharem através do tubo e deixe-os descobrir se é possível enxergar o outro através do espelho.

Na Figura 5.3 é possível ver o experimento montado e seu resultado.

### 5.1.3. Discussão sobre o Experimento 1.

Dos materiais utilizados no experimento “Luz no Fim do Túnel” apenas foram necessários comprar a cartolina preta fosca, que custou R\$ 0,85, e o transferidor para fazer o disco graduado, que custou R\$ 0,90, facilmente encontrados em lojas de papelaria. Utilizou-se a lanterna do celular, não sendo necessária a compra de uma lanterna. Também pode-se utilizar um laser, adquirido no valor de R\$ 5,00. O experimento foi testado e cumpre o objetivo proposto

de medir os ângulos de incidência e de reflexão da luz. O custo total do experimento foi de R\$ 6,75.

Figura 5.3 – Resultado do Experimento 1.



## 5.2. Experimento 2 - Pisca-pisca Infinito

Com este experimento é possível demonstrar a formação de imagens de objetos colocados entre dois espelhos paralelos.

### 5.2.1. Materiais utilizados no Experimento 2.

Os materiais utilizados neste experimento estão listados a seguir e podem ser vistos na Figura 5.4.

- Pisca-pisca de natal (1);
- Papelão (2);
- Espelho Plano (3);
- Fita Adesiva (4);
- Insufilm espelhado (5);
- Placa de vidro (6);
- Régua (7).

### 5.2.2. Procedimento do Experimento 2.

A seguir está o passo-a-passo para montar o Experimento 2:

Passo 1: Corte o papelão em tiras de, aproximadamente, 5cm de largura, e com comprimentos um pouco menores que os lados da placa de vidro utilizada (figura 5.5);

Passo 2: Com a fita adesiva junte as tiras de papelão formando uma “parede” e com uma tesoura faça furos para colocar as luzes do pisca-pisca (figura 5.6)



Passo 3: Aplique o insulfilm espelhado na placa de vidro, utilize uma régua para diminuir as bolhas de ar;

Passo 4: Coloque a “parede” de papelão com o pisca-pisca em cima do espelho plano, e a placa de vidro com insulfilm em cima da “parede” e ligue na tomada.

Figura 5.4 – Materiais utilizados no Experimento 2.



Figura 5.5 – Tiras de papelão.

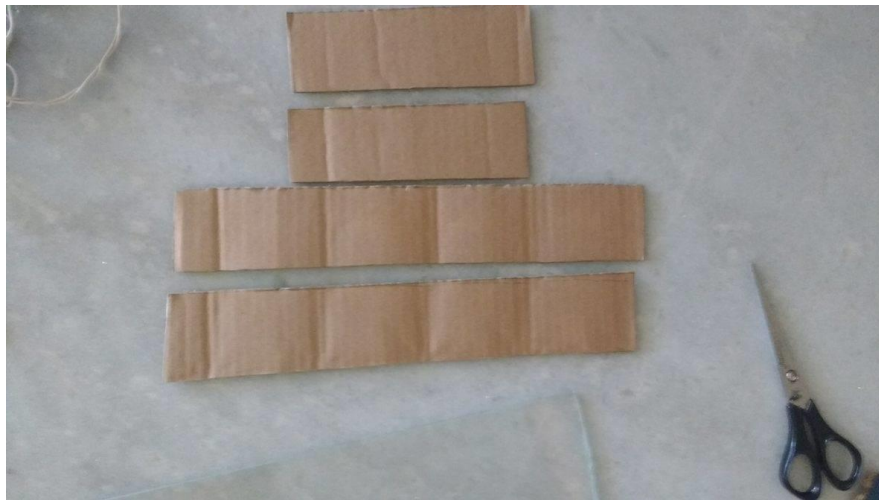
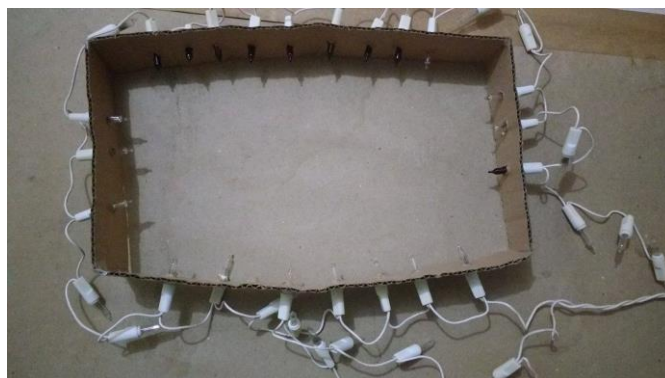


Figura 5.6 – “Parede” de papelão com pisca-pisca.



Na Figura 5.7 pode-se observar o Experimento 2 montado e com o resultado esperado.

Figura 5.7 – Resultado do Experimento 2.



### 5.2.3. Discussão sobre o Experimento 2;

No Experimento 2 os materiais utilizados são facilmente encontrados em casa, com exceção do insulfilm espelhado, que pode ser comprado em lojas que aplicam insulfilm em vidros de carro, mais conhecido como fumê, pelo valor de R\$ 15,00. O experimento foi testado e verificou-se o seu funcionamento.

### 5.3. Experimento 3 - Espelho Côncavo

Com este experimento é possível demonstrar o comportamento dos rios de luz ao incidirem sobre um espelho côncavo.

#### 5.3.1. Materiais utilizados no Experimento 3.

Os materiais utilizados neste experimento estão listados a seguir e podem ser vistos na Figura 5.8.

- Garrafa PET (1);
- Tesoura (2);
- Embalagem de salgadinho com interior prateado (3);
- Cola (4);
- 2 Lasers (5).

Figura 5.8 – Materiais utilizados no Experimento 3.



### 5.3.2. Procedimento do Experimento 3.

A seguir está o passo-a-passo para montar o Experimento 3:

Passo 1: Corte a garrafa PET transversalmente duas vezes, formando um anel, e depois corte o anel no meio, formando um semicírculo;

Passo 2: Corte a embalagem de salgadinho no tamanho do semicírculo e cole em um dos semicírculos, de modo que a parte prateada fique na parte côncava (figura 5.9);

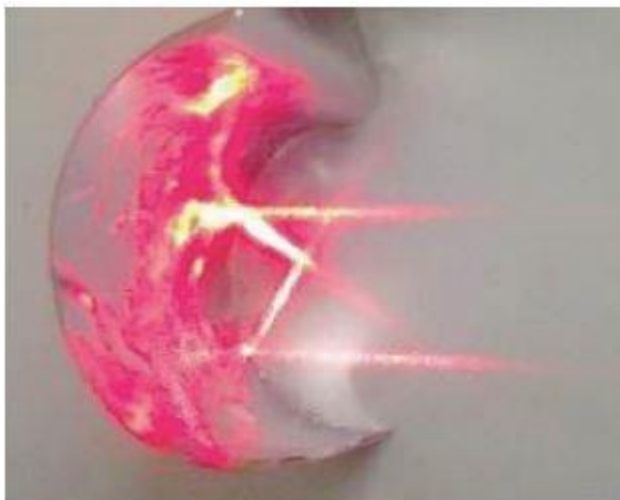
Figura 5.9 – Espelho Côncavo formado pela garrafa e embalagem de salgadinho.



- Com o apoio de uma mesa, mire os lasers na embalagem prateada, com os raios de luz incidindo paralelamente um ao outro.

Na Figura 5.10 pode-se observar o Experimento 3 montado e seu resultado.

Figura 5.10 – Resultado do Experimento 3.



Fonte: < <http://www2.fisica.ufc.br/agopin/EXPERIMENTOS.pdf>>. Acesso em: 01 de set.

2016

### 5.3.3. Discussão sobre o Experimento 3.

No experimento “Espelho Côncavo” os materiais utilizados podem ser encontrados em casa ou podem ser reciclados, como a garrafa PET e a embalagem de salgadinho, sendo necessário comprar apenas os dois lasers, no valor de R\$ 5,00 cada. O experimento foi testado e medido e verificou-se que, utilizando a precisão fornecida por uma régua, o foco medido foi suficiente próximo do foco esperado, tendo uma margem de erro de 1mm. O custo total do experimento foi de R\$ 10,00.

### 5.4. Experimento 4 - Fibra Óptica

Com este experimento é possível demonstrar o funcionamento de uma fibra óptica real que leva informação na forma de ondas eletromagnéticas, como a luz.

#### 5.4.1. Materiais utilizados no Experimento 4.

Os materiais utilizados neste experimento estão listados a seguir e podem ser vistos na Figura 5.11.

- Garrafa PET (1);
- Água (2);
- Laser (3);
- Ferro de solda (4);

- Bacia ou vasilha (5).

Figura 5.11 - Materiais utilizados no Experimento 4.



#### 5.4.2. Procedimento do Experimento 4.

A seguir está o passo-a-passo para montar o Experimento 4:

Passo 1: Faça um furo na garrafa PET com o ferro de solda, perto do fundo da garrafa;

Passo 2: Para o experimento funcionar é estritamente necessário que o furo seja um perfeito;

Passo 3: Tampando o furo, encha a garrafa com água;

Passo 4: Ligue o laser e aponte para o furo pela parte oposta da garrafa e deixe a água jorrar.

Utilize uma vasilha para amparar a água.

Na Figura 5.12 pode-se observar o experimento 4 montado assim como o seu resultado.

Figura 5.12 – Resultado do Experimento 4.



#### 5.4.3. Discussão sobre o Experimento 4.

No experimento “Fibra Óptica”, dos materiais utilizados, foi apenas necessário comprar o laser, no valor de R\$ 5,00, sendo a garrafa PET reciclada e o restante dos materiais encontrados em casa. O experimento foi testado e verificou-se o seu funcionamento. É necessário que o furo na garrafa seja perfeito, na falta de um ferro de solda, é possível utilizar uma chave do tipo estrela esquentada no fogo, o fogo da boca de fogão, por exemplo. O custo total desde experimento foi de R\$ 5,00.

#### 5.5. Experimento 5 - Truque da Moeda

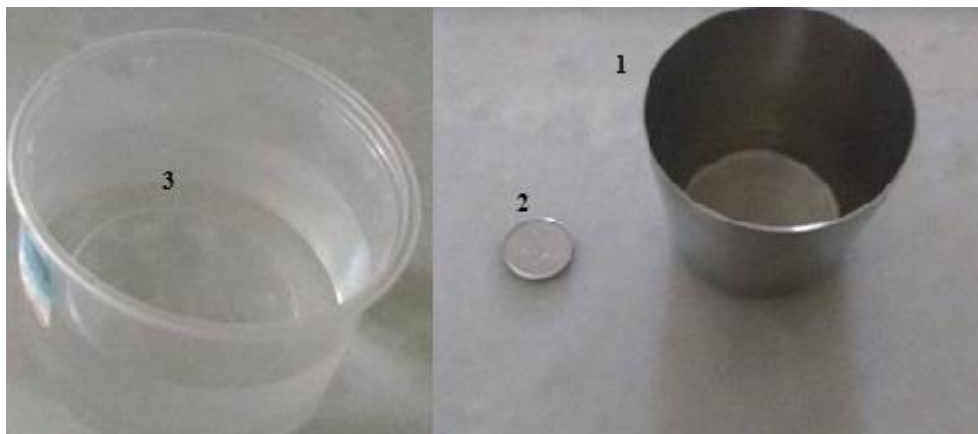
Com este experimento é possível demonstrar a refração da luz ao passar de um meio óptico para outro.

##### 5.5.1. Materiais utilizados no Experimento 5

Os materiais utilizados neste experimento estão listados a seguir e podem ser vistos na Figura 5.13:

- Copo não transparente (1);
- Moeda (2);
- Água (3).

Figura 5.13 - Materiais utilizados no Experimento 5.



##### 5.5.2. Procedimento do Experimento 5.

A seguir está o passo-a-passo para montar o Experimento 5:

Passo 1: Coloque a moeda no copo inicialmente vazio;

Passo 2: Peça para o observador se posicionar de modo que ele não veja a moeda no fundo do copo;

Passo 3: Encha o copo da moeda lentamente com água.

Na Figura 5.14 é possível observar o Experimento 5 montado e seu resultado.

Figura 5.14 – Resultado do Experimento 5.14.



### 5.5.3. Discussão sobre o Experimento 5.

No experimento “Truque da Moeda” todos os materiais, sem exceção, foram encontrados em casa, tendo um custo zero para realizar o experimento. O experimento foi testado e verificou-se o seu funcionamento.

## 6. CONCLUSÃO

Todos os experimentos foram testados e comprovados o seu funcionamento. Todos são muito simples de confeccionar e realizar, sendo o experimento “Pisca-pisca Infinito” um pouco mais complicado se comparado aos demais, pois um dos materiais necessários para montar este experimento pode ser mais difícil de encontrar, sendo encontrado apenas em lojas especializadas. O professor também pode pedir que os alunos confeccionem seus próprios exemplares dos experimentos para poderem trabalhar em sala de aula, permitindo que o aluno possa explorar os experimentos o máximo possível, e assim aprender cada vez mais.

Além disso o custo dos experimentos foi muito baixo. Muitos dos materiais podem ser encontrados em casa e, na presente data, foi gasto, aproximadamente, R\$ 40,00 para confeccionar os cinco experimentos propostos neste trabalho.



## 7. REFERÊNCIAS

- AUSUBEL, D.P **The psychology of meaningful verbal learning**. New York: Grune and Stratton. 253p. 1963.
- BARBOSA, J. O. **O ensino de Física e a realidade da escola, monografia para especialização**, UFMT, 1986, mimeo.
- BARBOSA, J.O; PAULO, S.R; RINALDI, C. **Investigação do papel da experimentação na construção de conceitos em eletricidade no Ensino Médio**. Cad. Cat. Ens.Fís., v. 16, n. 1: p. 105-122, abr. 1999.
- BARROS, M.A; CARVALHO, A.M.P. **A história da ciência iluminando o ensino da visão**. Revista Ciência & Educação, 1998, 5(1), 83–94.
- **Equipamento de Proteção Individual – EPI e o Certificado de Aprovação**. Disponível em: <[http://segurancaesaudenotrabalho-smst.blogspot.com.br/2013\\_03\\_01\\_archive.html](http://segurancaesaudenotrabalho-smst.blogspot.com.br/2013_03_01_archive.html)>, acesso em 30 de jan. 2017.
- LABURÚ, C.; BARROS, M.; KANBACH, B. **A relação com o saber profissional do professor de física e o fracasso da implementação de atividades experimentais no ensino médio**. Investigações em Ensino de Ciências, v.12, n.3, p.305-320, 2007.
- MOREIRA, M.A; MASSONI, N.T. **Textos de apoio ao professor de Física: Interfaces entre teorias de aprendizagem e ensino de Ciências/Física**. IF-UFRGS, v.26, n.6. 2015.
- PIAGET, J. **A Construção do Real na Criança**. Rio de Janeiro: Zahar, 1975a.
- PIAGET, J. **O nascimento da inteligência na criança**. 4. ed. Rio de Janeiro: Guanabara, 1987.
- PINHEIRO, A.G; PIMENTA, F.A.B; FELÍCIO, M.S; SILVA, A.M; NUNES, F.F; AQUINO, M.L; LIMA, J.A; OLIVEIRA, R.I; OLIVEIRA, F.G; SILVA, F.V; Silva, F. E; PINHEIRP, A.M; LUCENA, C.A; SANTOS, F.E; SANTOS; F.K; JUCÁ, R.F; CARMO, F.E; CRUZ, E.L. **Experimentos de Física utilizando materiais de baixo custo e fácil acesso**. Disponível em: <<http://www2.fisica.ufc.br/agopin/EXPERIMENTOS.pdf>>. Acesso em: 01 de set. 2016.
- RAMALHO, F; FERRARO, N.G; Toledo, P.A. **Os Fundamentos da Física, Vol. 2**. 9 ed. São Paulo: Moderna, 2007.
- RONCHI, V. **Optics: the science os vision**. New York University Press, 1957.
- VALADARES, E.C. **Física mais que divertida**. 3. Ed. São Paulo: UFMG, 2013.
- **Referencial Curricular da Rede Estadual de Ensino do Mato Grosso do Sul – Ensino Médio**. <<http://pt.slideshare.net/TatyBorges1/referencial-curricular-ensino-mdio-mato-grosso-do-sul>>, acesso em 30 de jan. 2017.