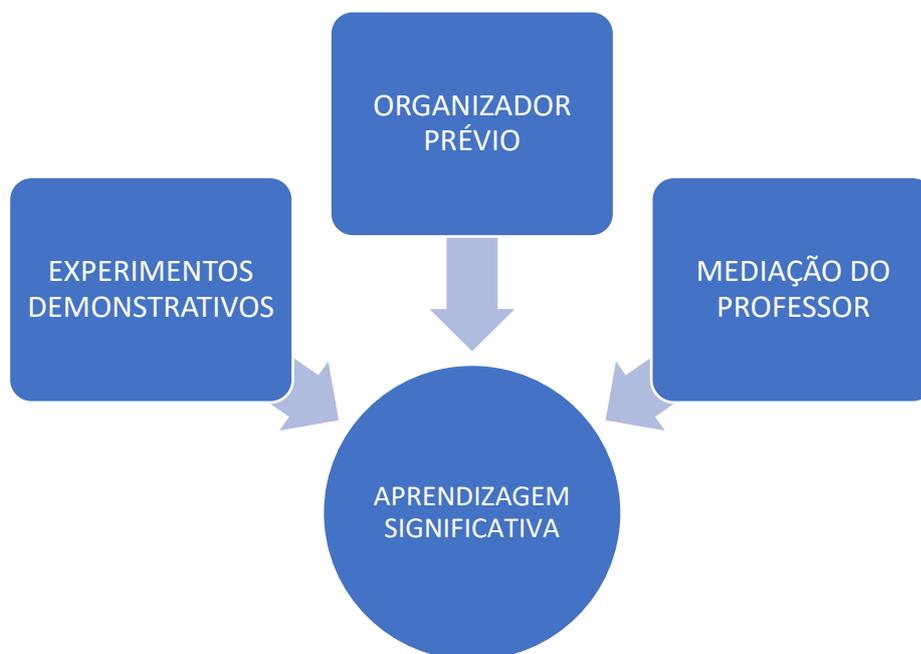


# SEQUÊNCIA DIDÁTICA PARA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA DE ÓPTICA GEOMÉTRICA



**Thalles Abreu Mezêncio**

Ensino Médio  
Componente Curricular  
Física



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALFENAS**  
Alfenas - Poços de Caldas - Varginha  
MINAS GERAIS

**MNPEF**  
Mestrado Nacional  
Profissional em  
Ensino de Física

# SEQUÊNCIA DIDÁTICA PARA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA DE ÓPTICA GEOMÉTRICA

Ensino Médio  
Componente Curricular Física

## **Thalles Abreu Mezêncio**

- ✓ Mestrando em Ensino de Física pelo programa MNPEF – Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, pela Unifal – Universidade Federal de Alfenas.
- ✓ Licenciado em Física pela Unifal – Universidade Federal de Alfenas.
- ✓ Professor de Física na rede estadual de ensino do estado de Minas Gerais.
- ✓ professor de Física e Matemática da rede particular do estado de Minas Gerais.

ALFENAS

2020

## APRESENTAÇÃO

Caro professor,

A Física é uma ciência relativamente nova onde novos conhecimentos são apresentados ao mundo a todo instante. Esta apresentação de conhecimentos é feita em forma de pesquisas em universidade, pesquisas em grandes empresas, e a apresentação mais comum dela é em tecnologias que utilizamos em todos os momentos do nosso dia a dia, mas não associamos esta tecnologia com a Física. Por exemplo, o ar-condicionado, os computadores, celulares, televisores, e o GPS, foram construídos mediante muitos estudos em Física e outras áreas afins. Isto torna a Física uma ciência indispensável para a sobrevivência do ser humano.

Dentro da escola temos problemas sérios com relação a estrutura financeira, física e organizacional. Quanto a estrutura financeira se sabe que os investimentos na área de educação estão longe de serem ideais, o que reflete na estrutura física das escolas públicas, que por sua vez, influenciam o ensino de Física que necessita de laboratórios modernos e bem equipados. Quanto a estrutura organizacional temos uma quantidade ínfima de horas aulas de Física para ministrar com qualidade os conteúdos exigidos em documentos oficiais. Todos estes problemas acumulados fazem com que os aprendizes tenham dificuldades para aprender Física.

Para otimizar as aulas de Óptica Geométrica, elaborei este material que tem como objetivo despertar a curiosidade dos alunos para a Física a partir da associação de experimentos demonstrativos, associados a uma sequência didática elaborada para trabalhar a estrutura cognitiva dos aprendizes mediante conflitos cognitivos.

Visando facilitar a aplicação desta sequência didática foram construídos os apêndices:

- Apêndice A: Contém a descrição de como construir um Kit de Óptica Geométrica de Baixo Custo – KOBC, para aporte a sequência didática.
- Apêndice B: Questionário de conhecimentos prévios que pode ser aplicado antes de iniciar a sequência didática de forma que o professor aplicador tenha conhecimento dos subsunçores (conceitos) que podem ser trabalhos para desenvolver a sequência didática com a turma.

- Apêndice C: Questionário pós-aplicação do produto, para que você tenha o feedback dos aprendizes.
- Apêndice D: Tabela com as possíveis associações entre os experimentos propostos, os conceitos abordados por cada experimento e os links de vídeos gravados com a realização dos experimentos desta sequência didática.

Dessa forma, as aulas de Física podem ficar mais interessantes e agradáveis.

Este material pode ser trabalhado individualmente ou em grupos de 3 a 5 pessoas. A expectativa é que se consiga ministrá-lo em aproximadamente 20 horas/aula.

**Thalles Abreu Mezêncio**

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO À ÓPTICA GEOMÉTRICA.....	10
1.1 DEFINIÇÃO DE ÓPTICA GEOMÉTRICA.....	12
1.2 ECLIPSE SOLAR .....	12
2.1 VÍDEO 01: ECLIPSE SOLAR.....	13
2.2 EXPERIMENTO 01: LANTERNA E MOEDA.....	13
2.3 EXPERIMENTO 02: LÂMINA DE VIDRO JATEADO .....	15
3 SHOW MUSICAL .....	16
3.1 VÍDEO 02: SOLOMUN – CERCLE FESTIVAL.....	16
3.2 EXPERIMENTO 03: CRUZAMENTO DOS RAIOS DE LUZ.....	17
4 MEDIÇÃO DA DISTÂNCIA ENTRE A TERRA E A LUA .....	18
4.1 VÍDEO 03: ASTRONAUTA FRANCÊS USA REFLETORES DEIXADOS NA LUA HÁ 50 ANOS .....	19
4.2 EXPERIMENTO 04: REVERSIBILIDADE EM ESPELHO PLANO .....	20
5 FONTES DE LUZ .....	21
5.1 FONTES PRIMÁRIAS E SECUNDÁRIAS .....	21
5.2 FONTES PONTUAIS E EXTENSAS .....	22
6 MEIOS DE PROPAGAÇÃO DA LUZ.....	23
6.1 MEIO TRANSPARENTE .....	23
6.2 MEIO TRANSLÚCIDO.....	23
6.3 MEIO OPACO .....	24
7 PRINCÍPIOS DA ÓPTICA GEOMÉTRICA .....	24
7.1 Princípio da RETILINIDADE DOS RAIOS LUMINOSOS.....	25
7.2 Princípio da INDEPENDÊNCIA DOS RAIOS LUMINOSOS.....	25
7.3 Princípio da REVERSIBILIDADE DOS RAIOS LUMINOSOS .....	26
7.3.1 REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DE ESPELHOS PLANOS.....	26
7.3.2 ÂNGULO VISUAL .....	27

8 ECLIPSES.....	28
8.1 ECLIPSE SOLAR.....	28
8.2 ECLIPSE LUNAR.....	29
9 FENÔMENOS ÓPTICOS.....	30
9.1 REFLEXÃO.....	30
9.1.1 EXPERIMENTO 05: REFLEXÃO REGULAR DA LUZ POR ESPELHO PLANO.....	30
9.1.2 EXPERIMENTO 06: REFLEXÃO DIFUSA DA LUZ.....	31
9.2 REFRAÇÃO.....	32
9.2.1 EXPERIMENTO 07: REFRAÇÃO DA LUZ.....	32
9.3 OUTROS FENÔMENOS ÓPTICOS.....	34
9.3.1 ABSORÇÃO.....	34
9.3.2 EXPERIMENTO 08: DISPERSÃO.....	34
9.3.3 ESPALHAMENTO DA LUZ.....	36
10. CORES DE UM CORPO.....	36
11 LEIS DA REFLEXÃO.....	37
11.1 EXPERIMENTO 09: LEIS DA REFLEXÃO.....	37
12 ESPELHOS PLANOS.....	39
12.1 CONSTRUÇÃO DE IMAGENS NO ESPELHO PLANO.....	39
12.1.1 EXPERIMENTO 10: LETRAS EM FRENTE AO ESPELHO.....	39
12.1.2 IMAGEM DE UM CORPO PONTUAL.....	40
12.1.3 IMAGEM DE UM CORPO EXTENSO.....	40
12.1.4 PONTO OBJETO E PONTO IMAGEM.....	41
12.1.5 CAMPO VISUAL DE UM ESPELHO PLANO.....	42
12.2 TRANSLAÇÃO DE UM ESPELHO PLANO.....	42
12.3 ROTAÇÃO DE UM ESPELHO PLANO EM TORNO DE UM EIXO.....	43
12.4 EXPERIMENTO 11: ASSOCIAÇÃO DE ESPELHOS PLANOS.....	44

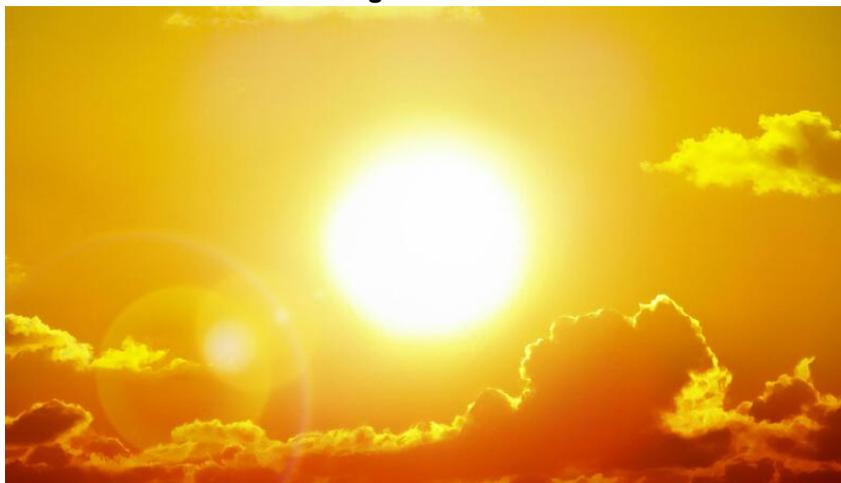
12.4.1 VÍDEO 04: FILME A ORIGEM – ASSOCIAÇÃO DE ESPELHOS PLANOS.	47
13 ESPELHOS ESFÉRICOS .....	47
13.1 EXPERIMENTO 12: ESPELHO CÔNCAVO .....	48
13.2 EXPERIMENTO 13: ESPELHO CONVEXO.....	48
13.3 REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DOS ESPELHOS ESFÉRICOS.....	49
13.5 CONDIÇÕES DE GAUSS .....	50
13.6 DISTÂNCIA FOCAL .....	51
13.7 EXPERIMENTO 14: RAIOS NOTÁVEIS EM ESPELHOS ESFÉRICOS .....	51
13.8 CONSTRUÇÃO DE IMAGENS NOS ESPELHOS ESFÉRICOS.....	54
13.9 REFERENCIAL DE GAUSS PARA ESPELHOS ESFÉRICOS .....	57
13.10 EQUAÇÃO DE GAUSS .....	58
13.11 AUMENTO LINEAR .....	58
13.12 AVALIAÇÃO SOMATIVA 01.....	59
14 REFRAÇÃO .....	60
14.1 EXPERIMENTO 15: LEIS DA REFRAÇÃO.....	60
14.1.1 ÍNDICE DE REFRAÇÃO .....	62
14.1.2 ANÁLISE DA LEI DE SNELL – DESCARTES.....	64
14.2 EXPERIMENTO 16: DIOPTRO PLANO .....	65
14.3 EXPERIMENTO 17: LÂMINA DE FACES PARALELAS .....	67
14.3.1 DESVIO LATERAL.....	68
14.4 EXPERIMENTO 18: ÂNGULO LIMITE E REFLEXÃO TOTAL.....	69
14.5 EXPERIMENTO 19: PRISMAS ÓPTICOS .....	71
15 LENTES ESFÉRICAS .....	72
15.1 TIPOS DE LENTES.....	72
15.2 EXPERIMENTO 20:LENTE DE BORDAS FINAS .....	73
15.3 EXPERIMENTO 21:LENTE DE BORDAS GROSSAS .....	74
15.4 REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DAS LENTES ESFÉRICAS .....	76

15.5 ELEMENTOS DE UMALENTE ESFÉRICA .....	76
15.6 EXPERIMENTO 22: RAIOS NOTÁVEIS EM LENTES ESFÉRICAS.....	77
15.7 EXPERIMENTO 23: CONSTRUÇÃO DE IMAGENS POR LENTES ESFÉRICAS .....	79
15.8 CONSTRUÇÃO GEOMÉTRICA DE IMAGENS POR LENTES ESFÉRICAS..	81
15.9 REFERENCIAL DE GAUSS PARA LENTES ESFÉRICAS .....	83
15.10 EQUAÇÃO DE GAUSS .....	84
15.11 EQUAÇÃO DO AUMENTO LINEAR TRANSVERSAL .....	84
15.12 EQUAÇÃO DE HALLEY .....	85
15.13 ASSOCIAÇÃO DE LENTES .....	86
15.14 AVALIAÇÃO SOMATIVA 02.....	88
16 PROBLEMAS VISUAIS .....	89
16.1 O OLHO HUMANO NORMAL .....	89
16.2 ACOMODAÇÃO VISUAL .....	90
16.3 MIOPIA.....	90
16.4 HIPERMETROPIA.....	91
16.5 PRESBIOPIA.....	92
16.6 ASTIGMATISMO .....	92
16.7 GLAUCOMA.....	93
16.8 DALTONISMO.....	94
16.9 ESTRABISMO .....	94
16.10 CATARATA .....	95
REFERÊNCIAS.....	96
APÊNDICE A – KIT DE ÓPTICA DE BAIXO CUSTO – KOBK .....	97
A.1 QUADRO NEGRO DE METAL .....	100
A.2 CANHÃO DE LED BRANCO E LANTERNA DE LED BRANCO.....	101
A.3 AQUÁRIO DE VIDRO .....	103

A.4 ESPELHO CÔNCAVO E ESPELHO CONVEXO.....	103
A.5 ESPELHO PLANO E SUPORTE PARA ESPELHO PLANO.....	105
A.6 SUPORTE PARA ANTEPARO E SUPORTE PARA LANTERNA DE LED.....	105
A.7 SUPORTE PARA LUPA e lupa.....	107
A.8 OBJETO.....	107
A.9 MOEDA DE PAPELÃO E LÂMINA DE PAPELÃO.....	108
A.10 ESPELHOS ASSOCIADOS.....	108
A.11 TRANSFERIDOR, ESQUADRO E RÉGUA.....	108
A.12 LÂMINA DE VIDRO TRANSLÚCIDO.....	108
A.13 LÂMINA DE FACES PARALELAS.....	109
A.14 SUPORTE PARA OBJETO SETA E OBJETO SETA.....	109
A.15 CANETA MARCADORA DE PONTA MÉDIA PARA PROJETOR.....	110
A.16 COMPONENTES DE ACRÍLICO.....	110
A.17 SUPERFÍCE PARA SIMULAÇÃO DE REFLEXÃO DIFUSA.....	111
A.18 CANHÃO DE LASERS.....	111
APÊNDICE B – QUESTIONÁRIO DE CONHECIMENTOS PRÉVIOS.....	118
APÊNDICE C – QUESTIONÁRIO PÓS-APLICAÇÃO DO PRODUTO.....	119
APÊNDICE D – TABELA COM POSSÍVEIS ASSOCIAÇÕES DE EXPERIMENTOS, CONCEITOS ABORDADOS NOS EXPERIMENTOS E LINKS PARA VÍDEOS COM A REALIZAÇÃO DOS EXPERIMENTOS PROPOSTOS.....	120

# 1 INTRODUÇÃO À ÓPTICA GEOMÉTRICA

Figura 1 – Sol



Fonte: Disponível em: < <https://www.vix.com/pt/comportamento/580566/regente-de-2020-sera-o-sol-isso-significa-que-e-o-ano-para-voce-se-dar-mais-valor>>. Acesso em 16 jan. 2020.

O que é a luz?

---

---

---

Como podemos enxergar os objetos?

---

---

---

**E**stas questões foram determinantes para que a óptica geométrica se desenvolvesse. A curiosidade e os questionamentos de filósofos, matemáticos, físicos, pesquisadores foram os fatores predominantes neste desenvolvimento. Por exemplo, Platão e Aristóteles se preocuparam em responder tais perguntas muito tempo atrás. Platão achava que nossos olhos

emitiam partículas que ao chegar nos objetos os tornavam visíveis. Aristóteles pensava que a luz era um fluído imaterial.

Hoje a definição de luz não é tão simples! Mas o modelo que a descreve é que hora ela se comporta com partícula e hora se comporta como onda, o que é chamado de dualidade onda partícula. Mas este modelo foi aprovado depois de muita briga!

Existiam os cientistas que defendiam que a luz era uma partícula (modelo corpuscular) como: Galileu Galilei (1564-1642); René Descartes (1596-1650); e Isaac Newton (1642-1727). E os que defendiam que a luz era uma onda (modelo ondulatório) que são: Christian Huygens (1629-1695); Leonhard Euler (1707-1783); e Thomas Young (1773-1829).

Quanto à “Como podemos enxergar os objetos?” nada mais é que os nossos olhos funcionam como se fossem uma câmera fotográfica ou filmadora. Os objetos que enxergamos podem refletir ou até mesmo emitir sua própria luz e esta luz chega até a retina, dentro dos nossos olhos, e é

levada como pulsos elétricos até nosso cérebro, onde é feita a decodificação destes pulsos elétricos. Este mesmo fenômeno de reflexão nos ajuda a entender as cores!

Até uma lenda envolvendo um famoso grego que viveu em Siracusa, o Arquimedes, conta que ele inventou uma arma de guerra, a pedido do rei. Esta arma consistia em um enorme espelho que direcionava os raios luminosos do Sol para as embarcações inimigas, fazendo com que estas embarcações pegassem fogo.

A palavra óptica é derivada do grego “optiké” que significa visão.

**Figura 2** – Quadrinhos sobre a dualidade onda-partícula da luz



Fonte: Disponível em: <

[http://www.cbpf.br/~eduhq/html/aprenda\\_mais/jurema/ficha\\_dualidadeonda.htm](http://www.cbpf.br/~eduhq/html/aprenda_mais/jurema/ficha_dualidadeonda.htm)>. Acesso em 16 jan. 2020.

## 1.1 DEFINIÇÃO DE ÓPTICA GEOMÉTRICA

A óptica geométrica é parte da física que estuda o comportamento da luz sem levar em consideração a sua natureza.

## 1.2 ECLIPSE SOLAR

Figura 3 – Eclipse Solar em Sobral



Fonte: Disponível em: < <https://revistagalileu.globo.com/Revista/noticia/2019/05/eclipse-de-sobral-ha-100-anos-evento-comprovava-teoria-de-einstein.html>>. Acesso em 16 jan. 2020.

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

---

---

---

Anotações:

---

---

---

---

---

---

## 2.1 VÍDEO 01: ECLIPSE SOLAR

Figura 4 – Imagem da tela inicial do vídeo 01: Eclipse Solar



Fonte: Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=izWI8aCrt7s>>. Acesso em 16 jan. 2020.

## 2.2 EXPERIMENTO 01: LANTERNA E MOEDA

**Objetivo:** Demonstrar conceitos sobre o princípio da propagação retilínea dos raios luminosos.

**Materiais a serem utilizados:**

- Lanterna com luz branca
- Moeda
- Palito de dente
- Fita adesiva
- Folha A4 branca

**Metodologia:**

- a) Prenda a moeda em uma das extremidades do palito de dente, utilizando a fita adesiva;
- b) Posicione a folha A4, prendendo-a no suporte para folha A4 no quadro metálico preto;
- c) Acenda a lanterna e direcione-a para folha A4, que servirá como anteparo;
- d) Posicione a moeda de forma que ela fique entre a fonte (lanterna) e o anteparo (quadro branco de metal).

**Resultados e discussão:**

Podemos comparar o experimento da lanterna e da moeda com um eclipse?

---

---

---

O que pode ser observado com relação ao comportamento da luz?

---

---

---

Por que foram formadas as zonas de sombra?

---

---

---

Por onde os raios de luz se propagam em um eclipse?

---

---

---

Existe mais algum tipo de meio de propagação?

---

---

---

A luz necessita de um meio para se propagar?

---

---

---

Como podemos comparar a lanterna no experimento com o Sol para o eclipse?

---

---

---

Existe algum outro tipo de fonte de luz?

---

---

---

## 2.3 EXPERIMENTO 02: LÂMINA DE VIDRO JATEADO

**Objetivo:** Demonstrar conceitos sobre os meios de propagação da luz.

**Materiais a serem utilizados:**

- Laser
- Lâmina de vidro transparente
- Lâmina de vidro jateado
- Quadro negro de metal
- Pedaco de papelão

**Metodologia:**

- a) Acenda o laser e direcione-o para lâmina que não está jateada (situação a), de forma que o raio de luz atravesse a lâmina e atinja o quadro negro de metal;
- b) do mesmo modo, direcione o laser para lâmina de vidro jateado (situação b);
- c) agora direcione o feixe do laser para o papelão (situação c).

**Resultados e discussão:**

Qual a diferença na forma com que o laser chega até o quadro negro de metal nos três tipos de material?

---

---

---

No eclipse a Lua serve como um dos tipos de meio de propagação. Qual dos materiais do experimento faz a mesma função que a luz?

---

---

---

Como podemos caracterizar cada tipo de situação (a, b e c)?

---

---

---

A atmosfera terrestre pode ser considerada um meio de propagação da luz?  
Se sim, qual classificação podemos dar a ela?

---

---

---

Qual o nome dado para o fenômeno onde a luz muda seu meio de propagação?

---

---

---

### 3 SHOW MUSICAL

#### 3.1 VÍDEO 02: SOLOMUN – CERCLE FESTIVAL

Figura 5 – Imagem da tela inicial do vídeo 02: Solomun – Cercle Festival



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

Observando o show apresentado no vídeo o que chama atenção nas luzes utilizadas?

---

---

---

Porque um raio de luz não interrompe o outro quando eles se cruzam?

---

---

---

### 3.2 EXPERIMENTO 03: CRUZAMENTO DOS RAIOS DE LUZ

**Objetivo:** Demonstrar conceitos sobre a independência dos raios luminosos.

**Materiais a serem utilizados:**

- Canhão de lasers
- Lanterna de luz branca
- Fenda de um orifício (utilizar o canhão de LED branco)
- Quadro negro de metal

**Metodologia:**

- a) Deixe apenas o orifício central do canhão de LED branco ativo. Desta forma, os outros orifícios devem ser tampados. Uma sugestão é utilizar fita isolante;
- b) Ative apenas o laser central do canhão de lasers;
- c) Posicione os canhões no quadro negro de metal;
- d) Direcione os raios de luz de forma a se cruzarem.

**Resultados e discussão:**

O que aconteceu entre os raios de luz branco e do laser ao serem cruzados? Alguma semelhança entre as luzes do experimento e do show apresentado no vídeo?

---

---

---

Que nome podemos dar a este comportamento das luzes?

---

---

---

No ponto onde as luzes se encontram pode ser observado que há um aumento na intensidade luminosa. Como podemos explicar este acontecimento?

---

---

---

## 4 MEDIÇÃO DA DISTÂNCIA ENTRE A TERRA E A LUA

Figura 6 – Terra e Lua



Fonte: Disponível em: <<https://br.depositphotos.com/204646316/stock-illustration-infographic-illustration-distance-between-the.html>>. Acesso em 16 jan. 2020.

Anotações:

---

---

---

---

---

---

---

---

## 4.1 VÍDEO 03: ASTRONAUTA FRANCÊS USA REFLETORES DEIXADOS NA LUA HÁ 50 ANOS

Figura 7 – Imagem da tela inicial do vídeo 03: Astronauta Francês usa refletores deixados na lua há 50 anos



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

Qual a função do refletor/espelho que foi deixado na lua?

---

---

---

A luz possui uma velocidade que pode ser medida?

---

---

---

Esta velocidade modifica quando se altera o meio de propagação da luz?

---

---

---

Quais características da luz podem ser afetadas quando ela muda de meio de propagação?

---

---

---

## 4.2 EXPERIMENTO 04: REVERSIBILIDADE EM ESPELHO PLANO

**Objetivo:** Demonstrar conceitos sobre o princípio da reversibilidade dos raios luminosos.

**Materiais a serem utilizados:**

- Canhão de Lasers
- Espelho plano
- Giz branco
- Quadro negro de metal
- Régua

**Metodologia:**

- a) Posicione o espelho plano no quadro negro de metal de forma que ele fique posicionado a  $90^\circ$  da linha referencial, e com esta linha centralizada;
- b) posicione o laser de forma que o raio luz por ele emitido esteja inclinado com relação a reta normal traçada;
- c) marque com o giz branco a trajetória percorrida pelo raio de luz;
- d) posicione o laser sobre a marcação feita com o giz, mas no sentido contrário.

**Resultados e discussão**

O que pode ser observado quando o laser foi posicionado sobre a demarcação da trajetória percorrida pela luz e apontado no sentido contrário?

---

---

---

Qual o nome pode ser dado a este comportamento?

---

---

---

Existe alguma semelhança do comportamento da luz no experimento e no vídeo?

---

---

---

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

---

---

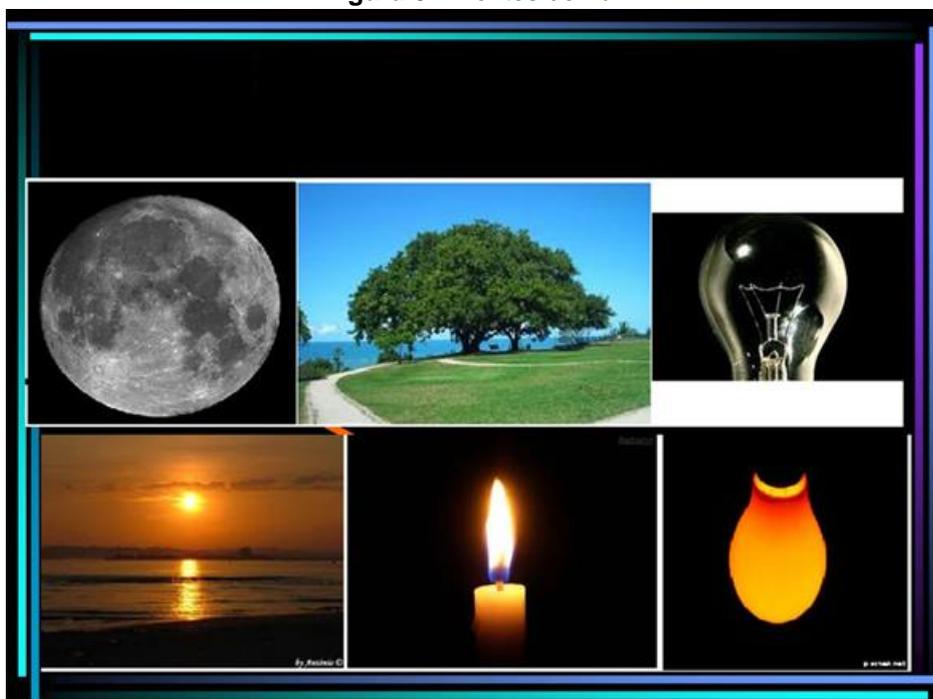
---

## 5 FONTES DE LUZ

Corpos que emitem e refletem luz são classificados como fontes de luz.

### 5.1 FONTES PRIMÁRIAS E SECUNDÁRIAS

Figura 8 – Fontes de Luz



Fonte: Disponível em: <<http://kgtrabalhoszbxj.innovativeoutdoorsllc.com/luz-e-fontes-de-luz-60jyhexata9279.html>>. Acesso em 16 jan. 2020.

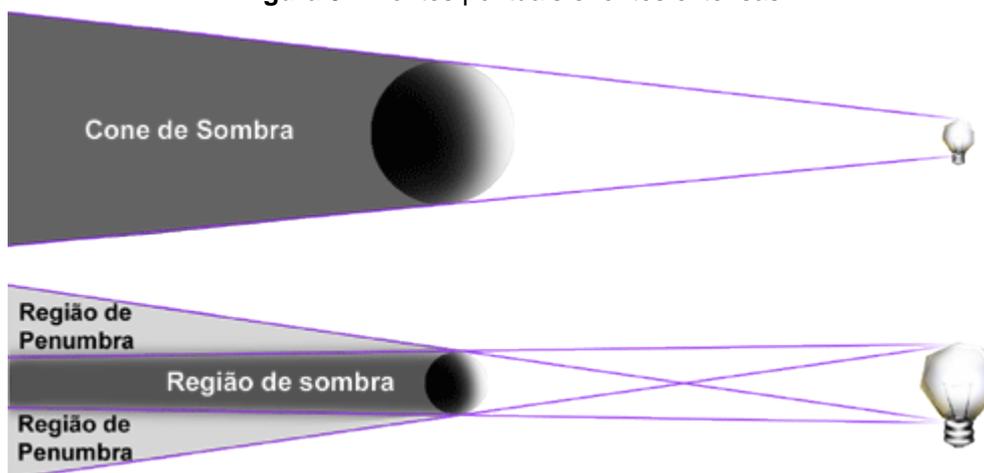
As fontes de luz podem ser classificadas como primárias e secundárias.

As fontes primárias são aquelas que emitem sua própria luz. Por exemplo: O Sol, as estrelas, uma vela acesa, e uma lâmpada acesa.

As fontes secundárias são aquelas que não emitem sua própria, mas refletem a luz emitida por uma fonte primária. Por exemplo: A Lua, satélites, uma borracha, um lápis, uma parede, uma vela apagada, e uma lâmpada apagada.

## 5.2 FONTES PONTUAIS E EXTENSAS

Figura 9 – Fontes pontuais e fontes extensas



Fonte: Disponível em: <[https://www.sobiologia.com.br/conteudos/oitava\\_serie/optica5.php](https://www.sobiologia.com.br/conteudos/oitava_serie/optica5.php)>. Acesso em 16 jan. 2020.

**Sombra/Umbra:** Zona com ausência de luz.

**Penumbra:** Zona parcialmente iluminada.

Outra classificação que pode ser feita quanto aos tipos de fontes de luz é que elas podem ser pontuais ou extensas. Para esta classificação devemos levar em consideração as dimensões (tamanhos) das fontes e a distância que as separa de um observador ou um corpo.

Por exemplo, imagine-se portando uma lanterna grande e a uma distância de 0,5 metro, um amigo, está posicionado como observador. Este amigo pode identificar a lanterna como uma fonte extensa devido as dimensões da lanterna serem consideráveis devido à distância de apenas 0,5 metro. Mas agora, imagine este amigo afastando de você de forma a posicionar-se a uma distância de 1000 metros.

Como este amigo (observador) classificará a sua lanterna acesa? Por qual motivo?

---



---



---

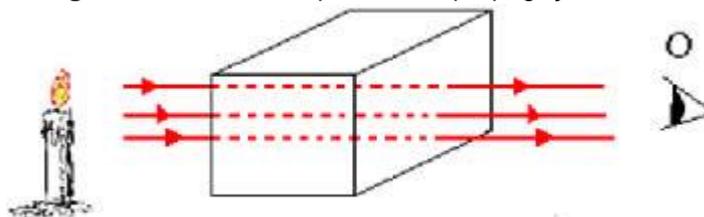
## 6 MEIOS DE PROPAGAÇÃO DA LUZ

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

A velocidade da luz no vácuo é aproximadamente  $c = 3 \cdot 10^8$  m/s.

### 6.1 MEIO TRANSPARENTE

Figura 10 – Meio transparente de propagação da luz.



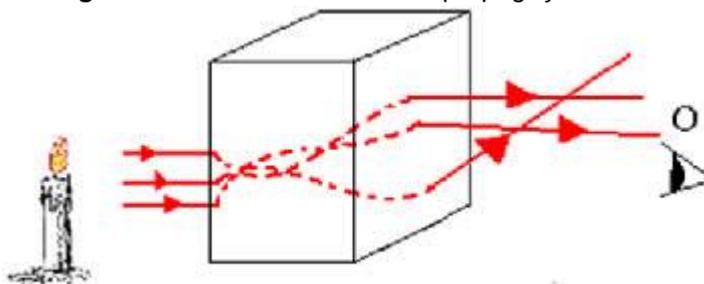
Fonte: Disponível em: <<https://mundoeducacao.bol.uol.com.br/fisica/meios-propagacao-luz.htm>>.

Acesso em 16 jan. 2020.

Um meio de propagação da luz é considerado transparente quando a luz ao atravessá-lo pode ser observada de forma nítida do outro lado. Por exemplo: o vácuo, vidro, água, e o ar.

### 6.2 MEIO TRANSLÚCIDO

Figura 11 – Meio translúcido de propagação da luz.



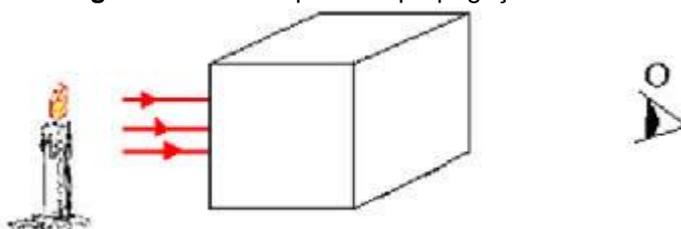
Fonte: Disponível em: <<https://mundoeducacao.bol.uol.com.br/fisica/meios-propagacao-luz.htm>>.

Acesso em 16 jan. 2020.

Um meio é considerado translúcido quando a luz ao atravessá-lo perde a regularidade que os raios possuem em atravessar um meio transparente, assim, ao observar a luz do outro lado deste meio, há perda de nitidez. Por exemplo: Vidros em espessuras relativamente grandes, vidros foscos, nuvens, e papel vegetal.

### 6.3 MEIO OPACO

Figura 12 – Meio opaco de propagação da luz.



Fonte: Disponível em: <<https://mundoeducacao.bol.uol.com.br/fisica/meios-propagacao-luz.htm>>.

Acesso em 16 jan. 2020.

Um meio é considerado opaco quando este não permite a propagação de luz por ele. Por exemplo: A Lua do eclipse, a moeda do experimento 01, madeira, e metais.

**Observações:** Um meio é considerado homogêneo quando suas propriedades físicas e químicas são iguais em todas suas partes. E um meio isotrópico é aquele que possui as mesmas propriedades físicas.

## 7 PRINCÍPIOS DA ÓPTICA GEOMÉTRICA

Princípios são conceitos caracterizados como fundamentais. Neste caso, os princípios da óptica geométrica são conceitos que transitam por todos os fenômenos ópticos.

Anotações:

---

---

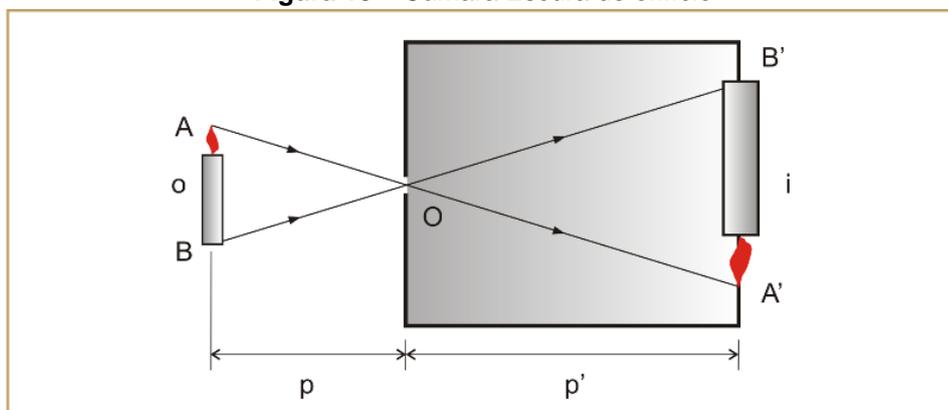
---

---

---

## 7.1 PRINCÍPIO DA RETILINIDADE DOS RAIOS LUMINOSOS

Figura 13 – Câmara Escura de orifício



Fonte: Disponível em: <<https://www.fisica.ufmt.br>>. Acesso em 16 jan. 2020.

O princípio da retilinidade dos raios luminosos reconhece que em meios homogêneos os raios de luz se propagam em linha reta.

## 7.2 PRINCÍPIO DA INDEPENDÊNCIA DOS RAIOS LUMINOSOS

Figura 14 – Independência dos raios luminosos.

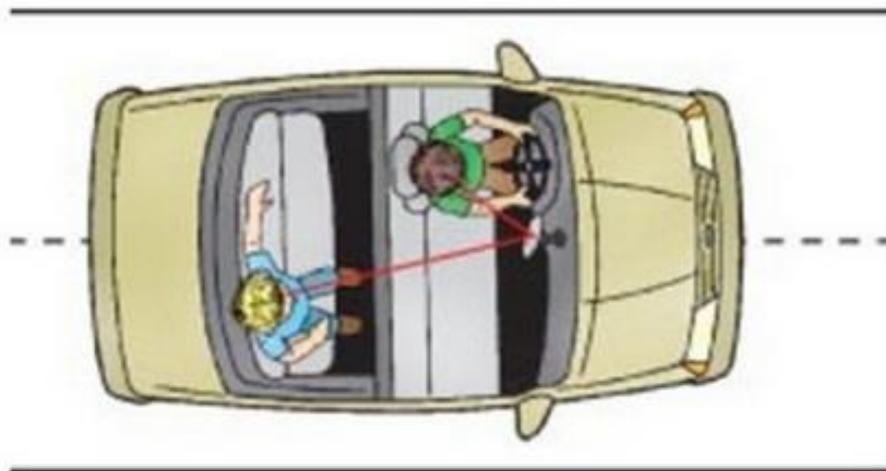


Fonte: Disponível em: <<https://cursoenemgratuito.com.br/propagacao-da-luz/>>. Acesso em 16 jan. 2020.

O princípio da independência dos raios luminosos reconhece que raios de luz ao se interceptarem mantêm suas trajetórias.

## 7.3 PRINCÍPIO DA REVERSIBILIDADE DOS RAIOS LUMINOSOS

Figura 15 – Reversibilidade dos raios luminosos.

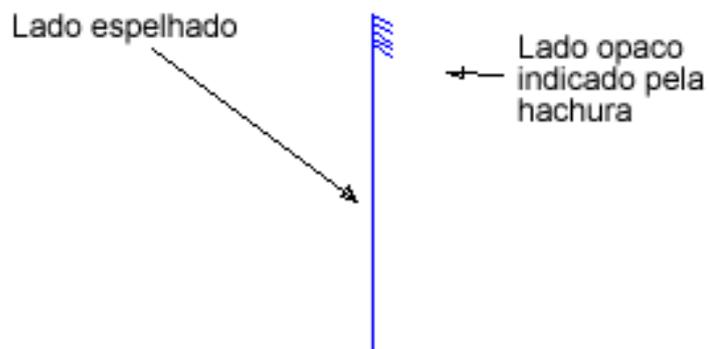


Fonte: Disponível em: <<https://descomplica.com.br/artigo/optica-geometrica-e-espelhos-planos-aprenda-tudo-para-nao-vacilar-na-hora-da-prova/4pJ/>>. Acesso em 16 jan. 2020.

O princípio da reversibilidade dos raios luminosos admite que a trajetória descrita por um raio luminoso pode ser percorrida nos dois sentidos.

### 7.3.1 REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DE ESPELHOS PLANOS

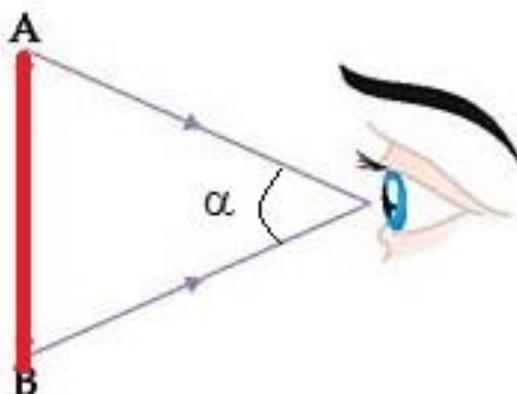
Figura 16 – Representação gráfica de espelhos planos.



Fonte: Disponível em: <<http://vidanafisica.blogspot.com/2011/10/fisica-dos-espelhos.html>>. Acesso em 16 jan. 2020.

### 7.3.2 ÂNGULO VISUAL

Figura 17 – Ângulo Visual.



Fonte: Disponível em: <<https://cursoenemgratuito.com.br/propagacao-da-luz/>>. Acesso em 16 jan. 2020.

Imagine-se em uma praia onde você pode observar um navio petroleiro a uma distância que possa ser considerada pequena. Conforme o navio se afasta o que ocorre? Porquê?

---

---

---

Quando observamos um objeto, podemos identificar pelo menos dois pontos nos quais, definimos suas dimensões (extremidades). Imaginando raios de luz emitidos ou refletidos por suas extremidades direcionados ao olho humano, teremos a formação de um ângulo denominado ângulo visual. Conforme a distância entre observador e objeto aumenta, este ângulo visual diminui. O limite de abertura para que um objeto possa ser visto com nitidez é de aproximadamente 1' (um minuto de arco). Este limite de abertura é denominado de acuidade visual.

Anotações:

---

---

---

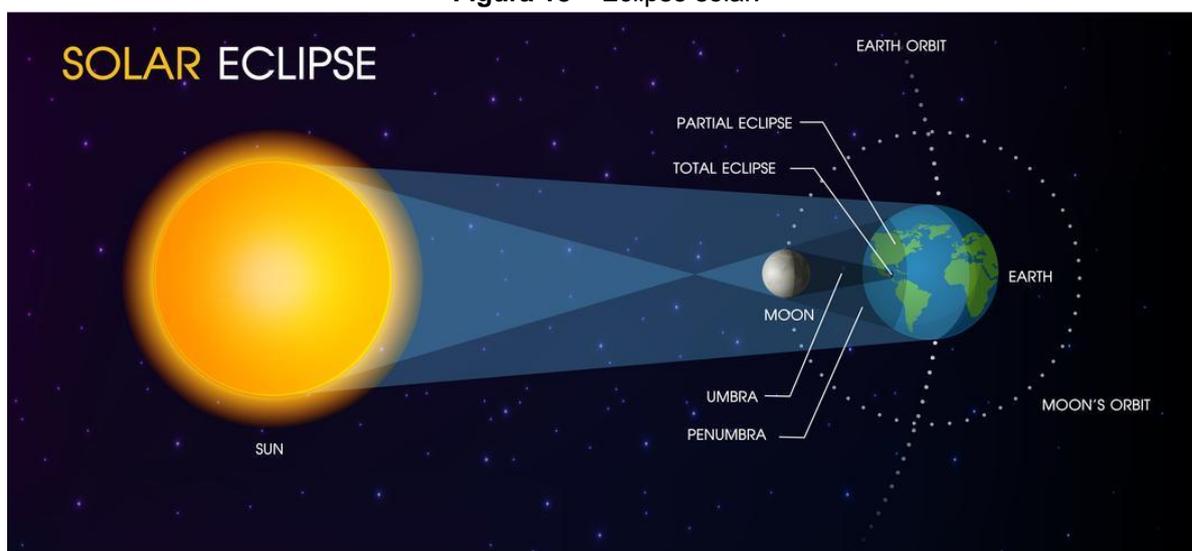
---

## 8 ECLIPSES

São fenômenos astronômicos raros que ocorrem devido a interceptação de raios luminosos por um corpo celeste.

### 8.1 ECLIPSE SOLAR

Figura 18 – Eclipse solar.



Fonte: Disponível em: <<https://pt.vecteezy.com/arte-vetorial/594427-eclipse-solar-do-sol>>. Acesso em 16 jan. 2020.

Fenômeno que ocorre quando a Lua na fase nova intercepta os raios solares no momento em que se posiciona entre a Terra e o Sol. Este fenômeno é raro devido as órbitas Terra-Sol e Lua-Terra estarem inclinadas uma em relação a outra por um ângulo de  $5,2^\circ$ .

O eclipse solar pode ser total ou parcial dependendo da posição do observador na Terra.

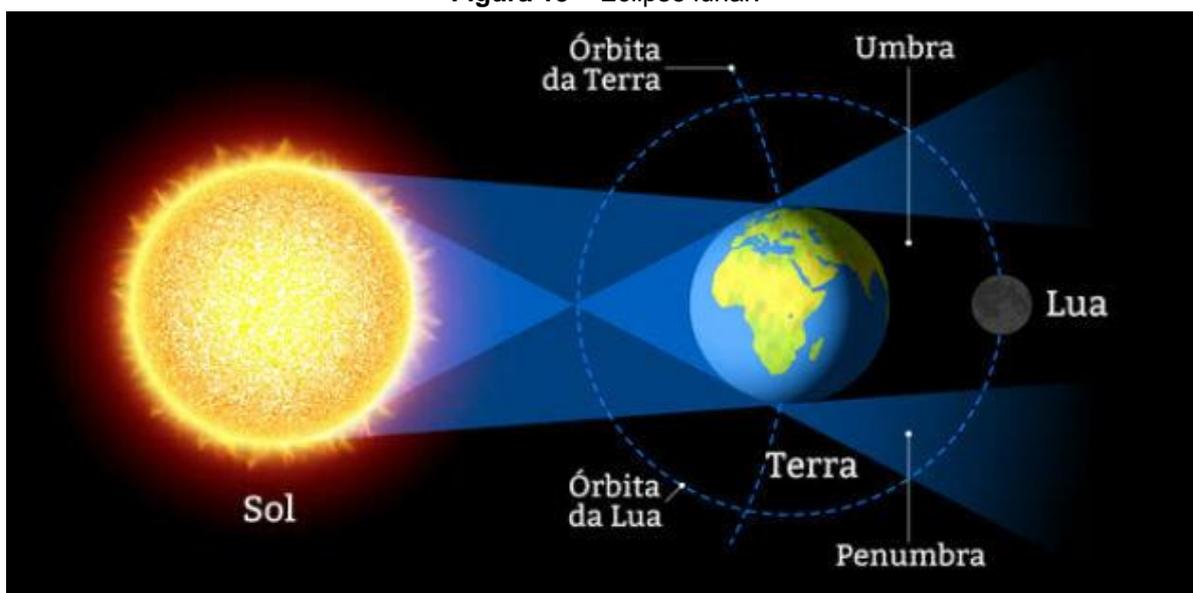
Eclipse solar total: O observador deve estar posicionado dentro da projeção de sombra, que geralmente possui aproximadamente 200 km de extensão. E possui duração de aproximadamente 8 minutos.

Eclipse solar parcial: O observador deve estar posicionado dentro da projeção da penumbra, que geralmente possui aproximadamente 3000 km de extensão. E tem duração de aproximadamente 4 horas.

Existe também o eclipse solar anular onde é possível observar a formação de um anel pelos raios solares. Este fenômeno ocorre quando a lua, em sua órbita, está no ponto mais distante (apogeu) da Terra. Este eclipse é considerado um eclipse parcial.

## 8.2 ECLIPSE LUNAR

Figura 19 – Eclipse lunar.



Fonte: Disponível em: <<https://www.todamateria.com.br/eclipse-lunar/>>. Acesso em 16 jan. 2020.

Fenômeno que ocorre quando a Terra está posicionada entre o Sol e a Lua na fase cheia. Portanto há a projeção da sombra da Terra na Lua. E o eclipse lunar pode ser total ou parcial.

Eclipse lunar total: A lua deve estar posicionada no cone de sombra projetado pela Terra, sendo totalmente coberta.

Eclipse lunar parcial: A lua deve estar posicionada no cone de penumbra projetado pela Terra, e neste momento ela é parcialmente coberta.

A duração de um eclipse lunar é de aproximadamente 4 horas.

Anotações:

---

---

---

## 9 FENÔMENOS ÓPTICOS

Os fenômenos ópticos são eventos que podem ser explicados mediante a utilização dos princípios da óptica geométrica.

### 9.1 REFLEXÃO

É o fenômeno no qual a luz ao atingir um meio não consegue vencê-lo, retornando para o meio de propagação inicial. Por exemplo a luz refletida por um espelho.

#### 9.1.1 EXPERIMENTO 05: REFLEXÃO REGULAR DA LUZ POR ESPELHO PLANO

**Objetivo:** Demonstrar conceitos sobre a reflexão regular da luz.

**Materiais a serem utilizados:**

- Espelho plano
- Canhão de lasers
- Quadro negro de metal

**Metodologia:**

- a) Posicione o espelho plano no quadro negro de metal, formando um ângulo de  $90^\circ$  com a linha tracejada (reta normal), centralizando-o;
- b) Posicione o canhão de lasers de forma que os raios de luz fiquem inclinados com relação a reta normal.

**Resultados e discussão:**

Qual o comportamento dos raios luminosos? Com qual princípio da óptica geométrica podemos relacionar este comportamento?

---

---

---

## 9.1.2 EXPERIMENTO 06: REFLEXÃO DIFUSA DA LUZ

**Objetivo:** Demonstrar conceitos referentes a reflexão difusa da luz.

**Materiais a serem utilizados:**

- Chapa metálica simulando uma superfície rugosa
- Canhão de lasers
- Quadro negro de metal

**Metodologia:**

- a) Posicione a chapa metálica simulando uma superfície rugosa no quadro negro de metal, de forma que ela forme um ângulo de  $90^\circ$  com a linha referencial (reta normal), centralizando-a;
- b) Posicione o canhão de lasers de forma que os raios de luz fiquem inclinados com relação a reta normal.

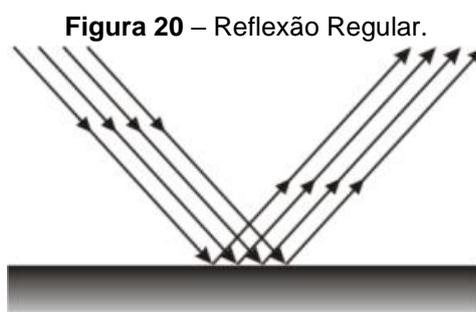
**Resultados e discussão:**

O que diferencia a reflexão regular da reflexão difusa?

---

---

---



Fonte: Disponível em: <<https://estudodacor.wordpress.com/aspectos-fisicos/materia-e-sua-reacao-a-luz/>>. Acesso em 16 jan. 2020.

Anotações:

---

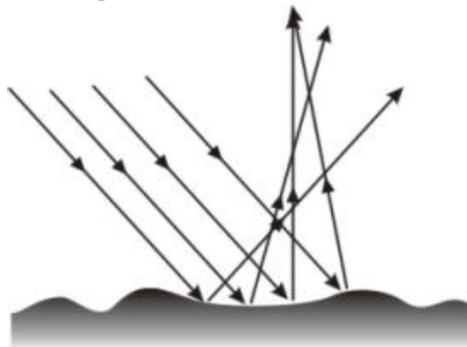
---

---

---

---

Figura 21 – Reflexão Difusa.



Fonte: Disponível em: <<https://estudodacor.wordpress.com/aspectos-fisicos/materia-e-sua-reacao-a-luz/>>. Acesso em 16 jan. 2020.

## 9.2 REFRAÇÃO

Fenômeno óptico que caracteriza a mudança de meio de propagação da luz.

### 9.2.1 EXPERIMENTO 07: REFRAÇÃO DA LUZ

**Objetivo:** Demonstrar conceitos sobre refração da luz.

**Materiais a serem utilizados:**

- Aquário de vidro
- Laser

**Metodologia:**

- a) Encha o aquário com água;
- b) Posicione a face que possui uma reta referencial (paralela à superfície de apoio) para os alunos. Esta reta servirá como reta normal;
- c) Incida o feixe do laser de forma com que este esteja inclinado com relação a reta normal.

**Resultados e discussão:**

O que pode ser observado quando o raio de luz atinge o aquário?

---

---

---

Por que isto ocorre?

---

---

---

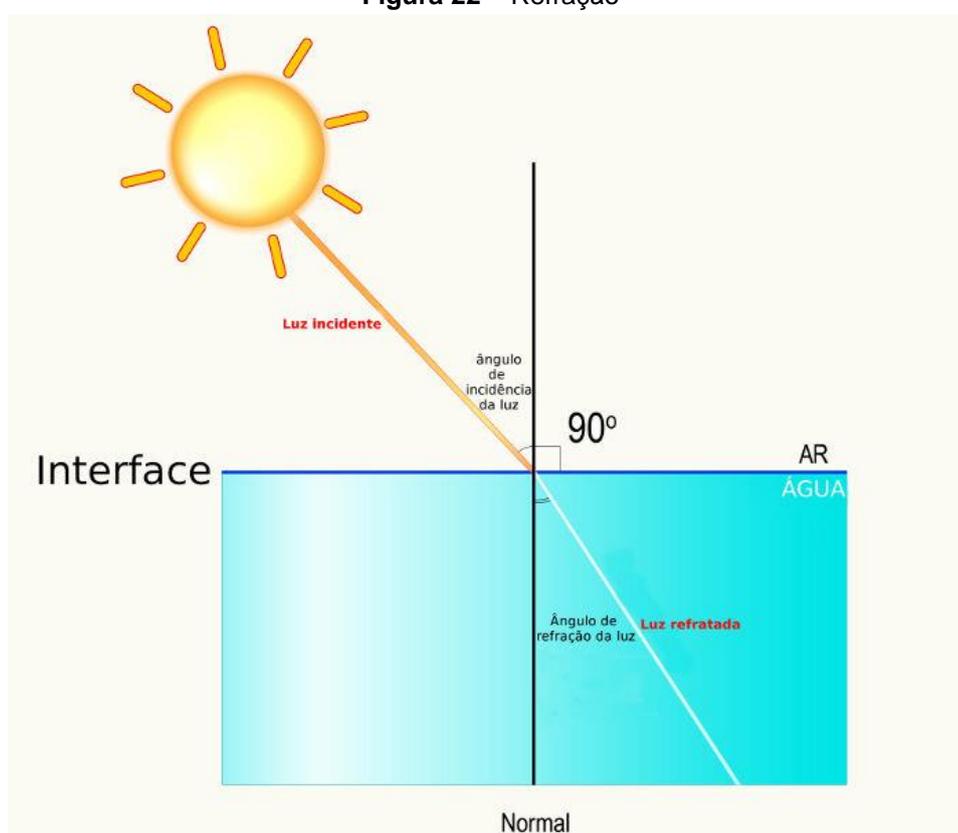
Caso a água fosse trocada por outra substância, o que poderia ocorrer?

---

---

---

Figura 22 – Refração



Fonte: Disponível em: <<https://alunosonline.uol.com.br/fisica/refracao-luz.html>>. Acesso em 16 jan. 2020.

Anotações:

---

---

---

---

---

## 9.3 OUTROS FENÔMENOS ÓPTICOS

### 9.3.1 ABSORÇÃO

Figura 23 – Absorção da luz



Fonte: Disponível em: <<https://envolverde.cartacapital.com.br/familias-de-baixa-renda-va-economizar-70-de-energia-com-aquecedor-solar/>>. Acesso em 16 jan. 2020.

A absorção é a transformação da energia luminosa em energia térmica.

Onde a absorção pode ser evidenciada no seu cotidiano?

---

---

---

### 9.3.2 EXPERIMENTO 08: DISPERSÃO

**Objetivo:** Demonstrar conceitos sobre a dispersão dos raios luminosos e análise da luz branca.

**Materiais a serem utilizados:**

- Canhão de luz branca
- Quadro negro de metal
- Prisma

**Metodologia:**

- a) Posicione o canhão de luz no quadro negro de metal, com apenas uma fenda aberta;
- b) Posicione o prisma no quadro de metal preto;
- c) Direcione o feixe de luz branco em uma das faces do prisma;
- d) Rotacione o prisma até localizar o ponto em que acontece a dispersão.

**Resultados e discussão:**

O que pode ser observado?

---

---

---

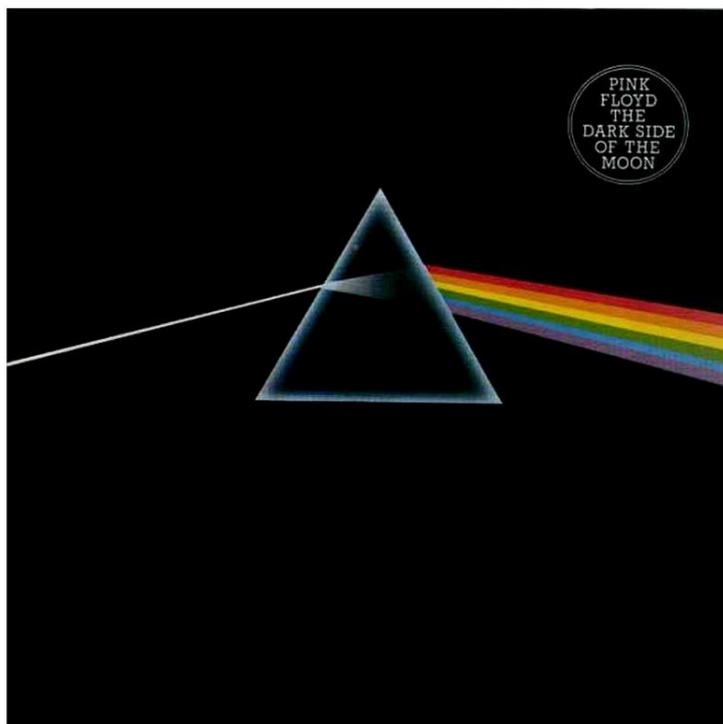
A quais conclusões sobre a luz branca você pode chegar ao observar o experimento?

---

---

---

**Figura 24** – Dispersão da luz



Fonte: Disponível em: <<http://discoshistoricos.blogspot.com/2006/02/1-dark-side-of-moon.html>>.

Acesso em 16 jan. 2020.

### 9.3.3 ESPALHAMENTO DA LUZ

Por que o céu é azul?

---



---



---

## 10. CORES DE UM CORPO

Por que enxergamos as folhas de uma planta na cor verde?

---



---



---

Por que as pessoas costumam dizer que se você sair com uma camiseta preta em um dia ensolarado, de temperaturas altas, você vai se sentir desconfortável com a temperatura?

---



---



---

Por que as empresas de tinta fabricam uma tinta branca exclusiva para pintar telhas de amianto?

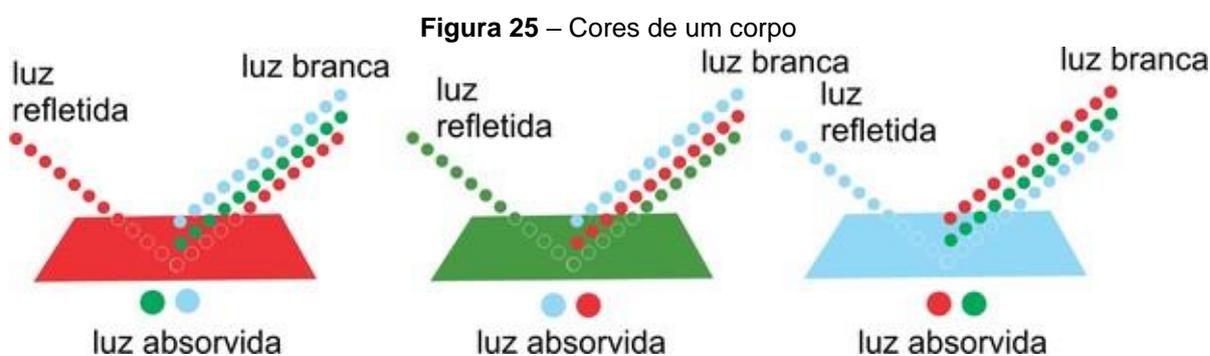
---



---



---



Fonte: Disponível em: <<https://descomplica.com.br/artigo/optica-geometrica-e-espelhos-planos-aprenda-tudo-para-nao-vacilar-na-hora-da-prova/4pJ/>>. Acesso em 16 jan. 2020.

Um corpo de cor preta iluminado com luz branca refletirá qual cor?

---

---

---

De que cor enxergaremos a bandeira do Brasil quando ela for iluminada por uma luz verde?

---

---

---

## 11 LEIS DA REFLEXÃO

### 11.1 EXPERIMENTO 09: LEIS DA REFLEXÃO

**Objetivo:** Demonstrar as leis da reflexão.

**Materiais a serem utilizados:**

- Quadro negro de metal
- Espelho plano
- Giz
- Régua
- Transferidor
- Canhão de lasers

**Metodologia:**

- a) Posicione o espelho plano no quadro negro de metal, sobre a reta referencial (reta normal), formando um ângulo de  $90^\circ$  e centralize-o;
- b) Com o transferidor determine um ângulo de  $45^\circ$  (ângulo de incidência) em relação a reta normal, e trace uma reta indicado a abertura;
- c) Posicione o canhão de lasers, com apenas um raio acionado sobre a reta traçada em sentido ao espelho;
- d) Com o giz trace uma reta sobre o raio refletido pelo espelho;
- e) Meça o ângulo de reflexão utilizando o transferidor.

**Resultados e discussão:**

Ao comparar o ângulo de incidência com o ângulo de reflexão o que foi observado?

---

---

---

O que o raio incidente, o raio refletido e a reta normal, traçados no quadro de metal tem em comum?

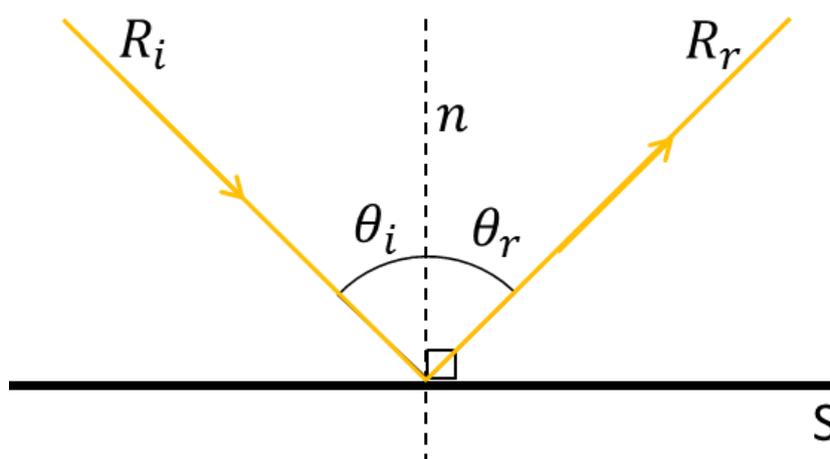
---

---

---

Figura 26 – Leis da reflexão

S: superfície plana



Fonte: Disponível em: <<http://boltz.ccne.ufsm.br/st12/?q=node/78>>. Acesso em 16 jan. 2020.

O fenômeno da reflexão apresenta comportamentos que podem ser descritos em apenas duas leis.

**1ª Lei da Reflexão:** O raio incidente, o raio refletido e a reta normal estão no mesmo plano. Portanto, são coplanares.

**2ª Lei da Reflexão:** O ângulo de incidência possui valor igual ao ângulo de reflexão.

## 12 ESPELHOS PLANOS

Figura 27 – Espelho Plano



Fonte: Disponível em: <<https://blogdoenem.com.br/leis-de-reflexao-e-espelhos-planos-fisica-enem/>>. Acesso em 16 jan. 2020.

### 12.1 CONSTRUÇÃO DE IMAGENS NO ESPELHO PLANO

#### 12.1.1 EXPERIMENTO 10: LETRAS EM FRENTE AO ESPELHO

**Objetivo:** Demonstrar o conceito de enantiomorfismo.

**Materiais a serem utilizados:**

- Espelho plano
- Papel
- Caneta

**Metodologia:**

- a) Escreva uma palavra no papel;
- b) Coloque a frente ao espelho plano.
- c) Pode ser utilizado um dos espelhos da associação de espelhos devido as suas dimensões serem maiores.

**Resultados e discussão:**

O que pode ser observado ao posicionar a palavra em frente ao espelho?

---

---

---

Você já observou que nos carros de bombeiro, viaturas policiais e ambulâncias os textos são escritos ao contrário? Por que isto é feito?

---



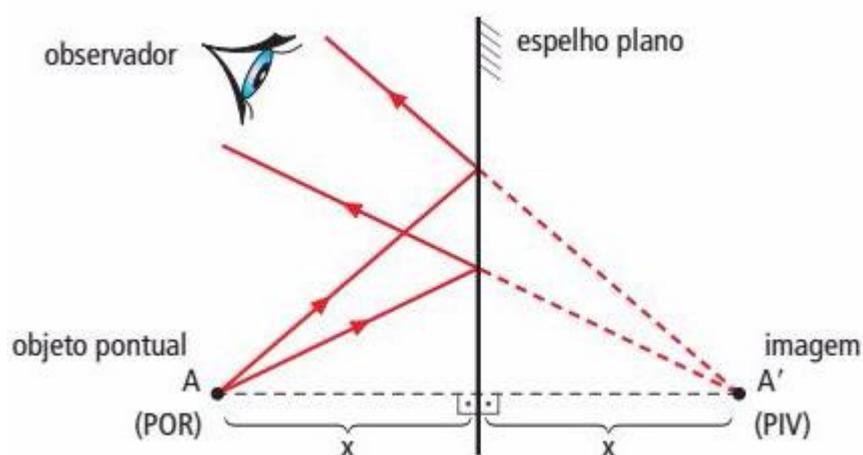
---



---

### 12.1.2 IMAGEM DE UM CORPO PONTUAL

**Figura 28** – Imagem de um corpo pontual formada por um espelho plano

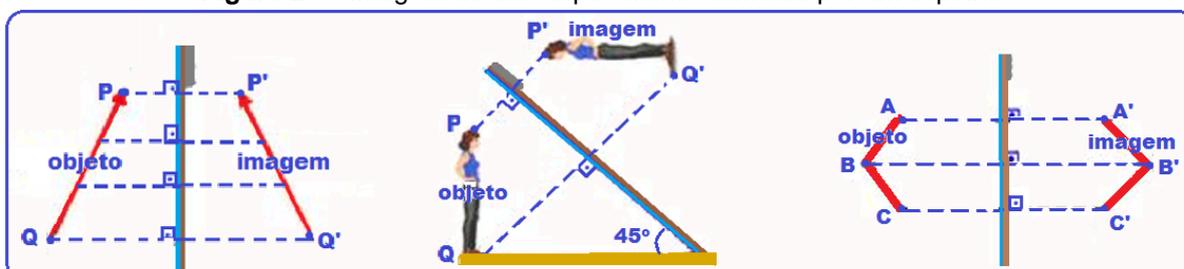


Fonte: Física Aula por Aula, vol. 2, Editora: FTD, 2016.

A distância entre um corpo pontual posicionado em frente a um espelho é a mesma distância de sua imagem com relação ao espelho.

### 12.1.3 IMAGEM DE UM CORPO EXTENSO

**Figura 29** – Imagem de um corpo extenso formada por um espelho



Fonte: Disponível em: <<http://fisicaevestibular.com.br/novo/optica/optica-geometrica/reflexao-da-luz-e-espelhos-planos/>>. Acesso em 16 jan. 2020.

Podemos entender um corpo extenso frente a um espelho como sendo um conjunto de pontos. Cada ponto deste corpo extenso terá uma distância do espelho que será igual a distância de sua respectiva imagem até o espelho.

A imagem em um espelho plano tem as mesmas dimensões que o objeto, portanto são simétricos, mas a orientação é diferente, esta característica é determinada como enantiomorfismo.

O que você pensa/imagina quando a palavra “virtual” é utilizada em uma definição tipo: realidade virtual, sala de aula virtual, jogo virtual e namoro virtual?

---



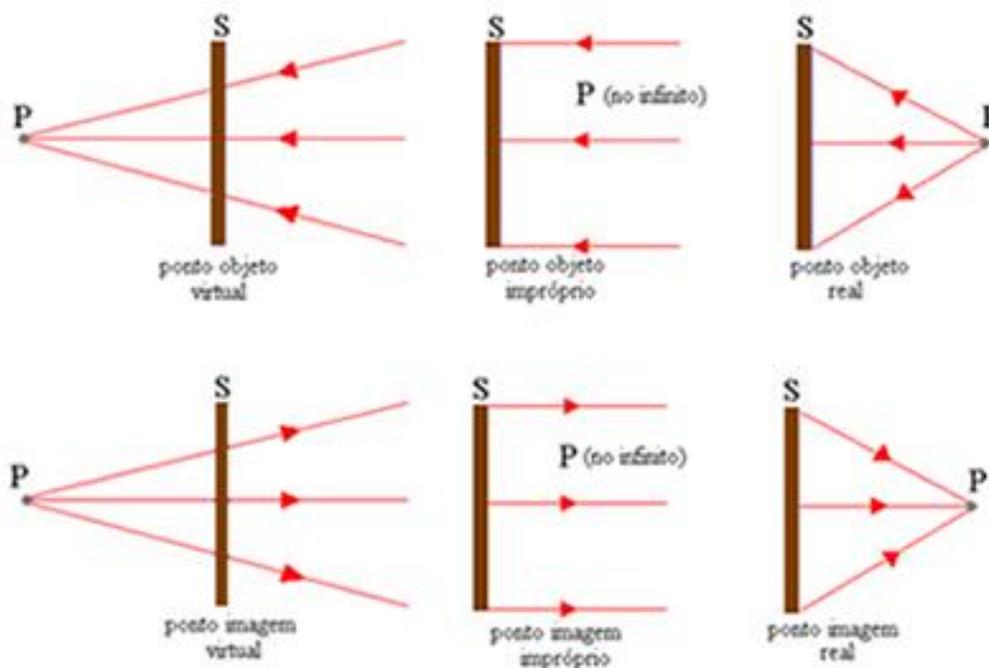
---



---

#### 12.1.4 PONTO OBJETO E PONTO IMAGEM

Figura 30 – Ponto objeto e ponto imagem



Fonte: Disponível em: <<https://brasilecola.uol.com.br/fisica/definido-um-sistema-optico.htm>>.

Acesso em 16 jan. 2020.

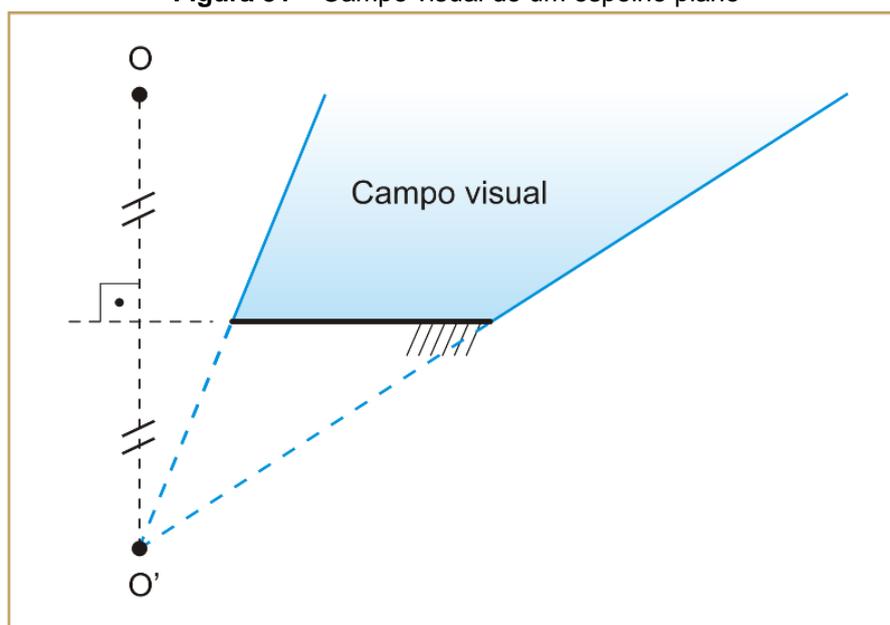
Ponto objeto é o vértice dos raios de luz incidentes.

Ponto imagem é o vértice dos raios de luz emergentes.

Ponto objeto e Ponto imagem podem ser classificados como reais, virtuais ou impróprios. O termo real é utilizado quando o vértice é formado pelos próprios raios de luz e o termo virtual é utilizado quando o vértice é formado pelo prolongamento dos raios de luz. O termo impróprio é utilizado quando os raios de luz são paralelos não formando um vértice.

### 12.1.5 CAMPO VISUAL DE UM ESPELHO PLANO

Figura 31 – Campo visual de um espelho plano



Fonte: Disponível em: <<http://fisikanarede.blogspot.com/2012/09/espelho-plano-campo-visual.html>>. Acesso em 16 jan. 2020.

Existe uma região limitada com a qual um observador pode observar a reflexão de objetos por um espelho. Esta região é chamada de campo visual.

### 12.2 TRANSLAÇÃO DE UM ESPELHO PLANO

Imagine-se parado em frente a um espelho plano. Quando você se afastar do espelho o que ocorrerá com a sua imagem?

---

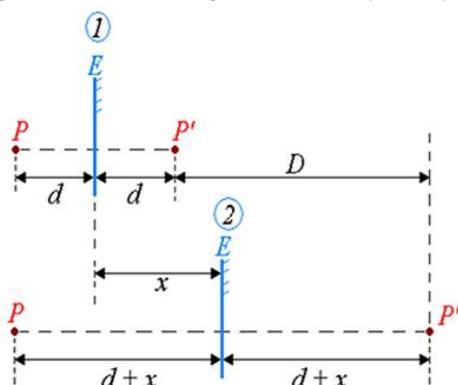


---



---

**Figura 32** – Translação de um espelho plano



Fonte: Disponível em: <<https://brasilecola.uol.com.br/fisica/translacao-um-espelho-plano.htm>>.

Acesso em 16 jan. 2020.

A translação de um espelho plano é o ato de alterar a distância com relação a um objeto. Nesta movimentação a imagem sempre deslocará o dobro da distância que o espelho plano se deslocou em relação ao objeto. A velocidade desta imagem também deve ser o dobro da velocidade de deslocamento do espelho.

### 12.3 ROTAÇÃO DE UM ESPELHO PLANO EM TORNO DE UM EIXO

A rotação de um espelho com relação a um objeto fixo também demonstra conceitos semelhantes a translação do espelho plano, pois o deslocamento angular da imagem é o dobro do deslocamento angular ocorrido na rotação de um espelho plano em torno de um eixo fixo.

Anotações:

---



---



---



---



---



---



---



---

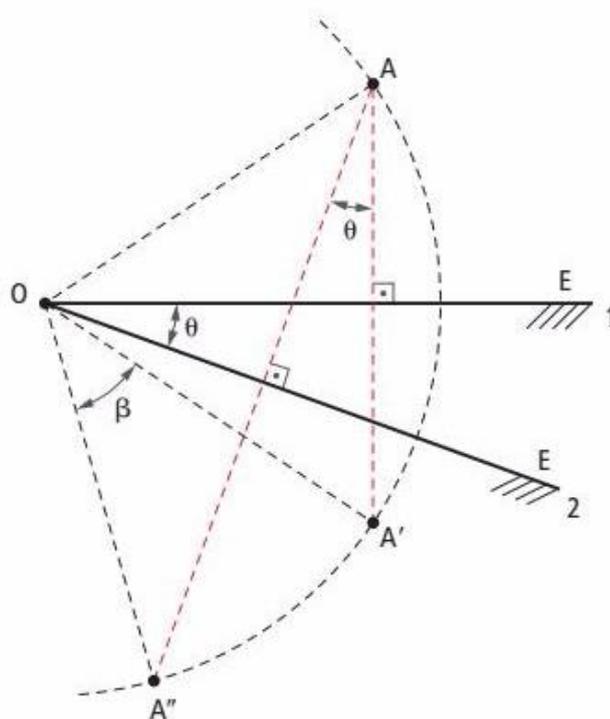


---



---

**Figura 33** – Rotação de um espelho plano



Fonte: Física Aula por Aula, vol. 2, Editora: FTD, 2016.

## 12.4 EXPERIMENTO 11: ASSOCIAÇÃO DE ESPELHOS PLANOS

**Objetivo:** Demonstrar conceitos sobre associação de espelhos planos.

**Materiais a serem utilizados:**

- Espelhos planos associados
- Superfície de apoio (mesa)
- Giz
- Folha de papel A4
- Transferidor
- Régua
- Objeto (bolinha de gude, tampinha de garrafa, moeda, etc)
- Caneta ou lápis

**Metodologia:**

- a) Na folha de papel A4 trace duas retas formando um ângulo de  $90^\circ$  entre elas;
- b) Posicione os espelhos sobre as retas de forma que a parte espelhada dos espelhos fiquem posicionadas para dentro do ângulo de  $90^\circ$ ;

- c) Trace uma reta dividindo o ângulo de  $90^\circ$  em dois ângulos de  $45^\circ$  para demarcar o plano bissetor;
- d) Posicione o objeto sobre o plano bissetor e conte quantas imagens foram geradas;
- e) Altere a posição do objeto, tirando-o do plano bissetor, mantendo - o entre os espelhos e volte a contar as imagens;
- f) Vire a folha A4 e agora trace duas retas formando um ângulo de  $72^\circ$  entre elas;
- g) Trace uma reta dividindo o ângulo de  $72^\circ$  em dois ângulos de  $36^\circ$  para demarcar o plano bissetor;
- h) Posicione o objeto sobre o plano bissetor e conte o número de imagens;
- i) Altere a posição do objeto, tirando-o do plano bissetor, mantendo - o entre os espelhos e volte a contar as imagens;

**Resultados e discussão:**

Com o ângulo de  $90^\circ$  ao alterarmos a posição em que o objeto estava sobre o plano bissetor para outro local houve alteração no número de imagens?

---

---

---

Para o ângulo de  $72^\circ$  ao alterarmos a posição do objeto que estava sobre o plano bissetor para outro local houve alteração no número de imagens?

---

---

---

Anotações:

---

---

---

---

---

---

**Figura 34** – Associação de espelhos planos



Fonte: Disponível em: < <https://www.youtube.com/watch?v=1xHiYIPmdsc>>. Acesso em 16 jan. 2020.

$$N = \frac{360^\circ}{\theta} - 1$$

Se  $\frac{360^\circ}{\theta}$  for par o objeto pode estar posicionado em qualquer posição entre os espelhos;

Se  $\frac{360^\circ}{\theta}$  for ímpar o objeto deve estar posicionado sobre o plano bissetor do ângulo entre os espelhos.

O que ocorrerá com as imagens quando o objeto estiver entre os espelhos, com estes espelhos paralelos entre si, e com as faces refletoras viradas uma para a outra?

---



---



---

Anotações:

---



---



---



---

## 12.4.1 VÍDEO 04: FILME A ORIGEM – ASSOCIAÇÃO DE ESPELHOS PLANOS

Figura 35 – Cartaz do filme: A origem



Fonte: Disponível em: <[https://pt.wikipedia.org/wiki/A\\_Origem](https://pt.wikipedia.org/wiki/A_Origem)>. Acesso em 16 jan. 2020.

## 13 ESPELHOS ESFÉRICOS

Figura 36 – Espelhos esféricos



Fonte: Disponível em: <<https://alunosonline.uol.com.br/fisica/equacao-dos-pontos-conjugados.html>>. Acesso em 16 jan. 2020.

Os espelhos esféricos são formados por calotas esféricas. Quando a parte interna da calota é espelhada (refletora) o chamamos de espelho côncavo. Quando a parte externa da calota é espelhada (refletora) o chamamos de espelho convexo.

## 13.1 EXPERIMENTO 12: ESPELHO CÔNCAVO

**Objetivo:** Demonstrar o comportamento de raios de luz paralelos ao incidir o espelho côncavo.

**Materiais a serem utilizados:**

- Superfície espelhada côncava
- Canhão de luz branca
- Quadro negro de metal

**Metodologia:**

- a) Posicione a superfície espelhada côncava transversalmente ao eixo óptico (linha referencial) de forma que o vértice desta esteja sobre o eixo óptico;
- b) Posicione o canhão de luz para que os raios de luz estejam paralelos ao eixo óptico a uma distância entre 30-40 cm da superfície refletora.

**Resultados e discussão:**

Qual o comportamento dos raios de luz após serem refletidos por uma superfície côncava?

---

---

---

Qual nome é dado para o ponto de interseção dos raios luminosos? E qual a distância entre o ponto de interseção e vértice do espelho?

---

---

---

## 13.2 EXPERIMENTO 13: ESPELHO CONVEXO

**Objetivo:** Demonstrar o comportamento de raios de luz paralelos ao incidir o espelho convexo.

**Materiais a serem utilizados:**

- Superfície espelhada convexa
- Canhão de lasers
- Quadro negro de metal

**Metodologia:**

- Posicione a superfície espelhada convexa transversalmente ao eixo óptico de forma que o vértice desta esteja sobre ele;
- Posicione o canhão de luz para que os raios de luz estejam paralelos ao eixo óptico a uma distância entre 30-40 cm da superfície refletora.

**Resultados e discussão:**

Existe algum ponto de interseção entre os raios refletidos?

---



---

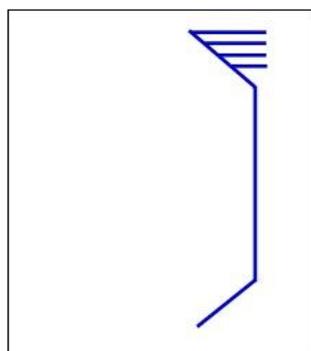


---

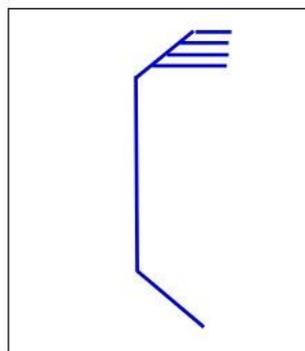
### 13.3 REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DOS ESPELHOS ESFÉRICOS

Figura 37 – Representação gráfica ou geométrica dos espelhos esféricos

• Côncavo



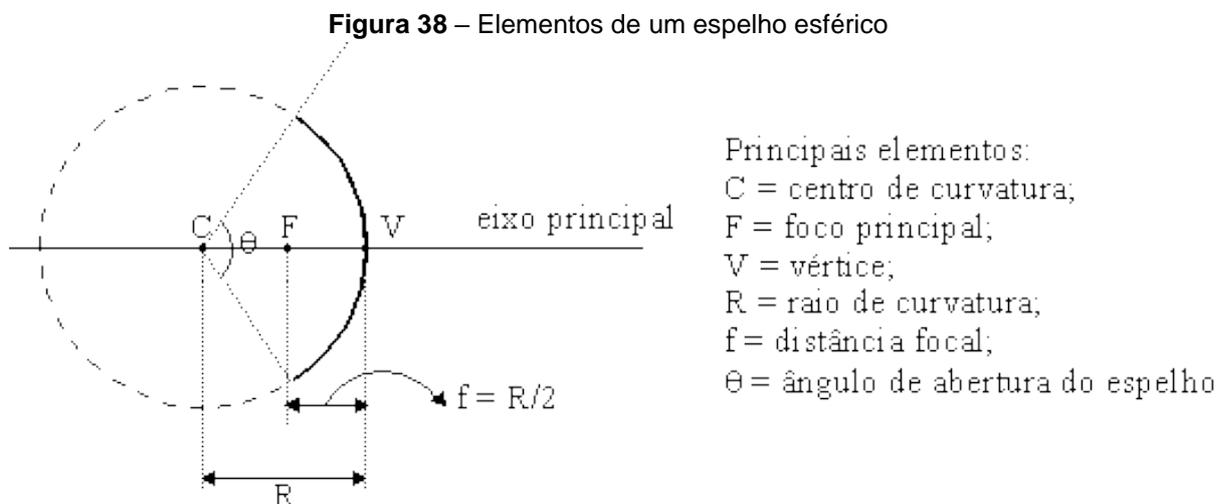
• Convexo



## REPRESENTAÇÃO GEOMÉTRICA

Fonte: Disponível em: <<https://pt.slideshare.net/samara.brito/esfericonovo>>. Acesso em 16 jan. 2020.

## 13.4 ELEMENTOS DE UM ESPELHO ESFÉRICO



Fonte: Disponível em:

<[http://www.if.ufrgs.br/tex/fis01043/20022/Rod\\_Oliveira/textos/4%20Propriedades%20dos%20raios%20luminosos%20Espelho%20esf%20E9rico.htm](http://www.if.ufrgs.br/tex/fis01043/20022/Rod_Oliveira/textos/4%20Propriedades%20dos%20raios%20luminosos%20Espelho%20esf%20E9rico.htm)>. Acesso em 16 jan. 2020.

**Ângulo de abertura:** Ângulo formado por retas traçadas a partir das extremidades do espelho.

**Centro de curvatura:** Centro da superfície esférica.

**Eixo principal:** Reta que passa pelo centro de curvatura e centro do espelho.

**Eixo secundário:** Reta que passa pelo centro de curvatura, mas não pelo centro do espelho.

**Raio de curvatura:** Distância entre o centro de curvatura e qualquer ponto do espelho.

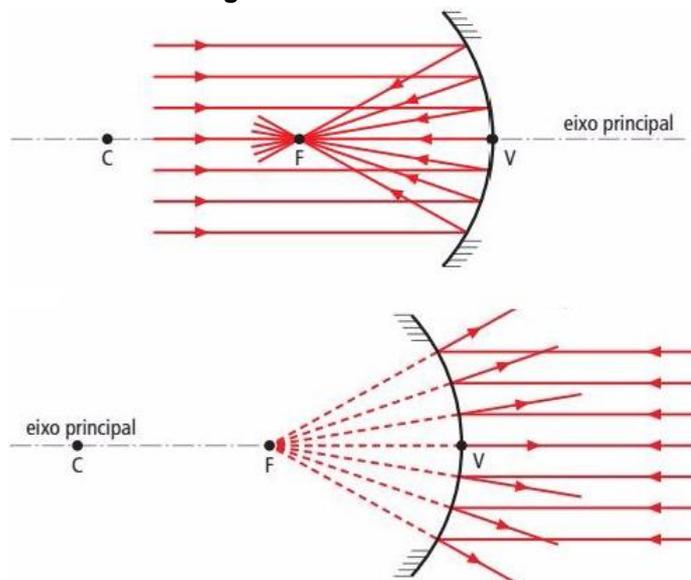
**Vértice do espelho:** Centro ou polo do espelho.

## 13.5 CONDIÇÕES DE GAUSS

Carl Friedrich Gauss (1777-1855) estabeleceu que as superfícies esféricas refletoras devem possuir ângulo de abertura inferior a  $10^\circ$  para que as imagens não sofram distorções.

## 13.6 DISTÂNCIA FOCAL

Figura 39 – Distância focal



Fonte: Física Aula por Aula, vol. 2, Editora: FTP, 2016.

A distância entre o foco principal do espelho e o vértice deste espelho é chamada de distância focal e equivale à metade do raio de curvatura.

$$f = \frac{R}{2}$$

## 13.7 EXPERIMENTO 14: RAIOS NOTÁVEIS EM ESPELHOS ESFÉRICOS

**Objetivo:** Demonstrar as propriedades dos raios incidentes em espelhos esféricos.

**Materiais a serem utilizados:**

- Superfície espelhada convexa
- Superfície espelhada côncava
- Lasers
- Giz
- Quadro negro de metal
- transferidor

**Metodologia:**

- a) Posicione o espelho côncavo sobre o eixo principal;

- b) Incida um raio paralelo ao eixo principal no espelho côncavo e marque o ponto onde está o foco do espelho;
- c) Incida um raio no espelho côncavo que passe pelo foco;
- d) Marque o ponto onde está o centro de curvatura e incida um raio no espelho côncavo que passe pelo centro de curvatura, mas que não passe pelo foco;
- e) Incida um raio no vértice do espelho de forma que este raio esteja inclinado com relação ao eixo principal e com o giz demarque o raio incidente e o raio refletido;
- f) Meça o ângulo de incidência e o ângulo de reflexão;
- g) Posicione o espelho convexo sobre o eixo principal;
- h) Incida um raio paralelo ao eixo principal no espelho convexo e marque o ponto onde está o foco do espelho;
- i) Incida um raio no espelho convexo que esteja na direção do foco;
- j) Marque o ponto onde está o centro de curvatura e incida um raio no espelho convexo que tenha direção do centro de curvatura, mas que não esteja direcionado ao foco;
- k) Incida um raio no vértice do espelho de forma que este raio esteja inclinado com relação ao eixo principal e com o giz demarque o raio incidente e o raio refletido;
- l) Meça o ângulo de incidência e o ângulo de reflexão;

**Resultados e discussão:**

O que ocorreu com o raio que foi incidido de forma paralela no espelho côncavo e também no convexo?

---

---

---

O que ocorreu com o raio que passou pelo foco e incidiu no espelho côncavo e o que ocorreu com o raio que foi direcionado ao foco que atingiu o espelho convexo?

---

---

---

O que ocorreu com o raio que passou pelo centro de curvatura e incidiu no espelho côncavo e o que ocorreu com o raio que foi direcionado ao centro de curvatura que atingiu o espelho convexo?

---



---



---

O que ocorreu com os raios que atingiram o vértice dos espelhos côncavos e convexas?

---

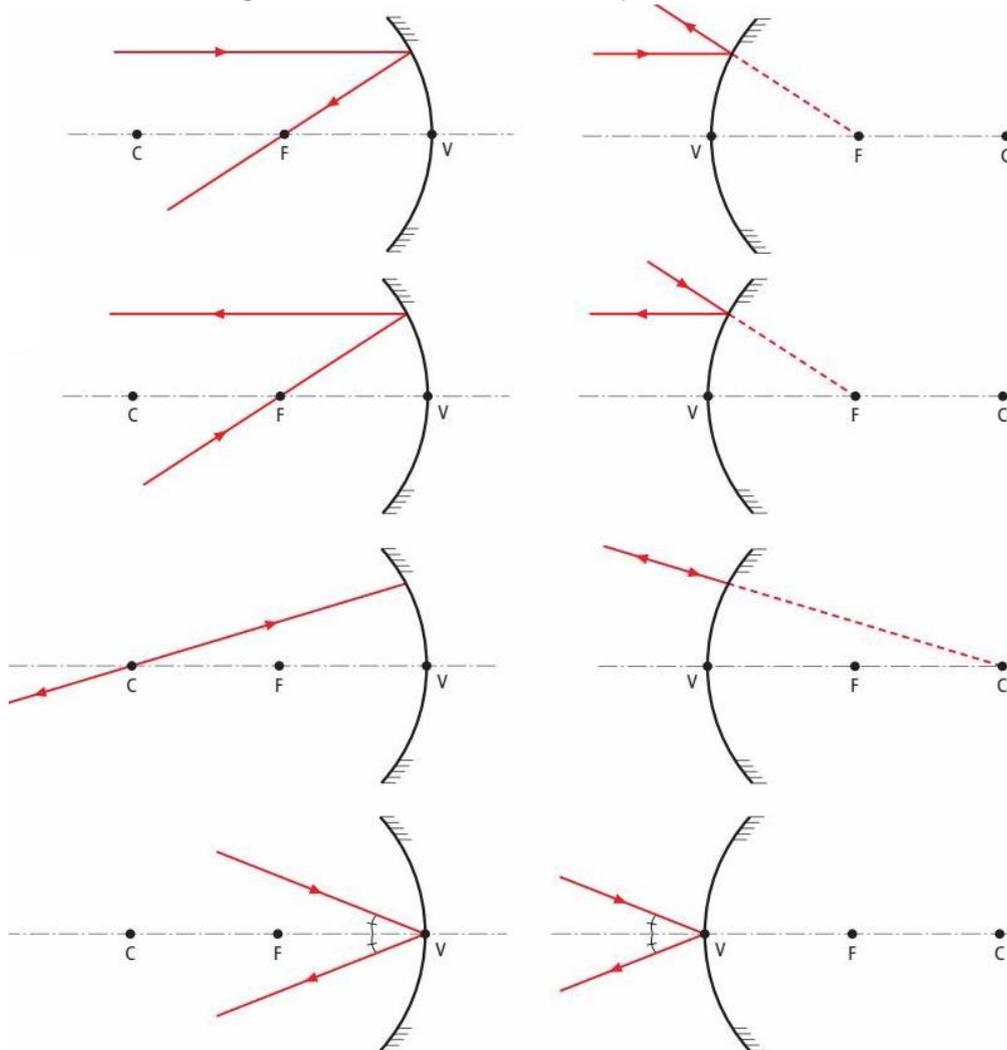


---



---

**Figura 40** – Raios notáveis em espelhos esféricos



Fonte: Física Aula por Aula, vol.2, Editora: FTP, 2016.

## 13.8 CONSTRUÇÃO DE IMAGENS NOS ESPELHOS ESFÉRICOS

Os espelhos esféricos podem construir imagens. E estas imagens podem ser classificadas pela sua natureza, por sua orientação e por seu tamanho.

As imagens podem ser:

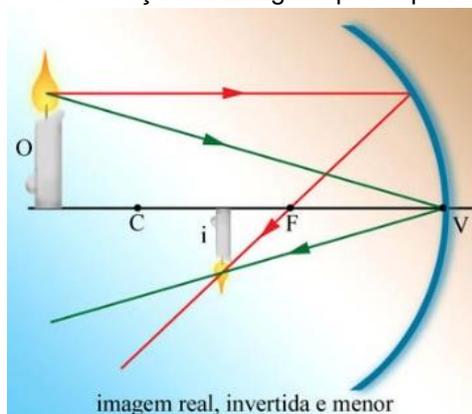
- reais ou virtuais de acordo com sua natureza;
- direitas ou invertidas quanto a sua orientação;
- e podem ser maiores, menores ou do mesmo tamanho que seus objetos.

Existem 5 casos de formação de imagens para espelhos côncavos e um único caso para os espelhos convexos. A formação destas imagens pode ser facilmente obtida pela análise de raios notáveis.

### Espelho Côncavo

**1º Caso:** objeto posicionado depois do centro de curvatura.

**Figura 41** – 1º Caso de construção de imagens por espelhos esféricos côncavos



Fonte: Disponível em: <[http://www.fisicapaidegua.com/conteudo/conteudo.php?id\\_top=040302](http://www.fisicapaidegua.com/conteudo/conteudo.php?id_top=040302)>.

Acesso em 16 jan. 2020.

Anotações:

---



---



---



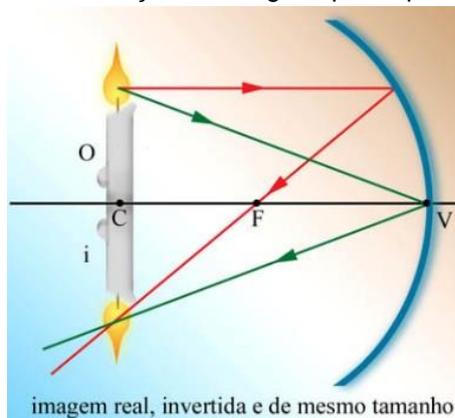
---



---

**2º Caso:** objeto posicionado sobre o centro de curvatura.

**Figura 42** – 2º Caso de construção de imagens por espelhos esféricos côncavos

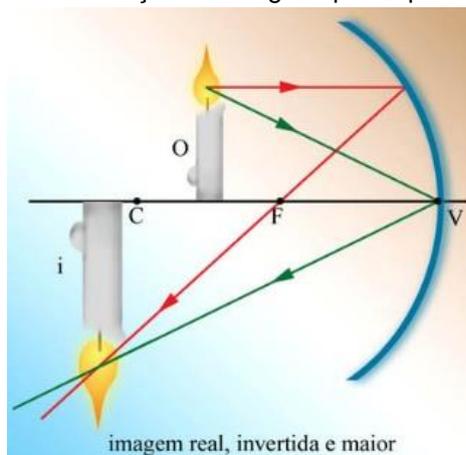


Fonte: Disponível em: <[http://www.fisicapaidegua.com/conteudo/conteudo.php?id\\_top=040302](http://www.fisicapaidegua.com/conteudo/conteudo.php?id_top=040302)>.

Acesso em 16 jan. 2020.

**3º Caso:** objeto posicionado entre o centro de curvatura e o foco.

**Figura 43** – 3º Caso de construção de imagens por espelhos esféricos côncavos



Fonte: Disponível em: <[http://www.fisicapaidegua.com/conteudo/conteudo.php?id\\_top=040302](http://www.fisicapaidegua.com/conteudo/conteudo.php?id_top=040302)>.

Acesso em 16 jan. 2020.

Anotações:

---



---



---



---



---



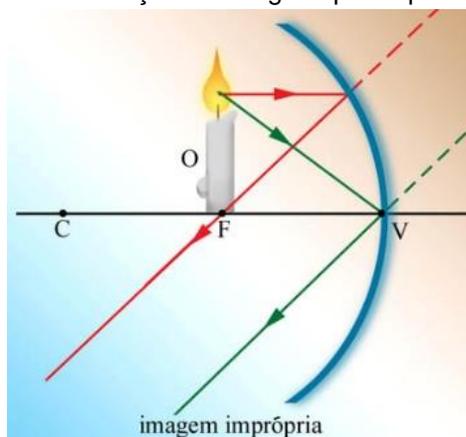
---



---

**4º Caso:** objeto posicionado sobre o foco.

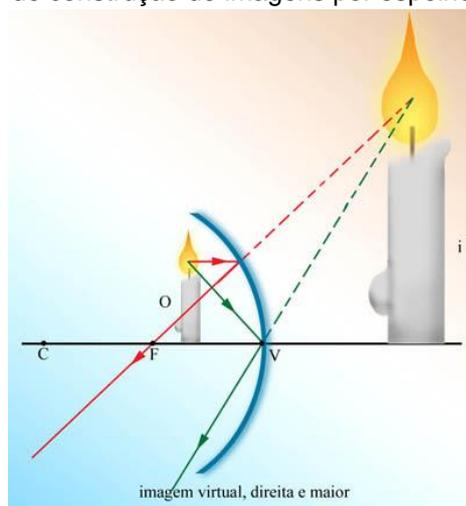
**Figura 44** – 4º Caso de construção de imagens por espelhos esféricos côncavos



Fonte: Disponível em: <[http://www.fisicapaidegua.com/conteudo/conteudo.php?id\\_top=040302](http://www.fisicapaidegua.com/conteudo/conteudo.php?id_top=040302)>. Acesso em 16 jan. 2020.

**5º Caso:** objeto posicionado entre o foco e o vértice do espelho.

**Figura 45** – 5º Caso de construção de imagens por espelhos esféricos côncavos



Fonte: Disponível em: <[http://www.fisicapaidegua.com/conteudo/conteudo.php?id\\_top=040302](http://www.fisicapaidegua.com/conteudo/conteudo.php?id_top=040302)>. Acesso em 16 jan. 2020.

Onde você pode observar que estes espelhos côncavos podem ser utilizados?

---



---

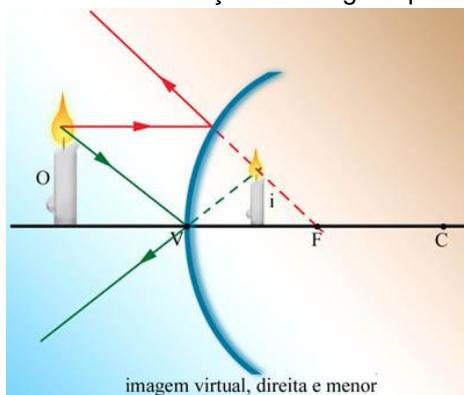


---

## Espelho Convexo

### Caso único

**Figura 46** – Caso único de construção de imagens por espelhos convexos



Fonte: Disponível em: <[http://www.fisicapaidegua.com/conteudo/conteudo.php?id\\_top=040302](http://www.fisicapaidegua.com/conteudo/conteudo.php?id_top=040302)>.

Acesso em 16 jan. 2020.

Onde você pode observar que os espelhos convexos podem ser utilizados?

---



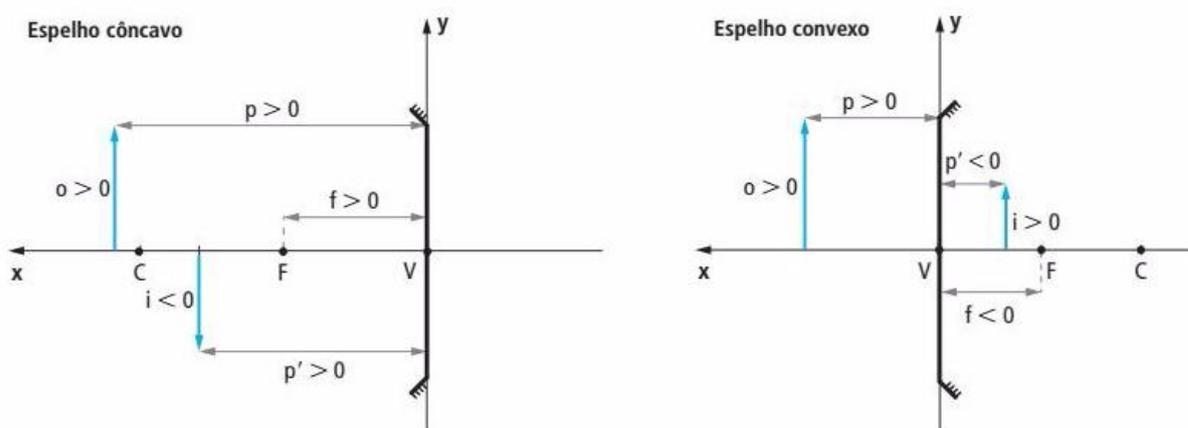
---



---

## 13.9 REFERENCIAL DE GAUSS PARA ESPELHOS ESFÉRICOS

**Figura 47** – Referencial de Gauss para espelhos esféricos



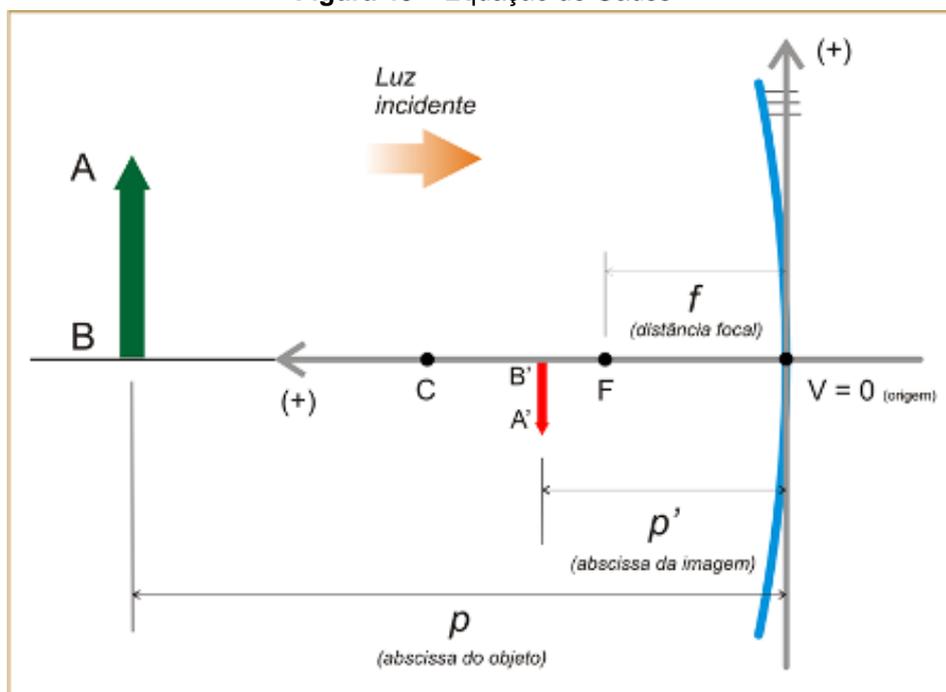
Fonte: Física Aula por aula, vol.2, Editora: FTP, 2016.

Utilizando o plano cartesiano onde o eixo  $x$  é o eixo principal que passa pelo centro de curvatura e vértice do espelho, e o eixo  $y$  passa pelo vértice do espelho, temos:

- p**: Distância do objeto ao vértice do espelho
- p'**: Distância da imagem ao vértice do espelho
- o**: tamanho do objeto
- i**: tamanho da imagem
- f**: distância focal

### 13.10 EQUAÇÃO DE GAUSS

Figura 48 – Equação de Gauss



Fonte: Disponível em: <<http://fisikanarede.blogspot.com/2012/10/equacao-de-gauss-aumento-linear.html>>. Acesso em 16 jan. 2020.

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'}$$

### 13.11 AUMENTO LINEAR

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

## 13.12 AVALIAÇÃO SOMATIVA 01

Figura 49 – O Raio da morte



Fonte: Disponível em: < <https://ceticismo.net/2010/06/28/arquimedes-usou-espelhos-para-atear-fogo-em-barcos-romanos-ou-isso-e-ficcao/>>. Acesso em 16 jan. 2020.

Uma das histórias interessantes da Segunda Guerra Púnica é a de que os navios romanos eram incendiados ao transitarem próximos a costa de Cartago. E foi Arquimedes o responsável pela engenhosidade de criar uma arma bélica com espelhos.

A função do espelho de Arquimedes era utilizar o Sol e direcionar um raio de luz poderoso que queimava as embarcações.

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

Utilizando os conhecimentos que vocês possuem sobre espelhos e o fenômeno da reflexão, descreva qual tipo de espelho Arquimedes utilizou e onde os navios romanos deveriam estar posicionados para que o raio da morte os atingisse.

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## 14 REFRAÇÃO

### 14.1 EXPERIMENTO 15: LEIS DA REFRAÇÃO

**Objetivo:** Demonstrar as leis da refração.

**Materiais a serem utilizados:**

- Quadro negro de metal
- Lâmina de faces paralelas
- Giz
- Transferidor
- Régua
- Canhão de Laser

**Metodologia:**

- a) Com o transferidor determine um ângulo de  $45^\circ$  (ângulo de incidência) em relação a reta normal (linha referencial), e trace uma reta indicando a abertura;
- b) Posicione a lâmina de faces paralelas no quadro negro de metal, orientando-se pela linha referencial, utilizando-a como reta normal;
- c) Posicione o canhão de luz, com apenas um raio ativo, sobre a reta traçada em sentido à lâmina de faces paralelas;
- d) Com um pincel ou canetinha, trace uma reta sobre a lâmina de faces paralelas indicando a trajetória do raio refratado;
- e) Meça o ângulo de refração utilizando o transferidor;
- f) Depois de observar o desvio da luz, coloque o laser sobre a reta normal ( $0^\circ$ ).

**Resultados e discussão:**

Ao comparar o ângulo de incidência com o ângulo de refração o que foi observado?

---

---

---

O que o raio incidente, o raio refratado e a reta normal, traçados no quadro branco de metal tem em comum?

---



---



---

O que ocorreu ao colocar o feixe de luz sobre a reta normal?

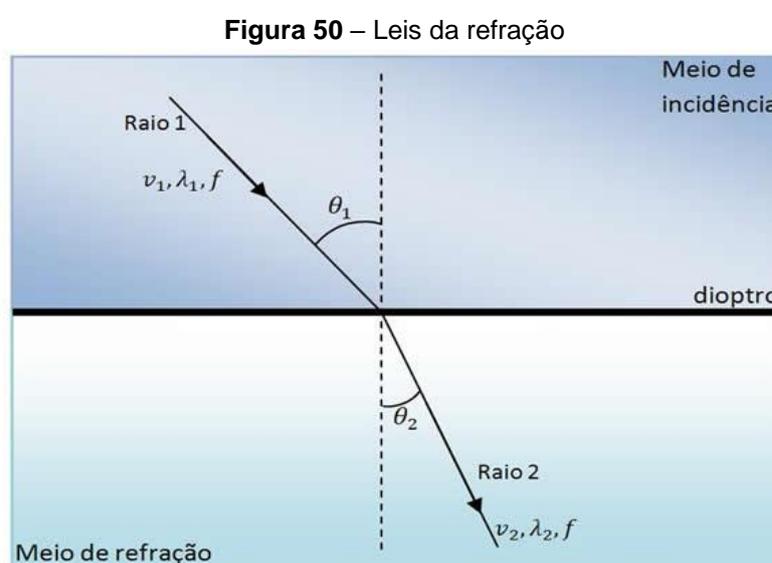
---



---



---



Fonte: Disponível em:

<[https://www.sofisica.com.br/conteudos/Otica/Refracaodaluz/leis\\_de\\_refracao.php](https://www.sofisica.com.br/conteudos/Otica/Refracaodaluz/leis_de_refracao.php)>. Acesso em 16 jan. 2020.

O fenômeno da refração, assim como o fenômeno da reflexão, apresenta comportamentos que podem ser descritos em apenas duas leis. Onde a 1ª Lei da Refração é semelhante a 1ª Lei da Reflexão.

**1ª Lei da Refração:** O raio incidente, o raio refratado e a reta normal estão no mesmo plano. Portanto, são coplanares.

**2ª Lei da Refração:** (Lei de Snell – Descartes)

$$n_1 \cdot \text{sen}\theta_1 = n_2 \cdot \text{sen}\theta_2$$

Onde  $n_1$  e  $n_2$  são os índices de refração absolutos do meio em que a luz está se propagando.

### 14.1.1 ÍNDICE DE REFRAÇÃO

O índice de refração absoluto é definido pela razão entre a velocidade da luz ( $c$ ) e a velocidade de propagação da luz no meio ( $v$ ) em questão.

$$n = \frac{c}{v}$$

Quanto maior o índice de refração, maior será a dificuldade que a luz terá para se propagar neste meio, fazendo com que a velocidade da luz diminua.

Qual o índice de refração do vácuo?

---



---



---

Existe algum meio que possua índice de refração menor que 1?

---



---



---

**Figura 51** – Tabela de índices de refração

Índice de refração de algumas substâncias			
Substância	Índice de refração absoluto	Substância	Índice de refração absoluto
Vácuo	1,00	Parafina	1,43
Ar	1,000292	Glicerina	1,47
Gelo	1,31	Vidro crown	1,52
Água pura	1,33 (a 20 °C)	Sal de cozinha	1,54
Álcool etílico	1,36 (a 20 °C)	Diamante	2,42

Fonte: Física Aula por aula, vol.2, Editora: FTP, 2016.

Os índices de refração fazem referência a um raio de luz idealizado, composto por uma única frequência (luz monocromática). Veremos, em breve, ao estudarmos os prismas que os índices de refração absoluto de um meio varia com a sua frequência.

Conhecendo a 2ª Lei da Refração calcule o índice de refração da lâmina de faces paralelas do experimento 15.

---

---

---

Agora calcule a velocidade de propagação da luz na lâmina de faces paralelas.

---

---

---

Podemos calcular o índice de refração relativo entre dois meios.

$$n_{1,2} = \frac{n_1}{n_2}$$

Portanto, o índice de refração relativo pode ser correspondente as velocidades de propagação nestes meios:

$$n_{1,2} = \frac{v_2}{v_1}$$

Anotações:

---

---

---

---

---

---

## 14.1.2 ANÁLISE DA LEI DE SNELL – DESCARTES

Figura 52 – Situações de análise da lei de Snell – Descartes



Fonte: Física Aula por Aula, vol.2, Editora: FTP, 2016.

Três situações são possíveis:

- Quando o raio incidente refrata de um meio menos refringente para um meio mais refringente.
- Quando o raio incidente refrata de um meio mais refringente para um meio menos refringente.
- E quando o raio de luz não sofre desvios.

No experimento 15, em qual momento temos o raio incidente refratando a partir de um meio menos refringente para um meio mais refringente?

---

---

---

Ainda sobre o experimento 15, em qual momento temos o raio incidente refratando a partir de um meio mais refringente para um meio menos refringente? (pense nos princípios da óptica geométrica)

---

---

---

Para concluir a análise do experimento 15, em qual momento o raio de luz não sofre desvios?

---

---

---

## 14.2 EXPERIMENTO 16: DIOPTRO PLANO

**Objetivo:** Demonstrar conceitos sobre dioptros planos.

**Materiais a serem utilizados:**

- Aquário de vidro
- Pincel atômico
- Régua
- Água
- Fita adesiva

**Metodologia:**

Marque com o pincel atômico, as faces do aquário com os números 1, 2, 3, e 4 no sentido horário;

- a) Não há necessidade de marcar a face do fundo do aquário;
- b) Na face interna número 3 faça a marcação de um ponto, com o pincel atômico;
- c) Olhando pela face 1, faça uma reta sobre a face externa 1 que esteja paralela ao fundo do aquário, na altura do ponto marcado na face 3;

- d) Posicione-se frente a face 1 e encha o aquário com água, sem se movimentar da sua posição de observador.

**Resultados e discussão:**

O que ocorreu ao encher o aquário com água? Porque isto ocorreu?

---



---



---

O que são os dioptros planos?

---



---



---

A lâmina de faces paralelas e o ar também são considerados dioptros planos?

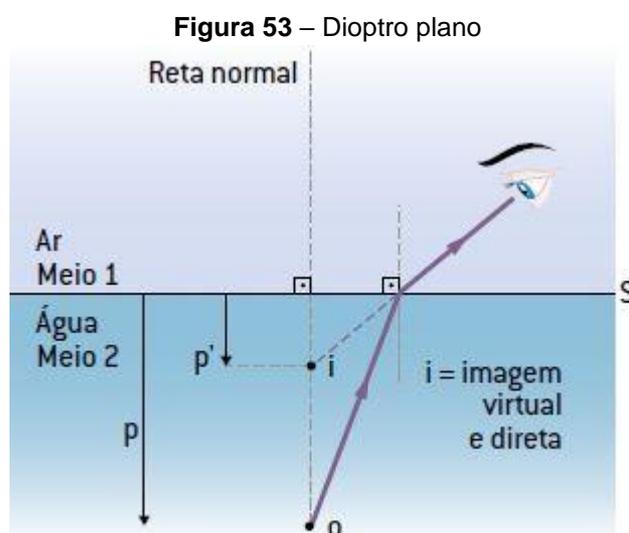
---



---



---



Fonte: Disponível em: <<https://www.coladaweb.com/fisica/optica/dioptro-plano-2>>. Acesso em 16 jan. 2020.

Em dioptros planos a relação entre a profundidade do objeto, a profundidade da imagem e os índices de refração dos meios é:

$$\frac{n_{\text{observador}}}{n_{\text{objeto}}} = \frac{p'}{p}$$

### 14.3 EXPERIMENTO 17: LÂMINA DE FACES PARALELAS

**Objetivo:** Demonstrar conceitos sobre lâminas de faces paralelas.

**Materiais a serem utilizados:**

- Quadro negro de metal
- Lâmina de faces paralelas
- Pincel atômico
- Giz
- Transferidor
- Régua
- Canhão Laser

**Metodologia:**

- a) Posicione a lâmina de faces paralelas no quadro de metal, utilizando a linha referencial como reta normal;
- b) Com o transferidor determine um ângulo entre  $50^\circ$  e  $60^\circ$  (ângulo de incidência) em relação a reta normal, e trace uma reta indicando a abertura;
- c) Posicione o canhão de luz, com apenas um laser ativo, sobre a reta traçada em sentido a lâmina de faces paralelas;
- d) Com o pincel trace uma reta sobre a lâmina de faces paralelas indicando a trajetória do raio refratado;
- e) Demarque o raio de luz que sai pelo outro lado da lâmina de faces paralelas com um giz, e defina uma reta normal a este raio.

**Resultados e discussão:**

Quantos meios de propagam podem ser identificados no experimento?

---

---

---

Quantas refrações ocorrem? Identifique-as.

---

---

---

Houve algum desvio entre o raio de luz que chega até a lâmina e o raio de luz que sai da lâmina?

---



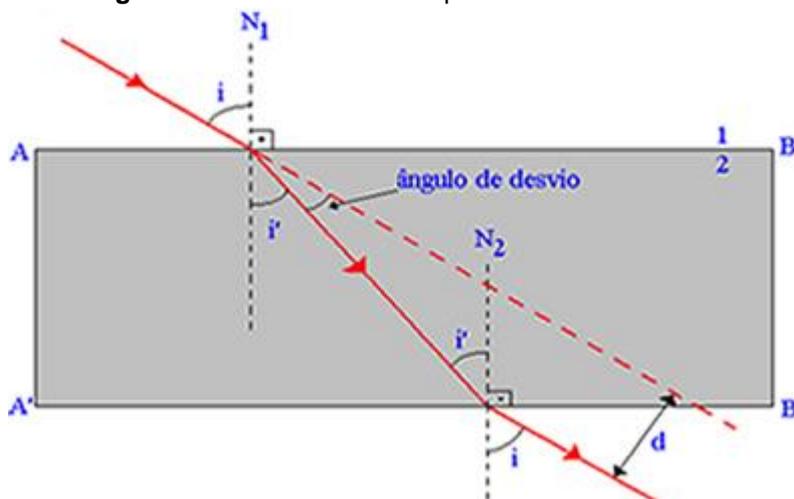
---



---

### 14.3.1 DESVIO LATERAL

Figura 54 – Lâmina de faces paralelas: desvio lateral



Fonte: Disponível em: <<https://brasilecola.uol.com.br/fisica/lamina-faces-paralelas.htm>>. Acesso em 16 jan. 2020.

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

Onde,

d = desvio lateral

e = espessura da lâmina de faces paralelas

i = ângulo de incidência

r = ângulo de refração

Calcule o desvio lateral do experimento 17.

---



---



---

## 14.4 EXPERIMENTO 18: ÂNGULO LIMITE E REFLEXÃO TOTAL

**Objetivo:** Demonstrar conceitos sobre ângulo limite e reflexão total.

**Materiais a serem utilizados:**

- Quadro negro de metal
- Lâmina com uma face circular (lente plano-convexa)
- Pincel atômico
- Giz
- Transferidor
- Régua
- Laser

**Metodologia:**

- a) Posicione a lâmina no quadro negro de metal de forma que a face reta esteja posicionada sobre a linha referencial, formando um ângulo de  $90^\circ$ , definindo sua reta normal;
- b) Ligue o canhão de lasers, com apenas um raio ligado, sobre a reta normal;
- c) Lentamente em um movimento no sentido anti-horário, gire o raio de luz até que o raio refratado forme um ângulo de  $90^\circ$  com a reta normal;
- d) Faça a medida do ângulo de incidência (ângulo limite "L");
- e) Após este momento, ultrapasse a abertura do ângulo limite.

**Resultados e discussão:**

O que ocorre após ultrapassar a abertura do ângulo limite?

---

---

---

Como calcular o seno do ângulo limite, aplicando a lei de Snell – Descartes?

---

---

---

Em qual das situações possíveis, analisadas anteriormente na lei de Snell - Descartes, se enquadra a reflexão total?

---



---



---

Você conhece uma fibra óptica? Sabe como ela funciona?

---



---



---

Miragens são fenômenos reais que ocorrem em locais muito quentes como nos asfaltos das estradas e em desertos. Como você pode explicar tais fenômenos?

---



---



---

Imagine-se observando o céu em uma noite estrelada. Sabendo-se que as estrelas são fontes de luz primárias, que seus raios de luz são independentes, considere que até atingir nossa atmosfera estes raios se propagam no vácuo. Ao entrar em nossa atmosfera que é um meio não homogêneo, pois ela se torna mais rarefeita quanto maior sua altura, podemos dizer que observamos as estrelas em suas posições reais?

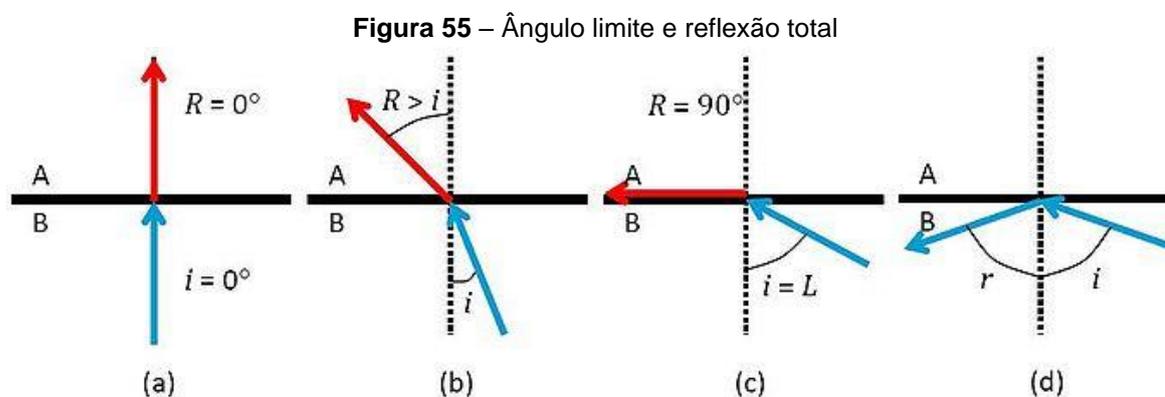
---



---



---



Fonte: Disponível em:

<[https://wikiciencias.casadasciencias.org/wiki/index.php/Reflex%C3%A3o\\_total\\_da\\_luz](https://wikiciencias.casadasciencias.org/wiki/index.php/Reflex%C3%A3o_total_da_luz)>. Acesso em 16 jan. 2020.

## 14.5 EXPERIMENTO 19: PRISMAS ÓPTICOS

**Objetivo:** Demonstrar conceitos sobre desvio angular e ângulo de refração.

**Materiais a serem utilizados:**

- Quadro negro de metal
- Prisma
- Pincel atômico
- Transferidor
- Canhão de lasers
- Folha de papel A4.

**Metodologia:**

- a) Posicione o prisma no quadro negro de metal de forma que uma de suas faces esteja na posição de  $90^\circ$  com a linha referencial;
- b) Trace com a régua retas normais as outras superfícies laterais;
- c) Marque o ângulo de abertura e meça-o com o transferidor;
- d) Ligue o laser e posicione-o com uma abertura de  $30^\circ$  com relação a reta normal da face de incidência (face 1);
- e) Com o pincel atômico demarque a trajetória do raio luminoso;
- f) Faça o prolongamento do raio incidente na face 1, o prolongamento do raio refratado pela face 2 e marque o ponto de interseção entre eles;
- g) Identifique o ângulo de desvio e meça-o.
- h) Caso necessário utilize a folha de papel A4 para facilitar a visualização dos raios.

**Resultados e discussão:**

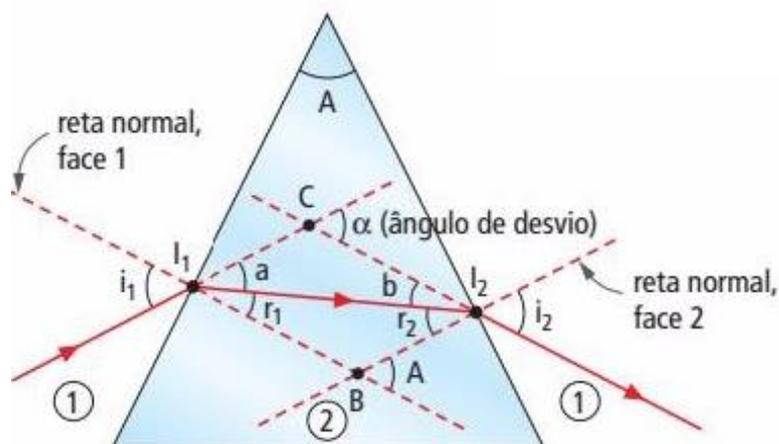
Geometricamente pode ser feita uma relação entre o ângulo de incidência na face 1, o ângulo de refração na face 2 e o ângulo de abertura do prisma para se definir o desvio angular?

---

---

---

Figura 56 – Prismas ópticos



Fonte: Física Aula por Aula, vol. 2, Editora: FTP, 2016.

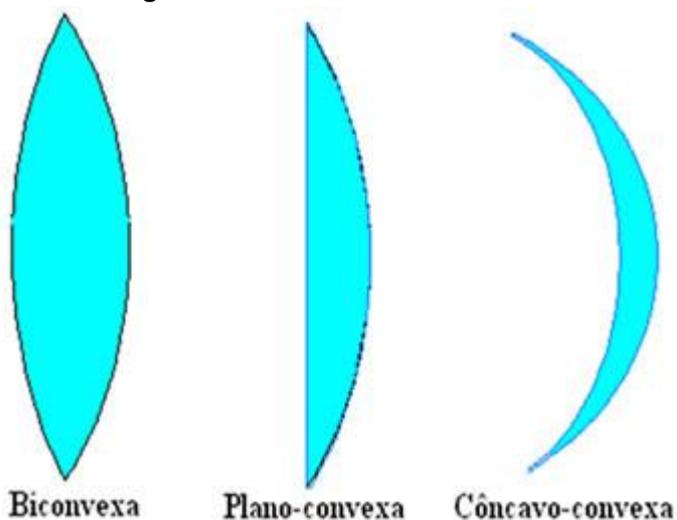
## 15 LENTES ESFÉRICAS

As lentes esféricas são sistemas ópticos formados por duas superfícies esféricas ou por uma plana e outra esférica, que favorecem a refração dos raios luminosos por serem constituídas de meios transparentes e homogêneos.

### 15.1 TIPOS DE LENTES

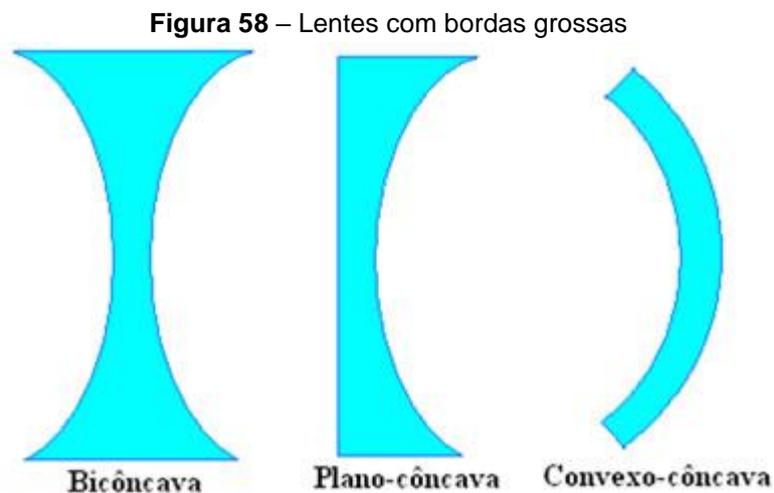
**Lentes com bordas finas:**

Figura 57 – Lentes com bordas finas



Fonte: Disponível em: < <https://brasilecola.uol.com.br/fisica/lentes-esfericas.htm> >. Acesso em 16 jan. 2020.

### Lentes com bordas grossas:



Fonte: Disponível em: < <https://brasilecola.uol.com.br/fisica/lentes-esfericas.htm> >. Acesso em 16 jan. 2020.

## 15.2 EXPERIMENTO 20: LENTE DE BORDAS FINAS

**Objetivo:** Demonstrar conceitos sobre o comportamento dos raios de luz em lentes de bordas finas.

### Materiais a serem utilizados:

- Canhão de lasers
- Lente de bordas finas
- Quadro negro de metal
- Régua
- Giz

### Metodologia:

- a) posicione o vértice da lente sobre o eixo óptico (linha referencial);
- b) posicione o canhão de lasers, a esquerda da lente, a uma distância de 40 cm;
- c) marque com o pincel atômico o ponto de convergência dos raios luminosos;
- d) mude o canhão de lasers para o lado direito da lente, a uma distância de 40 cm e ligue-o;
- e) marque com o pincel atômico o ponto de convergência dos raios luminosos.

### Resultados e discussão

O que pode ser observado no experimento?

---

---

---

Como podemos chamar o ponto de convergência dos raios luminosos?

---

---

---

Observe que a lente está imersa no ar e o ar possui índice de refração menor que o da lente. Caso ela estivesse imersa em um meio com índice de refração maior que o da lente o que ocorreria?

---

---

---

### 15.3 EXPERIMENTO 21: LENTE DE BORDAS GROSSAS

**Objetivo:** Demonstrar conceitos sobre o comportamento dos raios de luz em lentes de bordas grossas.

**Materiais a serem utilizados:**

- Canhão de lasers
- Lente de bordas grossas
- Quadro negro de metal
- Régua
- Giz

**Metodologia:**

- a) posicione o vértice da lente sobre o eixo óptico;
- b) posicione o canhão de lasers, a esquerda da lente, a uma distância de 30 cm;
- c) Com um giz trace a trajetória dos raios luminosos no quadro de metal;
- d) marque com o giz o ponto de convergência dos raios luminosos;
- e) mude o canhão de lasers para o lado direito da lente, a uma distância de 30 cm, ligue-o e repita o procedimento de traçar a trajetória dos raios luminosos;
- f) marque com o giz o ponto de convergência dos raios luminosos.

## Resultados e discussão

O que pode ser observado no experimento?

---

---

---

Como podemos chamar o ponto de convergência dos raios luminosos?

---

---

---

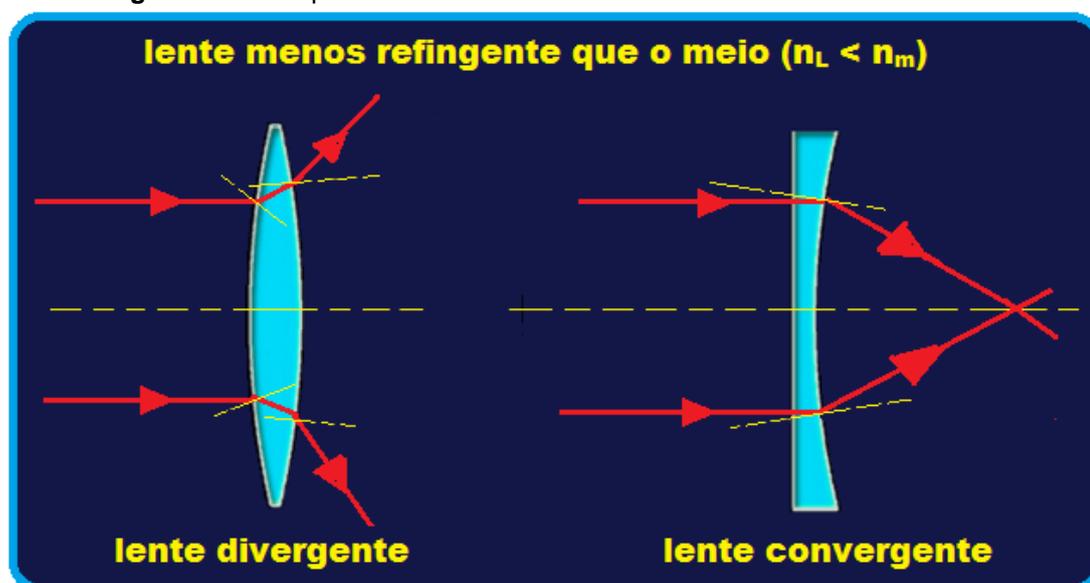
Observe que a lente está imersa no ar e o ar possui índice de refração menor que o da lente. Caso ela estivesse imersa em um meio com índice de refração maior que o da lente o que ocorreria?

---

---

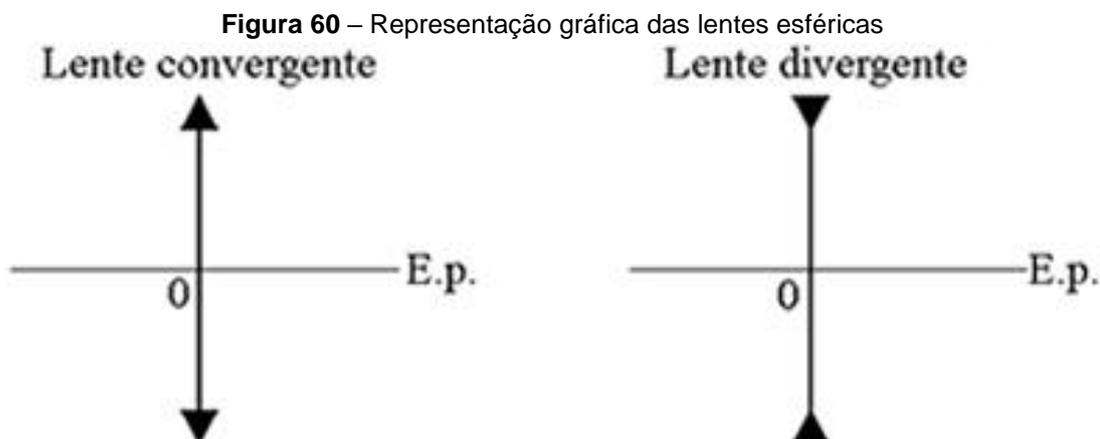
---

Figura 59 – Comportamentos dos raios de luz ao incidir em lentes esféricas



Fonte: Disponível em: < [http://fisicaevestibular.com.br/novo/wp-content/uploads/migracao/optica/lentesconstrucao/o\\_360bb88e03c051f9.html](http://fisicaevestibular.com.br/novo/wp-content/uploads/migracao/optica/lentesconstrucao/o_360bb88e03c051f9.html)>. Acesso em 16 jan. 2020.

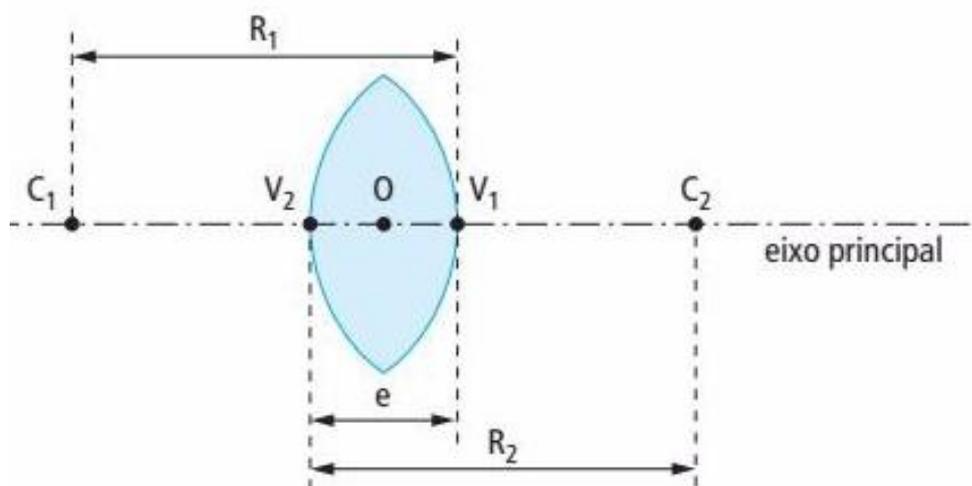
## 15.4 REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DAS LENTES ESFÉRICAS



Fonte: Disponível em: <<https://alunosonline.uol.com.br/fisica/comportamento-optico.html>>. Acesso em 16 jan. 2020.

## 15.5 ELEMENTOS DE UMA LENTE ESFÉRICA

Figura 61 – Elementos de uma lente esférica



Fonte: Física Aula por Aula, vol. 2, Editora: FTP, 2016.

**Centros de curvatura (C1 e C2):** Ponto que determina o centro da superfície esférica da lente.

**Raios de curvatura (R1 e R2):** Distância entre o centro de curvatura e a borda da superfície esférica.

**Vértices (V1 e V2):** Ponto mais externo da superfície esférica (polo).

**Espessura (e):** Distância entre os vértices

**Eixo principal:** Reta que passa pelos vértices e pelos centros de curvatura da lente.

**Centro óptico (O):** Ponto médio entre os vértices.

**Focos:** Ponto de interseção dos raios luminosos ou de seus prolongamentos.

**Distância focal:** Distância entre o centro óptico da lente e o foco.

$$f = \frac{R}{2}$$

## 15.6 EXPERIMENTO 22: RAIOS NOTÁVEIS EM LENTES ESFÉRICAS

**Objetivo:** Demonstrar as propriedades dos raios incidentes em lentes esféricas

**Materiais a serem utilizados:**

- Lente de bordas finas
- Lente de bordas grossas
- Canhão de lasers
- Giz
- Régua
- Quadro negro de metal
- Transferidor

**Metodologia:**

- a) Posicione a lente de bordas finas sobre o eixo principal (linha referencial);
- b) Incida um raio paralelo ao eixo principal em direção a lente de bordas finas e marque o ponto onde está o foco do espelho;
- c) Incida um raio na lente de bordas finas que passe pelo foco;
- d) Marque o ponto onde está o centro de curvatura e incida um raio na lente de bordas finas que passe pelo centro de curvatura, mas que não passe pelo foco;
- e) Incida um raio no vértice da lente de bordas finas de forma que este raio esteja inclinado com relação ao eixo principal;
- f) Posicione a lente de bordas grossas sobre o eixo principal;

- g) Incida um raio paralelo ao eixo principal na lente de bordas grossas e marque o ponto onde está o foco;
- h) Incida um raio na lente de bordas grossas que passe pelo foco e esteja inclinado com relação ao eixo principal;
- i) Marque o ponto onde está o centro de curvatura e incida um raio na lente de bordas grossas que tenha direção do centro de curvatura, mas que não esteja direcionado ao foco;
- j) Incida um raio no vértice da lente de bordas grossas de forma que este raio esteja inclinado com relação ao eixo principal;

**Resultados e discussão:**

O que ocorreu com o raio que foi incidido de forma paralela na lente de bordas finas, e com a lente de bordas grossas?

---

---

---

O que ocorreu com o raio que passou pelo foco e incidiu na lente de bordas finas, e o que ocorreu com o raio que foi direcionado ao foco que atingiu a lente de bordas grossas?

---

---

---

O que ocorreu com o raio que passou pelo centro de curvatura e incidiu na lente de bordas finas, e o que ocorreu com o raio que foi direcionado ao centro de curvatura que atingiu a lente de bordas grossas?

---

---

---

O que ocorreu com os raios que atingiram o vértice das lentes de bordas finas e de bordas grossas?

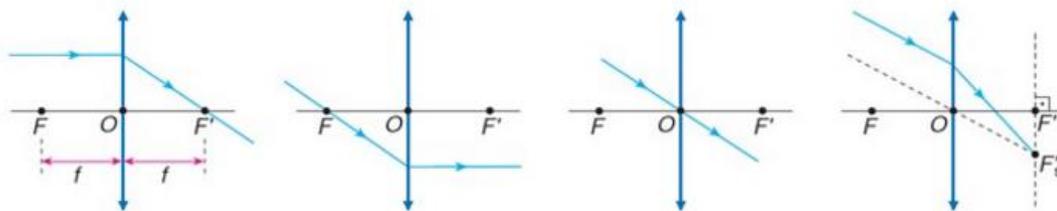
---

---

---

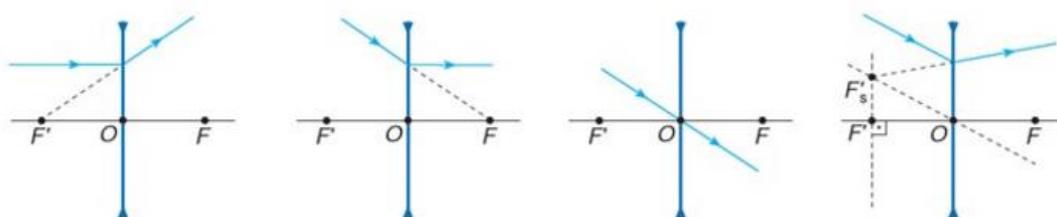
**Figura 62** – Raios notáveis em lentes esféricas

• **Lente delgada convergente**



$F$ : foco principal objeto;  $F'$ : foco principal imagem;  $O$ : centro óptico;  $f$ : distância focal

• **Lente delgada divergente**



Fonte: Disponível em: < <http://gt-mre.ufsc.br/moodle/course/view.php?id=24&section=1>>. Acesso em 16 jan. 2020.

## 15.7 EXPERIMENTO 23: CONSTRUÇÃO DE IMAGENS POR LENTES ESFÉRICAS

**Objetivo:** Demonstrar conceitos sobre a formação de imagens por lentes esféricas

**Materiais a serem utilizados:**

- Quadro negro de metal
- Régua
- Lupa
- Anteparo de folha A4
- Objeto seta
- Lanterna de luz branca
- Giz
- Canhão de lasers

**Metodologia:**

- a) Posicione a lupa centralizando-a;
- b) Sabendo a distância focal marque os centros de curvatura;

- c) Posicione o objeto seta a uma distância superior ao raio de curvatura, do lado esquerdo da lente, fazendo com que a extremidade inferior do objeto seta esteja posicionada sobre o eixo principal;
- d) Posicione a lanterna de luz branca a esquerda do objeto seta, a uma distância de 10 cm e ligue-a;
- e) Posicione o anteparo de folha A4 a direita da lente, centralizado no eixo principal e movimente-o para esquerda e para direita até conseguir obter nitidez da imagem do objeto seta;
- f) Movimente o objeto seta para o centro de curvatura;
- g) Movimente o anteparo até obter a nitidez da imagem;
- h) Movimente o objeto seta de forma que ele fique entre o centro de curvatura e o foco;
- i) Movimente o anteparo até obter a nitidez da imagem;
- j) Movimente o objeto seta de forma que ele fique posicionado sobre o foco
- k) Movimente o anteparo e tente localizar a imagem;
- l) Movimente o objeto seta de forma que ele fique posicionado entre o foco e o vértice da lente;
- m) Movimente o anteparo e tente localizar a imagem;

### **Resultados e discussão**

Com os conhecimentos sobre caracterização de imagens que você adquiriu ao estudar os espelhos esféricos, caracterize a imagem gerada no anteparo, quando o objeto está posicionado antes do centro de curvatura, sobre o centro de curvatura, entre o centro de curvatura e o foco.

---

---

---

Explique o motivo da não formação da imagem quando o objeto está posicionado sobre o foco.

---

---

---

Mesmo não obtendo a imagem quando o objeto seta foi posicionado entre o foco e o vértice esta imagem foi gerada. Porque não conseguimos projetá-la?

---



---



---

A lupa possui uma lente de bordas finas como observado na convergência dos raios luminosos. Caso utilizássemos uma lente de bordas grossas no experimento como poderíamos caracterizar a formação de imagem?

---



---



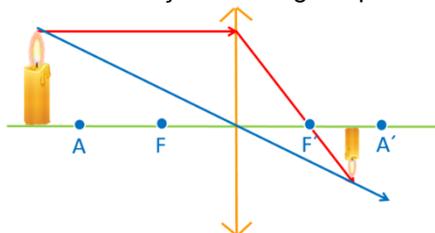
---

## 15.8 CONSTRUÇÃO GEOMÉTRICA DE IMAGENS POR LENTES ESFÉRICAS

### Lentes convergentes

**1º Caso:** objeto posicionado depois do centro de curvatura.

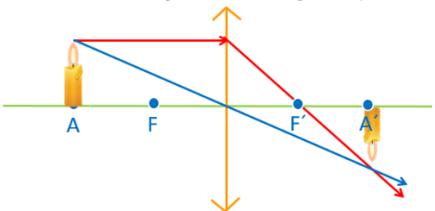
**Figura 63** – 1º Caso de construção de imagens por lentes convergentes



Fonte: Disponível em: <<http://blog.professorbrunofernandes.com.br/resumo-de-fisica-lentes-esfericas/>>. Acesso em 16 jan. 2020.

**2º Caso:** objeto posicionado sobre o centro de curvatura.

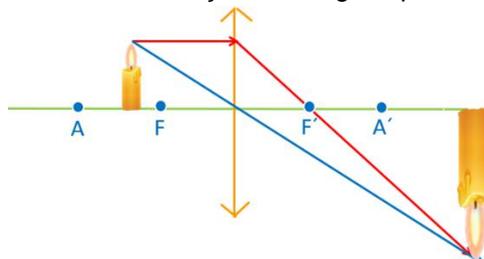
**Figura 64** – 2º Caso de construção de imagens por lentes convergentes



Fonte: Disponível em: <<http://blog.professorbrunofernandes.com.br/resumo-de-fisica-lentes-esfericas/>>. Acesso em 16 jan. 2020.

**3º Caso:** objeto posicionado entre o centro de curvatura e o foco.

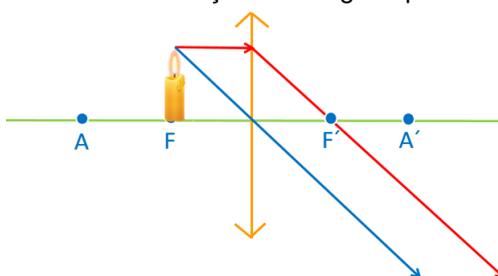
**Figura 65** – 3º Caso de construção de imagens por lentes convergentes



Fonte: Disponível em: <<http://blog.professorbrunofernandes.com.br/resumo-de-fisica-lentes-esfericas/>>. Acesso em 16 jan. 2020.

**4º Caso:** objeto posicionado sobre o foco.

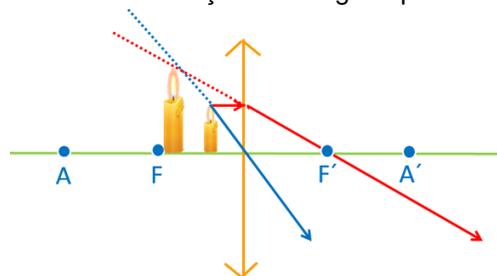
**Figura 66** – 4º Caso de construção de imagens por lentes convergentes



Fonte: Disponível em: <<http://blog.professorbrunofernandes.com.br/resumo-de-fisica-lentes-esfericas/>>. Acesso em 16 jan. 2020.

**5º Caso:** objeto posicionado entre o foco e o vértice do espelho.

**Figura 67** – 5º Caso de construção de imagens por lentes convergentes

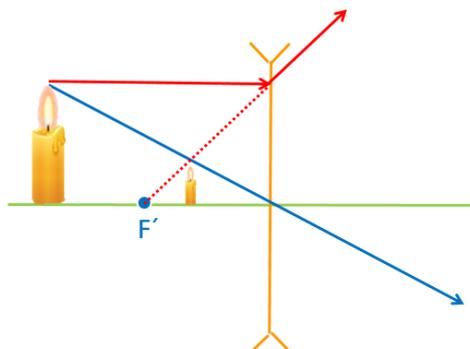


Fonte: Disponível em: <<http://blog.professorbrunofernandes.com.br/resumo-de-fisica-lentes-esfericas/>>. Acesso em 16 jan. 2020.

## Lentes divergentes

### Caso único

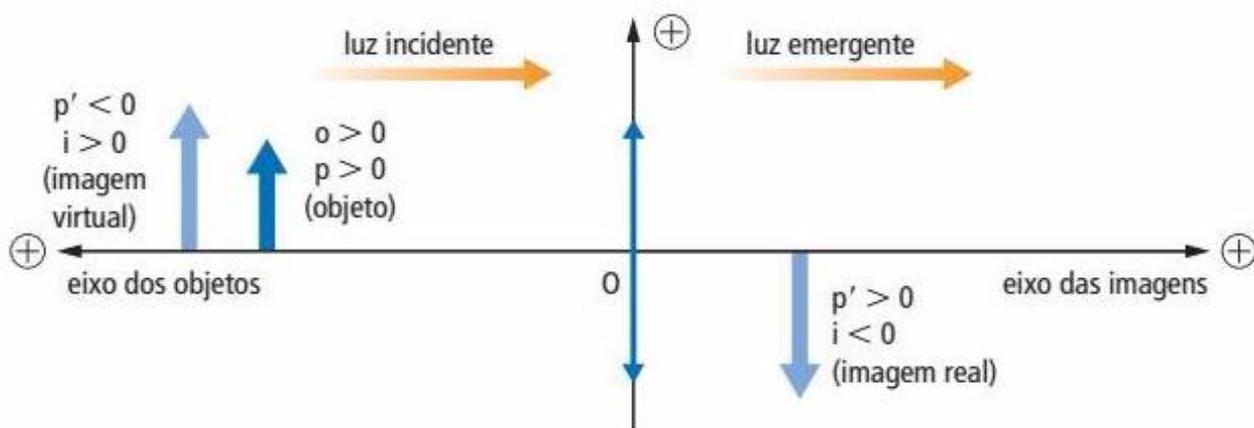
Figura 68 – Caso único de construção de imagens por lentes divergentes



Fonte: Disponível em: <<http://blog.professorbrunofernandes.com.br/resumo-de-fisica-lentes-esfericas/>>. Acesso em 16 jan. 2020.

## 15.9 REFERENCIAL DE GAUSS PARA LENTES ESFÉRICAS

Figura 69 – Referencial de Gauss para lentes esféricas



Fonte: Física Aula por Aula, vol. 2, Editora: FTP, 2016.

Anotações:

---



---

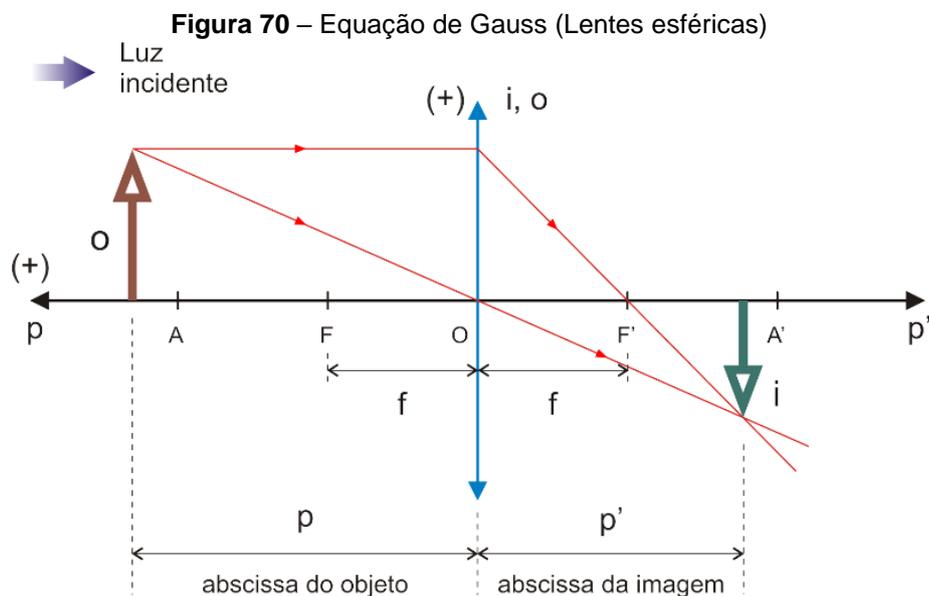


---



---

## 15.10 EQUAÇÃO DE GAUSS



Fonte: Disponível em: <<http://fisikanarede.blogspot.com/2012/11/equacao-de-gauss-aumento-linear.html>>. Acesso em 16 jan. 2020.

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'}$$

## 15.11 EQUAÇÃO DO AUMENTO LINEAR TRANSVERSAL

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

Anotações:

---



---



---



---



---



---



---



---

Utilizando os dados do experimento 23 para quando o objeto seta está posicionado sobre o foco, utilize a equação de Gauss para determinar a distância que a imagem deve estar e compare com o que você anotou no momento do experimento.

---



---



---

Utilizando os dados do experimento 23 para quando o objeto seta está posicionado sobre o foco, calcule o aumento linear transversal e compare com o valor que você anotou no momento do experimento.

---



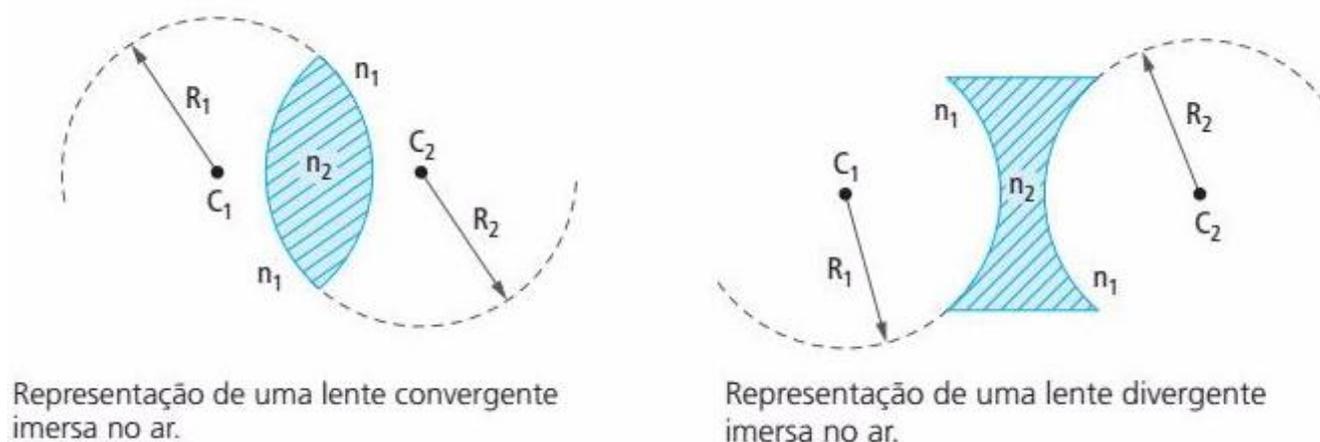
---



---

## 15.12 EQUAÇÃO DE HALLEY

Figura 71 – Equação de Halley



Fonte: Física Aula por Aula, vol. 2, Editora: FTP, 2016.

Edmond Halley (1656-1742) observou que para determinar a distância focal de uma lente, duas características eram fundamentais:

- A relação entre o índice de refração da lente e do meio em que ela está imersa;
- Os raios de curvatura das superfícies esféricas que formam a lente.

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

Onde,

$n_1$ : Índice de refração do meio

$n_2$ : Índice de refração da lente

$R_1$  e  $R_2$ : São os raios das superfícies esféricas

Convenção para os raios das superfícies esféricas das lentes:

- Face convexa –  $R > 0$
- Face côncava –  $R < 0$

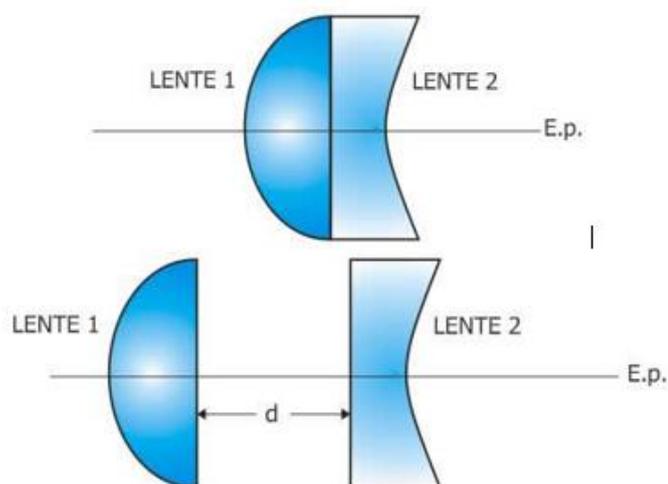
O termo  $1/f$  é chamado de vergência ( $V$ ), portanto:

$$V = \frac{1}{f}$$

No Sistema Internacional de medidas a unidade de vergência é a dioptria (di).

### 15.13 ASSOCIAÇÃO DE LENTES

Figura 72 – Associação de lentes



Fonte: Disponível em:

<<https://www.sofisica.com.br/conteudos/Otica/Lentesesfericas/associacaodelentes.php>>. Acesso em 16 jan. 2020.

Em associações de lentes, quando as lentes estiverem juntas (lentes justapostas), devemos somar as vergências para obtermos a vergência equivalente.

Quando estas estiverem separadas usamos a generalização do teorema das vergências:

$$V_{eq.} = V_1 + V_2 - V_1 \cdot V_2 \cdot d$$

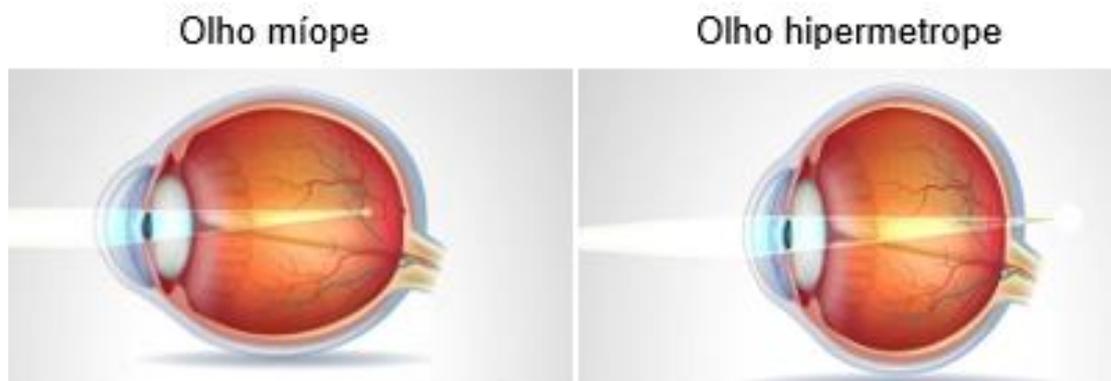
## 15.14 AVALIAÇÃO SOMATIVA 02

A miopia e a hipermetropia são problemas visuais caracterizados por deformações no globo ocular. O olho míope é mais longo que o olho normal enquanto o olho hipermetrope é mais curto, conforme pode ser visto nas imagens abaixo.

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

Observe que no olho hipermetrope a imagem se forma depois da retina e no olho míope a imagem se forma antes da retina. Sendo que em um olho humano normal a imagem deve estar posicionada sobre a retina, utilize os conhecimentos que vocês possuem para identificar qual tipo de lente é adequado para corrigir cada problema e descreva como chegaram a esta conclusão.

Figura 73 – Olhos com problemas visuais



Fonte: Disponível em: <<https://drauziovarella.uol.com.br/doencas-e-sintomas/miopia-hipermetropia-e-astigmatismo/>>. Acesso em 16 jan. 2020.

---

---

---

---

---

---

---

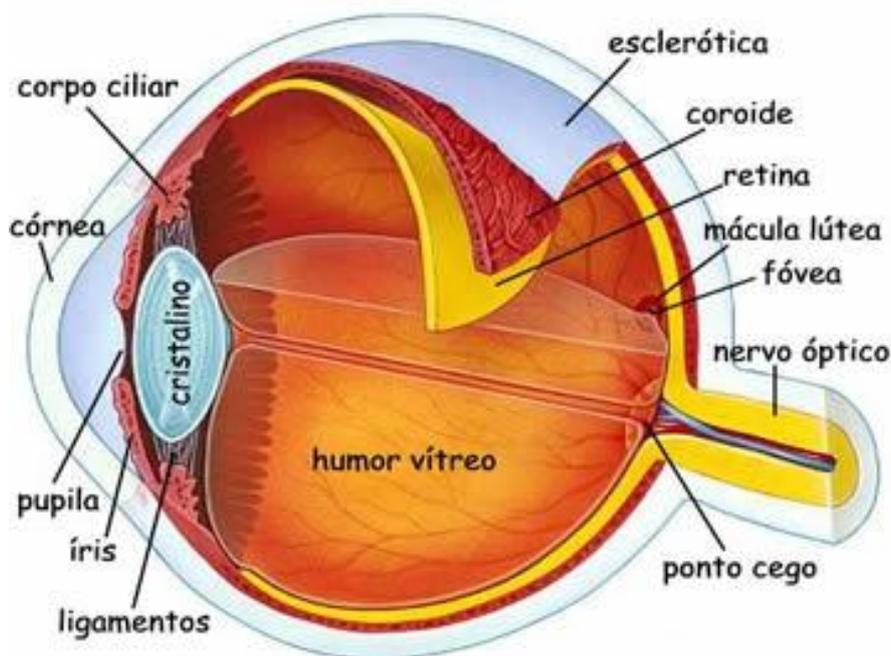
---

## 16 PROBLEMAS VISUAIS

Os problemas visuais são muito comuns. Tanto os que são herdados geneticamente quando aos que são caracterizados por deformações oculares. Conforme há o aumento da idade o corpo humano perde líquidos e ao perder os líquidos presentes no olhando também há o aparecimento de problemas visuais.

### 16.1 O OLHO HUMANO NORMAL

Figura 74 – Olho humano normal



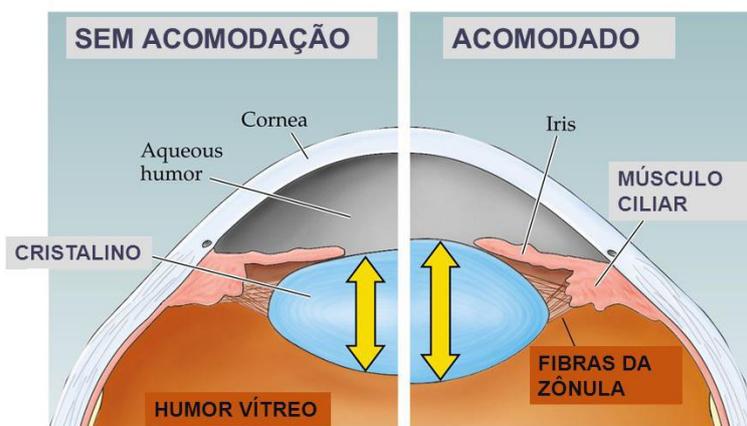
Fonte: Disponível em: <<https://brasilecola.uol.com.br/fisica/defeitos-na-visao-humana.htm>>.

Acesso em 16 jan. 2020.

O olho humano funciona como uma câmara escura, ou uma máquina fotográfica. Uma explicação simplificada para seu funcionamento é que a luz entra pelo orifício que chamamos de pupila, atravessa toda a extensão do olho até atingir a retina, onde a imagem em forma de energia luminosa é transformada em energia elétrica, e conduzida pelo nervo óptico até o cérebro que faz a interpretação da informação.

## 16.2 ACOMODAÇÃO VISUAL

Figura 75 – Acomodação Visual

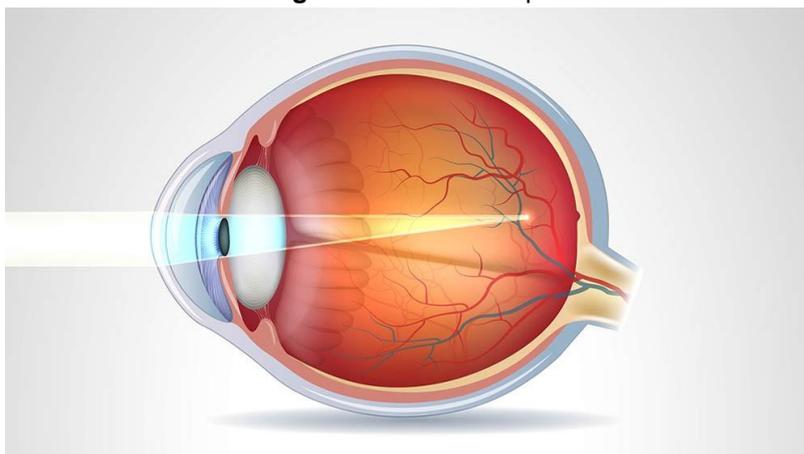


Fonte: Disponível em: <<http://optometriabrasilinfo.blogspot.com/2016/07/definicao-para-que-imagem-fique-nitida.html>>. Acesso em 16 jan. 2020.

A distância focal do olho pode ser alterada quando os músculos ciliares alteram o formato da lente do olho, provocando variações na sua convergência, permitindo que uma imagem mais nítida possa ser observada.

## 16.3 MIOPIA

Figura 76 – Olho míope



Fonte: Disponível em: <<https://drauziovarella.uol.com.br/doencas-e-sintomas/miopia-hipermetropia-e-astigmatismo/>>. Acesso em 16 jan. 2020.

A miopia é acometida por uma deformação no bulbo do olho humano, onde este apresenta um alongamento no seu comprimento normal, fazendo com que a imagem seja formada antes da retina.

O míope possui dificuldade para enxergar objetos que estão distantes, pois o ponto remoto (PR) se forma a uma distância finita, diferente do olho normal.

Para um objeto posicionado a uma distância infinitamente grande ( $p$  tende ao infinito), temos que a imagem se forma no ponto remoto. Aplicando Gauss:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'}$$

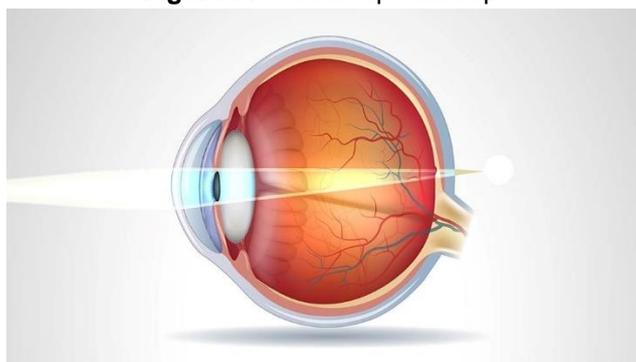
$$\frac{1}{f} = 0 + \frac{1}{-PR}$$

$$f = -PR \text{ (lente divergente)}$$

Como o foco da lente para correção da miopia é negativo, deve-se usar uma lente divergente.

## 16.4 HIPERMETROPIA

Figura 77 – Olho hipermetrope



Fonte: Disponível em: <<https://drauziovarella.uol.com.br/doencas-e-sintomas/miopia-hipermetropia-e-astigmatismo/>>. Acesso em 16 jan. 2020.

A hipermetropia é um problema causado por uma deformação no bulbo do olho humano quando este possui um encurtamento, fazendo com que a imagem seja formada depois da retina.

O hipermetrope possui dificuldade para enxergar objetos que estão próximos.

Para um olho normal a distância mínima para se obter nitidez de um objeto é de aproximadamente 25 cm, e para o hipermetrope esta distância é maior (ponto próximo - PP). Aplicando Gauss:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'}$$

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{0,25} + \frac{1}{-PP}$$

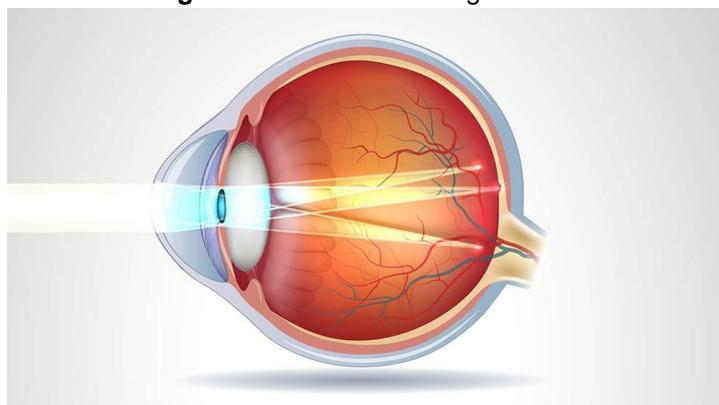
Como PP é maior que 0,25 metros, temos que  $1/f > 0$ . Portanto, a lente para correção da hipermetropia é uma lente positiva (convergente).

## 16.5 PRESBIOPIA

A presbiopia também é conhecida como vista cansada e é caracterizada pela perda de nitidez ao ler textos que estão próximos. Este tipo de problema é gerado pelo enrijecimento dos músculos ciliares dificultando que a acomodação visual seja feita. A correção deste problema visual é feita por lentes convergentes.

## 16.6 ASTIGMATISMO

Figura 78 – Olho com astigmatismo

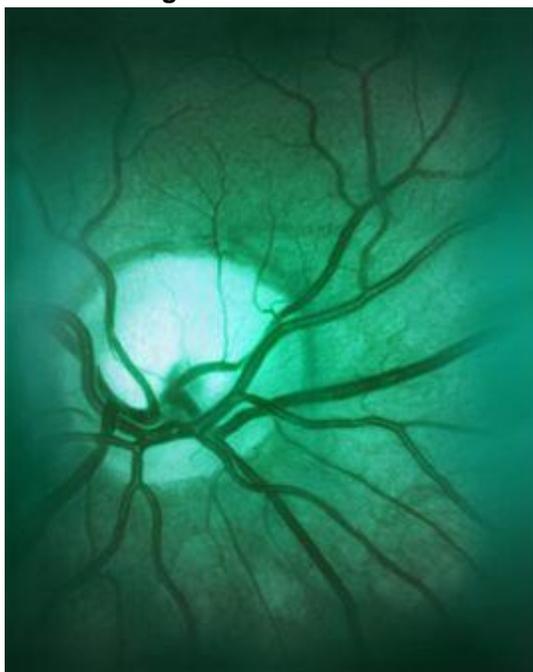


Fonte: Disponível em: <<https://drauziovarella.uol.com.br/doencas-e-sintomas/miopia-hipermetropia-e-astigmatismo/>>. Acesso em 16 jan. 2020.

Quando a córnea (proteção transparente) perde seu formato esférico, faz com que a imagem chegue borrada ou sombreada na retina, fazendo com que não haja nitidez na imagem. A correção do astigmatismo pode ser feita por lentes cilíndricas.

## 16.7 GLAUCOMA

Figura 79 – Glaucoma



Fonte: Disponível em: <<http://www.portaldosolhos.com.br/category/glaucoma/>>. Acesso em 16 jan. 2020.

O glaucoma é gerado por lesões no nervo óptico devido à pressão intraocular. É um problema visual que evolui lentamente e pode levar a cegueira.

O glaucoma não tem cura, mas o seu tratamento pode ser realizado com o uso de colírios, e exercícios físicos.

Anotações:

---

---

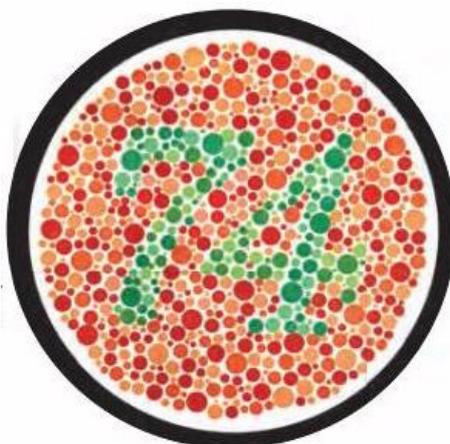
---

---

---

## 16.8 DALTONISMO

Figura 80 – Daltonismo



Nessa imagem, quem não tem daltonismo enxerga o número 74; aqueles que possuem, por sua vez, não conseguirão enxergar nenhum número ou verão o número 21.

Fonte: Física Aula por Aula, vol. 2, Editora FTP, 2016.

O daltonismo é conhecido como cegueira para as cores e atinge uma parcela maior da população masculina. É uma deficiência hereditária onde o daltônico não possui a capacidade para distinguir, principalmente, as cores verde e vermelho, devido a uma redução no número de cones receptores sensíveis a estas cores.

Existem lentes especiais para pessoas daltônicas.

## 16.9 ESTRABISMO

Figura 81 - Olho com estrabismo



Fonte: Disponível em: <<https://portaldavisaocuritiba.com.br/estrabismo-convergente-como-tratar/>>. Acesso em 16 jan. 2020.

O estrabismo é o desalinhamento do eixo óptico dos olhos devido a imperfeições nos músculos ciliares. O estrabismo faz com que mais de uma imagem, de um mesmo objeto, seja conjugada na retina.

É denominado esotropia quando o desalinhamento ocorre para dentro, e exotropia quando o desalinhamento ocorre para fora.

A correção pode ser realizada por cirurgia ou uso de toxina botulínica.

## 16.10 CATARATA

Figura 82 – Olho com catarata



Fonte: Disponível em: <<https://www.allaboutvision.com/pt-br/condicoes/complicacoes-da-cirurgia-de-atarata/>>. Acesso em 16 jan. 2020.

A catarata ocorre quando a lente do olho inibe a passagem dos raios luminosos, tornando-se opaca, produzindo uma visão embaçada. A catarata pode ser congênita, que atinge crianças por hereditariedade, devido a infecções como a rubéola durante a gestação, ou diabetes. Também pode ser adquirida por traumas, inflamações, exagero no uso de corticoides, ou até mesmo pela idade.

O único método eficiente para correção da catarata é a cirurgia de implante de lente intraocular, substituindo a lente do olho.

## REFERÊNCIAS

FILHO, B. B.; XAVIER, C. **Física aula por aula**: termologia, óptica, ondulatória, 2º ano – 3ª. ed. – São Paulo: FTD, 2016. – (Coleção física aula por aula)

LUZ, A. M. R.; ÁLVARES, B. A. **Física**: volume 2 – São Paulo: Scipione, 2005.

SILVA, D. N. **Física**: volume único – São Paulo: Ática, 2000.

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

## APÊNDICE A – KIT DE ÓPTICA DE BAIXO CUSTO – KOBC

O Kit de Óptica Geométrica de Baixo Custo (KOBC) tem como objetivo facilitar o desenvolvimento das aulas de física relacionadas à óptica geométrica, favorecendo uma melhor compreensão das aulas, aproximando os aprendizes de experimentos demonstrativos e tornando as aulas de física menos monótonas. Desta forma, espera-se introduzir experimentos demonstrativos, despertando uma visualização de fenômenos ópticos que alguns alunos não conseguem obter mediante a abstração de conceitos experimentais exigidos em uma aula exclusivamente tradicional.

Como atrativo, o KOBC tem o seu baixo custo, e sua fácil elaboração. Pode ser montado e adequado pelo próprio professor. Os itens integrantes do KOBC favorecem a construção de uma infinidade de experimentos, portanto há a possibilidade de flexibilização da sequência didática, para melhor adequação à turma em que ela será aplicada.

O KOBC foi estruturado para ser trabalhado com experimentos demonstrativos de forma a serem posicionado na frente da sala de aula. Todos os seus componentes possuem uma manta imantada para que sejam fixados no quadro negro de metal. Desta forma, propicia-se aos aprendizes a observação mesmo sentados em seus lugares, dentro da sala de aula ou laboratório. A Figura 83 demonstra, à esquerda lentes e espelhos afixados no quadro negro de metal, e à direita os itens que compõem o KOBC.

**Figura 83** – KOBC: Quadro negro de metal



Fonte: Thalles Abreu Mezêncio

Na tabela 1 temos a discriminação dos componentes do KOBC.

**Tabela 1** – Componentes do KOBC

nº	Componentes do KOBC
1	Quadro negro de metal (Zinco)
2	Canhão de LED branco
3	Lanterna de LED branco
4	Aquário de vidro (15 cm x 10 cm)
5	Espelho côncavo
6	Espelho convexo
7	Espelho plano
8	Suporte para anteparo
9	Suporte para lupa
10	Lupa
11	Objeto (Tampa de PET)
12	Moeda de papelão
13	Espelhos associados
14	Transferidor
15	Esquadro
16	Régua
17	Lâmina de vidro translúcido
18	Lâmina de faces paralelas
19	Suporte para o objeto seta
20	objeto seta
21	Caneta marcadora de ponta média para projetor
22	Prisma de vidro
23	Lâmina de papelão (objeto opaco)
24	prisma de acrílico
25	Trapézio de acrílico
26	Lente biconvexa de acrílico
27	Lente plano convexa grande de acrílico
28	Lente plano convexa pequena de acrílico
29	Lente bicôncava de acrílico
30	Lente plano côncava de acrílico
31	Canhão de lasers verdes
33	Suporte para Lanterna de LED
34	Superfície para reflexão difusa

Fonte: Thalles Abreu Mezêncio

Na tabela 2, abaixo, temos a discriminação dos materiais utilizados para elaboração do KOBC e os valores gastos. Pode ser observado que alguns itens estão com os valores zerados, sendo estes adquiridos sem custos por diversas

formas, como: doações, restos de construção civil, retalhos de vidros, materiais recicláveis, etc.

**Tabela 2** – Materiais utilizados para a construção do KOBC e precificação dos custos de elaboração

Materiais para montagem do Kit de Óptica de Baixo Custo - KOBC				
nº	Quantidade	Item	Valor Unitário (R\$)	Valor gasto com o item (R\$)
1	1	Quadro de metal (Chapa de zinco de 1,15 m X 0,82 m)	0,00	0,00
2	1	Caixa de papelão (26 cm X 16 cm X 8 cm)	0,00	0,00
3	1	Lanterna de Led branco	15,00	15,00
4	9	pilhas palito de 1,5 V	1,00	9,00
5	2	Espelhos planos (15 cm X 15 cm)	2,00	4,00
6	1	Dobradiça	2,20	2,20
7	1	Cano de zinco de 100 mm com 5 cm de altura	0,00	0,00
8	1	chapa de zinco (10 cm X 10 cm)	0,00	0,00
9	4	Lentes convergentes de acrílico	0,00	0,00
10	2	lentes divergentes de acrílico	0,00	0,00
11	1	Prisma de acrílico de 60 graus	0,00	0,00
12	1	Régua de 30 cm	1,99	1,99
13	1	Transferidor	2,50	2,50
14	1	Espelho plano (5 cm X 10 cm)	1,00	1,00
15	1	Chapa de zinco (6 cm X 10 cm)	0,00	0,00
16	2	Folhas de manta de ímã adesivada	3,00	6,00
17	1	Lâmina de faces paralelas (vidro 100 mm X 50 mm X 6 mm)	2,00	2,00
18	5	Apontadores lasers verdes	14,00	70,00
19	1	Fio para ligação elétrica de som (2m)	1,00	2,00
20	5	Chaves liga – desliga	5,00	35,00
21	1	Fonte de energia (Celular)	0,00	0,00
22	1	Resistor de 1k ohm	2,00	2,00
23	1	Lata de spray preto fosco	19,00	19,00
24	2	Tiras de folha espelhada (5 cm X 12 cm)	0,00	0,00
25	1	Tubo de 20 g de Tek Bond	6,00	6,00
26	1	Armadura de plástico para o canhão de lasers	0,00	0,00
27	1	Moeda de papelão	0,00	0,00
28	1	Palito de dente	0,00	0,00

29	1	Fita adesiva	1,00	1,00
30	1	Lâmina de vidro translúcido (5 cm X 10 cm)	2,00	2,00
31	1	Pedaço de papelão (5 cm X 10 cm) (objeto opaco)	0,00	0,00
32	1	Condutor de zinco (40 cm X 10 cm X 5 cm)	0,00	0,00
33	2	Condutor de zinco (3 cm X 10 cm X 5 cm)	0,00	0,00
34	1	Condutor de zinco (8 cm X 10 cm X 5 cm)	0,00	0,00
35	1	Vidro transparente (5 cm X 5 Cm)	1,00	1,00
36	1	Fita isolante	1,70	1,70
37	1	Chapa de zinco (10 cm X 6 cm)	0,00	0,00
38	1	Aquário de vidro	20,00	20,00
39	1	Adesivo (folha A4)	15,00	15,00
40	1	lupa	0,00	0,00
41	1	Durepoxi 50g	3,50	3,50
Total (R\$)				221,89

Fonte: Thalles Abreu Mezêncio

Todos os preços informados na tabela 2 foram coletados na cidade de Carmo do Rio Claro – MG, na data de 15 de julho de 2020. Portanto, há a possibilidade de redução de preços do KOBC após pesquisa de preços em outras fontes.

Os itens que integram o KOBC foram discriminados em subtítulos dentro deste apêndice, e sua construção detalhada com intuito de informar futuros construtores do KOBC.

## A.1 QUADRO NEGRO DE METAL

O quadro negro de metal, Figura 84, foi construído a partir de uma chapa de zinco de 1,15 m X 0,82 m, doada. Este quadro serve como base de apoio aos instrumentos ópticos e componentes que são utilizados nos experimentos demonstrativos, pois tais elementos serão afixados por atração magnética por uma manta de imã adesivada que é fixada a todos os componentes.

A chapa de zinco foi pintada com spray de tinta na cor preto fosco. O restante do spray foi utilizado para pintar outros componentes de metal.

**Figura 84** – Quadro negro de metal

Fonte: Thalles Abreu Mezêncio

Para facilitar o posicionamento e orientação dos componentes ao serem afixados, foi impresso um adesivo de uma linha tracejada branca que pode servir como eixo óptico ou reta normal nos experimentos sugeridos na sequência didática. Esta foi colada ao quadro negro de metal na posição horizontal, com posição centralizada em relação ao eixo vertical.

## **A.2 CANHÃO DE LED BRANCO E LANTERNA DE LED BRANCO**

O canhão de LED branco foi confeccionado com um condutor, de água de chuva, de zinco, com dimensões: 40 cm de comprimento, 10 cm de largura e 5 cm de altura.

Fez-se uma dobradura de 5 cm em cada extremidade, de forma que o condutor se transformou em um paralelepípedo.

Em uma de suas faces com dimensões 5 cm X 10 cm, fez-se as fendas de 1 cm de altura cada, com espaçamento de 0,8 cm umas das outras. Na outra face com dimensões 5 cm X 10 cm fez-se um corte retangular para encaixar a lanterna de LED branco. Na Figura 85, pode-se observar o canhão de LED finalizado.

Para ser utilizado junto ao quadro metálico foi colada em sua base a manta de imã.

**Figura 85** – Canhão de LED feito de um condutor metálico



Fonte: Thalles Abreu Mezêncio

Uma opção mais econômica (Figura 86) para o canhão de LED branco foi construída com uma caixa de papelão. Com dimensões de 26 cm de comprimento, 16 cm de largura e 8 cm de altura.

Em uma das laterais menores da caixa foram feitos 5 cortes paralelos com altura de 1 cm e largura de 2 mm, centralizando – os, e os posicionando na parte inferior da face. Onde, cada incisão na caixa serve para a passagem de luz formando um raio, e por consequência a formação de um feixe ao observar os 5 raios.

Na face contrária foi feita uma incisão circular de forma que caiba o cabo de uma lanterna pequena de LED.

Há de se observar que quanto maior o comprimento desta caixa mais paralelos os raios de luz do feixe de luz tendem a ficar. Nesta caixa, com apenas 26 cm de comprimento, ainda se pode evidenciar uma tendência a formação de um feixe cônico divergente.

**Figura 86** – Montagem do canhão de LED branco



Fonte: Thalles Abreu Mezêncio

A lanterna de LED Branco foi comprada em uma loja de materiais elétricos de Carmo do Rio Claro pelo preço de R\$15,00 e possui qualidade suficiente para realização dos experimentos propostos com o KOBC.

### **A.3 AQUÁRIO DE VIDRO**

O aquário de vidro (Figura 87) foi adquirido pelo valor de R\$20,00, possui área da base de 15 cm X 10 cm e altura de 15 cm.

**Figura 87** – Aquário de vidro



Fonte: Thalles Abreu Mezêncio

### **A.4 ESPELHO CÔNCAVO E ESPELHO CONVEXO**

Os espelhos esféricos foram construídos com restos de rufos e condutores de uma construção. Onde, uma sobra de cano de zinco de 100 mm, foi cortada

a uma altura de 5 cm e soldada a uma chapa de zinco de 10 cm X 10 cm. Em seguida, foi feito um corte transversal com uma lixadeira formando dois espelhos esféricos, como pode ser observado na Figura 88.

Uma das metades foi revestida internamente, parte côncava, e também externamente, parte convexa, com tiras de folha espelhada, de forma a otimizar o fenômeno de reflexão.

Nas costas da chapa metálica em formato retangular foi colado uma manta de imã adesivada, para que o espelho esférico possa ser posicionado no quadro metálico preto.

Ao utilizar o espelho esférico da Figura 88, observou-se que haviam deformidades que influenciavam na reflexão, causando, em determinados pontos, uma reflexão difusa. Então, resolveu-se o problema do espelho esférico utilizando uma lente plano-côncava e outra plano-convexa. Nestas lentes, a parte côncava e convexa foram espelhadas com tiras de folha espelhada, mas esta folha é translúcida e causa refração. Então, colocou-se fita isolante em todas as partes que não estavam espelhadas.

**Figura 88** – Montagem dos espelhos esféricos

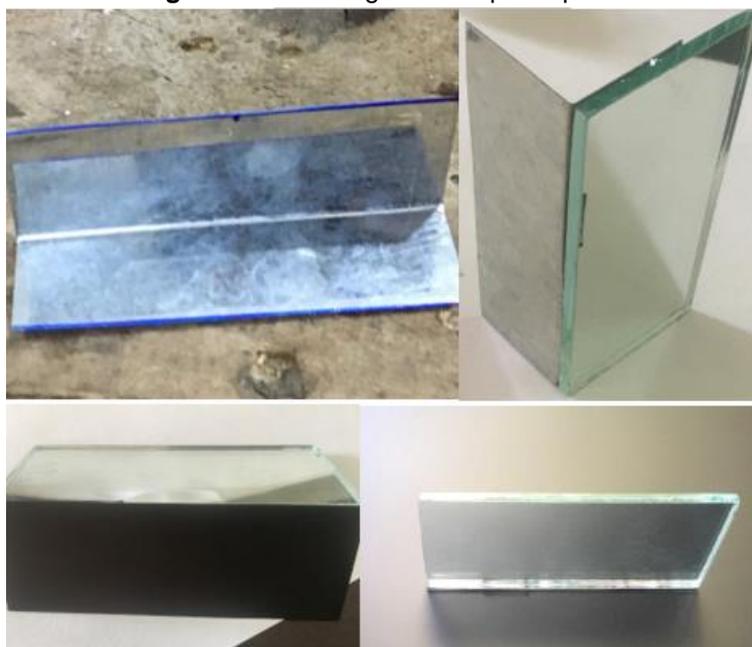


Fonte: Thalles Abreu Mezêncio

## A.5 ESPELHO PLANO E SUPORTE PARA ESPELHO PLANO

O espelho plano foi construído com retalho de espelho cortado em uma vidraçaria de Carmo do Rio Claro – MG, nas dimensões 10 cm X 5 cm. Depois foi colado a uma chapa de zinco de 6 cm X 10 cm, que foi dobrada ao meio na dimensão dos 6 cm em 90°. A Figura 89 mostra a forma final do espelho plano.

Figura 89 – Montagem do espelho plano



Fonte: Thalles Abreu Mezêncio

## A.6 SUPORTE PARA ANTEPARO E SUPORTE PARA LANTERNA DE LED

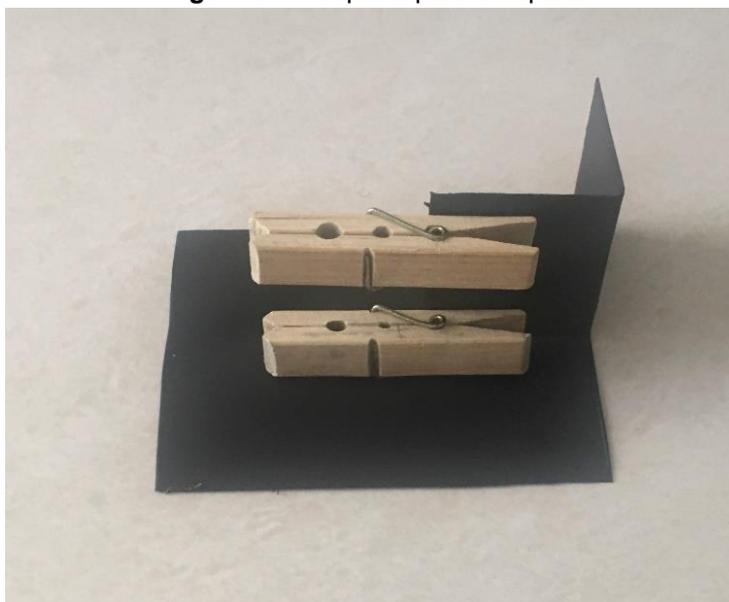
Com um condutor de dimensões 8 cm X 10 cm X 5 cm, construiu-se um suporte para lanterna, e um suporte para folha A4 que serve como anteparo. Este condutor foi aberto em duas arestas que unem as faces com dimensões de 10 cm X 8 cm. Desta forma, ele foi dividido em duas metades com formato da letra L, sendo a dimensão de 10 cm a maior, a menor de 5 cm, e como profundidade possui 8 cm.

Em uma destas metades se construiu um suporte para lanterna (Figura 90), colando uma manta de imã na face externa com dimensões de 10 cm X 8 cm.

**Figura 90** – Suporte para lanterna

Fonte: Thalles Abreu Mezêncio

Na outra metade se construiu um suporte para folha A4 (Figura 91), onde, na face externa com dimensões 10 cm X 8 cm foi colada a manta de imã. Entretanto, na face com dimensões de 5 cm X 10 cm, foi feita uma dobradura, cortando a aresta até a profundidade de 5 cm. Na parte dobrada, que ao ser utilizada fica na posição vertical, foram colados dois prendedores de roupas, que tem a função de segurar a folha A4.

**Figura 91** – Suporte para anteparo

Fonte: Thalles Abreu Mezêncio

## A.7 SUPORTE PARA LUPA E LUPA

Com um condutor de zinco com dimensões 3 cm X 10 cm X 5 cm, foi feito um suporte para uma lupa (lente convergente). Neste suporte, uma de suas faces com dimensões 10 cm x 3 cm, foi colada a uma manta de imã.

Em uma de suas faces com 5 cm x 10 cm, fez-se um corte de aproximadamente 1 cm de largura por 1,5 cm de profundidade. Esta face será utilizada como base para apoio do cabo da lupa.

A lupa possui 5 cm de diâmetro, portanto, ela ocupa exatamente a largura do condutor, e no corte feito o seu cabo pode ser introduzido (Figura 92).

**Figura 92** – Suporte para lupa



Fonte: Thalles Abreu Mezêncio

## A.8 OBJETO

Este objeto pode ser utilizado no experimento de associação de espelhos, assim, ele deve possuir dimensões que possam ser observadas ao ser colocado entre os espelhos. Portanto, podem ser utilizados tampa de garrafa PET, bola de gude, etc. No caso desta montagem, optou-se pela tampa de garrafa PET.

## A.9 MOEDA DE PAPELÃO E LÂMINA DE PAPELÃO

Com uma das abas internas de uma caixa de papelão foram confeccionados uma moeda de papelão com 3 cm de raio, e uma tira de 5 cm X 10 cm. Ambos servem como objetos opacos.

## A.10 ESPELHOS ASSOCIADOS

A montagem dos espelhos planos associados (Figura 93) se deu a partir de dois espelhos planos de 15 cm X 15 cm, cortados de retalhos de espelhos em uma vidraçaria de Carmo do Rio Claro. A junção entre os espelhos foi feita com uma dobradiça de porta que foi colada com cola adesiva Tek Bond.

**Figura 93** – Espelhos planos associados



Fonte: Thalles Abreu Mezêncio

## A.11 TRANSFERIDOR, ESQUADRO E RÉGUA

O transferidor, o esquadro e a régua foram adquiridos em uma papelaria da cidade de Carmo do Rio Claro, respectivamente por: R\$2,50, R\$1,99, e R\$1,99.

## A.12 LÂMINA DE VIDRO TRANSLÚCIDO

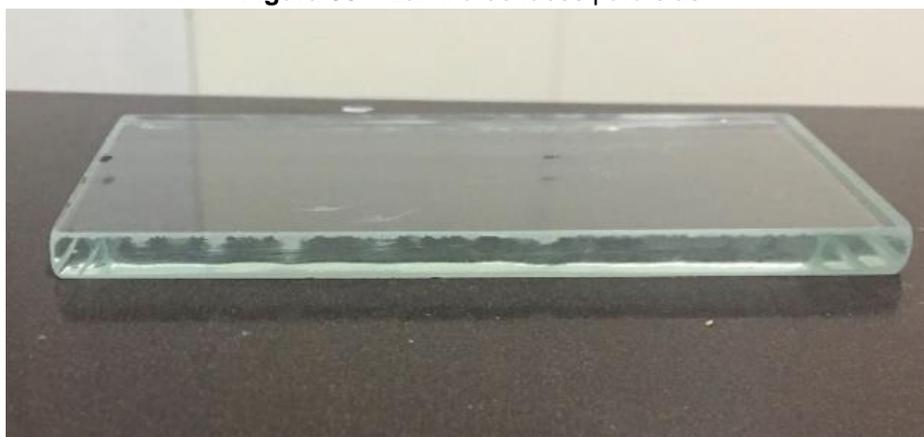
Um retalho de vidro translúcido de 4 mm de espessura (Figura 94) foi cortado nas dimensões de 10 cm X 5 cm. Este tem como função a demonstração do meio de propagação translúcido.

**Figura 94** – Lâmina de vidro translúcido

Fonte: Thalles Abreu Mezêncio

### **A.13 LÂMINA DE FACES PARALELAS**

Um retalho de vidro de 6 mm de espessura foi cortado para se obter duas lâminas de dimensões 10 cm X 5 cm, para que sirvam, uma como lâmina de faces paralelas e outra para demonstração do meio de propagação transparente. O vidro utilizado como lâmina de faces paralelas (Figura 95) serve para demonstração do desvio lateral causado pela refração. Ela foi adesivada com manta de imã.

**Figura 95** – Lâmina de faces paralelas

Fonte: Thalles Abreu Mezêncio

### **A.14 SUPORTE PARA OBJETO SETA E OBJETO SETA**

O suporte para objeto seta foi cortado de um condutor de água, de zinco. Este condutor possui dimensões de 10 cm X 5 cm, e foi cortado a uma

profundidade de 3 cm. Na parte interna foi posicionado uma lâmina de vidro cortada sob medida, e com fita isolante foi construído o objeto seta. Tanto o objeto seta como seu suporte podem ser observados na Figura 96.

**Figura 96** – Suporte para objeto seta e objeto seta



Fonte: Thalles Abreu Mezêncio

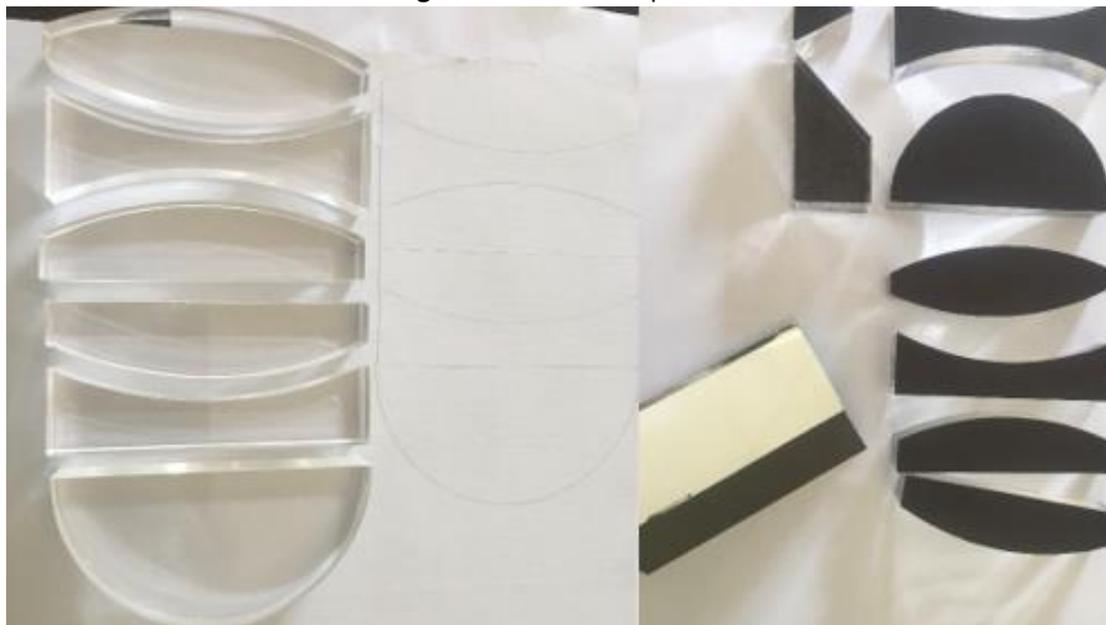
## **A.15 CANETA MARCADORA DE PONTA MÉDIA PARA PROJETOR**

A caneta marcadora de ponta média para projetor serve para efetuar marcações no prisma, trapézio e na lâmina de faces paralelas. Esta caneta foi doada, mas pode ser encontrada em papelarias pelo valor de R\$3,00.

## **A.16 COMPONENTES DE ACRÍLICO**

Os componentes de acrílico como o prisma, o trapézio, a lente biconvexa, a lente plano – convexa, a lente bicôncava, e a lente plano côncava, foram cedidas. Estes instrumentos ópticos fazem parte de um kit de lentes que pode ser obtido pela internet, no site do Mercado Livre, por R\$70,00.

Todos os itens descritos acima foram adesivados com a manta de ímã. Na Figura 97 pode se observar as lentes de acrílico e sua adesivação com manta imantada.

**Figura 97** – Lentes e prisma

Fonte: Thalles Abreu Mezêncio

### **A.17 SUPERFÍCIE PARA SIMULAÇÃO DE REFLEXÃO DIFUSA**

Para simular a reflexão difusa foi utilizada uma chapa de zinco com dimensões de 6 cm X 10 cm. Na menor dimensão foi feita uma dobradura de 90° e nesta dobradura um corte com profundidade de 7 cm. Nestes 7 cm X 3 cm foi feito o sanfonamento de forma irregular. Desta forma, obteve-se uma superfície para simular a reflexão difusa.

Na parte em que não houve o corte foi colada uma manta de imã.

### **A.18 CANHÃO DE LASERS**

Para a construção do canhão de lasers foi feita a compra de lasers apontadores pelo site AliExpress, pelo valor de R\$14,00 cada. Mas os lasers demoraram 5 meses para serem entregues, pois são importados da China. Devido ao longo tempo de espera, foram utilizados os lasers apontadores da Figura 98. Estes lasers são de luz vermelha, menos intensos que os verdes, e possuem um formato de fácil manuseio.

**Figura 98** – Lasers vermelhos

Fonte: Thalles Abreu Mezêncio

A intenção com os lasers era montar um canhão com 5 feixes, de forma que cada raio fosse independente, podendo ser ligado e desligado automaticamente. Assim, foi montado um circuito elétrico onde os lasers foram dispostos em uma associação em paralelo. Uma fonte de 5 volts e 0,55 amperes, foi ligada ao circuito. Para reduzir a corrente disponibilizada, adicionou-se um resistor de 1 quilo ohm, em série com a fonte e a associação em paralelo dos lasers.

Para que os lasers ficassem independentes, também foi adicionada ao circuito uma chave liga/desliga para cada laser. Sendo estas chaves acopladas a uma armadura metálica de zinco de 8 cm X 8 cm, com espessura de 3 cm.

Os lasers foram posicionados em uma madeira com espessura de 2 cm, e área determinada pelas dimensões 8 cm X 3 cm. Eles foram distribuídos em posições com o espaçamento de 1 cm cada, por furos feitos em uma furadeira de bancada, com uma broca de diâmetro exatamente igual ao diâmetro dos lasers, e profundidade de 1,2 cm. A Figura 99 demonstra a montagem deste canhão de lasers.

**Figura 99** – Canhão de Lasers vermelhos

Fonte: Thalles Abreu Mezêncio

Ao ligar o canhão de lasers foi observado que o feixe, mesmo depois de encaixados em furos feitos por uma boa furadeira de bancada, não obtiveram o alinhamento desejado, conforme na Figura 100.

**Figura 100** – Alinhamento do feixe do canhão de Lasers vermelhos

Fonte: Thalles Abreu Mezêncio

Como os furos foram feitos no limite das dimensões do laser não foi possível ter autonomia para regulagem do alinhamento.

Assim, despertou-se a ideia da confecção de um suporte por uma impressora 3D, de forma que este oferecesse autonomia de regulagem por 2 parafusos.

Como seria necessário a construção de um novo suporte com dimensionamento novo, resolveu-se utilizar os lasers verdes (Figura 101) devido a melhor qualidade do feixe de luz gerado.

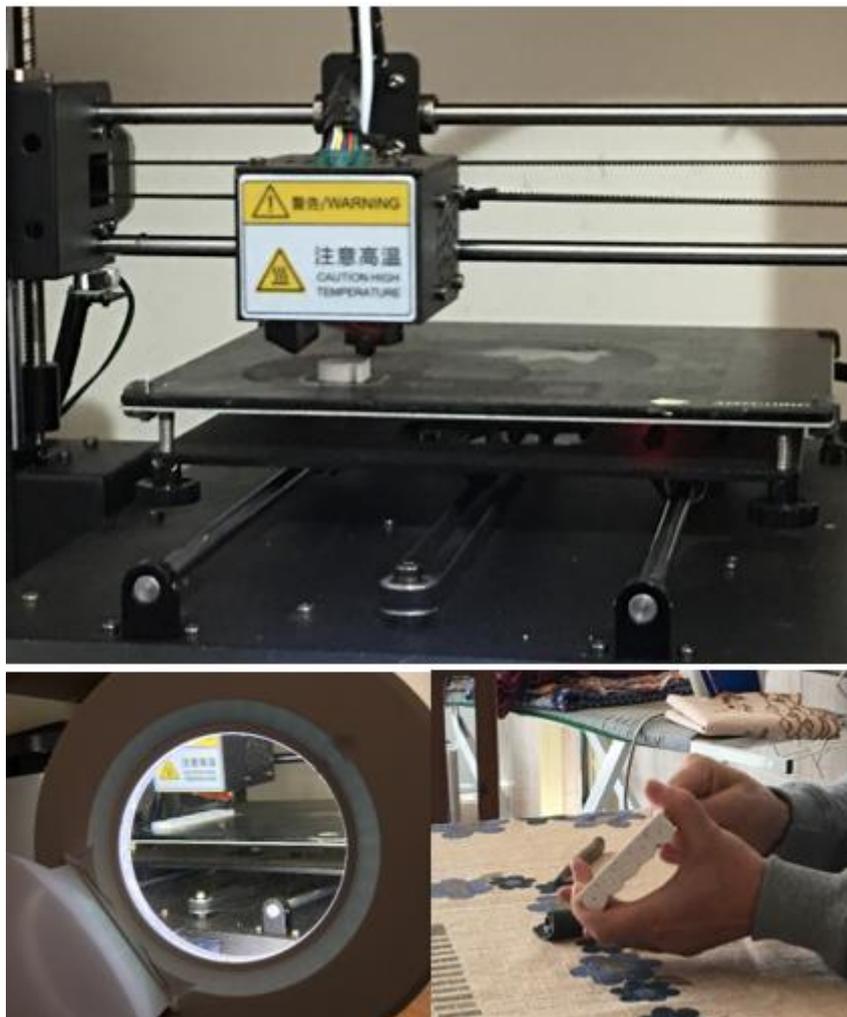
**Figura 101** – Lasers apontadores com luz verde



Fonte: Thalles Abreu Mezêncio

O suporte foi confeccionado em uma impressora 3D. O desenho da peça foi feito no Thinkercad, site para construção de projetos. Logo após, iniciou-se a impressão em baixa qualidade (Figura 102), com PET – G, que demorou cerca de 2h para ser concluída.

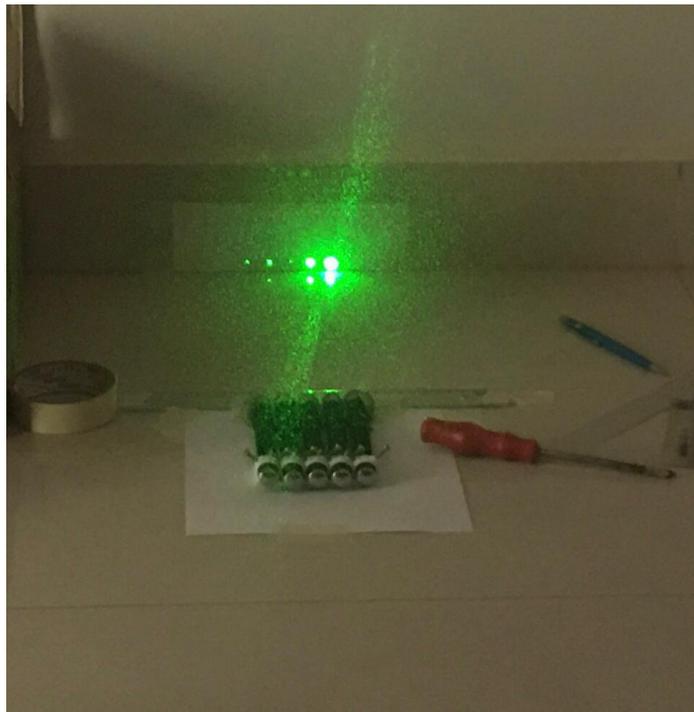
O suporte consiste em uma ponteira e um suporte cilíndrico. Na parte cilíndrica foram posicionados dois parafusos em cada cilindro – total de cinco cilindros – para que a regulagem lateral do raio de luz pudesse ser orientada. Esperava-se conseguir a regulagem vertical com adição de fita crepe a base de contato entre o laser e o suporte.

**Figura 102** – Confeção do suporte para lasers na impressora 3D

Fonte: Thalles Abreu Mezêncio

O alinhamento dos lasers foi dificultado devido ao grau de liberdade ser pequeno na peça construída na impressora 3D. Para aumentar o grau de liberdade na regulagem foram retiradas as ponteiras, e o cilindro com os parafusos reguladores foram afastados e posicionados na extremidade traseira dos lasers. Na extremidade traseira se obteve a regulagem horizontal pelos parafusos. Para a regulagem vertical foi feita uma massa de Durepoxi, com espessura de aproximadamente 4 mm, e posicionada abaixo da parte frontal dos lasers. Desta forma, obteve-se a regulagem dos lasers, com cada raio de luz espaçado por 1,4 cm um do outro, em um alinhamento vertical a 0,6 cm em relação a superfície referencial. A Figura 103 demonstra o momento da regulagem, onde se utilizou de uma superfície alinhada e uma folha de papel fixada à parede com as marcações dos pontos onde cada laser deveria incidir.

**Figura 103** – Alinhamento do feixe do canhão de Lasers utilizando Durepox



Fonte: Thalles Abreu Mezêncio

Após a secagem do Durepoxi foi feito o acabamento para o canhão de lasers com uma armadura de zinco, de sobras de rufos, e sob a superfície metálica a manta de imã foi adesivada.

Na Figura 104, apresenta-se o KOBC finalizado.

**Figura 104** – KOBC finalizado



Fonte: Thalles Abreu Mezêncio

O Kit de Óptica Geométrica de Baixo Custo – KOBC – junto a sequência didática, tem a capacidade mínima de realização de 23 experimentos que transitam dentro dos vários conceitos da óptica geométrica. De acordo com as características dos aprendizes e do professor a utilizar este kit podem ser feitas mudanças estruturais, bastando apenas criatividade.

## APÊNDICE B – QUESTIONÁRIO DE CONHECIMENTOS PRÉVIOS

1) Eclipses são fenômenos raros que acontecem quando não podemos visualizar um astro no céu. O eclipse solar é a ocultação do Sol, enquanto o eclipse lunar é a ocultação da Lua. Explique por que este fenômeno ocorre.

---

---

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

---

---

3) O que você enxergaria no céu, em uma noite, caso não houvessem estrelas?

---

---

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

---

---

5) O arco-íris é um fenômeno que acontece frequentemente após chuvas. Como o arco-íris é formado?

---

---

## APÊNDICE C – QUESTIONÁRIO PÓS-APLICAÇÃO DO PRODUTO

\*Obrigatório

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

*Marque 1 para o menor nível de satisfação e 10 para o maior nível de satisfação.*

1) O quão relevante foi o curso de óptica o para seu aprendizado? \*

1( ) 2( ) 3( ) 4( ) 5( ) 6( ) 7( ) 8( ) 9( ) 10( )

2) Os experimentos demonstrativos facilitaram sua aprendizagem? \*

1( ) 2( ) 3( ) 4( ) 5( ) 6( ) 7( ) 8( ) 9( ) 10( )

3) A mediação do professor durante os questionamentos favoreceu sua aprendizagem? \*

1( ) 2( ) 3( ) 4( ) 5( ) 6( ) 7( ) 8( ) 9( ) 10( )

4) Quanto a sequência didática (apostila) com questionamentos favoreceu sua aprendizagem? \*

1( ) 2( ) 3( ) 4( ) 5( ) 6( ) 7( ) 8( ) 9( ) 10( )

5) O curso de óptica geométrica superou suas expectativas? \*

1( ) 2( ) 3( ) 4( ) 5( ) 6( ) 7( ) 8( ) 9( ) 10( )

6) Você tem alguma sugestão a fazer para melhoria do curso?

---

---

## APÊNDICE D – TABELA COM POSSÍVEIS ASSOCIAÇÕES DE EXPERIMENTOS, CONCEITOS ABORDADOS NOS EXPERIMENTOS E LINKS PARA VÍDEOS COM A REALIZAÇÃO DOS EXPERIMENTOS PROPOSTOS

**Tabela 3** – Experimentos que podem ser relacionados e os conceitos abordados em cada experimento

Experimento	Associação	Conceitos abordados	Link vídeo
01	Vídeo 01	Princípio da retilinidade dos raios luminosos, zonas de sombra e penumbra, meios de propagação, fontes de luz e o fenômeno da refração	<a href="https://youtu.be/GfteTIXnoDY">https://youtu.be/GfteTIXnoDY</a>
02	Experimento 01 e Vídeo 01	Meios de propagação da luz	<a href="https://youtu.be/Ps7YZ-xS-oo">https://youtu.be/Ps7YZ-xS-oo</a> <a href="https://youtu.be/shRNrxz5PKw">https://youtu.be/shRNrxz5PKw</a>
03	Vídeo 02	Princípio da Independência dos raios luminosos	<a href="https://youtu.be/sRXHqDHH3Ag">https://youtu.be/sRXHqDHH3Ag</a>
04	Vídeo 03	Princípio da reversibilidade dos raios luminosos	<a href="https://youtu.be/P0JQbG_iskk">https://youtu.be/P0JQbG_iskk</a>
05	Experimento 06	Reflexão regular da luz	<a href="https://youtu.be/JqU0bZodYec">https://youtu.be/JqU0bZodYec</a>
06	Experimento 05	Reflexão difusa da luz	<a href="https://youtu.be/WoB6_wkZ60c">https://youtu.be/WoB6_wkZ60c</a>
07	Experimento 08	Refração da luz	<a href="https://youtu.be/euQkRLOvT98">https://youtu.be/euQkRLOvT98</a>
08	Experimento 07	Dispersão dos raios luminosos e a luz branca	<a href="https://youtu.be/RsBdoO0gtU0">https://youtu.be/RsBdoO0gtU0</a>
09	Experimentos: 05 e 06	Leis da reflexão	<a href="https://youtu.be/cjELKwxbbng">https://youtu.be/cjELKwxbbng</a>
10	Experimentos: 05 e 09	Enantiomorfismo	<a href="https://youtu.be/aJbAvuF8-58">https://youtu.be/aJbAvuF8-58</a>
11	Vídeo 04	Associação de espelhos planos	<a href="https://youtu.be/kr4_NnICtpQ">https://youtu.be/kr4_NnICtpQ</a>
12	Experimentos: 13 e 14	Comportamento de raios de luz paralelos ao incidir um espelho côncavo, espelhos côncavos, e foco em espelhos côncavos	<a href="https://youtu.be/891ntPRiYY">https://youtu.be/891ntPRiYY</a>
13	Experimentos: 12 e 14	Comportamento de raios de luz paralelos ao incidir um espelho convexos, espelhos convexos, e foco em espelhos convexos	<a href="https://youtu.be/ew9pogihMNI">https://youtu.be/ew9pogihMNI</a>
14	Experimentos: 12 e 13	Raios notáveis e propriedades dos raios incidentes em espelhos esféricos	<a href="https://youtu.be/i-aEDTM7MfY">https://youtu.be/i-aEDTM7MfY</a> <a href="https://youtu.be/ju1ilbYuBbU">https://youtu.be/ju1ilbYuBbU</a> <a href="https://youtu.be/EI-6CQMu29g">https://youtu.be/EI-6CQMu29g</a> <a href="https://youtu.be/yAT81UC21Z4">https://youtu.be/yAT81UC21Z4</a>
15	Experimentos: 16, 17, 18 e 19	Leis da refração	<a href="https://youtu.be/VI29zm6yMd4">https://youtu.be/VI29zm6yMd4</a>
16	Experimentos: 15, 17, 18 e 19	Dioptrios planos	<a href="https://youtu.be/0Eq6L86Pys0">https://youtu.be/0Eq6L86Pys0</a>
17	Experimentos: 15, 16, 18 e 19	Lâminas de faces paralelas	<a href="https://youtu.be/EzoNxM-H9YA">https://youtu.be/EzoNxM-H9YA</a>

18	Experimentos: 15, 16, 17, e 18	Ângulo limite e reflexão total	<a href="https://youtu.be/EGvxp7E8g0c">https://youtu.be/EGvxp7E8g0c</a>
19	Experimentos: 15, 16, 17 e 18	Prismas, desvio angular e ângulo de refração	<a href="https://youtu.be/IH61bNWioNs">https://youtu.be/IH61bNWioNs</a>
20	Experimento 12	Comportamento dos raios de luz em lentes de bordas finas	<a href="https://youtu.be/SZvRDkGGvow">https://youtu.be/SZvRDkGGvow</a>
21	Experimento 13	Comportamento dos raios de luz em lentes de bordas grossas	<a href="https://youtu.be/E4VEI-q1kQc">https://youtu.be/E4VEI-q1kQc</a>
22	Experimento 14	Raios notáveis e propriedades dos raios incidentes em lentes esféricas	<a href="https://youtu.be/vPvGlbQLyjs">https://youtu.be/vPvGlbQLyjs</a> <a href="https://youtu.be/USOd_zjPEtI">https://youtu.be/USOd_zjPEtI</a> <a href="https://youtu.be/OrUISCu2KVg">https://youtu.be/OrUISCu2KVg</a> <a href="https://youtu.be/K9_vgrccoEc">https://youtu.be/K9_vgrccoEc</a>
23	Experimentos: 12 e 14	Formação de imagens por lentes esféricas	<a href="https://youtu.be/uHMF-Y_zUO8">https://youtu.be/uHMF-Y_zUO8</a> <a href="https://youtu.be/T3HCK9jgI74">https://youtu.be/T3HCK9jgI74</a>

Fonte: Autor