

# Reflexão da luz

Flaviano Williams Fernandes

Instituto Federal do Paraná  
Campus Irati

14 de Julho de 2022

# Sumário

- 1 **Introdução**
- 2 **Espelho plano**
- 3 **Espelhos esféricos**
- 4 **A equação dos espelhos esféricos**
- 5 **Aplicações**
- 6 **Apêndice**

## O que é a luz?

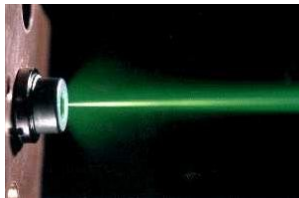
O estudo da luz é algo que vem desde a Grécia antiga, através de Platão e Aristóteles. Newton verificou que a luz se propaga de maneira retilínea, além de verificar que a luz branca era nada mais que a combinação de sete cores. Atualmente, através das descobertas de Maxwell, sabemos que **a luz é a combinação de duas ondas transversais que se propagam no vácuo à uma velocidade  $c = 3 \times 10^8$  m/s.**



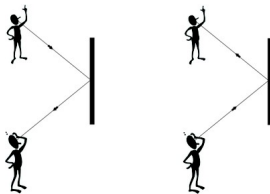
Isaac Newton observando a propagação retilínea da luz.

## Propriedades da luz

- ✓ **Propagação retilínea da luz:** Em um meio homogêneo, a luz tende a se propagar em linha reta.
- ✓ **Princípio de reversibilidade dos raios de luz:** Os raios de luz são reversíveis.
- ✓ **Princípio de independência dos raios de luz:** Os raios de luz são independentes entre si.



Propagação retilínea [2].

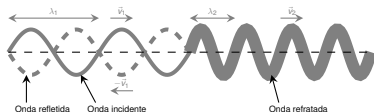


Reversibilidade da luz [2].

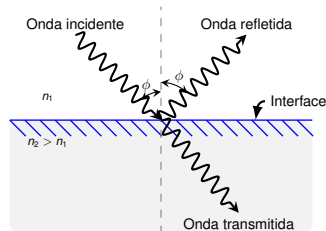


Cruzamento entre raios.

## Analogia com ondas mecânicas



Reflexão e refração da onda numa corda.

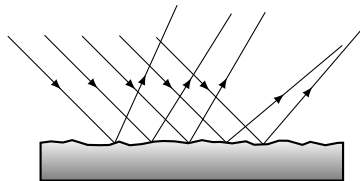


Reflexão e refração dos raios de luz.

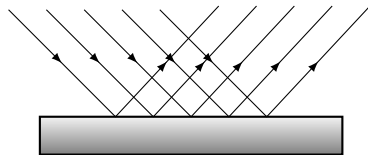
### Corollary

*A luz como qualquer onda apresenta certos fenômenos ondulatórios, como reflexão, refração, difração e interferência.*

## Diferença entre reflexão e difusão da luz



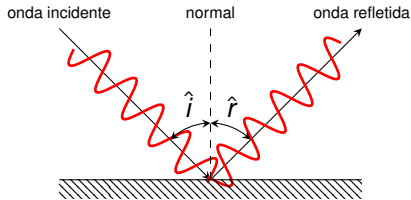
Difusão dos raios de luz ao incidir numa superfície rugosa.



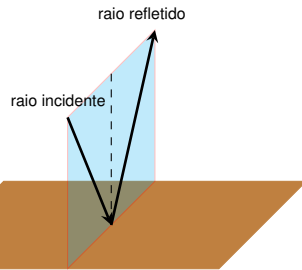
Reflexão dos raios de luz ao incidir numa superfície perfeitamente lisa.

## As leis da reflexão

- ✓ O raio incidente, a normal à superfície refletora no ponto de incidência e o raio refletido estão situados em um mesmo plano.
- ✓ O ângulo de incidência  $\hat{i}$  é igual ao ângulo de reflexão  $\hat{r}$ .



Ângulos de incidência  $\hat{i}$  e reflexão  $\hat{r}$ .



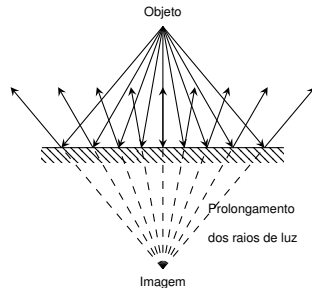
Raio incidente e refletido no mesmo plano.

## Formação da imagem num espelho plano

A luz emitida por um objeto e refletida em um espelho plano chega aos olhos de um observador como se estivesse vindo do ponto de encontro dos prolongamentos dos raios refletidos. Nesse ponto, o observador vê uma imagem virtual do objeto.

### Imagem virtual

Uma imagem virtual é sempre formada pelos prolongamentos dos raios de luz.



Formação da imagem virtual de um objeto em um espelho plano.

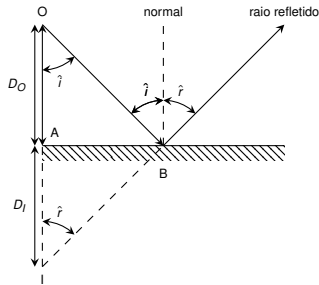


## Propriedades do espelho plano

Como  $\hat{r} = \hat{i}$ , podemos dizer que os triângulos OAB e IAB são iguais entre si, portanto podemos dizer que  $D_O = D_I$ .

### Corollary

- ✓ *Geometricamente, podemos formar uma imagem à partir do encontro de dois ou mais prolongamentos dos raios de luz.*
- ✓ *A imagem de um objeto em um espelho plano é simétrica em relação a esse espelho;*



Distância do objeto e da imagem num espelho plano.

## Imagem de um objeto extenso

Cada ponto do objeto extenso irá incidir raios de luz no espelho, que por sua vez irá formar uma imagem simétrica a esse ponto. O conjunto de imagens formadas resultará numa imagem única do objeto extenso de mesmo formato e tamanho, porém simétrica em relação ao espelho.

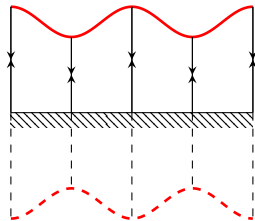
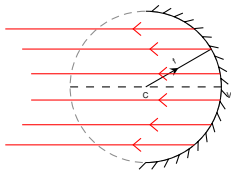
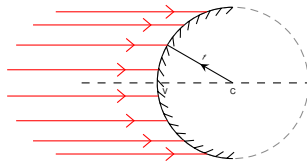


Imagem de um objeto extenso formada no espelho plano.

## Diferenças entre espelho côncavo e convexo



Espelho côncavo.



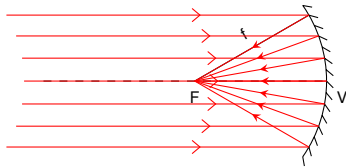
Espelho convexo.

### Corollary

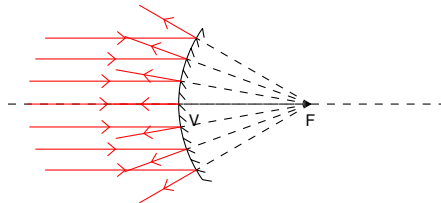
*Se o ângulo entre o raio refletido e o espelho for suficientemente pequeno ( $< 10^\circ$ ), podemos tratar o espelho como se fosse parabólico, onde os raios refletidos convergem para um ponto chamado distância focal.*

## Foco de um espelho

Um feixe de raios luminosos, incidindo paralelamente ao eixo de um espelho côncavo, é refletido convergindo para um foco real; incidindo em um espelho convexo, diverge, como se fosse emitido de um foco virtual.



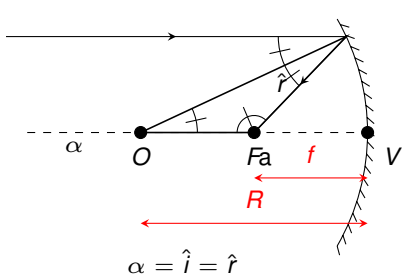
Raios paralelos convergindo no foco.



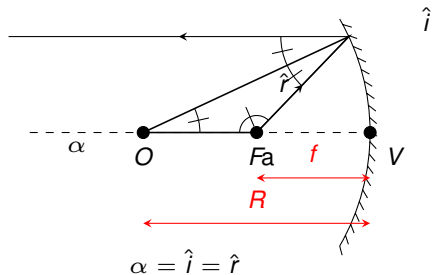
Raios paralelos divergindo do foco.

## Distância focal

A distância focal,  $f$ , de um espelho esférico é aproximadamente igual à metade do seu raio de curvatura, isto é,  $f=R/2$ .

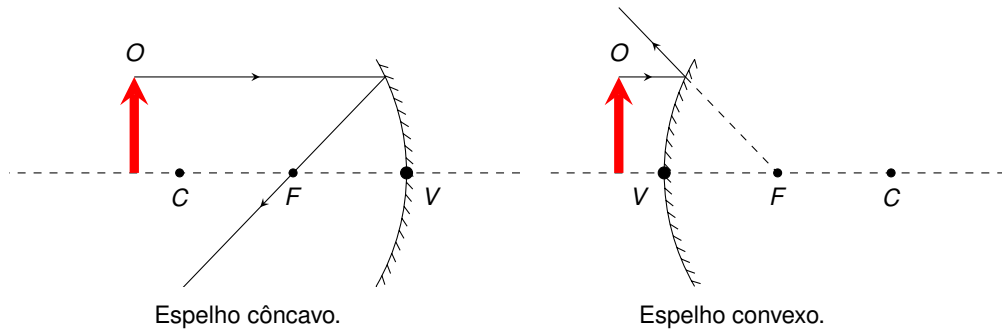


Raio paralelo convergindo no foco.

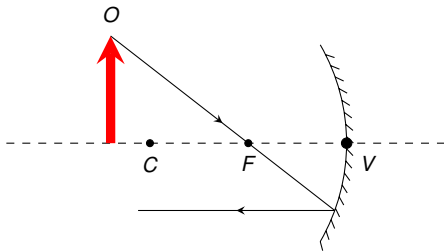


Raio paralelo divergindo do foco.

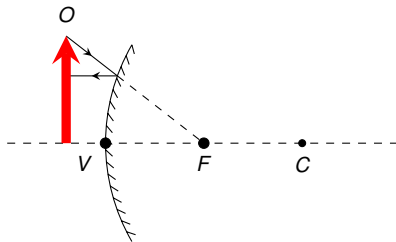
## Raios principais (Reflexão de um raio paralelo ao eixo)



## Raios principais (reflexão de um raio passando pelo foco)

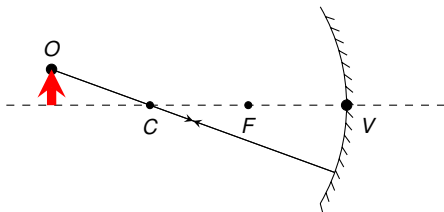


Espelho côncavo.

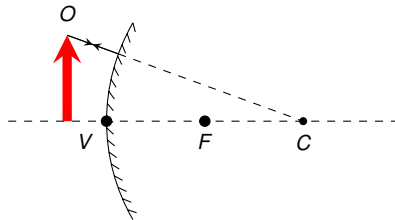


Espelho convexo.

## Raios principais (reflexão de um raio passando pelo centro de curvatura)



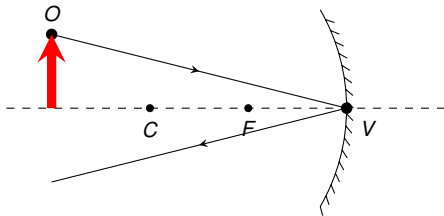
Espelho côncavo.



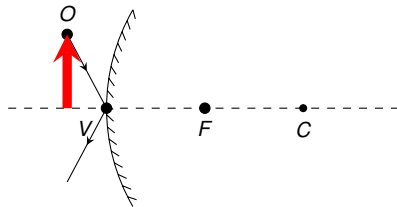
Espelho convexo.



## Raios principais (reflexão de um raio passando pelo vértice)

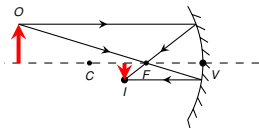


Espelho côncavo.

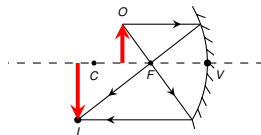


Espelho convexo.

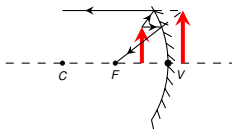
## Formação de imagem num espelho esférico



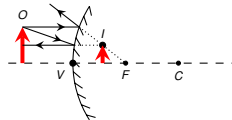
Real, invertida e menor.



Real, invertida e maior.



Virtual, direita e maior.



Virtual, direita e menor.

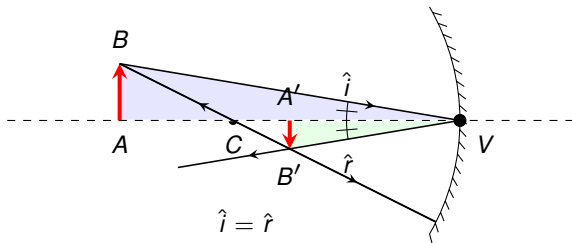
## Aumento linear

Podemos observar na figura que os triângulos  $ABV$  e  $A'B'V$  são semelhantes, portanto

$$\frac{A'B'}{AB} = \frac{A'V}{AV}.$$

Mas percebemos que  $A'V$  é a distância da imagem e  $AV$  é a distância do objeto até o vértice do espelho, portanto

$$\boxed{\frac{A'B'}{AB} = \frac{D_i}{D_o}.$$



Semelhança entre os triângulos  $ABV$  e  $A'B'V$

## A equação dos espelhos esféricos

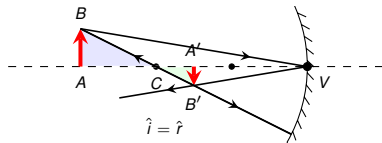
Podemos observar na figura que os triângulos  $ABC$  e  $A'B'C$  são semelhantes, portanto

$$\frac{A'B'}{AB} = \frac{A'C}{AC}.$$

No entanto, podemos perceber também que

$$A'C = CV - A'V = R - D_i = 2f - D_i,$$

$$AC = AV - CV = D_o - R = D_o - 2f.$$



Semelhança entre os triângulos  $ABC$  e  $A'B'C$

Dividindo as duas equações acima temos

$$\frac{A'C}{AC} = \frac{2f - D_i}{D_o - 2f}.$$

## A equação dos espelhos esféricos (continuação)

Sabendo que  $\frac{A'B'}{AB} = \frac{A'C}{AC}$  temos

$$\begin{array}{l} \frac{A'C}{AC} = \frac{2f - D_i}{D_o - 2f}, \\ \frac{A'B}{AB} = \frac{2f - D_i}{D_o - 2f}. \end{array} \quad \left[ \frac{A'C}{AC} = \frac{A'B}{AB} \right]$$

Mas como foi mostrado anteriormente, sabemos que  $\frac{A'B}{AB} = \frac{D_i}{D_o}$ , portanto

$$\frac{D_i}{D_o} = \frac{2f - D_i}{D_o - 2f}.$$

Multiplicando cruzado temos

$$\begin{aligned} D_i(D_o - 2f) &= D_o(2f - D_i), \\ D_iD_o - 2D_if &= 2D_of - D_oD_i, \\ 2D_oD_i &= 2fD_o + 2fD_i. \end{aligned}$$

Dividindo todos os termos por  $2fD_oD_i$  temos

$$\boxed{\frac{1}{f} = \frac{1}{D_o} + \frac{1}{D_i}}.$$

## Convenção de sinais em óptica

As equações do espelho esférico pode ser utilizada para qualquer tipo de espelho.

### Equações do espelho esférico

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{D_o} + \frac{1}{D_i},$$

(Equação dos espelhos),

$$\frac{A'B'}{AB} = -\frac{D_i}{D_o},$$

(Aumento linear).

### Corollary

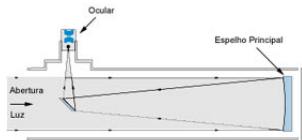
*Podemos dizer que as distâncias do lado esquerdo do espelho serão positivas e do lado direito serão negativas, e se a imagem for invertida ela será negativa.*

## Aplicações envolvendo espelhos esféricos



Espelhos retrovisores.

Refletor Newtoniano






Telescópio refletor [3].

## Alfabeto grego

Alfa	$A$	$\alpha$	Ni	$N$	$\nu$
Beta	$B$	$\beta$	Csi	$\Xi$	$\xi$
Gama	$\Gamma$	$\gamma$	ômicon	$O$	$o$
Delta	$\Delta$	$\delta$	Pi	$\Pi$	$\pi$
Epsílon	$E$	$\epsilon, \varepsilon$	Rô	$P$	$\rho$
Zeta	$Z$	$\zeta$	Sigma	$\Sigma$	$\sigma$
Eta	$H$	$\eta$	Tau	$T$	$\tau$
Teta	$\Theta$	$\theta$	Ípsilon	$\Upsilon$	$v$
Iota	$I$	$\iota$	Fi	$\Phi$	$\phi, \varphi$
Capa	$K$	$\kappa$	Qui	$X$	$\chi$
Lambda	$\Lambda$	$\lambda$	Psi	$\Psi$	$\psi$
Mi	$M$	$\mu$	Ômega	$\Omega$	$\omega$



## Referências e observações<sup>1</sup>

-  A. Máximo, B. Alvarenga, C. Guimarães, Física. Contexto e aplicações, v.2, 2.ed., São Paulo, Scipione (2016)
-  <http://educacao.globo.com/fisica/assunto/ondas-e-luz/principios-da-propagacao-da-luz.html>
-  [https://www.apolo11.com/tudo\\_sobre\\_teslascopios\\_2.php](https://www.apolo11.com/tudo_sobre_teslascopios_2.php)

Esta apresentação está disponível para download no endereço  
<https://flavianowilliams.github.io/education>

---

<sup>1</sup> Este material está sujeito a modificações. Recomenda-se acompanhamento permanente.