

Lentes esférica		
Sistemas Biomédicos	Disciplina	Óptica técnica
Prof. André Diniz Rosa da Silva		

Lentes esféricas são sistemas ópticos capazes de promover a refração da luz visível. São formadas por meios ópticos homogêneos e transparentes, que também podem ser chamados de dioptros esféricos. Dividem-se em lentes côncavas e convexas, que são, respectivamente, lentes de bordas largas e lentes de bordas finas.

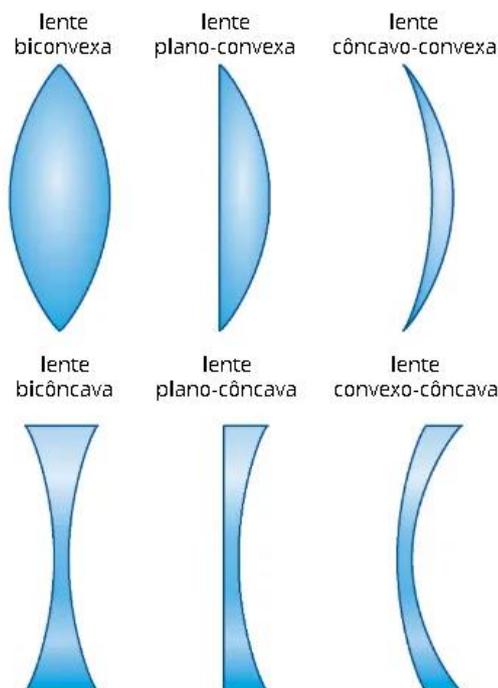
O índice de refração e a geometria das lentes esféricas alteram a direção de propagação dos raios de luz. Dessa forma, elas são capazes de produzir imagens tanto virtuais como reais. Além disso, a capacidade de uma lente defletir os raios de luz é chamada de vergência ou dioptria, propriedade popularmente conhecida como o “grau” da lente.

### Propriedades das lentes esféricas

As propriedades das lentes esféricas podem variar de acordo com o meio em que elas se encontram. Quando inseridas em um meio cujo índice de refração é menor que o da própria lente, as lentes convexas convergem a luz, enquanto as lentes côncavas divergem a luz, assim como mostra a figura a seguir:



No meio de cada lente é possível ver traços com setas para dentro e para fora. Esses símbolos são usados para representar as lentes de bordas finas (convexas) e de bordas largas (côncavas). Ao todo, existem três formatos de lentes côncavas e três formatos de lentes convexas. Confira sua nomenclatura:



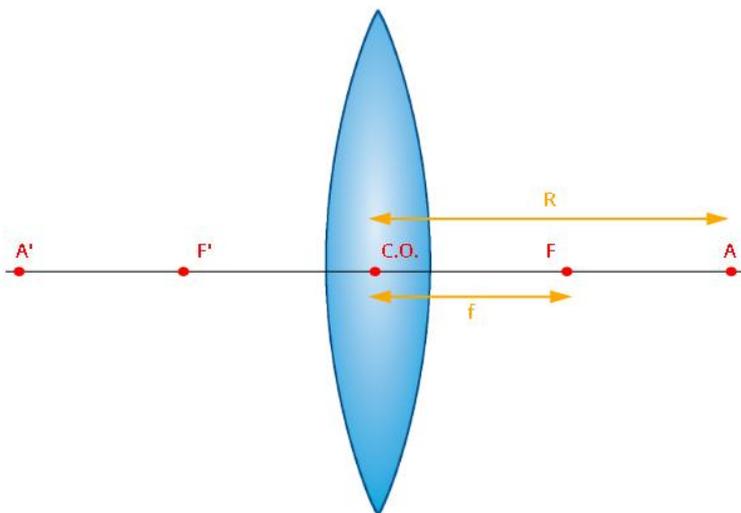
### Elementos geométricos das lentes esféricas

Toda lente esférica, seja ela côncava, seja convexa, apresenta elementos geométricos em comum, sendo eles:

- centro óptico (O);
- foco principal objeto e foco principal imagem (F e F');

foco antiprincipal objeto e foco antiprincipal imagem, também conhecidos como centros de curvatura no caso dos espelhos esféricos (A e A' ou C e C').

A figura a seguir mostra onde ficam os elementos geométricos de uma lente esférica qualquer, observe:

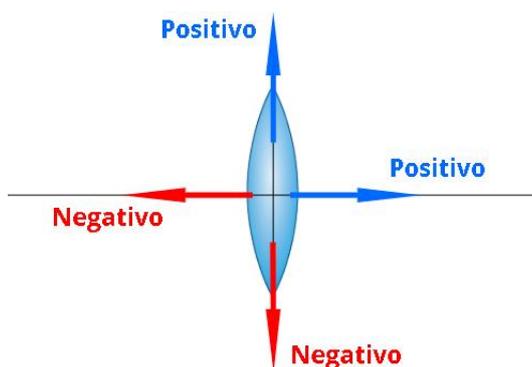


Com base na imagem acima, dizemos que a distância entre o centro óptico da lente e o foco principal objeto é chamada de distância focal ( $f$ ); do mesmo modo, a distância entre o centro óptico e o foco antiprincipal objeto é chamado de raio de curvatura.

Na figura acima, também é possível observar uma linha horizontal que separa a lente em duas partes. Essa linha é chamada de eixo de simetria e é a partir dela que é construído o referencial de Gauss, usado para definir a convenção de sinais das lentes esféricas. De acordo com o referencial de Gauss:

- qualquer ponto ou elemento que esteja localizado acima do eixo de simetria possui sinal positivo;
- qualquer ponto ou elemento localizado abaixo do eixo de simetria possui sinal negativo;
- qualquer ponto ou elemento localizado à direita do centro óptico da lente possui sinal positivo;
- qualquer ponto ou elemento localizado à esquerda do centro óptico da lente possui sinal negativo.

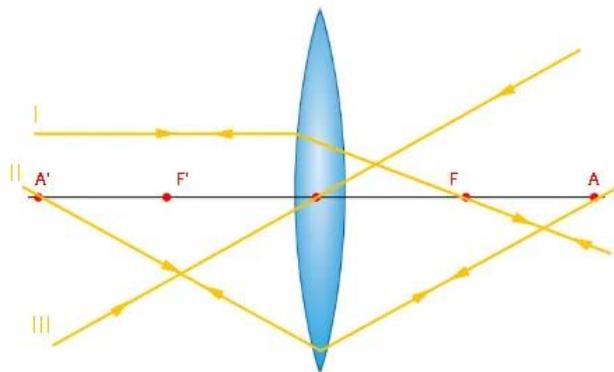
A figura a seguir nos auxiliará a entender a convenção de sinais segundo o referencial de Gauss. Confira:



### Raios notáveis

Os raios notáveis são necessários para entendermos como funciona a formação de imagens nas lentes esféricas. Trata-se de raios de luz que sempre são refratados sobre certos elementos geométricos específicos das lentes esféricas. Além disso, faz-se necessário relembrar um dos princípios da óptica geométrica: a

reversibilidade dos raios de luz. Quando desenhamos um raio de luz indo de um ponto a outro, esse raio tanto pode estar fazendo o caminho de “ida” quanto o de caminho “volta”.



### Formação de imagens nas lentes esféricas

A formação de imagens nas lentes esféricas exige que tracemos os raios de luz notáveis que são refratados através da lente. A imagem é sempre formada no ponto onde dois raios de luz refratados se cruzam. Quando a imagem é formada do mesmo lado que o objeto, essa imagem é qualificada como virtual; quando a imagem for formada no lado da lente oposto ao objeto, será real.

Confira aqui quais são as características das imagens reais e virtuais:

**Imagem real:** pode ser projetada, é invertida e formada pelo cruzamento de pelo menos dois raios de luz.

**Imagem virtual:** toda imagem virtual não pode ser projetada, é direita e formada pelo cruzamento de prolongamentos dos raios de luz.

Vamos analisá-los um a um, começando pela situação em que um objeto está distante da lente e de seu foco antiprincipal. Nesse caso, a imagem formada é invertida, real, formada pelo cruzamento dos raios de luz e menor que o objeto.

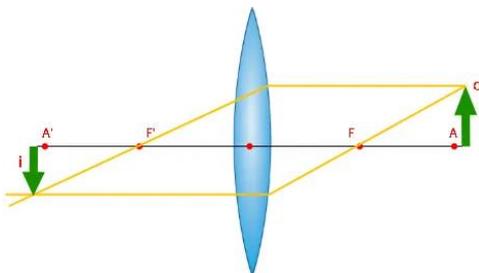


Imagem real, invertida e reduzida

Quando o objeto é aproximado da lente e é colocado exatamente sobre o foco antiprincipal, a imagem formada é real, invertida e de mesmo tamanho que o objeto. Observe:

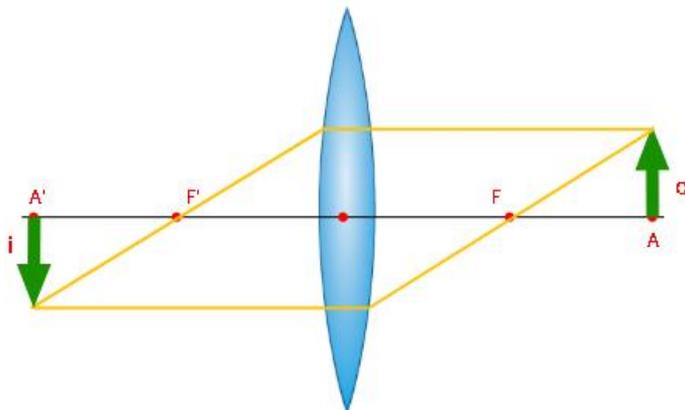


Imagem real, invertida e de mesmo tamanho

## Vergência, dioptria e justaposição de lentes esféricas

Vergência é a medida da capacidade de uma lente de desviar a trajetória da luz. É simbolizada pela letra  $C$ , e sua unidade de medida é a dioptria (di), que equivale a  $m^{-1}$ . Uma vergência positiva indica que a lente é convergente, enquanto uma vergência negativa indica que ela é divergente. A vergência de uma lente pode ser facilmente calculada se soubermos a distância focal da lente.

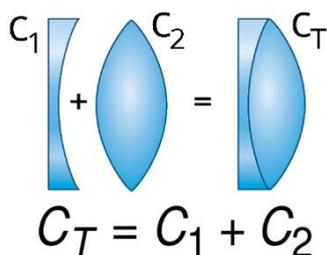
$$C = \frac{1}{f}$$

## Justaposição de lentes esféricas

A justaposição de lentes esféricas é o processo de combinar diferentes lentes, de modo a se obter distintas configurações de vergência. Além disso, esse processo é usado para reduzir um efeito chamado de aberração cromática, mas também pode ser usado para aumentar o efeito obtido por uma única lente.

A aberração cromática acontece quando a luz percorre um grande caminho no interior de uma lente, fazendo com que a luz refratada pela lente sofra dispersão, separando, assim, suas componentes, assim como ocorre com a luz que passa através de um prisma.

A figura a seguir mostra a justaposição de duas lentes esféricas de vergências  $C_1$  e  $C_2$ . A vergência equivalente dessa combinação é igual à soma das vergências individuais.



## Fórmulas das lentes esféricas

As principais fórmulas usadas para resolver exercícios sobre as lentes esféricas utilizam as variáveis:

$f$  – distância focal;

$p$  e  $p'$  – posição do objeto e da imagem;

$o$  – tamanho do objeto;

$i$  – tamanho da imagem;

$A$  – aumento linear transversal ou ampliação;

$R$  – raio de curvatura;

$C$  – vergência.

A fórmula mais básica das lentes esféricas é conhecida como aumento linear transversal ou ampliação. A ampliação da lente pode ser calculada por meio de três fórmulas diferentes, que podem ser combinadas entre si. Confira:

### Equação dos pontos conjugados ou Equação de Gauss

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

$f$  - distância focal

$p$  – posição do objeto

$p'$  – posição da imagem

### Equação do aumento linear transversal

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

A vergência ou o grau das lentes esféricas pode ser facilmente calculada se soubermos a distância focal da lente.

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

Por fim, a fórmula a seguir, conhecida como equação de Halley ou equação do fabricante de lentes, é utilizada para determinar a vergência de uma lente esférica com base no índice de refração do material da lente e do meio em que a lente se encontra imersa (ar, por exemplo), além dos raios de curvatura das faces externa e interna da lente. Confira:

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

### Exercícios

- 1- Um objeto de 10 cm é colocado a 15 cm de uma lente esférica convexa de distância focal igual a 5 cm. Determine:
  - a) o tamanho da imagem do objeto;
  - b) a posição da imagem;
  - c) as características da imagem.
  
- 2- Determine a vergência de uma lente esférica côncava cuja distância focal é igual a 10 cm.
  
- 3- Uma lente, feita de material cujo índice de refração absoluto é 1,5, é convergente no ar. Quando mergulhada num líquido transparente, cujo índice de refração absoluto é 1,7, ela:
  - a) será convergente;
  - b) será divergente;
  - c) será convergente somente para a luz monocromática;
  - d) se comportará como uma lâmina de faces paralelas;
  - e) não produzirá nenhum efeito sobre os raios luminosos.
  
- 4- Um objeto está sobre o eixo óptico e a uma distância  $p$  de uma lente convergente de distância  $f$ . Sendo  $p$  maior que  $f$  e menor que  $2f$ , pode-se afirmar que a imagem será:
  - a) virtual e maior que o objeto;
  - b) virtual e menor que o objeto;
  - c) real e maior que o objeto;
  - d) real e menor que o objeto;
  - e) real e igual ao objeto.
  
- 5- Um objeto real é colocado perpendicularmente ao eixo principal de uma lente convergente de distância focal  $f$ . Se o objeto está a uma distância  $3f$  da lente, a distância entre o objeto e a imagem conjugada por essa lente é:
  - a)  $f/2$
  - b)  $3f/2$
  - c)  $5f/2$
  - d)  $7f/2$
  - e)  $9f/2$