

Óptica Geométrica

Construções geométricas em lentes delgadas

Gonçalo Figueira — goncalo.figueira@tecnico.ulisboa.pt
Complexo Interdisciplinar, ext. 3375
Tel. 218 419 375
1.º semestre 2019/20

Óptica geométrica: objetivos

Reflexão, refração e ângulo de Brewster

Traçado de raios

Lentes convergentes e divergentes

Objectos reais e virtuais

Óptica geométrica: objetivos

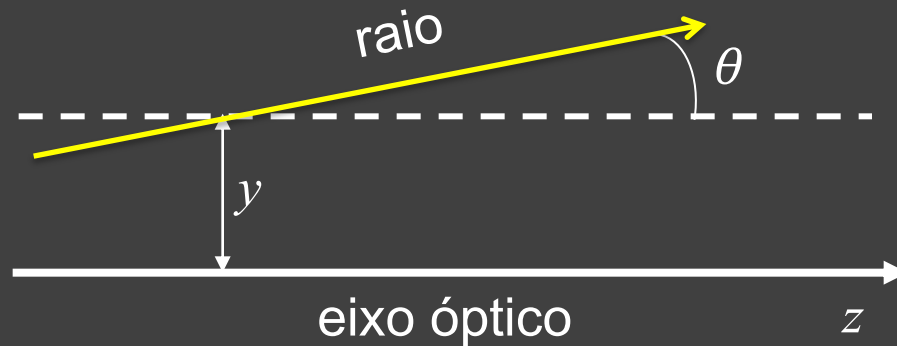
A **óptica geométrica**, ou óptica de raios, é uma abordagem que consiste em descrever a propagação da luz através de raios.

Para descrever a propagação de um feixe de luz através de um sistema, utilizamos um conjunto de raios, que se propagam utilizando o método do **traçado de raios**.

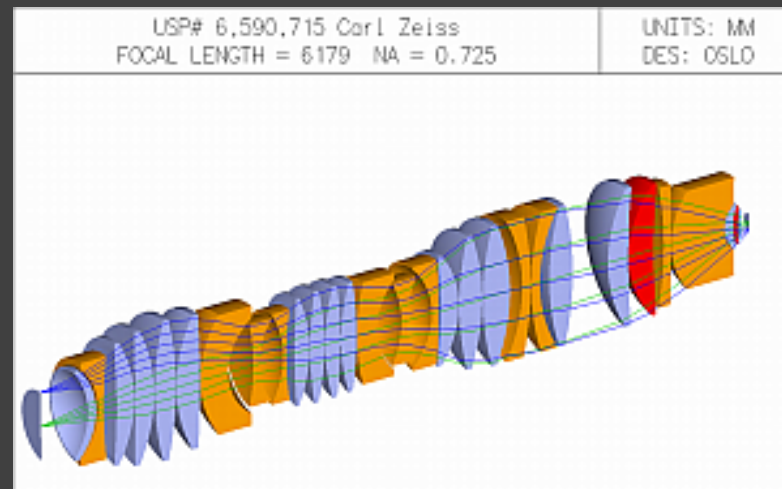
- Medição do índice de refração de um vidro
- Polarização da luz e ângulo de Brewster
- Distância focal de lentes convergentes e divergentes: medição directa e através da ampliação

Óptica geométrica

Um raio é definido em relação ao **eixo óptico**:

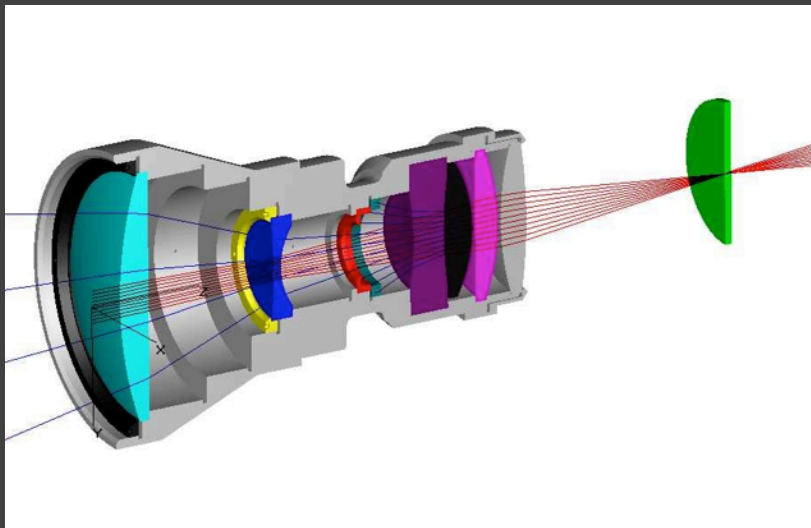


A intensidade da luz é
proporcional à
densidade de raios



Software de traçado de raios

Há programas padrão na indústria óptica, usados para desenhar sistemas complexos de imagem, iluminação, transporte de luz, etc



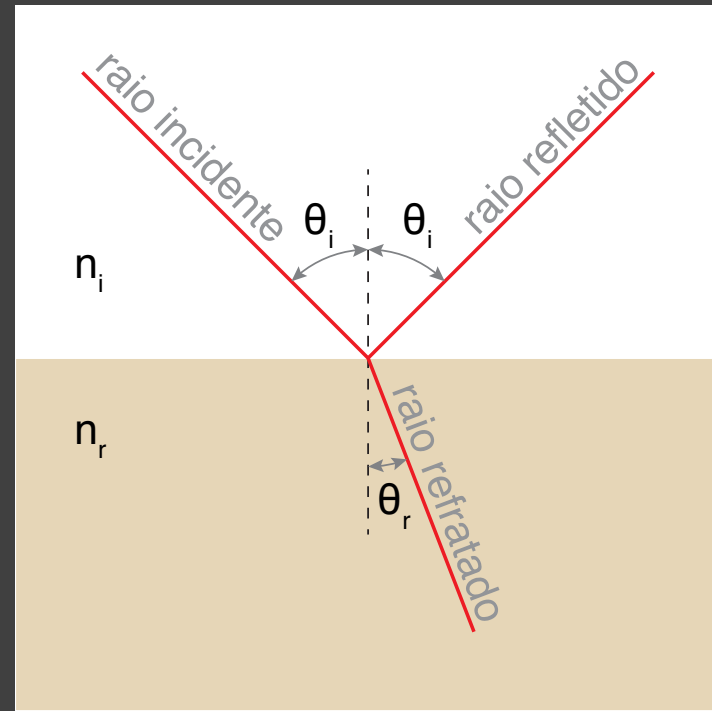
Zemax: www.zemax.com
Code V: www.opticalres.com

Regras para traçado de raios

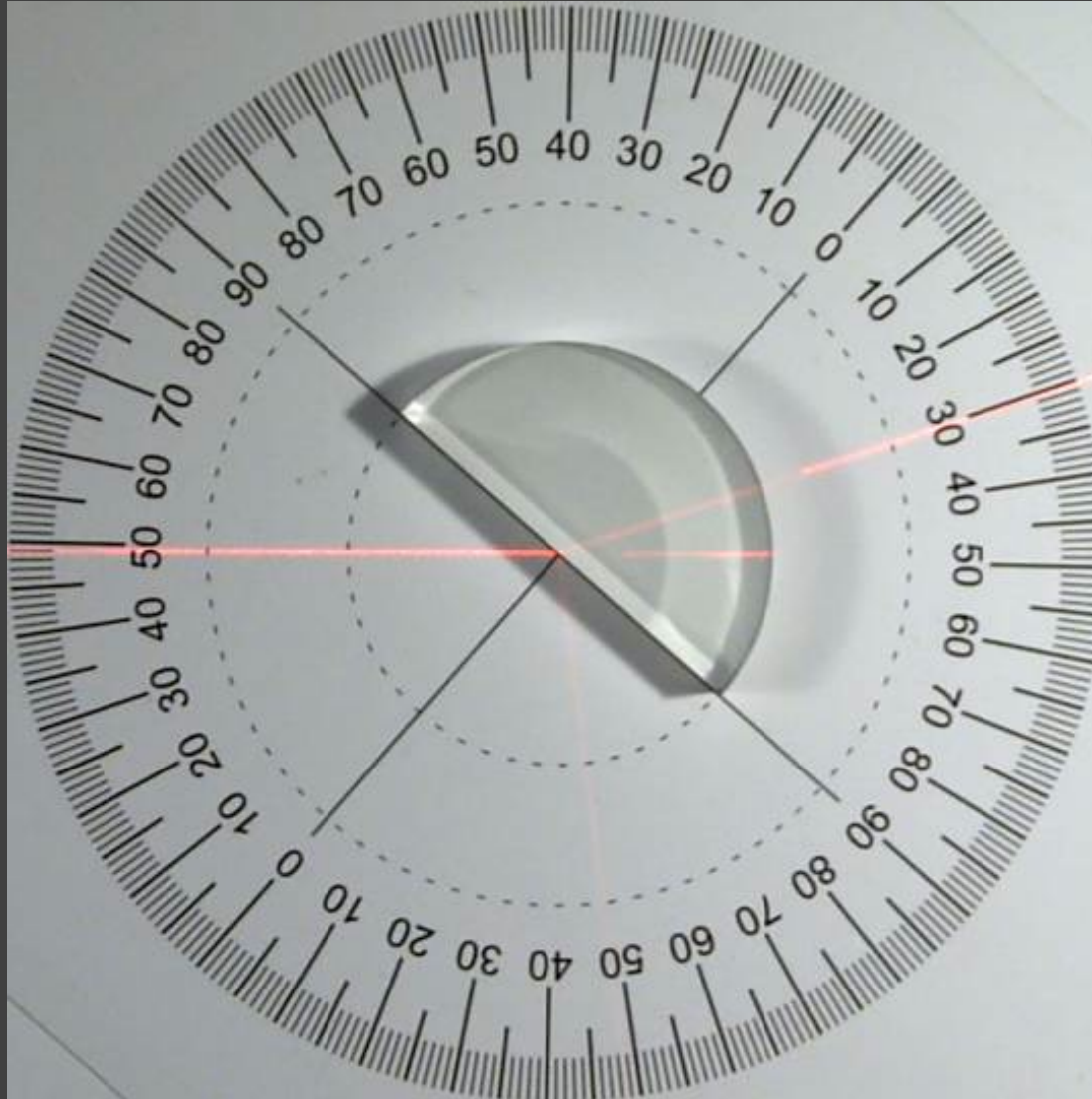
1. Num meio uniforme, um raio é uma linha recta
2. Um meio óptico é caracterizado por uma quantidade $n > 1$: índice de refração
3. Na fronteira entre dois meios, um raio pode ser reflectido e/ou refractado:
 - ângulo de reflexão = ângulo de incidência
 - ângulo de refração θ_r e ângulo de incidência θ_i :

$$n_i \sin \theta_i = n_r \sin \theta_r$$

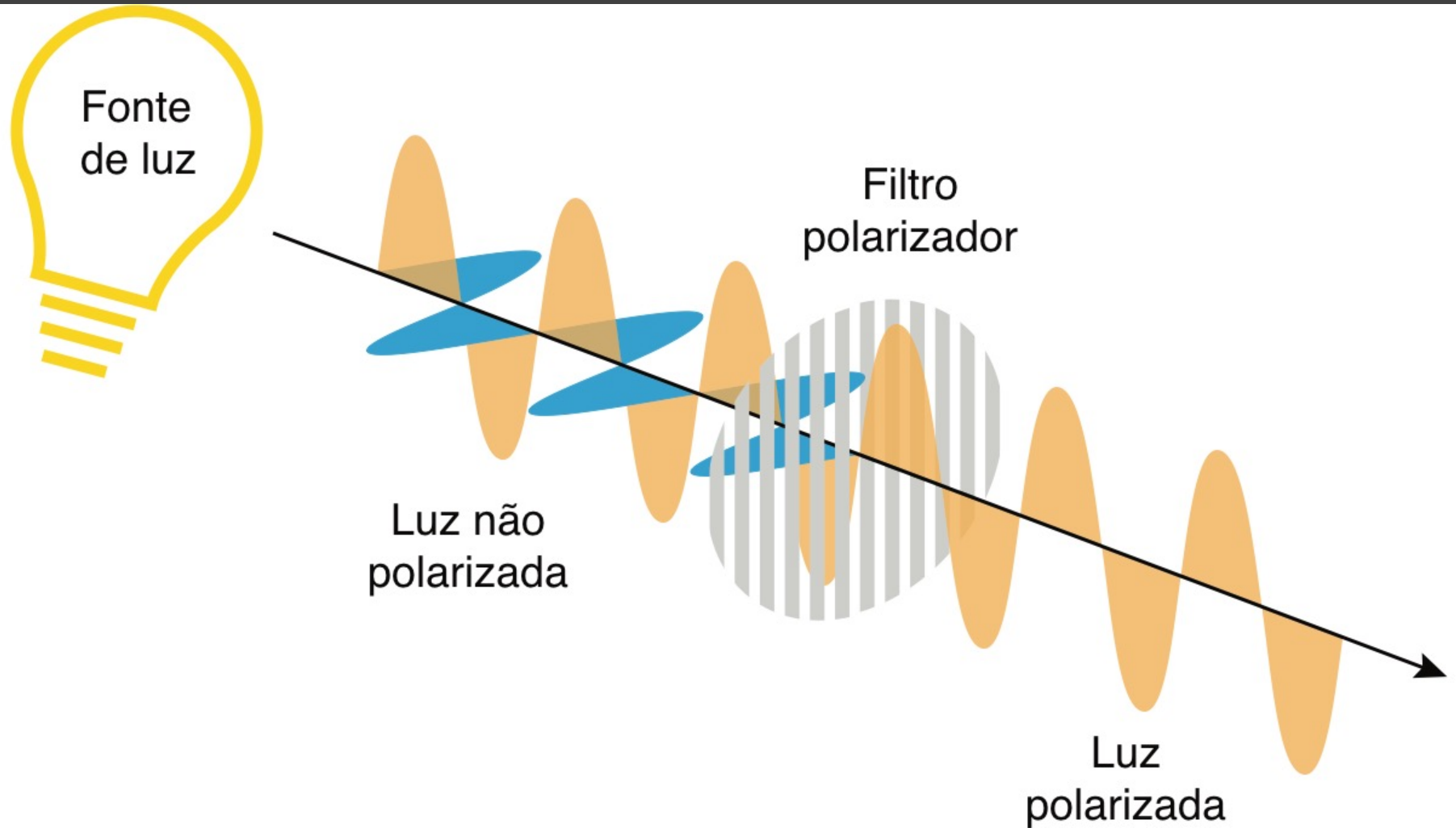
Lei de Snell



Medição de índice de refração de um bloco de acrílico



Polarização da luz

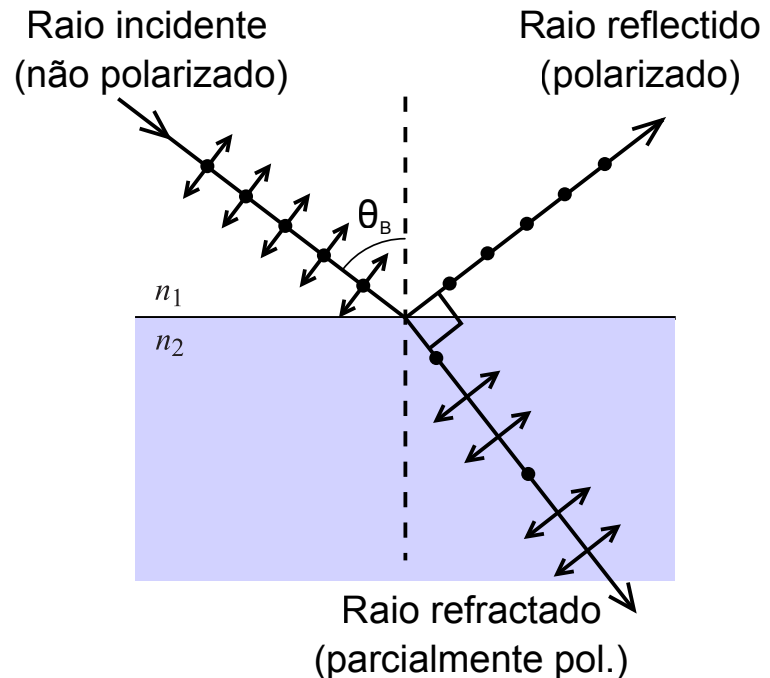
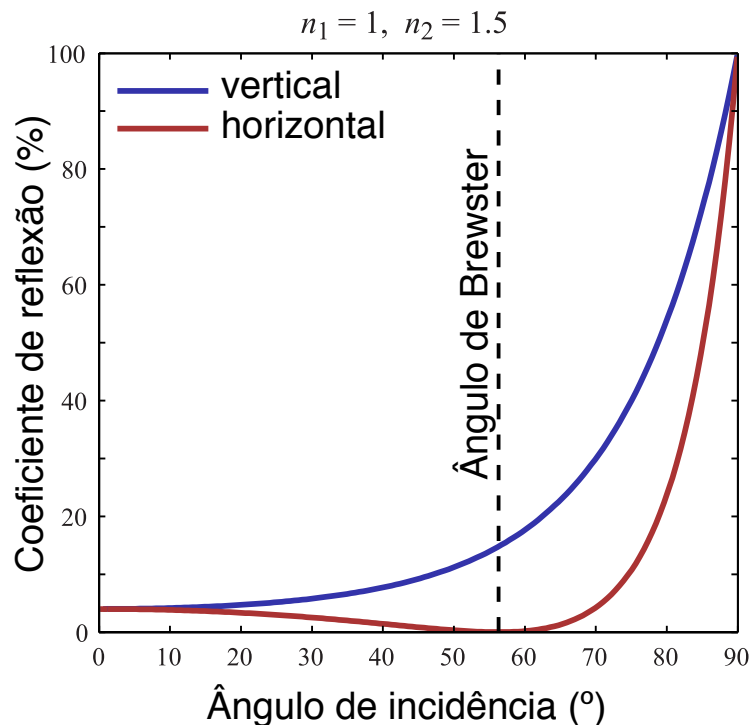


Ângulo de Brewster

= ângulo de incidência numa superfície para o qual a luz reflectida fica polarizada (perpendicularmente ao plano de incidência)

Nesta situação o feixe reflectido e o refractado fazem um ângulo de 90 °

$$\theta_B = \arctan\left(\frac{n_2}{n_1}\right)$$



Aplicações do ângulo de Brewster: óculos polarizados



WITHOUT POLARIZED



WITH POLARIZED



WITHOUT POLARIZED



WITH POLARIZED



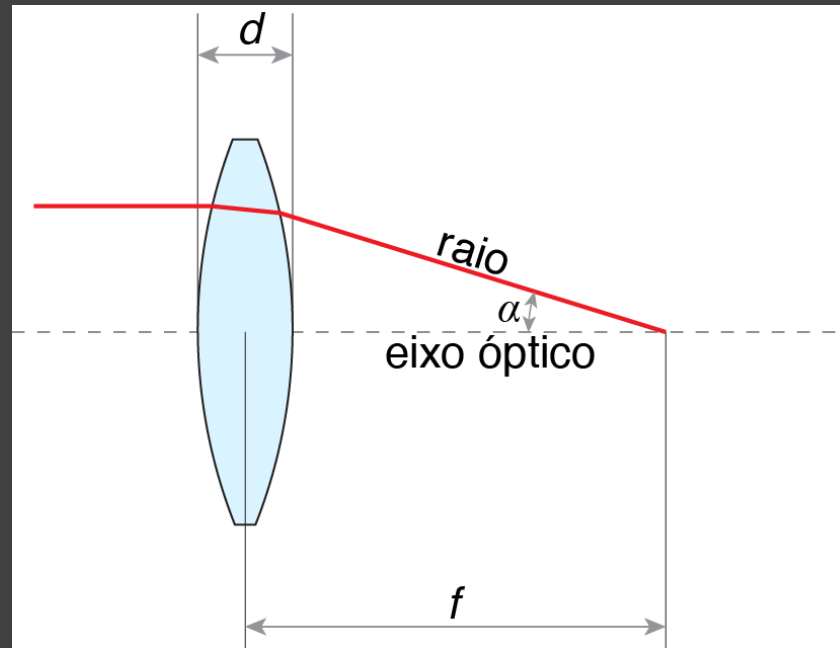
Traçado de raios e lentes: aproximações

Lentes delgadas

Espessura da lente \ll distância focal

Óptica paraxial

Todos os raios se situam próximo do eixo óptico e fazem ângulos tais que $\sin \alpha \approx \alpha$

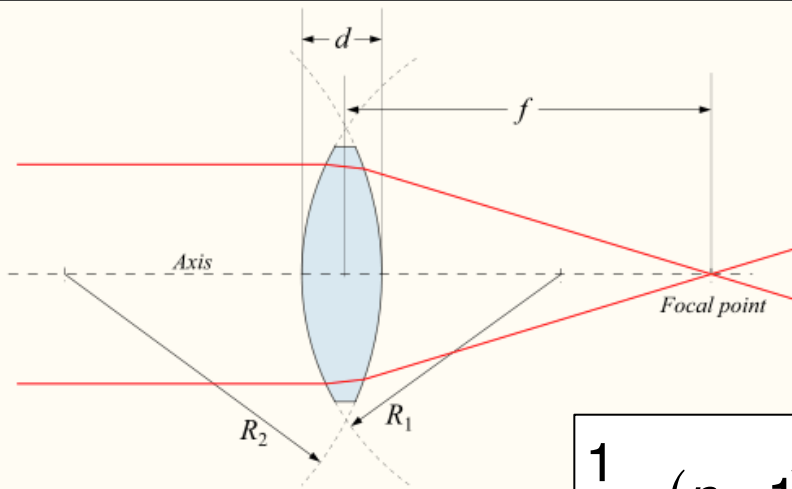


Tipos de lentes esféricas

Convergentes ($f > 0$)

raios paralelos ao eixo
passam pelo foco à direita

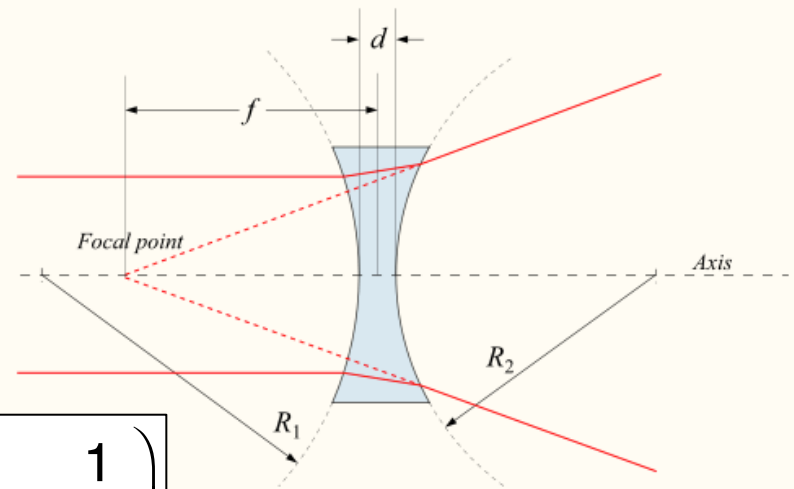
$$R_1 > 0, R_2 < 0$$



Divergentes ($f < 0$)

raios paralelos ao eixo
parecem sair do foco à esquerda

$$R_1 < 0, R_2 > 0$$



$$\frac{1}{f} \approx (n-1) \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right)$$

Lentes, objectos e imagens

Lente

Objecto

Imagem

distância focal f

a uma distância d_o

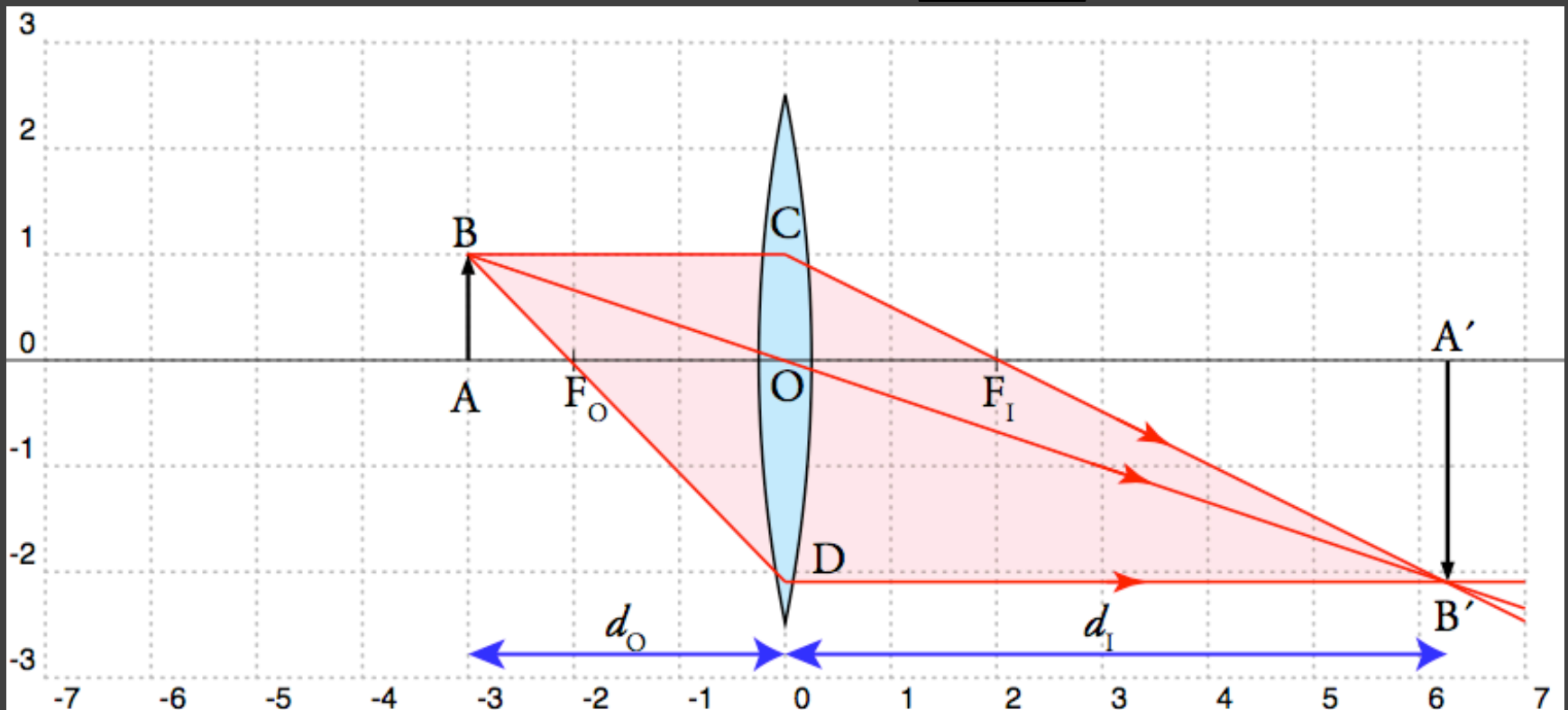
a uma distância d_i

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{d_o} + \frac{1}{d_i}$$

**Equação dos
focos conjugados**

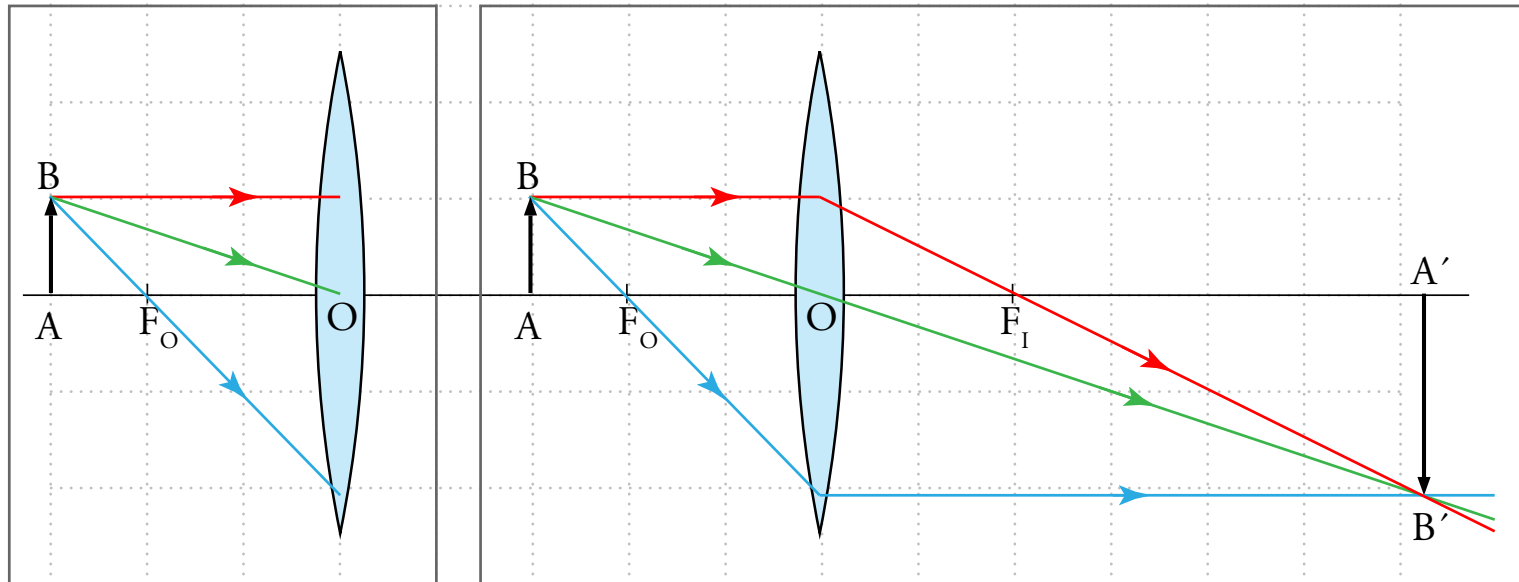
$$A = \frac{d_i}{d_o}$$

Ampliação



Traçado de raios: lentes convergentes

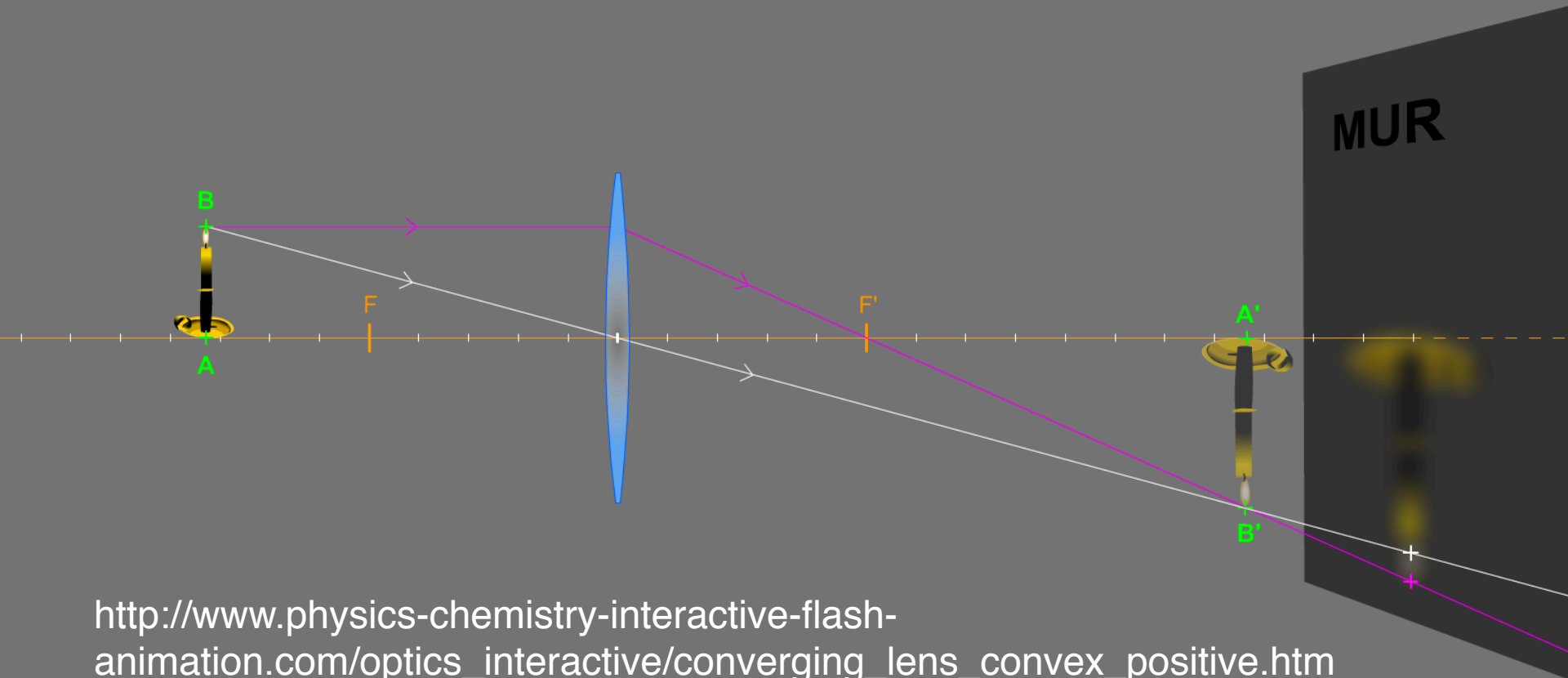
- Desenhar um objecto simples AB (ex. uma seta) a uma dada distância à esquerda da lente.
- Desenhar 3 raios: (i) horizontal, (ii) a passar pelo centro da lente, (iii) a passar pelo *foco-objecto*
- Usar as regras em baixo para determinar a posição da imagem



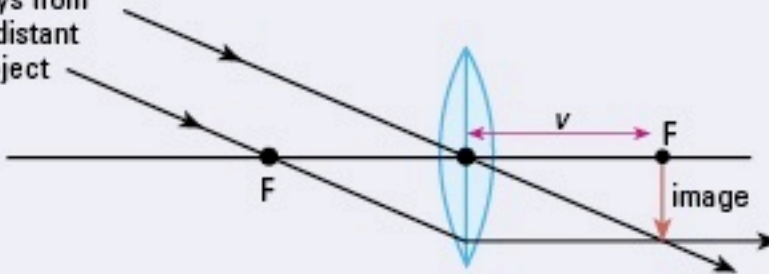
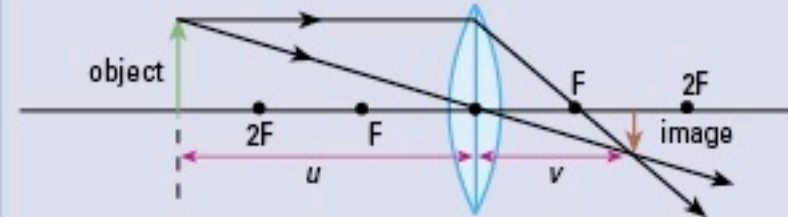
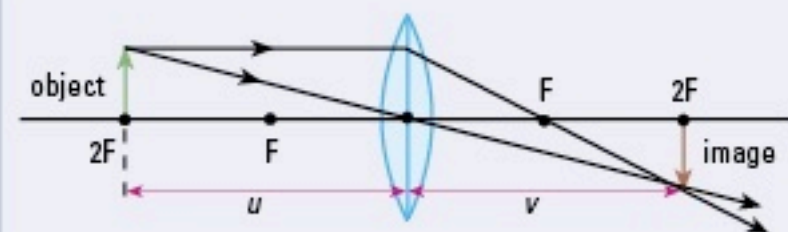
experiment

interpretation

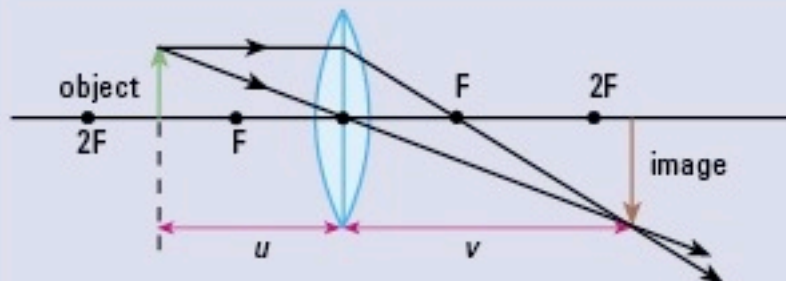
ray diagram



http://www.physics-chemistry-interactive-flash-animation.com/optics_interactive/converging_lens_convex_positive.htm

Object distance (u)	Ray diagram	Type of image	Image distance (v)	Uses
$U = \infty$	<p>parallel rays from a distant object</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - inverted - real - diminished 	$v = f$ <ul style="list-style-type: none"> - opposite side of the lens 	<ul style="list-style-type: none"> - object lens of a telescope
$u > 2f$		<ul style="list-style-type: none"> - inverted - real - diminished 	$f < v < 2f$ <ul style="list-style-type: none"> - opposite side of the lens 	<ul style="list-style-type: none"> - camera - eye
$u = 2f$		<ul style="list-style-type: none"> - inverted - real - same size 	$v = 2f$ <ul style="list-style-type: none"> - opposite side of the lens 	<ul style="list-style-type: none"> - photocopier making same-sized copy

$$f < u < 2f$$

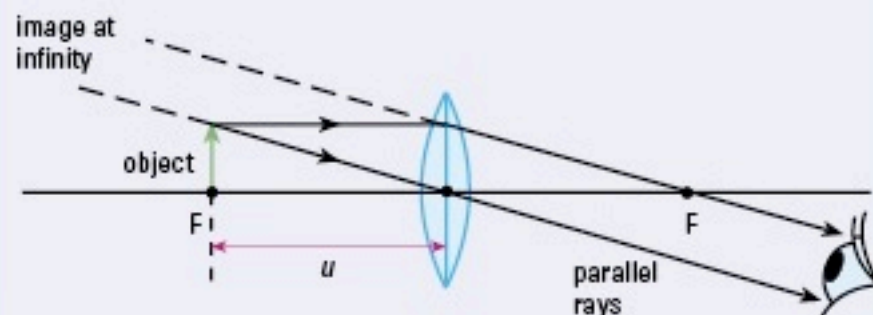


- inverted
- real
- magnified

$v > 2f$
- opposite side of the lens

- projector
- photograph enlarger

$$u = f$$

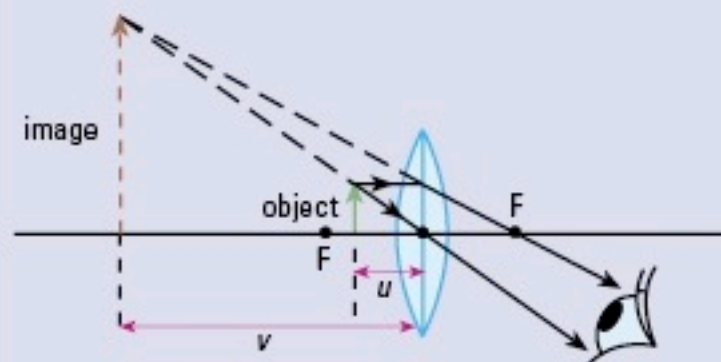


- upright
- virtual
- magnified

- image at infinity
- same side of the lens

- to produce a parallel beam of light, e.g. a spotlight

$$u < f$$



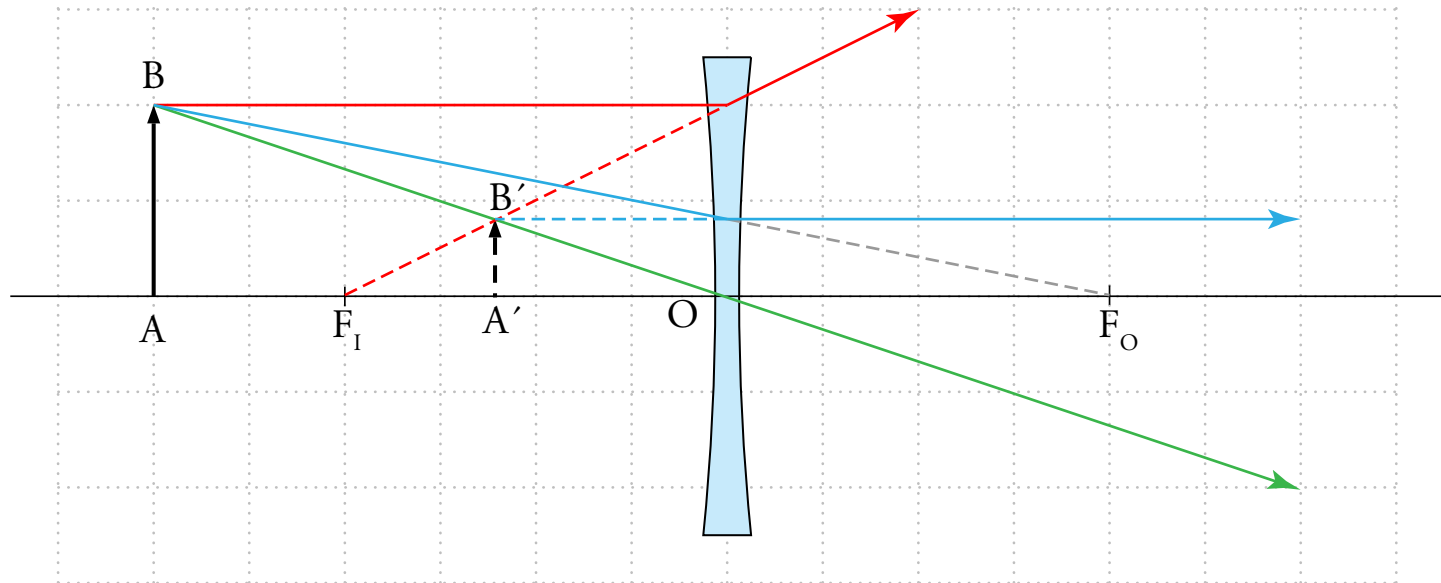
- upright
- virtual
- magnified

- image is behind the object
- same side of the lens

- magnifying glass

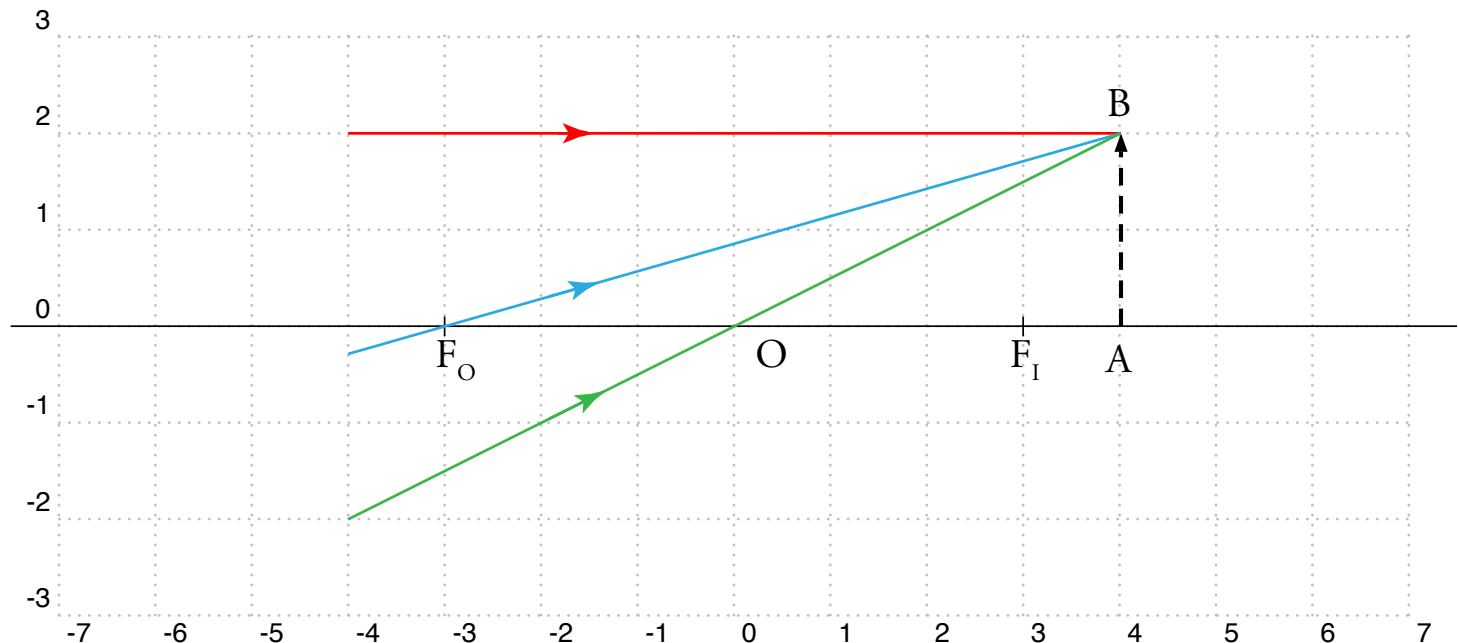
Traçado de raios: lentes divergentes

- Desenhar um objecto simples (ex. uma seta) a uma dada distância à esquerda da lente.
- Desenhar 3 raios: (i) horizontal, (ii) a passar pelo centro da lente, (iii) a passar pelo *foco-objecto*
- Usar as regras em baixo para determinar a posição da imagem



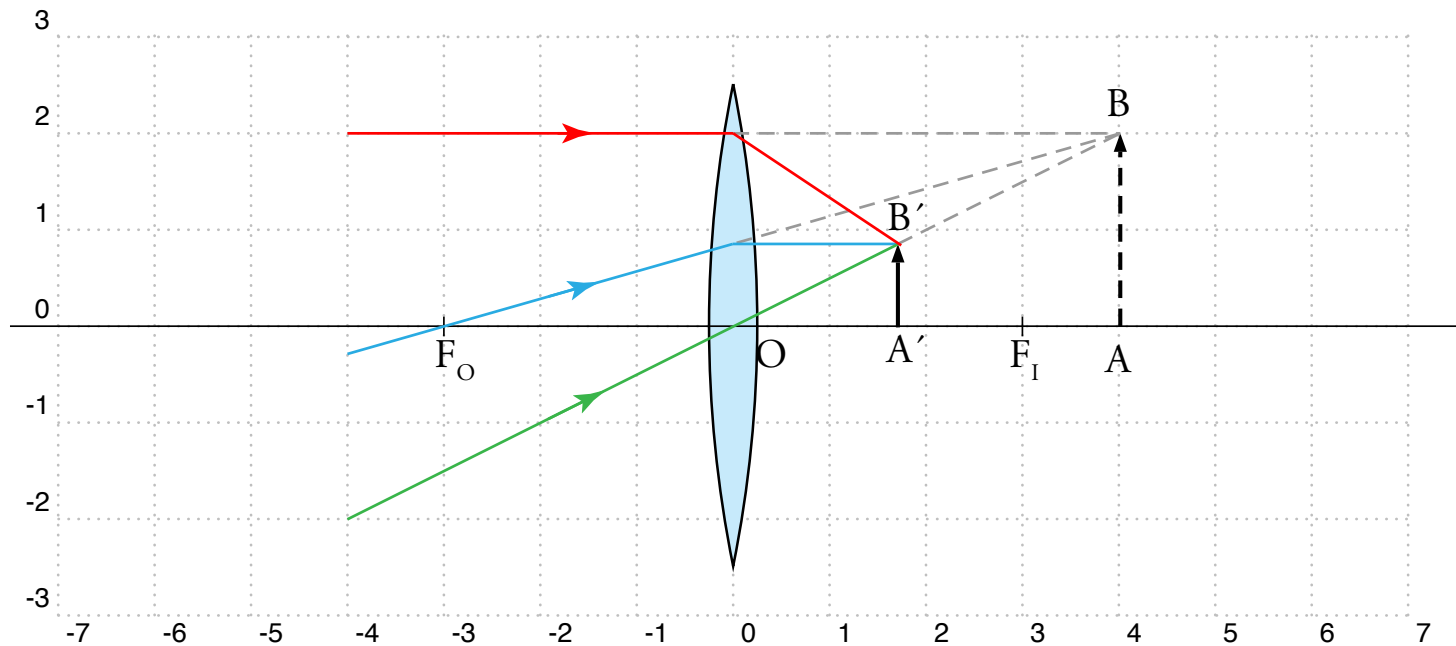
Traçado de raios: objectos virtuais

- Desenhar um objecto simples AB (ex. uma seta) a uma dada distância à *direita* da lente.
- Desenhar 3 raios: (i) horizontal, (ii) a passar pelo centro da lente, (iii) a passar pelo *foco-objecto*
- Inserir a lente e determinar a alteração no trajecto dos raios





Traçado de raios: objectos virtuais

- Desenhar um objecto simples AB (ex. uma seta) a uma dada distância à *direita* da lente.
- Desenhar 3 raios: (i) horizontal, (ii) a passar pelo centro da lente, (iii) a passar pelo *foco-objecto*
- Inserir a lente e determinar a alteração no trajecto dos raios



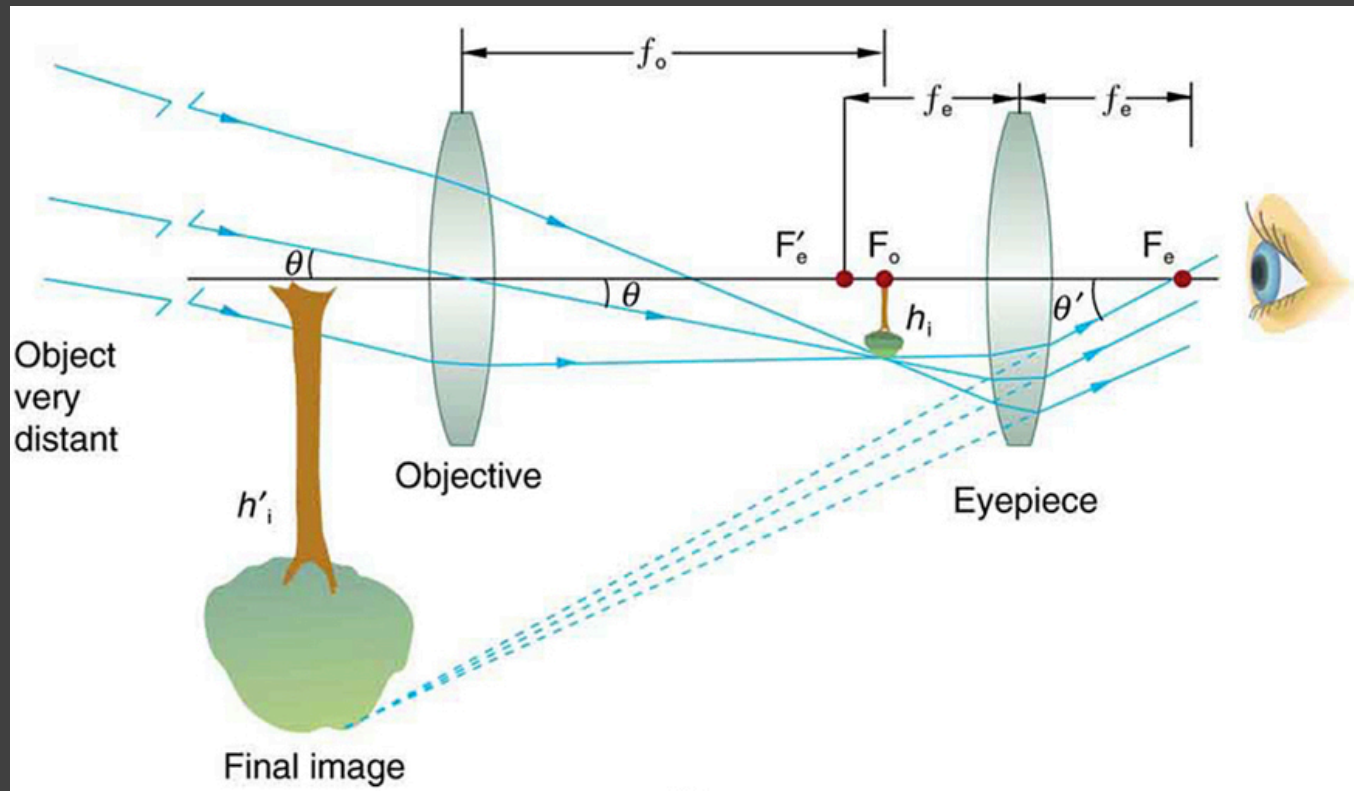
Traçado de raios: casos

Tipo de lente	Objecto	Tipo de imagem	Orientação
Convergente $(f > 0)$ 	Real $d_o > f$ $d_o < f$	Real Virtual	Invertida Direita
	Virtual	Real	Direita
Divergente $(f < 0)$ 	Real	Virtual	Direita
	Virtual $ d_o > f $ $ d_o < f $	Virtual Real	Invertida Direita

Associações de lentes

Duas lentes de dist. focais f_1 e f_2 separadas de D

$$\frac{1}{f_{equiv}} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} - \frac{D}{f_1 f_2}$$



Sugestões

Faça exercícios com traçado de raios para as diversas combinações:

- Lentes convergentes e divergentes
- Objectos reais e virtuais
- Objectos em diversas posições relativamente ao foco

Leia o Guia da Experiência e procure compreender o cálculo das ampliações e posições das imagens