

## Objectos e imagens reais e virtuais

por RÓMULO DE CARVALHO

### 1. Definições e terminologia

Consideremos uma lente esférica e um plano que passe pelo respectivo centro óptico e seja perpendicular ao seu eixo principal. Este plano divide o espaço em duas regiões, uma situada à esquerda e outra à direita da lente. A uma dessas regiões chamaremos *espaço-objecto* e, à outra, *espaço-imagem*.

Estabeleçamos a convenção de que o sentido de propagação da luz que incide na lente é o da sua esquerda para a sua direita. Nestas condições o *espaço-objecto* é o que fica situado à esquerda da lente, e o *espaço-imagem* o que fica à direita.

Diremos que *um objecto é real* quando estiver colocado no *espaço-objecto*, e que *uma imagem é real* quando se formar no *espaço-imagem*. Inversamente, e por extensão de linguagem, diremos que um *objecto é virtual* quando estiver situado no *espaço-imagem*; e que *uma imagem é virtual* quando se formar no *espaço-objecto*. Admite-se que um *objecto* possa ser considerado virtual desde que se encontre colocado no *espaço-imagem* visto que, por convenção, se supõe que a luz se dirige do *espaço-objecto* para o *espaço-imagem*, isto é, da esquerda para a direita. Sendo assim, para construirmos a imagem de um *objecto* situado no *espaço-imagem*, teremos que recorrer a supostos raios luminosos que virão do *objecto* para a lente e que, portanto, se dirigem da direita para a esquerda.

Analogamente uma imagem formada no *espaço-objecto* é virtual porque os raios luminosos que contribuem para a

sua formação terão de vir da lente para a imagem e, portanto, será necessário supôr que se dirigem da direita para a esquerda.

Em cada um dos espaços considerados existe um ponto privilegiado chamado *foco principal*. Um deles designa-se por *foco principal objecto* e o outro por *foco principal imagem*. (Na continuação diremos apenas «foco-objecto» e «foco-imagem»).

*Foco-imagem* de uma lente é um ponto situado no seu eixo principal onde convergem todos os raios emergentes (reais ou virtuais) que provêm de raios incidentes (reais ou virtuais), vindos do *objecto* (real ou virtual) paralelamente àquele eixo.

Analogamente o *foco-objecto* de uma lente será um ponto situado no seu eixo principal onde convergem todos os raios emergentes (reais ou virtuais) provenientes de uma imagem (real ou virtual), paralelamente àquele eixo.

Os focos podem ser reais ou virtuais. Diz-se que um *foco-imagem* é real quando está situado no *espaço-imagem*, e é virtual quando está situado no *espaço-objecto*. Analogamente um *foco-objecto* é real quando está situado no *espaço-objecto*, e é virtual quando está situado no *espaço-imagem*. Assim, nas lentes convergentes o *foco-objecto* e o *foco-imagem* são reais porque estão situados nos respectivos espaços do mesmo nome. Nas lentes divergentes ambos os focos são virtuais porque o *foco-imagem* está situado no *espaço-objecto*, e o *foco-objecto* no *espaço-imagem*.

## 2. Convenções usadas nas construções geométricas

Nas construções geométricas que se destinam a determinar a localização, posição (direita ou invertida) e o tamanho da imagem de um objecto dada por uma lente (que se supõe ser esférica e delgada), devem respeitar-se as seguintes regras:

- 1) todos os raios luminosos que se dirigem da esquerda para a direita (portanto reais) são traçados a cheio; todos os raios que se dirigem da direita para a esquerda (portanto virtuais) são desenhados a tracejado.
- 2) os objectos e as imagens, representados por uma seta, serão desenhados a cheio se forem reais, e a tracejado se forem virtuais.

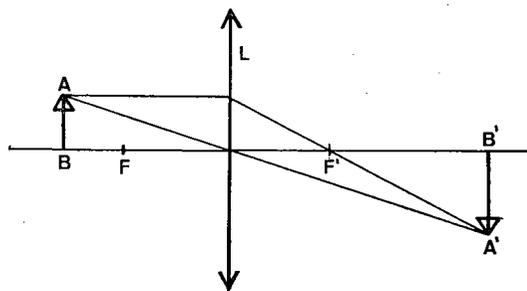


Fig. 1

b) *Objecto real* (colocado entre o foco-objecto e o centro óptico) (fig. 2).

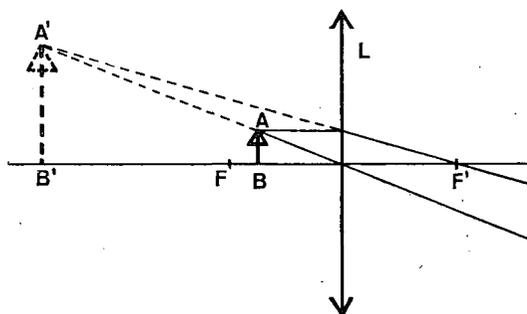


Fig. 2

## 3. Exemplificações

Nas exemplificações que se seguem o foco-objecto é sempre representado pela letra  $F$  e o foco-imagem por  $F'$ ; o objecto por  $AB$  e a sua imagem por  $A'B'$ . Recorde-se que os focos-objectos e os focos-imagens estão localizados, em relação a cada tipo de lente (convergentes ou divergentes), em pontos fixos e nada têm que ver com o facto de os objectos ou as imagens, consideradas nas construções, serem reais ou virtuais.

### I — Lentes convergentes

- a) *Objecto real* (colocado entre o foco-objecto e o infinito) (fig. 1).

O objecto real produz uma imagem real.

O objecto real produz uma imagem virtual.

A imagem é virtual porque é obtida à custa de supostos raios luminosos dirigidos no sentido contrário ao da propagação da luz.

- c) *Objecto virtual* (fig. 3).

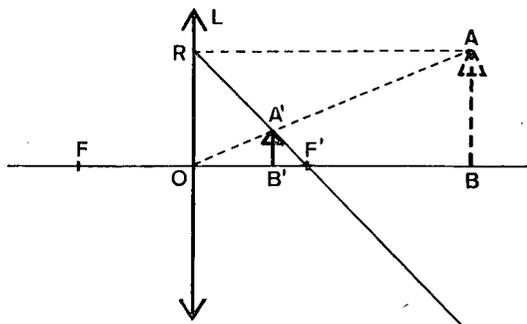


Fig. 3

O objecto virtual produz uma imagem real.

Notas:

- 1 — O objecto é virtual por estar situado no espaço-imagem.
- 2 — Os raios que se supõe saírem dele são virtuais porque se orientam no sentido contrário ao da propagação da luz (da direita para a esquerda).
- 3 — Ao raio  $AR$ , paralelo ao eixo principal, corresponderá um raio emergente  $RF'$  que é real por ter o sentido da propagação da luz, e é esse o raio emergente correspondente ao raio (virtual) incidente,  $AR$ , porque a todo o raio que parte de um objecto para uma lente, paralelamente ao seu eixo principal, corresponde um raio emergente que passa pelo foco-imagem, que é  $F'$ . A qualquer outro raio (virtual), proveniente de  $A$ , corresponderá um raio (real) que se propaga no espaço-imagem. Se ao raio (virtual)  $AR$  corresponde o raio (real)  $RF'$ , ao raio (virtual)  $AO$  corresponde o raio (real)  $OA$ . A imagem  $A'$  é, portanto, real, por ser definida pelo cruzamento de raios reais (como sejam  $RF'$  e  $OA$ ).

Este caso corresponde, na realidade, ao de um feixe de luz que deveria produzir, de um determinado objecto (fig. 4),

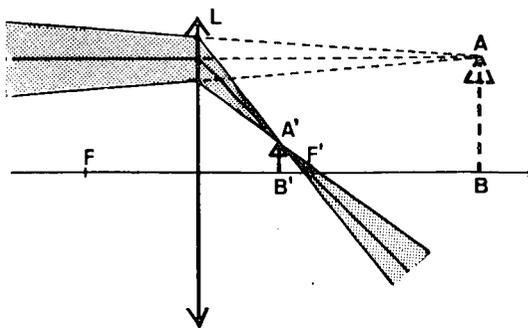


Fig. 4

uma imagem  $AB$ , se não existisse a lente ( $L$ ) que intersecta o feixe luminoso. Esta lente, ao ser interposta, já não permite que se forme a imagem  $AB$ , a qual passa a funcionar como objecto virtual, em relação à lente, formando-se então a imagem real  $A'B'$ .

## II — Lentes divergentes

a) *Objecto real* (fig. 5).

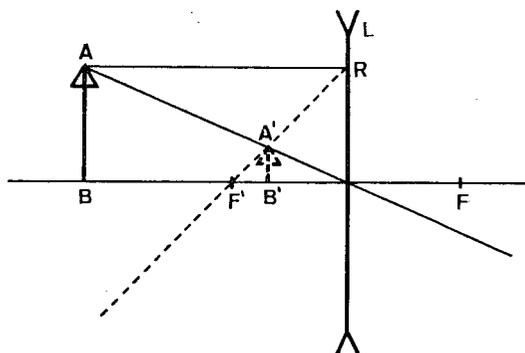


Fig. 5

O objecto real produz uma imagem virtual.

O raio incidente, real,  $AR$ , parte do ponto-objecto real,  $A$ , paralelamente ao eixo principal da lente. Como o foco-imagem é virtual por estar no espaço-

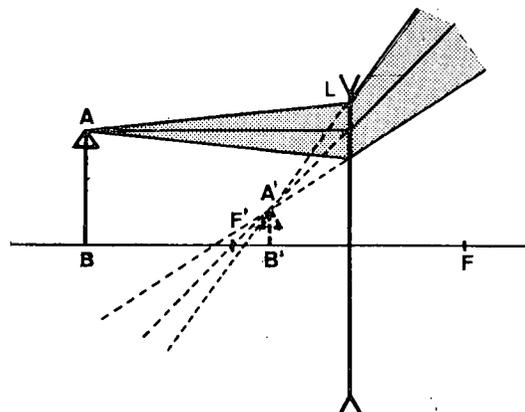


Fig. 6

-objecto, o raio  $RF'$  é virtual. A figura 6 representa o trajecto real de um feixe de luz correspondente a este caso.

b) *Objecto virtual* (situado entre o foco-objecto e o infinito) (fig. 7).

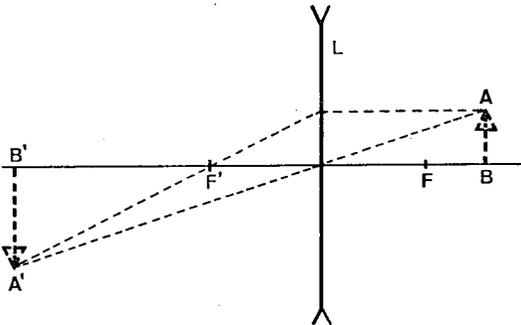


Fig. 7

O objecto virtual produz uma imagem virtual.

Tanto os raios incidentes que provêm do objecto como os respectivos raios emergentes são virtuais porque se dirigem da direita para a esquerda. Corresponde este caso ao de um feixe de luz, real, que fosse produzir, de um determinado objecto (fig. 8), uma imagem  $AB$ , a qual passasse a funcionar como objecto virtual em relação a uma lente divergente (a das figuras 7 e 8) que dela produzisse, por sua vez, a imagem virtual  $A'B'$ .

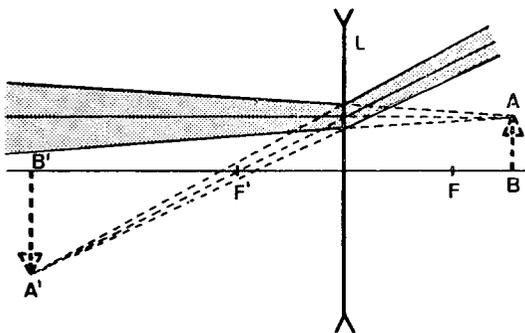


Fig. 8

c) *Objecto virtual* (colocado entre o foco-objecto e o centro óptico).

O objecto virtual produz uma imagem real (fig. 9).

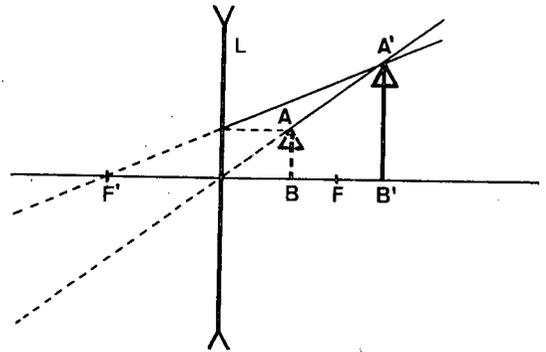


Fig. 9

#### 4. Aplicações das regras anteriores aos instrumentos de óptica

As regras que expusemos têm aplicação, por exemplo, nas construções geométricas destinadas a conhecer a imagem de um objecto obtida por meio de um instrumento onde os raios luminosos sejam obrigados a prosseguir através de vários sistemas ópticos como sucede nos microscópios e nos telescópios, usando estas designações no seu significado mais geral.

Tomemos para exemplo a luneta de Galileo, inventada em 1609, e que é um dos instrumentos de óptica mais interessantes pela simplicidade com que aquele investigador resolveu o problema de endireitar a imagem observada.

Nesse instrumento, (fig. 10) uma lente convergente ( $L_1$ , de focos  $F_1$  e  $F_1'$ )

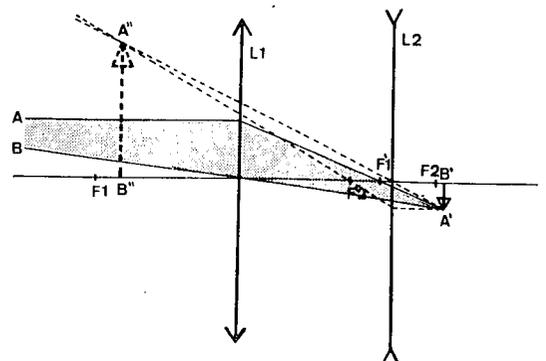


Fig. 10

produz uma imagem real e invertida  $A'B'$ , do objecto  $AB$ , visado. Para endireitar a imagem, visto haver conveniência em observar o objecto direito, usou Galileo uma lente divergente ( $L_2$ ), de modo que o seu foco-objecto ( $F_2$ ) ficasse situado um pouco antes da imagem ( $A'B'$ ) obtida. Esta imagem, que passa a funcionar como objecto virtual (em relação a ( $L_2$ )) vai produzir uma imagem,  $A''B''$ , invertida em relação a  $A'B'$ , e direita em relação ao objecto  $AB$ .

A formação desta imagem final corresponde ao caso considerado anteriormente na fig. 7.

A figura 11 representa, para o caso da luneta de Galileo, o trajecto de um feixe de luz vindo do objecto, que se dirige para o olho do observador.

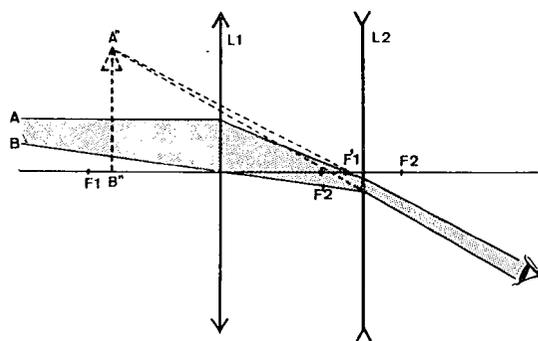


Fig. 11

## 5. Notas

I) Não se deve pensar que sejam somente as imagens virtuais que possam comportar-se como objectos virtuais. O caso a que se referem as figuras 10 (e 7) mostra que uma imagem *real* que não chegue a formar-se, poderá desempenhar, por esse motivo, o papel de objecto virtual.

O objecto virtual (que, como o nome indica, não tem existência real) poderá corresponder a uma imagem, real ou virtual, que, por ter sido impedida de se formar pela interposição de um dado sistema óptico no trajecto dos raios que a definiriam, foi dar origem a nova imagem. Seja como for, a figura considerada como objecto virtual, em relação a dada lente, ou sistema óptico, terá de estar situada no espaço-imagem dessa lente ou sistema de lentes.

II) O conceito de reversibilidade da luz pode conduzir à conclusão errada de que a um dado ponto-objecto corresponderá determinado ponto-imagem, de tal modo que, supondo o objecto colocado no lugar do ponto-imagem, a sua imagem se irá formar no ponto onde estava o objecto. Em casos, porém, como o da figura 2, reconhece-se que isso não é assim. Ao ponto-objecto,  $A$ , dessa figura, corresponde o ponto-imagem  $A'$ ; mas se  $A'$  fosse um ponto-objecto a sua imagem não estaria em  $A$  mas do outro lado da lente (caso da figura 1). O erro estaria em se considerar a equivalência entre as posições do ponto-objecto e do ponto-imagem supondo-se, entretanto, que a luz continuava a dirigir-se da esquerda para a direita. Ao pensar-se na reversibilidade da luz tem que se entender que houve inversão no sentido da sua propagação. Sendo assim, fica esclarecido o exemplo assinalado na figura 2. Se a luz vem da direita para a esquerda, o ponto-objecto colocado em  $A'$  é virtual, porque estará então no espaço-imagem da lente. A imagem,  $A$ , desse ponto será real e estará também situada no espaço-imagem (que é o que corresponde ao caso exemplificado na figura 3).