

Material Teórico – Módulo Óptica Geométrica V

Instrumentos Ópticos

Terceiro Ano do Ensino Médio

Autor: Thales Azevedo

Ilustrações e revisão: Vanessa Martiniano



**Portal
da Física
OBMEP**

1. Introdução

Quando iniciamos o estudo de lentes esféricas, no módulo 4, mencionamos que aquelas estão presentes em vários dispositivos que conhecemos, como óculos, lupas, microscópios, telescópios, projetores, dentre outros. De fato, esses dispositivos são chamados *instrumentos ópticos*. Invenções da imagens em algum material.

Em geral, instrumentos ópticos podem ser classificados em dois tipos, de acordo as características da imagem final formada: instrumentos de *observação* ou instrumentos de *projeção*. Os instrumentos de observação fornecem imagens virtuais. Já os instrumentos de projeção formam imagens reais que podem ser vistas pelo observador através da reflexão das mesmas em um anteparo.

Note que qualquer instrumento que manipule a luz com o objetivo de processar uma imagem (ou analisar as características daquela luz) constitui um instrumento óptico, mesmo que não possua uma lente. Em particular, a simples *câmara escura*, que estudamos ainda no módulo 1, pode ser considerada um instrumento óptico de projeção. Mas é verdade que a grande maioria dos instrumentos ópticos possui uma ou mais lentes em sua estrutura, como veremos neste texto.

2. Instrumentos de observação

2.1 Lupa

O primeiro instrumento óptico que vamos mencionar neste módulo é a *lupa*, também conhecida popularmente como “lente de aumento”. Uma lupa é um instrumento de observação que consiste, essencialmente, em uma lente biconvexa presa a uma haste, como mostra a figura 1.



Figura 1: Uma lupa consiste essencialmente em uma lente biconvexa presa a uma haste.

Em condições normais (ou seja, quando a lupa encontra-se em um meio cujo índice de refração é menor do que o índice de refração do material de que é feita a lente da lupa), a lente da lupa é convergente. Portanto, de acordo com o que estudamos no módulo 4, para que a lupa de fato produza uma imagem maior e direita, é preciso que o

objeto seja posicionado entre o foco principal e o centro óptico da lente. A figura 2 ilustra a formação da imagem pela lupa.

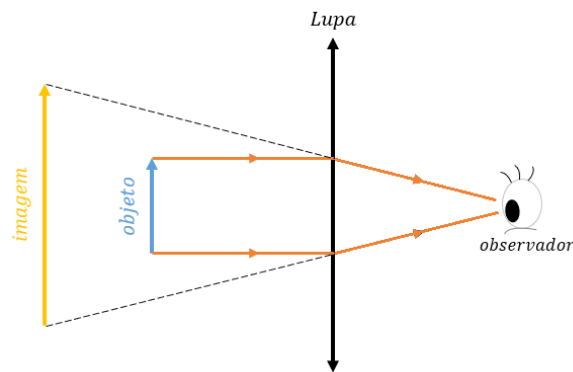


Figura 2: Ilustração do uso de uma lupa. Para que se possa observar uma imagem ampliada do objeto, a lente da lupa deve ser posicionada entre o objeto e quem o observa, de modo que o objeto esteja entre o foco e o centro óptico da lente.

2.2 Microscópio (composto)

O microscópio é um instrumento óptico de observação que, graças à sua capacidade de ampliar imagens, torna possível enxergar objetos muito pequenos. De fato, a própria lupa, apresentada acima, pode ser considerada um microscópio simples. Nesta seção, vamos nos concentrar no estudo do chamado *microscópio composto*, que é o instrumento ao qual normalmente as pessoas referem-se quando dizem “microscópio”.

Um microscópio composto, como o nome sugere, é construído a partir da associação de duas lentes convergentes. Nesse contexto, a lente posicionada mais perto do objeto recebe o nome de lente objetiva, enquanto a lente que fica próxima aos olhos de quem observa a imagem formada é chamada de lente ocular. A figura 3 traz uma representação esquemática da formação da imagem em um microscópio composto.

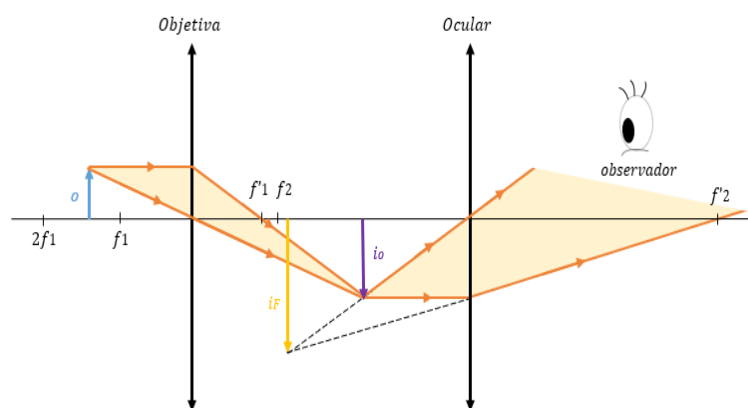


Figura 3: Formação da imagem em um microscópio composto.

Para que a ampliação produzida pelo microscópio seja a maior possível, convém colocar o objeto (o) entre o foco e o ponto antiprincipal da lente objetiva ($2f_1$). Desse modo, conforme vimos no módulo 4, a imagem produzida por aquela lente (i_O) será real, invertida e maior que o objeto em questão. Note que essa é a situação representada na figura 3.

A imagem formada pela lente objetiva (i_O) servirá, então, de objeto para a lente ocular. Para que a imagem final (i_F) seja ainda mais ampliada, basta que o objeto da lente ocular esteja posicionado como se aquela fosse uma lupa, ou seja, entre o foco principal e o centro óptico da lente ocular (de fato, o princípio de funcionamento é idêntico). Essa imagem final será, então, virtual, direita e maior (em relação a i_O). Finalmente, o fator de ampliação linear resultante é dado por

$$A = \frac{i_F}{o}$$

$$A = \frac{i_F}{o} \cdot \frac{i_O}{i_O}$$

$$A = \frac{i_O}{o} \cdot \frac{i_F}{i_O}$$

$$A = A_{\text{objetiva}} \cdot A_{\text{ocular}}$$

ou seja, pelo produto dos fatores de ampliação de cada lente. É comum microscópios ópticos modernos terem fator de ampliação total da ordem de 1000 (em módulo).

2.3 Luneta astronômica (telescópio de refração)

Enquanto o microscópio é um instrumento óptico que permite a observação de objetos próximos, porém muito pequenos, a *luneta astronômica* permite a observação de objetos bastante grandes, mas que estão muito distantes, como planetas e estrelas. A luneta astronômica também é conhecida como *telescópio de refração* (ou *refrator*), uma vez que seu funcionamento baseia-se nas propriedades de lentes, como veremos.

Assim como o microscópio (composto), a luneta astronômica consiste essencialmente em uma associação de duas lentes convergentes coaxiais (ou seja, cujos eixos focais coincidem): a objetiva e a ocular. Porém, no caso da luneta, o objeto de interesse encontra-se tipicamente a uma distância enorme da lente objetiva, de modo que sua imagem forma-se aproximadamente no plano focal daquela lente, como ilustra a figura 4 (esquematizada e fora de escala).

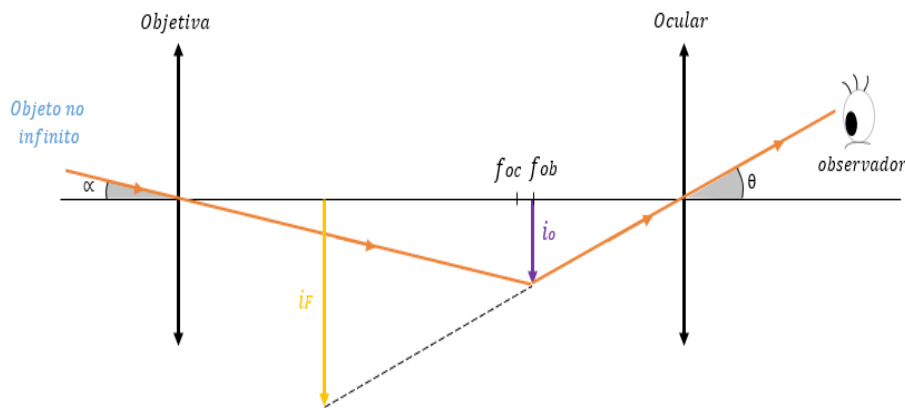


Figura 4: Formação da imagem em uma luneta astronômica. O objeto, muito distante, está à esquerda da lente objetiva. No desenho, está representado um raio luminoso que parte de uma das extremidades do objeto, fazendo um ângulo α com o eixo óptico na luneta (ângulo visual). Por simplicidade, supomos que a outra extremidade do objeto encontra-se sobre o eixo óptico. A imagem formada pela lente objetiva (i_o) está contida no plano focal daquela lente. Note que o foco principal da lente ocular (f_{oc}) está ligeiramente à esquerda de i_o . A lente ocular, então, funciona como uma lupa para i_o , que faz o papel de objeto para aquela lente (está representado apenas um dos raios luminosos que partem de i_o). O resultado é uma imagem final (i_F) mais próxima e com ângulo visual $\theta > \alpha$.

É claro que a imagem formada será bem menor que o objeto, mas isso não é um problema. De fato, essa é outra diferença fundamental entre o microscópio e a luneta astronômica: esta não tem como propósito a ampliação linear do objeto, mas sim formar uma imagem daquele que esteja mais próxima e com um ângulo visual maior. Para que isso aconteça, é necessário que a distância focal da lente objetiva seja maior que a distância focal da lente ocular.

Cabe aqui fazer uma pausa para explicarmos brevemente o que se pretende dizer com *ângulo visual*. Ângulo visual de um dado objeto (real ou virtual) é o ângulo formado entre os raios luminosos que partem das extremidades daquele objeto e cruzam-se no ponto a partir do qual ele é observado. Desse modo, quanto maior a distância entre um dado objeto e quem o observa, menor será o ângulo visual, fazendo com que o objeto pareça ser menor, e vice-versa, como ilustrado na figura 5.

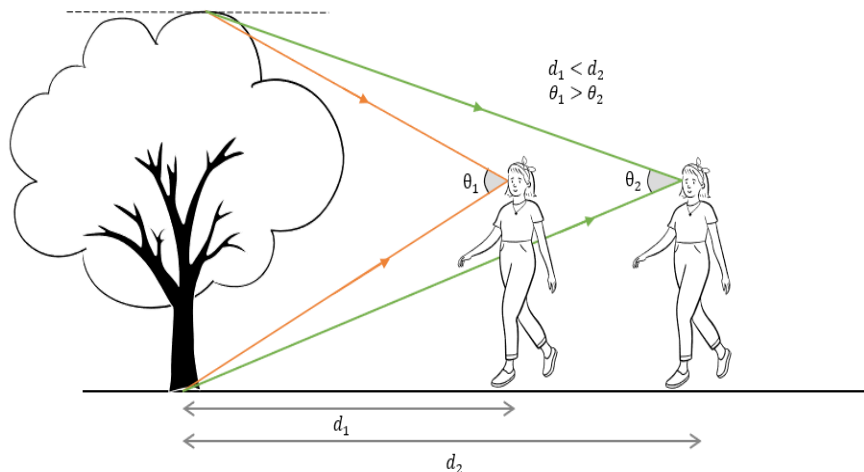


Figura 5: Ângulos visuais diferentes devido a distâncias diferentes.

Voltando à figura 4, note que, mais uma vez, a imagem conjugada pela objetiva fará o papel de objeto para a lente ocular. As lunetas costumam ser construídas de maneira que essa “imagem objeto” fique entre o foco e o centro óptico da lente ocular, como no microscópio, mas muito próxima do foco, quase coincidindo com a posição daquele. O resultado é uma imagem final virtual, direita e maior (em relação a i_o).

Note que o ângulo visual θ é de fato maior que o ângulo visual original α . A luneta apresenta um *aumento angular* em vez de um aumento linear, pois o tamanho real do objeto é muito maior que o da imagem final obtida. Podemos definir o *aumento angular* (ou *aumento visual*, ou ainda *aumento do ângulo visual*), denotado pela letra G , como a razão entre aqueles ângulos:

$$G = \frac{\theta}{\alpha}$$

Como o objeto está muito distante, tanto θ como α são ângulos muito pequenos (esses ângulos foram exagerados na figura 4 a fim de facilitar a visualização). Portanto, a razão entre eles é aproximadamente igual à razão entre suas respectivas tangentes (teste isso com uma calculadora!). Sendo assim, podemos escrever

$$G \approx \frac{\tan\theta}{\tan\alpha}$$

Finalmente, como os focos principais das duas lentes estão muito próximos, podemos fazer mais uma aproximação e considerá-los como coincidentes no cálculo das tangentes acima. Ficamos com

$$G \approx \frac{i_o/f_{ocular}}{i_o/f_{objetiva}}$$

$$G \approx \frac{f_{objetiva}}{f_{ocular}},$$

onde f_X denota a distância focal da lente X . Perceba que, como havíamos antecipado, para que $G > 1$ é necessário que $f_{objetiva} > f_{ocular}$.

2.4 Telescópio de reflexão

O *telescópio de reflexão* (ou *refletor*) é um instrumento óptico de observação com um funcionamento muito semelhante ao da luneta astronômica. A principal diferença é que, no telescópio, o elemento que fica voltado para o objeto observado não é uma lente objetiva, mas um espelho curvo (esférico ou parabólico). Como espelhos envolvem o fenômeno da reflexão, essa aparece no nome desse instrumento óptico.

Em geral, quando alguém se refere a um telescópio, o que se tem em mente é um telescópio de reflexão. De fato, a grande maioria dos telescópios é desse tipo, já que ele facilita a obtenção de imagens mais nítidas dos objetos observados. A razão para isso é que o índice de refração de um material depende do comprimento de onda da radiação incidente (lembre-se do que vimos para o prisma e o arco-íris), o que provoca o fenômeno conhecido como *aberração cromática*, quando um feixe de luz composto (por exemplo, luz branca) passa por uma lente (veja a figura 6). Por outro lado, a reflexão em um espelho dá-se da mesma maneira para todos os comprimentos de onda no espectro da luz visível.

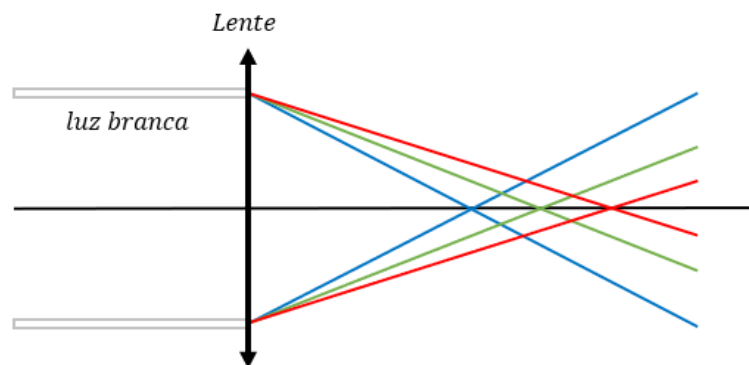


Figura 6: Aberração cromática. Raios luminosos de cores (comprimentos de onda) diferentes convergem para pontos diferentes, comprometendo a nitidez da imagem.

Existem diversos modelos de telescópios refletores. Na figura 7, está esquematizado o funcionamento de um telescópio do tipo newtoniano. No esquema, o objeto (muito distante) está diretamente acima do espelho côncavo (E_1). Além desse espelho, primário, há um espelho secundário (E_2), que é plano e faz um ângulo de 45° com o eixo do espelho primário. O espelho secundário é posicionado um pouco abaixo do foco do espelho primário. Por fim, uma lente ocular (L) faz, mais uma vez, o papel de lupa, aumentando a imagem produzida pelos espelhos.

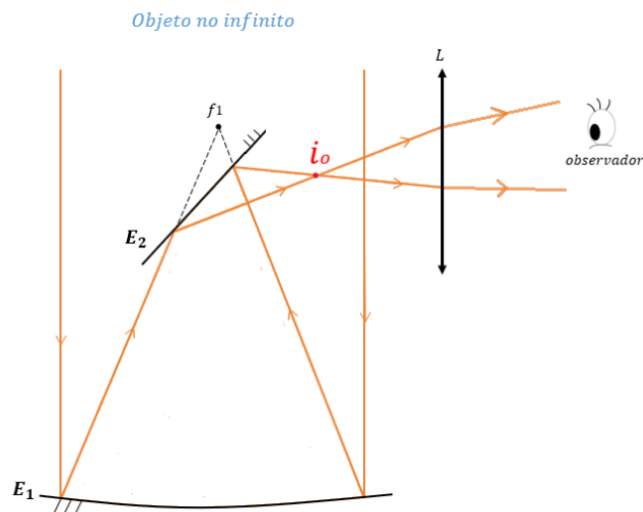


Figura 7: Esquema de funcionamento de um telescópio de reflexão newtoniano. Raios luminosos provenientes de um objeto infinitamente distante são refletidos pelo espelho côncavo E_1 em direção ao seu foco (f_1). Antes de atingi-lo, porém, os raios são refletidos mais uma vez, pelo espelho plano E_2 , formando uma imagem real na vizinhança do ponto i_o . Finalmente, i_o faz papel de objeto para uma lupa (L).

3. Instrumentos de projeção

3.1 Câmera fotográfica

Como um primeiro exemplo de instrumento óptico de projeção, vamos estudar a *câmera fotográfica*, com a qual você certamente tem alguma familiaridade. A câmera fotográfica é essencialmente um aperfeiçoamento da câmara escura, que estudamos no módulo 1. Você deve lembrar que a câmara escura é uma caixa feita de um material opaco e que apresenta uma pequena abertura (orifício) em uma de suas faces. Esse dispositivo permite projetar uma imagem real, invertida e menor que um dado objeto posicionado em frente ao orifício da caixa, como ilustra a figura 8.

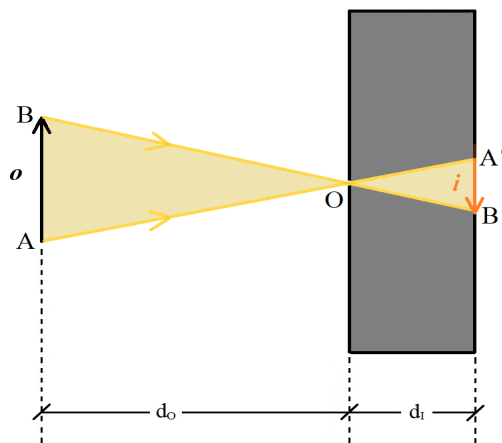


Figura 8: Formação da imagem (i) de um objeto luminoso (o) em uma câmara escura.

De fato, *todo instrumento óptico de projeção produz **imagens reais***, uma vez que somente esse tipo de imagem pode ser projetada em um anteparo (imagens virtuais são formadas por prolongamentos de raios luminosos, não pelos raios luminosos em si).

Voltando à câmara escura, é possível perceber que, quanto menor o orifício, mais nítida é a imagem formada (pois cada ponto dessa corresponde a uma porção cada vez menor do objeto, evitando sobreposições de raios luminosos). Por outro lado, um orifício menor também implica uma menor quantidade de raios luminosos entrando na câmara, que, por sua vez, implica uma imagem mais fraca (luz de menor intensidade).

A solução desse problema é o primeiro passo que leva da câmara escura em direção à câmera fotográfica. Com efeito, para aumentar a quantidade de raios luminosos que formam a imagem projetada sem comprometer sua nitidez, basta colocar, na abertura da câmara, uma lente objetiva convergente, como se vê na figura 9.

Na verdade, a introdução de uma única lente levaria à aberração cromática, como mencionamos na seção 2.4. Para corrigir (ou ao menos reduzir) esse defeito, a objetiva geralmente consiste em uma associação de lentes justapostas, de modo que a vergência equivalente do sistema (dada pela soma das vergências de cada lente) seja positiva. No entanto, o sistema resultante é tratado como uma única lente convergente.

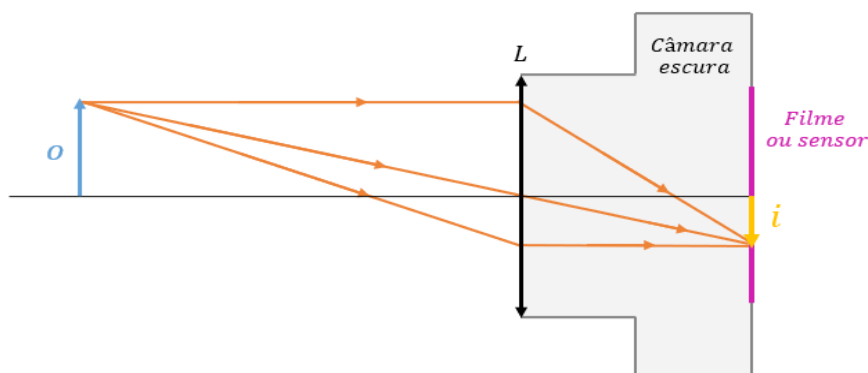


Figura 9: Formação da imagem de um objeto luminoso em uma câmera fotográfica. Note que a câmera fotográfica consiste essencialmente em uma câmara escura com uma lente convergente (L) em sua abertura e um filme ou sensor fotossensível em seu fundo.

Note também que, assim como no caso da câmara escura, a imagem formada é real, invertida e menor que o objeto fotografado.

Finalmente, para que a câmera fotográfica cumpra o seu propósito, é necessário incluir na face da câmara escura em que a imagem é formada um material sensível à luz, como um filme fotográfico (no caso de uma câmera analógica) ou um sensor digital (como nas câmeras mais modernas dos *smartphones*), para que seja possível guardar aquela imagem na forma de uma fotografia.

3.2 Projetor de *slides* (diapositivos)

Outro exemplo bastante comum de instrumento óptico de projeção é o chamado *projetor de slides* ou *projetor de diapositivos*. Um *slide* (ou diapositivo) consiste, originalmente, em uma imagem fotográfica gravada em uma pequena lâmina transparente, ou seja, de maneira que a luz consiga atravessá-la. Mais recentemente, com o advento dos projetores multimídia (como o *datashow*), pensamos em um *slide* como uma das páginas de um arquivo digital, que vai ser transformado em luz por algum dispositivo eletrônico.

Neste texto, contudo, vamos nos concentrar no funcionamento dos projetores antigos (analógicos). Estes são (ou eram) compostos essencialmente por uma lâmpada potente, um espelho esférico côncavo e uma lente convergente, como esquematizado na figura 10. O espelho tem a finalidade de aproveitar ao máximo a luz emitida pela lâmpada, que, por esse motivo, é posicionada próximo ao centro de curvatura do espelho. A luz emitida pela lâmpada ilumina o *slide*, que faz, então, o papel de um objeto luminoso. Como o *slide* é transparente, os raios luminosos o atravessam e atingem a lente convergente, que finalmente projeta a imagem em um anteparo (ou seja, uma parede, uma tela ou qualquer superfície opaca que favoreça o contraste de cor com a imagem projetada). Note que a imagem projetada é real, maior e invertida em relação ao objeto contido no *slide*.

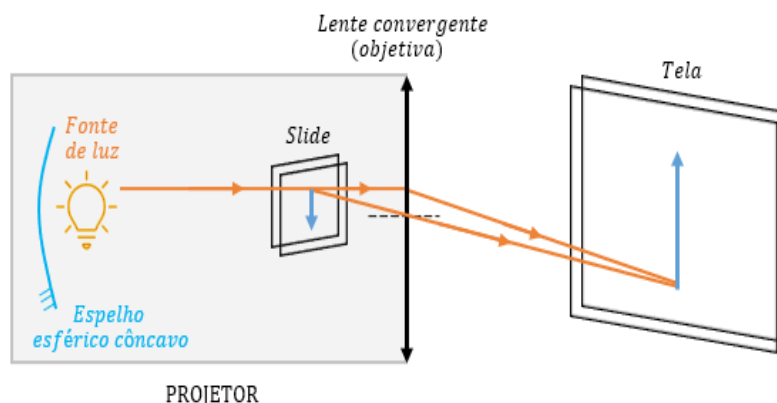


Figura 10: Esquema simplificado do projetor de *slides*.

As imagens contidas nos *slides* são estáticas. Entretanto, ao se fazer trocas rápidas de *slides* com imagens parecidas, cria-se a impressão de movimento. Esse é o princípio por trás do cinema!

3.3 Retroprojetor

O último exemplo que mencionaremos aqui (note que há vários outros que deixamos de fora!) é o instrumento óptico conhecido como *retroprojetor*. Seu propósito é essencialmente o mesmo do projetor de *slides*, mas seu funcionamento é um pouco diferente. Em vez de um pequeno *slide*, a imagem que se deseja projetar é impressa (ou desenhada ou escrita) em uma folha feita de material transparente, que é chamada de *transparência*.

No retroprojektor, a luz que ilumina a transparência vem de baixo, passa pela transparência, por uma lente convergente e, então, é refletida em um espelho plano, até finalmente ser projetada em um anteparo vertical. A figura 11 ilustra esse funcionamento. Note que a imagem conjugada pela lente faz o papel de objeto (virtual) para o espelho plano. Para que a imagem projetada no anteparo seja nítida, é preciso ajustar cuidadosamente a distância entre a transparência e a lente.

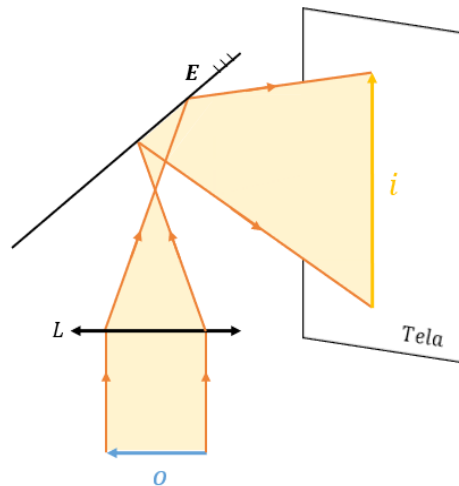


Figura 11: Esquema simplificado de um retroprojektor em funcionamento. No desenho, o objeto (o) representa a transparência cujo conteúdo se deseja projetar.

4. Referências

[1]

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/15/Magnifying_Glass_Photo.jpg

(Figura 1, acesso em 20/01/2021)