

Material teórico – Óptica Geométrica I

Conceitos Básicos de Óptica Geométrica

Segundo Ano do Ensino Médio

Autor: Thales Azevedo

Revisor: Lucas Lima



**Portal
da Física
OBMEP**

1. Introdução

Neste primeiro módulo, vamos iniciar o estudo da **Óptica Geométrica**, que é o ramo da Física que estuda os fenômenos luminosos através da Geometria. Talvez você já tenha ouvido falar que a luz consiste em uma onda eletromagnética e, portanto, de um ponto de vista fundamental, devemos tratar os fenômenos luminosos como fenômenos ondulatórios. Embora tais afirmações sejam corretas (pelo menos no domínio da Física Clássica), a grande maioria dos fenômenos luminosos observados no nosso dia a dia pode ser descrita sem que precisemos fazer nenhuma menção ao fato de a luz ser uma onda, mas apenas fazendo uso de um conjunto de princípios e leis empíricas, como veremos ao longo deste e dos próximos textos.

2. Conceitos iniciais

No âmbito da Óptica Geométrica, a luz é representada por meio de linhas orientadas indicando a direção e o sentido de sua propagação. Essas linhas são chamadas de **raios luminosos** (veja a figura 1).

Os corpos de onde partem os raios luminosos analisados em uma dada situação são denominados **fontes luminosas**. Quanto à sua capacidade de emitir luz, uma dada fonte pode ser classificada em uma das duas categorias: **fonte primária**, quando emite luz por conta própria (por exemplo, o Sol, a chama de uma vela ou uma lâmpada acesa), ou **fonte secundária**, quando precisa ser iluminada por uma outra fonte para poder emitir luz (por exemplo, a Lua, os planetas em geral ou uma parede branca). Por esse motivo, também podemos chamar fontes primárias de *corpos luminosos* e fontes secundárias de *corpos iluminados*.

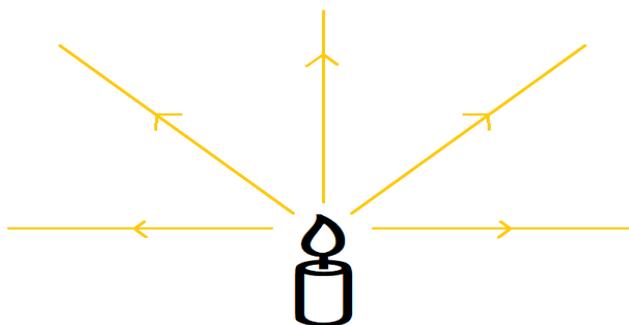


Figura 1: Raios luminosos representando a luz emitida pela chama de uma vela.

Além disso, podemos também classificar uma dada fonte de acordo com as suas dimensões relativas. Se as dimensões da fonte forem desprezíveis quando comparadas às dimensões envolvidas em uma dada situação, diremos que a fonte é **pontual** (por exemplo, a chama de uma vela, quando observada de uma distância muito maior que a altura da chama). Caso contrário, ou seja, quando as dimensões da fonte forem relevantes para a análise de uma dada situação, diremos se tratar de uma fonte **extensa** (por exemplo,

uma lâmpada fluorescente tubular que ilumina objetos próximos a ela). Note que uma mesma fonte luminosa pode ser considerada pontual ou extensa, a depender do contexto.

Para completar essa parte de conceitos iniciais, falta apenas classificar os meios em que a luz pode ou não se propagar. Tais meios existem em três diferentes tipos:

- **Meio transparente:** o vácuo ou um material que permite a passagem de luz com nitidez (por exemplo, o ar ou um vidro limpo);
- **Meio translúcido:** um material que permite a passagem parcial da luz (por exemplo, o papel vegetal ou um lençol fino);
- **Meio opaco:** um material que impede totalmente a passagem da luz (por exemplo, a madeira ou a cortiça).

3. Princípios da Óptica Geométrica

Como se dá a propagação da luz? No contexto da Óptica Geométrica, essa pergunta é respondida com base em um pequeno conjunto de princípios, os quais listamos abaixo.

- Princípio da propagação retilínea:** nos meios transparentes e homogêneos (ou seja, cujas características são exatamente as mesmas em todos os seus pontos), a luz propaga-se em linha reta. Tal princípio leva aos conceitos de *sombra* e *penumbra*, além de estar por trás do funcionamento de uma *câmara escura*, como veremos na próxima seção.
- Princípio da reversibilidade:** se é possível que a luz percorra uma dada trajetória em um sentido, então também é possível que a luz percorra a mesma trajetória no sentido oposto. A figura 2 ilustra esse princípio. No cotidiano, tal princípio está relacionado ao fato de que, em geral, se você consegue ver o rosto de uma outra pessoa através de um espelho, então aquela pessoa também consegue ver seu rosto.
- Princípio da independência:** um determinado raio luminoso não sofre influência de outros raios luminosos que porventura possam haver na sua vizinhança. Mesmo na ocorrência de cruzamento de dois ou mais raios luminosos, cada um segue seu trajeto como se os outros não existissem. Esse princípio é ilustrado na figura 3.

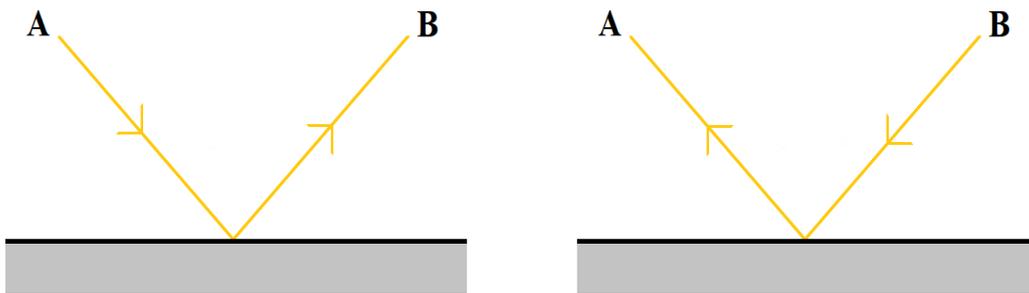


Figura 2: No lado esquerdo, uma fonte pontual **A** emite um raio luminoso que, após sofrer um desvio na superfície horizontal, atinge um ponto **B**. No lado direito, uma fonte pontual **B** emite um raio luminoso que, após sofrer um desvio na superfície horizontal, atinge um ponto **A**. Note que, devido ao princípio da reversibilidade, as trajetórias nos dois casos são idênticas, mudando apenas o sentido do percurso. Em outras palavras, se não representarmos o sentido do raio luminoso na figura, não temos como saber de onde ele foi emitido.

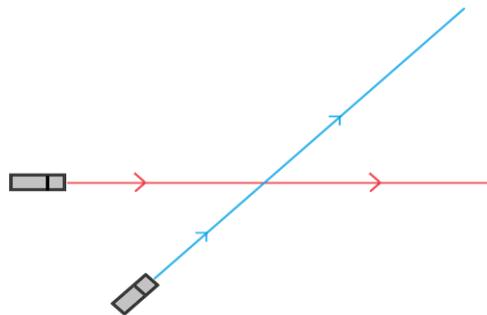


Figura 3: Ilustração do princípio da independência dos raios luminosos. O fato de os raios luminosos azul e vermelho se cruzarem não altera as suas trajetórias ou propriedades.

4. Aplicações

Vamos agora analisar as consequências dos princípios apresentados acima quando aplicados a determinadas situações.

4.1 Câmara escura

Considere uma caixa feita de um material opaco e que apresenta uma pequena abertura em uma de suas faces. Esse sistema é conhecido como uma câmara escura, devido ao fato de que seu interior é muito pouco iluminado pelos raios luminosos provenientes do exterior, e demonstra o princípio de funcionamento das câmeras fotográficas.

Para entender essa conexão, suponha que um objeto luminoso o seja posicionado de frente para a face da câmara escura que contém o orifício (O), a uma distância d_o daquela, conforme representado na figura 4. Nessa situação, os raios luminosos emitidos por o que penetram a câmara através de seu orifício acabam por formar uma imagem i , invertida (“de cabeça para baixo”) e menor que o objeto, na face oposta ao orifício. Perceba que o fato de a imagem ser invertida é uma consequência direta do princípio de propagação retilínea da luz: o raio luminoso que forma a extremidade inferior da imagem (B') provém da extremidade superior do objeto (B).

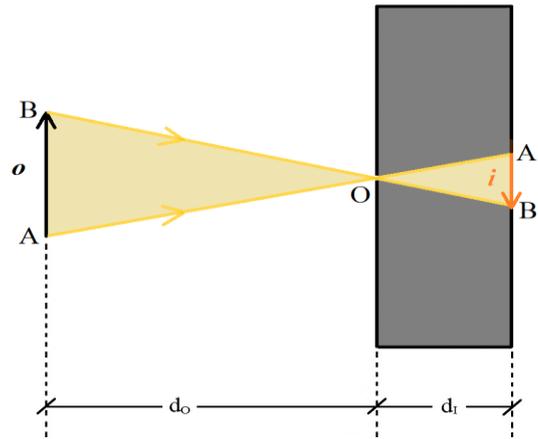


Figura 4: Formação da imagem (i) de um objeto luminoso (o) em uma câmara escura.

Podemos relacionar o tamanho da imagem formada com o tamanho do objeto luminoso, a distância deste ao orifício (d_o) e à profundidade da caixa (d_i). De fato, a figura 4 permite-nos concluir que os triângulos ABO e A'B'O são semelhantes, uma vez que os ângulos internos opostos pelo vértice em O são iguais, e as bases AB e A'B' são paralelas. Sendo assim, a razão entre a base e a altura de cada triângulo tem que dar o mesmo resultado, ou seja,

$$\frac{AB}{d_o} = \frac{A'B'}{d_i}$$

$$\frac{o}{d_o} = \frac{i}{d_i}$$

$$\Rightarrow i = \frac{d_i}{d_o} o.$$

Como $d_i < d_o$, vemos que de fato $i < o$, ou seja, a imagem é menor que o objeto.

Por fim, se colocamos na face da câmara escura onde a imagem é formada um material sensível à luz, como um filme fotográfico, então é possível em princípio guardar aquela imagem na forma de uma fotografia.

4.2 Sombra e penumbra

O princípio da propagação retilínea da luz implica que, em geral, quando houver um anteparo opaco na vizinhança de uma fonte luminosa, haverá uma região que os raios luminosos provenientes daquela fonte não conseguem penetrar. Essa região que não recebe luz é denominada **sombra**.

Considere, por exemplo, a situação ilustrada na figura 5. Nela, os raios luminosos provenientes do Sol não são capazes de iluminar as regiões posteriores a um edifício e a uma pessoa que está de pé, ou seja, há duas regiões de sombra na figura.

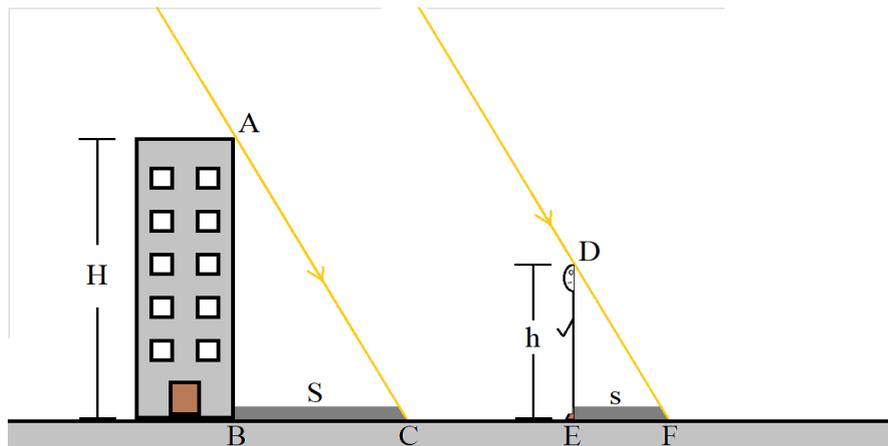


Figura 5: Regiões de sombra atrás de um edifício de altura H (sombra de comprimento S) e de uma pessoa de altura h (sombra de comprimento s), iluminados pela luz solar. A altura da pessoa foi exagerada para facilitar a visualização de sua sombra.

É interessante notar que, nessa situação, é possível determinar a altura do edifício se conhecermos (ou medirmos) os comprimentos das sombras e a altura da pessoa que está de pé. De fato, considerando que os raios luminosos que vêm do Sol chegam à Terra praticamente paralelos entre si (uma vez que a distância entre a Terra e o Sol é grande demais para que haja qualquer diferença relevante na direção daqueles raios), temos que os triângulos ABC e DEF na figura 5 são semelhantes. Portanto, a razão entre a base e a altura de cada triângulo tem que dar o mesmo resultado, ou seja,

$$\begin{aligned}\frac{EF}{DE} &= \frac{BC}{AB} \\ \frac{s}{h} &= \frac{S}{H} \\ \Rightarrow H &= \frac{S}{s}h.\end{aligned}$$

Por fim, quando a fonte luminosa em questão for uma fonte extensa, a presença de um anteparo opaco na sua vizinhança vai dar origem a, além de uma região de sombra,

uma região que é parcialmente iluminada, denominada **penumbra**. A figura 6 ilustra essa situação.

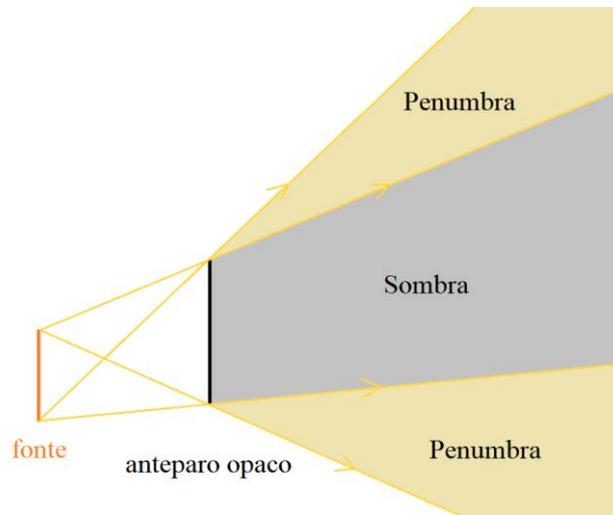


Figura 6: Ilustração dos conceitos de sombra e penumbra. Enquanto pontos na região de sombra não recebem raios luminosos de nenhuma parte da fonte, devido à presença do anteparo opaco, os pontos na região de penumbra são parcialmente iluminados, recebendo raios luminosos oriundos de alguma porção da fonte (quanto mais próximos da região de sombra, menor é essa porção). Os demais pontos na figura (região em branco) são iluminados por raios luminosos provenientes de todos os pontos da fonte.