



# ÓPTICA



2020 - 2022





# ÓPTICA

Descubra os segredos da natureza da luz e veja como podemos aplicar os fenômenos de reflexão e refração para compreender o funcionamento de espelhos, lentes, instrumentos ópticos e até mesmo do olho humano!

**Esta subárea é composta pelos módulos:**

1. Introdução à Óptica
2. Propriedades da Luz
3. Reflexão da Luz
4. Espelhos Esféricos
5. Refração da Luz
6. Reflexão Total
7. Lâminas de Faces Paralelas e Prismas
8. Lentes
9. Instrumentos Ópticos
10. Estudo do Olho Humano



# INTRODUÇÃO À ÓPTICA

## OS ESTUDOS DE ISAAC NEWTON SOBRE A LUZ

Isaac Newton ficou famoso não por suas leis do movimento, e nem mesmo por causa de sua lei da gravitação universal. Newton começou a ganhar fama com seus estudos sobre a luz. Por volta de 1665, quando estudava imagens de corpos celestes formadas por uma lente, Newton notou que havia uma coloração nas bordas da imagem. A fim de estudar melhor o fenômeno, ele escureceu a sala, permitindo que a luz solar entrasse apenas por uma pequena abertura circular na janela e produzisse uma mancha circular luminosa sobre a parede oposta. Ele então posicionou um prisma triangular de vidro no feixe de luz e observou que a luz branca separava-se nas cores de um arco-íris.

Newton mostrou que, dentro de um feixe de luz solar, havia todas as cores do arco-íris. A luz branca é uma composição das cores do arco-íris. E mais, ele mostrou que

um arco-íris nada mais é que o resultado da dispersão análoga da luz solar em pequenas gotas de água que existem no céu. Com um segundo prisma, Newton descobriu que essas cores poderiam ser recombinadas para formar luz branca novamente. Na meia-idade, ele foi eleito para a Royal Society, onde exibiu o primeiro telescópio refletor do mundo. Este ainda pode ser visto, preservado na biblioteca da Royal Society, em Londres, com a inscrição: “O primeiro telescópio refletor, inventado por Sir Isaac Newton, confeccionado por suas próprias mãos”.



Réplica do telescópio de Isaac Newton. O telescópio newtoniano é também chamado de telescópio refletor, por possuir espelhos planos refletores em seu funcionamento.

A óptica é a parte da física que estuda os fenômenos da luz. É dividida em duas subáreas: a óptica geométrica e a óptica física.

A óptica geométrica trata particularmente de fenômenos com enfoque nas trajetórias seguidas pela luz, que se comportam como raios. Os fenômenos mais conhecidos são reflexão e refração.

Já a óptica física estuda os fenômenos ópticos que exigem uma teoria sobre a natureza da luz. Algumas das aplicações da óptica são:

- ▶ Correção de defeitos da visão;
- ▶ Construção de instrumentos de observação: lupas, microscópios, periscópios,



lunetas e telescópios;

- ▶ Fixação de imagens (fotografia e cinematografia);
- ▶ Construção de equipamentos de iluminação;
- ▶ Medidas geométricas de alta precisão (interferômetros).

## A NATUREZA DA LUZ

Desde a Antiguidade, alguns filósofos gregos acreditavam que a luz fosse constituída de pequenas partículas que se propagavam em linha reta com velocidade muito alta. Essas ideias prevaleceram durante vários séculos até que, por volta de 1500, Leonardo da Vinci percebeu a semelhança entre a reflexão da luz e o fenômeno do eco e levantou a hipótese de que a luz, como o som, poderia ser um tipo de movimento ondulatório.

Essas duas concepções sobre a natureza da luz deram origem, no século XVII, a duas grandes correntes do pensamento científico: uma delas liderada por Newton, favorável à ideia de que a luz era constituída de partículas (o famoso modelo corpuscular da luz), e a outra liderada por Christiaan Huygens, defendendo a hipótese de que a luz seria uma onda (modelo ondulatório da luz). Então, vamos entender um pouquinho o que cada modelo explica!

▶ **Modelo corpuscular da luz:** analisando a reflexão da luz, pequenas esferas colidem elasticamente contra uma superfície lisa, sendo refletidas de tal modo que o ângulo de incidência é igual ao ângulo de reflexão. Portanto, em relação ao fenômeno de reflexão, é válido considerar um feixe de luz como constituído por um conjunto de partículas.

▶ **Modelo ondulatório da luz:** esse modelo também conseguia explicar satisfatoriamente a reflexão e a refração da luz. Uma onda é de fato capaz de sofrer reflexão e refração. Além disso, também foi possível observar o fenômeno de interferência da luz.

## A VELOCIDADE DA LUZ

A velocidade da luz é a maior velocidade que existe na natureza, com o incrível valor de 300.000 km/s. Isso significa que em apenas 1 segundo a luz percorre uma distância de 300.000 km. Geralmente, representamos o valor da velocidade da luz no SI, em m/s, que vale 300.000.000 m/s ( $3 \times 10^8$  m/s). A velocidade da luz é denotada pelo símbolo  $c$ .

## CORES

Para os físicos, as cores de um objeto não estão nas substâncias dos próprios objetos, ou mesmo na luz que eles emitem ou refletem. A cor é uma experiência fisiológica e reside no olho do espectador. Portanto, quando dizemos que a luz de uma rosa é



vermelha, queremos dizer que ela aparece como vermelha. Muitos organismos, o que inclui pessoas com visão deficiente para cores, não enxergam as rosas como vermelhas de jeito nenhum.

As cores que vemos dependem da frequência da luz incidente. Luzes com frequências diferentes são percebidas em diferentes cores; a luz de frequência mais baixa que podemos detectar aparece para a maioria das pessoas como a cor vermelha, e as de mais alta frequência, como violeta. Entre elas, existe uma faixa com um número infinito de matizes que formam o espectro de cor de um arco-íris. Por convenção, esses matizes são agrupados em sete cores, vermelho, laranja, amarelo, verde, azul, índigo (anil) e violeta. Juntas, essas cores aparecem como o branco. A luz branca do Sol é uma composição de todas as frequências visíveis.

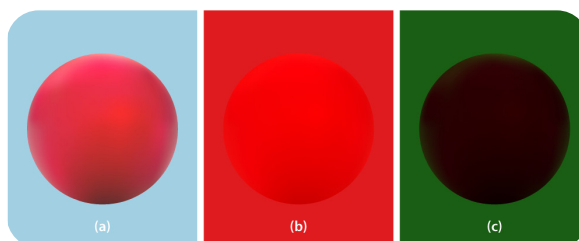


Com exceção de fontes luminosas, tais como lâmpadas e lasers, a maior parte dos objetos que nos rodeiam refletem luz melhor do que a emitem. Eles refletem apenas parte da luz que incide neles, a parte responsável por suas cores.

Materiais diferentes possuem diferentes frequências naturais para absorver e emitir radiação. Num determinado material, os elétrons oscilam facilmente em certas frequências; noutro material, oscilam mais facilmente em outras frequências. Normalmente, um material absorve luz de certas frequências e reflete o restante.

Se um material absorve a maior parte da luz visível que nele incide, mas reflete o vermelho, por exemplo, ele aparece como vermelho. Eis porque as pétalas de uma rosa são vermelhas e seu caule, verde. Os átomos que formam as pétalas absorvem toda a luz visível, com exceção do vermelho, que é refletido; os átomos do caule absorvem todas as luzes com exceção do verde, que também é refletido.

Um objeto que reflita luz de todas as frequências visíveis, como a parte branca desta página, aparece com a cor da luz que incide nele. Se um material absorve toda a luz que nele incide, nada refletindo, ele aparece em preto.

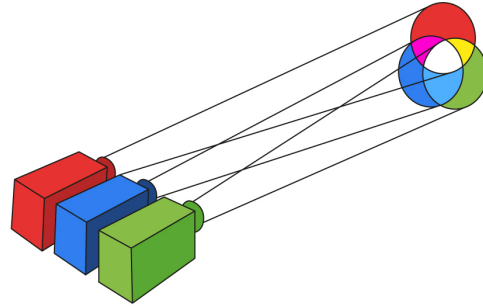


(a) A bola vermelha vista sob luz branca. A cor vermelha se deve ao fato de a bola refletir somente a parte vermelha da luz que a ilumina. O restante da luz é absorvida pela superfície. (b) A bola vermelha vista sob luz azul. (c) A bola azul vista sob luz verde. Ela parece preta porque sua superfície absorve luz verde – não existe uma fonte de luz vermelha que ela possa refletir.

A combinação de todas as cores forma o branco. Curiosamente, a percepção do branco também resulta da combinação apenas de luzes vermelha, verde e azul.



Projete luzes vermelha, verde e azul sobre uma tela branca. Onde houver superposição das três luzes, será produzido o branco. Onde houver superposição de duas dessas três cores, outra cor será produzida. Na linguagem dos físicos, luzes que se superpõem estão sendo adicionadas umas às outras. Assim, dizemos que as luzes vermelha, verde e azul adicionam-se para produzir a luz branca, e que quaisquer duas dessas três cores adicionam-se para produzir alguma outra cor. Variando as proporções de vermelho, verde e azul, cores às quais nossos três tipos de cones são sensíveis, produz-se qualquer cor do espectro. Por essa razão, o vermelho, o verde e o azul são chamadas de cores primárias aditivas. Este sistema de cores, conhecido pelas iniciais inglesas RGB (Red-Green-Blue), é usado nos monitores de computador e de TV. Pontos vermelhos, verdes e azuis criam a imagem. Ciano, amarelo e magenta aparecem onde pares de pontos se superpõem.



**Cores complementares:** eis aqui o que acontece quando duas das três cores primárias aditivas são combinadas:

**Vermelho + Azul = Magenta**

**Vermelho + Verde = Amarelo**

**Azul + Verde = Ciano**

Dizemos que o magenta é o oposto do verde; o ciano é o oposto do vermelho; e o amarelo é o oposto do azul. Agora, se adicionarmos cada uma dessas cores às suas opostas, obtemos o branco.

**Magenta + Verde = Branco (= Vermelho + Azul + Verde)**

**Amarelo + Azul = Branco (= Vermelho + Verde + Azul)**

**Ciano + Vermelho = Branco (= Azul + Verde + Vermelho)**

Quando duas cores são adicionadas, produzindo branco, elas são chamadas de cores complementares.

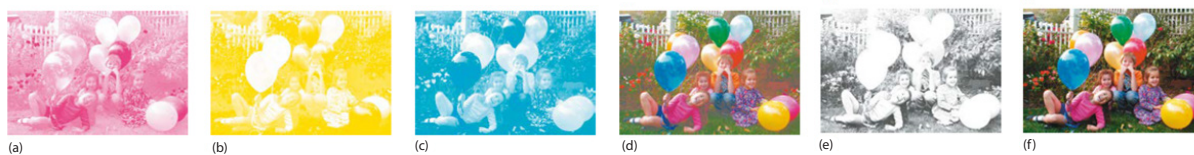
## MISTURANDO PIGMENTOS COLORIDOS

Todo artista sabe que, se misturar tintas vermelha, verde e azul, o resultado não será branco, mas uma cor marrom-escura. Tintas vermelha e verde certamente não se combinam formando o amarelo, como diz a regra da mistura de luzes coloridas. Misturar pigmentos de tintas e de corantes é completamente diferente do que misturar luzes. Os pigmentos são minúsculas partículas que absorvem cores específicas.



Por exemplo, os pigmentos que produzem a cor vermelha absorvem a cor complementar ciano. Portanto, alguma coisa pintada de vermelho absorve principalmente o ciano, razão pela qual ela reflete o vermelho. Com efeito, o ciano foi subtraído da luz branca. Algo pintado de azul absorve o amarelo e também reflete todas as cores, menos o amarelo. Se retirarmos o amarelo do branco, obteremos o azul. As cores magenta, ciano e amarelo são as cores subtrativas primárias. A variedade de cores que você vê em fotografias coloridas e livros são o resultado de grãos magenta, ciano e amarelo. A luz branca ilumina o livro e as luzes correspondentes a determinadas frequências são subtraídas da luz refletida. As regras da subtração de cores diferem das regras da adição de luzes.

A impressão colorida é uma aplicação interessante da mistura de cores. Três fotografias (separações de cores) são tiradas da ilustração a ser impressa: uma usando um filtro magenta, outra usando um filtro amarelo, e uma terceira usando um filtro ciano. Cada um dos três negativos possui um padrão diferente das áreas expostas que correspondem aos filtros usados e à distribuição de cor na ilustração original. A luz incide através desses filtros negativos sobre placas metálicas especialmente tratadas para reter a tinta de impressão apenas em áreas que foram expostas à luz. Os depósitos de tinta são regulados em diferentes partes da placa por minúsculos pontos. Impressoras a jato de tinta depositam várias combinações de tintas magenta, ciano, amarelo e preto. Este é o sistema de impressão CMYK (sigla inglesa para cyan, magenta, yellow e black, simbolizado pela letra K).



Apenas quatro cores de tinta são usadas para imprimir ilustrações e fotografias coloridas – (a) magenta, (b) amarelo, (c) ciano e (d) preto. Quando o magenta, o amarelo e o ciano são combinados, eles produzem (d). A adição do preto (e) produz o resultado final, (f).

## FONTES DE LUZ

São considerados fontes de luz todos os objetos dos quais se pode receber luz. Existem duas categorias de fontes de luz: a primária e a secundária.

**Fontes primárias:** são os corpos que emitem luz própria. Exemplos: Sol, a chama de uma vela, lâmpadas acesas.



**Fontes secundárias:** são os corpos que enviam a luz que recebem de outras fontes, isto é, refletem a luz. Exemplos: Lua, nuvens, árvores, você.



Uma fonte de luz é considerada pontual (ou puntiforme) quando suas dimensões são desprezadas. A grande maioria das estrelas observadas da Terra são



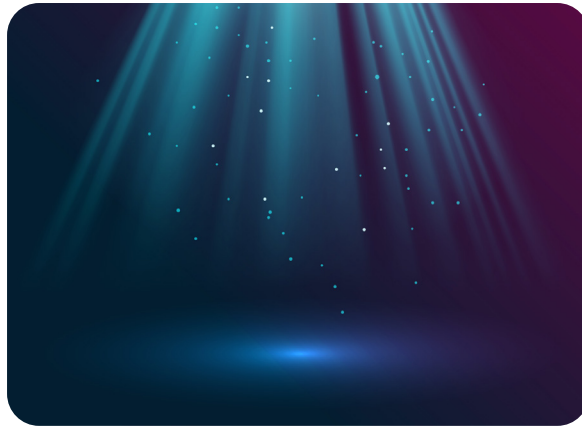
consideradas como uma fonte pontual de luz. Embora as dimensões dessas estrelas sejam enormes, as distâncias que as separam de nosso planeta são muito maiores.

Fontes de luz extensas são aquelas cujas dimensões não são desprezíveis, como é o caso do Sol.

## PRINCÍPIOS DA ÓPTICA GEOMÉTRICA

**Princípio da propagação retilínea da luz:** em meios homogêneos, a luz se propaga em linha reta. Sabendo desse fato, é possível determinar o tamanho e a posição da sombra de um objeto sobre um anteparo.

O ar contido em equipamentos ópticos, como microscópios e telescópios, ou mesmo aquele existente em ambientes pequenos, como uma sala de aula, pode ser considerado um meio homogêneo onde a luz se propaga em linha reta.



**Princípio da independência dos raios de luz:** a propagação de um raio de luz não é perturbada pela propagação de outros raios na mesma região. Quando ocorre o cruzamento de raios de luz, cada um deles continua sua propagação, independentemente da presença de outros.

Vemos na imagem abaixo, luzes de espetáculos se cruzando. A luz azul, apesar de ter se cruzado com a luz vermelha, continua se propagando normalmente, sem interferência na sua cor (frequência).







**Princípio da reversibilidade:** a trajetória de um raio de luz não depende do sentido de propagação. O caminho da ida é igual ao caminho da volta.

Isso significa que se uma pessoa vê o reflexo da outra no espelho, a outra pessoa obrigatoriamente a vê também refletida no espelho.

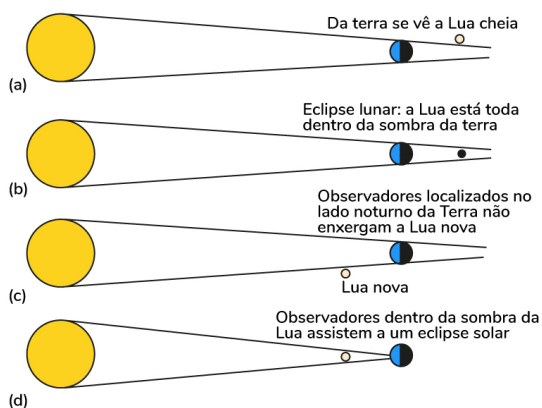


## PROPAGAÇÃO RETILÍNEA: SOMBRAS

Uma sombra é uma região onde os raios de luz não conseguem chegar.

A parte mais escura é chamada de umbra e a parte menos escura da sombra é a penumbra. A penumbra ocorre numa região para a qual parte da luz foi bloqueada, mas que ainda é alcançada por outros raios. Isso ocorre naquela região porque a luz bloqueada provém de uma determinada fonte luminosa, enquanto a luz que nela incide provém de outra fonte.

Tanto a Terra como a Lua projetam sombras quando a luz solar incide nelas. Quando a trajetória de um desses corpos atravessa a sombra projetada pelo outro, ocorre um eclipse.



**Eclipse solar:** O eclipse total ocorre para os observadores que se encontram na umbra, e o parcial, para observadores que estão na penumbra. A maioria dos observadores na Terra não observa qualquer eclipse.

