

INSTITUTO FEDERAL

Rio de Janeiro

Campus Niterói

APOSTILA-FÍSICA IV

EDUCAÇÃO DE JOVENS E ADULTOS

TÉCNICO EM ASSISTENTE ADMINISTRATIVO

Thiago Corrêa Lacerda

Rafael Moraes Ferreira

APRESENTAÇÃO

Essa apostila aborda o conteúdo da disciplina de Física IV que faz parte do Projeto Político Pedagógico do curso Técnico em Assistente Administrativo, na modalidade Educação de Jovens e Adultos e em Ensino Médio Integrado ao Ensino Técnico, que se iniciou no ano de 2023 no *Campus* Niterói do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro (IFRJ). O texto foi desenvolvido nos anos de 2024 e 2025 através do trabalho docente do Professor Doutor Thiago Corrêa Lacerda e do Professor Especialista Rafael Moraes Ferreira. O trabalho tem como objetivo auxiliar o aprendizado do aluno noturno que é trabalhador e precisa de um material rápido e claro para favorecer o processo de ensino-aprendizagem. Os conteúdos abordados são: Ondas e Óptica Clássica.

PREFÁCIO

1. ONDAS	04
1.1. CONCEITOS INICIAIS	04
1.2. CLASSIFICAÇÃO DAS ONDAS	04
1.3. FENÔMENOS ONDULATÓRIOS	07
1.4. ELEMENTOS DA ONDA	10
1.5. ESTUDO MATEMÁTICO	16
2. ÓPTICA CLÁSSICA	20
2.1. CONCEITOS INICIAIS	20
2.2. TIPOS DE FEIXES	21
2.3. INTERAÇÃO DA LUZ COM MEIOS MATERIAIS	23
2.4. SOMBRA E PENUMBRA	25
2.5. REFLEXÃO	30
2.6. O ESPECTRO ELETROMAGNÉTICO	32
2.7. REFRAÇÃO	37
2.8. DIFRAÇÃO	39
2.9. ESPELHOS PLANOS	43
2.10. ESPELHOS ESFÉRICOS	47
2.11. CÂMARA ESCURA	54
2.12. OLHO HUMANO	58
2.13. LENTES	61

1. ONDAS

1.1. CONCEITOS INICIAIS

Quando falamos em ondas, a primeira coisa que pensamos são as ondas do mar. De fato, não está errado pensar nas ondas do mar, mas na física, as ondas vão muito além das ondas do mar. A nossa vida é repleta de ondas: o sinal do smartphone é uma onda eletromagnética, o som que ouvimos de uma música é uma onda sonora e a própria luz que chega nos nossos olhos também é uma onda.

Podemos definir ondas como perturbações que são provocadas por um emissor. Essa perturbação se propaga ao longo do espaço e do tempo. Parece meio complicado pensar nisso, mas para facilitar, vamos pensar em uma gota de água que cai em um lago calmo. Essa gota vai provocar perturbações na superfície da água, como mostrado na imagem¹ ao lado, e



essas perturbações vão se propagar ao longo do lago, simples assim. Outra característica importante das ondas é, talvez um pouco óbvia, não existem ondas paradas.

As ondas possuem certas características e propriedades aos quais vamos aprofundar mais adiante, mas uma propriedade inicial muito importante que vamos destacar agora é: ondas não transportam matéria, transportam apenas energia.

1.2. CLASSIFICAÇÃO DAS ONDAS

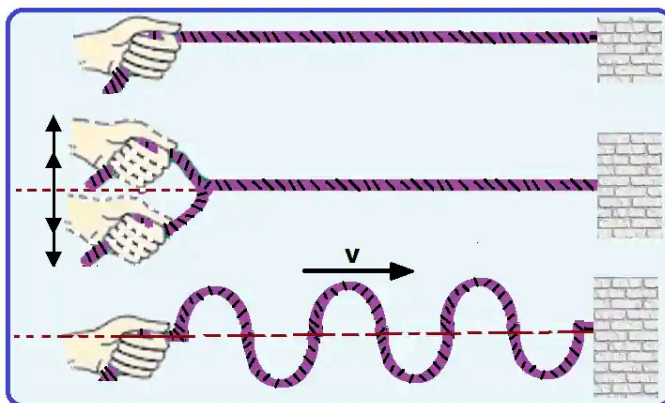
Como falamos inicialmente, existem vários tipos de ondas no cotidiano. Para um estudo mais aprofundado do tema, vamos classificar as ondas de acordo com suas características.

¹ Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/fisica/a-classificacao-das-ondas.htm> .Acesso em 12 de Maio de 2024.

1.2.1. QUANTO À DIREÇÃO DE PROPAGAÇÃO

Em relação à direção de propagação, as ondas podem ser classificadas de 3 formas:

- 1) **Unidimensionais:** São ondas que se propagam em apenas uma dimensão, por exemplo as ondas nas cordas, igual mostrado na imagem² abaixo.



- 2) **Bidimensionais:** São ondas que se propagam em duas dimensões, por exemplo as ondas geradas por uma gota, como mostrado na imagem³ abaixo.



- 3) **Tridimensionais:** São ondas que se propagam em três dimensões, por exemplo o wi-fi, ondas sonoras, ondas de rádio e a própria luz que vem do sol, como na imagem⁴ abaixo.

² Disponível em: <https://www.respondeai.com.br/conteudo/fisica/ondas>. Acesso em 12 de Maio de 2024.

³ Disponível em: <https://mundoeducacao.uol.com.br/fisica/frente-onda-raio-onda.htm>. Acesso em 12 de Maio de 2024

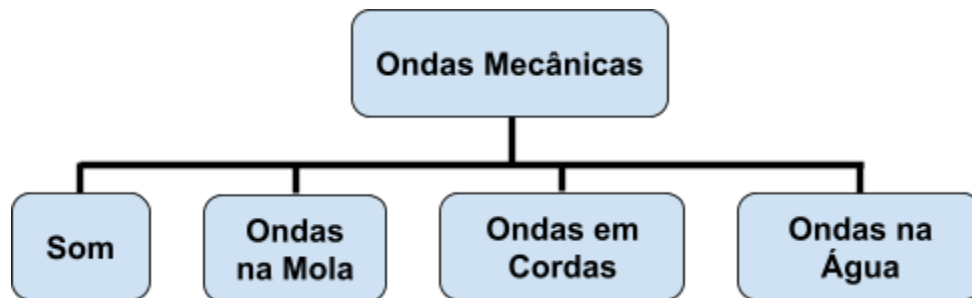
⁴ Disponível em: <https://canaltech.com.br/espaco/qual-e-a-cor-do-sol-199545/>. Acesso em 12 de Maio de 2024



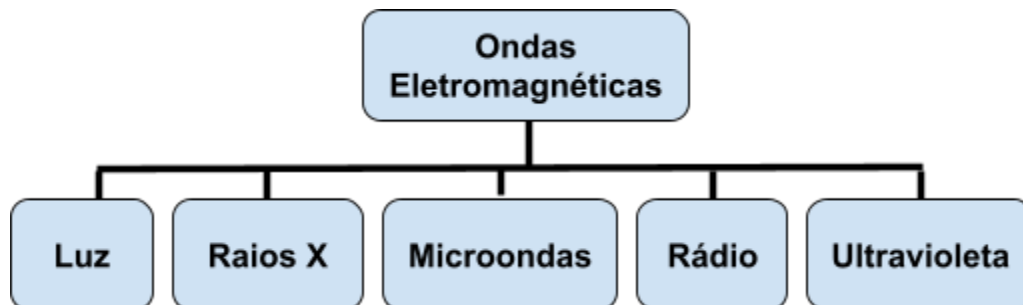
1.2.2. QUANTO À NATUREZA DAS ONDAS

Em relação à natureza das ondas, pode-se classificar de 2 formas:

- 1) **Ondas Mecânicas:** As ondas mecânicas somente se propagam em meios materiais. Pode-se destacar as ondas na água, ondas sonoras, ondas em cordas.



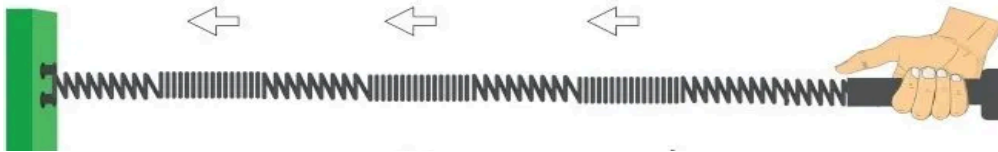
- 2) **Ondas Eletromagnéticas:** As ondas eletromagnéticas se propagam tanto nos meios materiais quanto no vácuo. Pode-se destacar a luz visível, as ondas de rádio, wi-fi.



1.2.3. QUANTO À DIREÇÃO DE VIBRAÇÃO

Em relação à direção de vibração das ondas, pode-se classificar de 2 formas:

- 1) **Longitudinal:** A vibração é na mesma direção de propagação, como pode ser mostrado na figura abaixo⁵:



- 2) **Transversal:** A vibração é perpendicular em relação à direção de propagação, como pode ser mostrado na figura abaixo⁶:



1.3. FENÔMENOS ONDULATÓRIOS

Os fenômenos ondulatórios são os fenômenos que são comuns a todas as ondas, desde as mecânicas até as eletromagnéticas. Podem se destacar 3 fenômenos básicos, a reflexão, a refração e a difração. Vamos ver mais sobre adiante.

1.3.1. REFLEXÃO

A reflexão ocorre sempre que a onda encontra um obstáculo em seu caminho e volta. Quando isso ocorre, a direção de propagação muda, podendo até mesmo a onda voltar a sua origem de propagação. Vejamos alguns exemplos abaixo.

- O espelho faz a luz refletir;
- O eco é uma forma de reflexão do som;

⁵ Imagem adaptada, disponível em: <https://mundoeducacao.uol.com.br/fisica/ondas-mecanicas.htm>. Acesso em 13 de Maio de 2024.

⁶ Imagem adaptada, disponível em: <https://mundoeducacao.uol.com.br/fisica/ondas-mecanicas.htm>. Acesso em 13 de Maio de 2024.

- Uma vibração, que se propaga na corda, ao encontrar um ponto fixo, reflete e volta à origem de propagação;

1.3.2. REFRAÇÃO

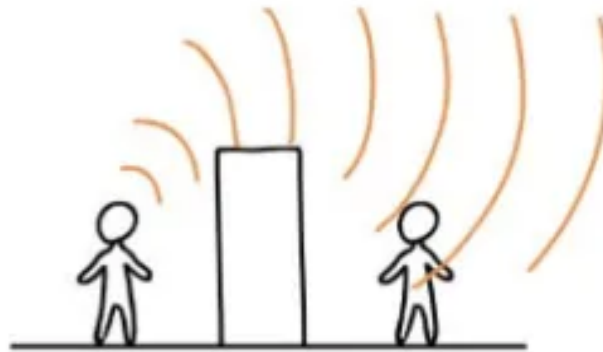
A refração ocorre sempre que a onda muda o meio de propagação. Isso faz com que a velocidade da onda mude, podendo aumentar ou diminuir. No cotidiano nos deparamos muitas vezes com a refração, por exemplo a refração da luz na água, como mostrado na imagem⁷ ao lado.



1.3.3. DIFRAÇÃO

A difração ocorre sempre que a onda encontrar um obstáculo que possui uma abertura com dimensões que seja comparável ao seu comprimento de onda (mais adiante iremos definir o que é comprimento de onda). Em outras palavras, é a capacidade da onda de contornar obstáculos com aberturas.

É por causa do efeito de difração que conseguimos ouvir sons mesmo estando dentro de uma sala fechada ou do outro lado do muro, como mostra a imagem⁸ abaixo.



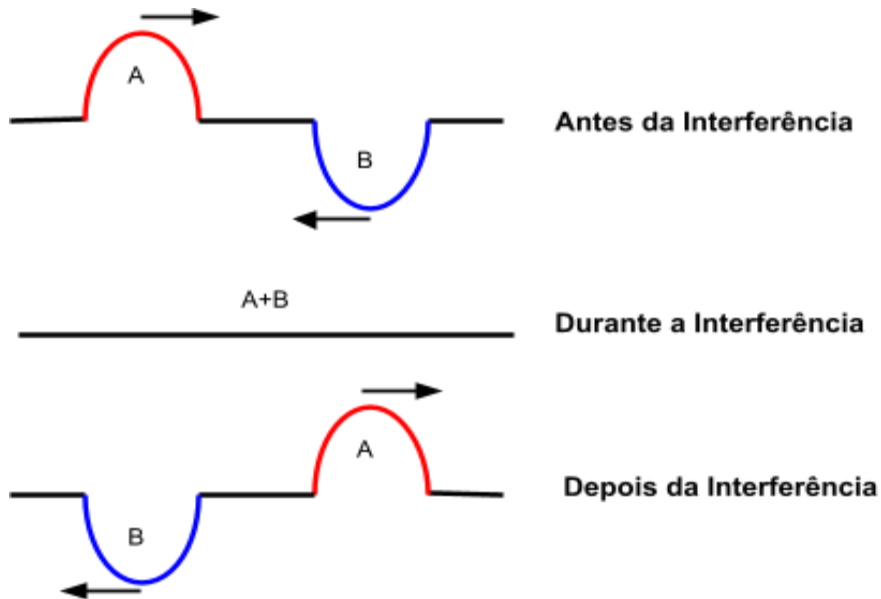
1.3.4. INTERFERÊNCIA

A interferência é a capacidade das ondas de mesma natureza interagirem entre si. Em geral pode ser classificada de 2 formas:

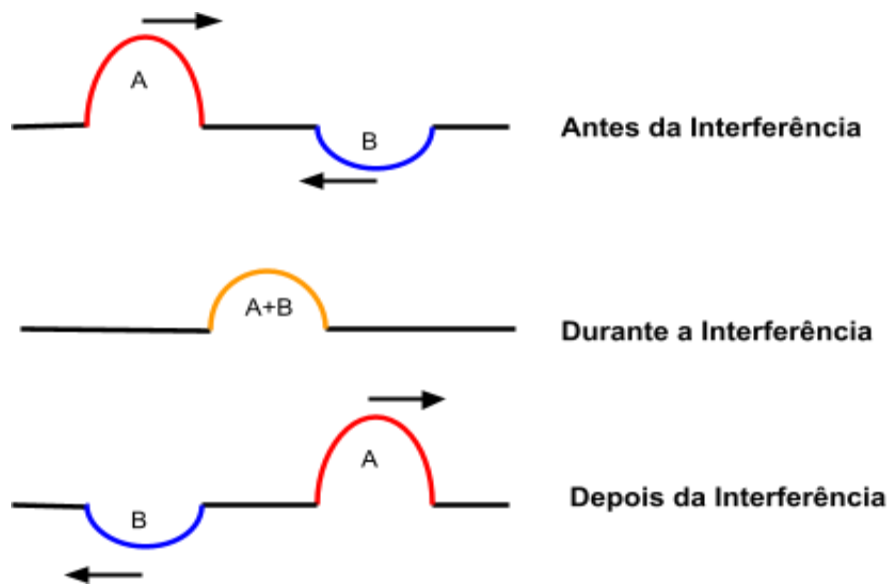
⁷ Disponível em: <https://conhecimentocientifico.r7.com/refracao-da-luz/>. Acesso em 13 de Maio de 2024.

⁸ Disponível em: <https://resumos.mesalva.com/fenomenos-ondulatorios-reflexao-refracao-difracao/>. Acesso em 13 de Maio de 2024.

1) **Interferência Destrutiva:** Ocorre quando duas ondas, ao se interagirem, o tamanho da amplitude diminui, como na imagem abaixo.

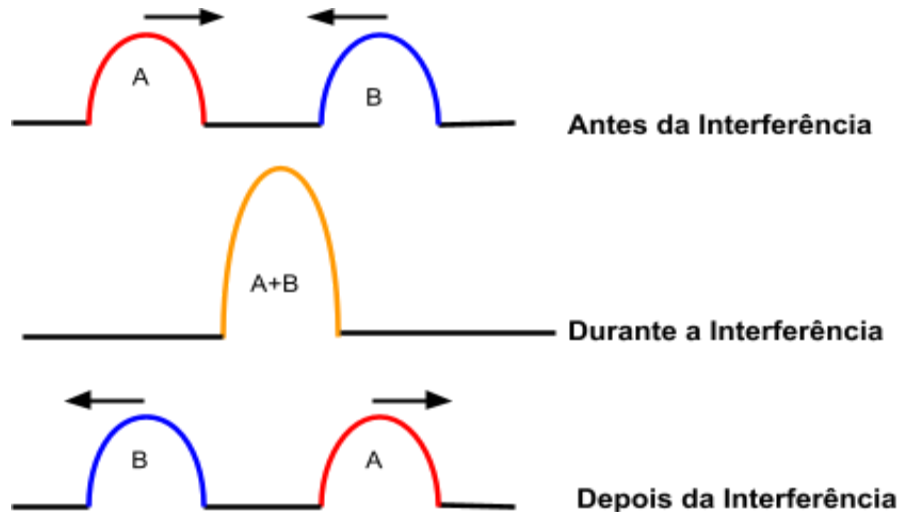


Note que as ondas A e B são opostas, ao interagirem, se anulam, depois cada uma segue seu caminho de propagação.



Note agora que as ondas A e B, mesmo sendo opostas, ao interagirem, não se anulam, pois cada uma tem uma altura diferente. Depois cada uma segue seu caminho de propagação com as alturas anteriores.

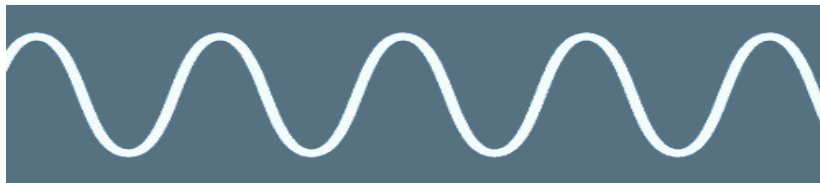
2) **Interferência Construtiva:** Ocorre quando duas ondas, ao se interagirem, o tamanho da amplitude aumenta, como na imagem abaixo.



Note que as ondas A e B não são opostas, ao interagirem, se somam, aumentando o tamanho de amplitude, depois cada uma segue seu caminho de propagação.

1.4. ELEMENTOS DA ONDA

Antes de falar sobre os elementos das ondas, vamos falar de como representamos de modo gráfico as ondas. Em geral representamos as ondas da forma que é mostrado na imagem⁹ abaixo:



Os elementos da onda são elementos comuns a todas as ondas, tanto mecânicas quanto eletromagnéticas. Sendo eles:

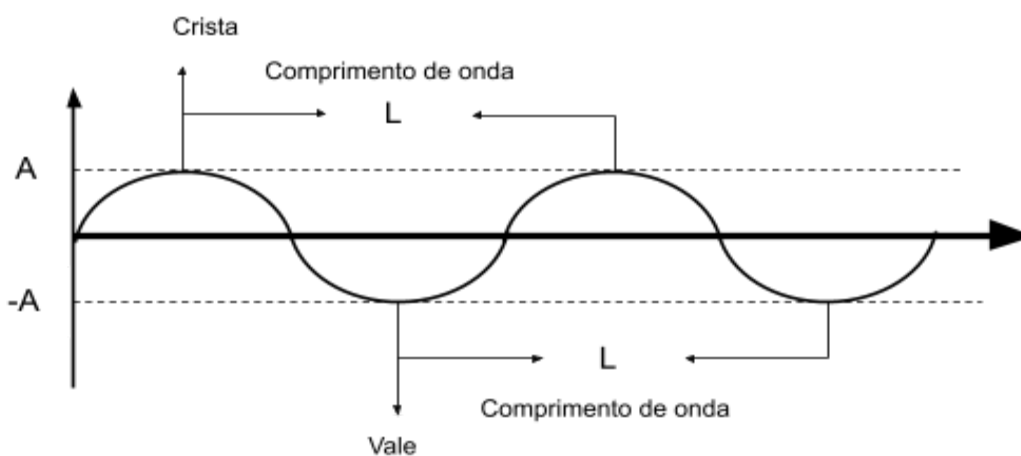
- 1) **Crista:** É o ponto mais alto da onda;
- 2) **Vale:** É o ponto mais baixo da onda
- 3) **Amplitude(A):** É a metade da distância vertical entre a crista e um vale, ou em outras palavras, a distância entre a crista e um vale é o dobro da amplitude,

⁹ Disponível em: <https://www.ostiposde.com/os-tipos-de-ondas-sonoras/>. Acesso em 13 de Maio de 2024.

dado em metro (m). A amplitude vai diferenciar, por exemplo no caso das ondas sonoras, um som intenso ou um som menos intenso, então quando aumentamos o volume na caixa de som, estamos aumentando a amplitude da onda sonora;

- 4) **Comprimento de onda¹⁰ (L)**: É a distância entre duas cristas, ou dois vales, dado em metro (m). No caso das ondas sonoras, o comprimento de onda está relacionado a tons graves ou agudos, um tom grave possui um comprimento de onda maior, enquanto um tom agudo possui um comprimento de onda menor. No caso da luz, o comprimento de onda está relacionada às cores, ou seja, cada cor possui um comprimento de onda específico;
- 5) **Período (T)**: É a quantidade de tempo necessário para que uma onda realize uma oscilação completa, dado em segundos (s);
- 6) **Frequência (F)**: É a quantidade de oscilações a cada segundo, dado em hertz (Hz). No caso das ondas sonoras, a frequência está relacionada a tons graves ou agudos, um tom grave possui uma frequência menor, enquanto um tom agudo possui uma frequência maior. No caso da luz, a frequência está relacionada às cores, ou seja, cada cor possui uma frequência específica;

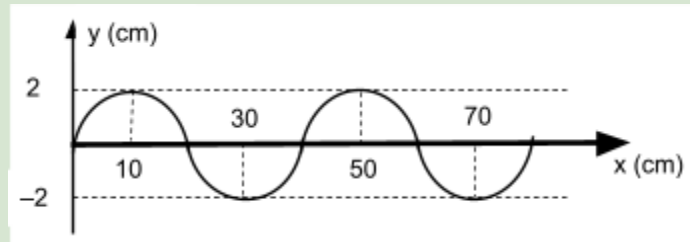
Os elementos podem ser visualizados no exemplo de imagem de uma onda em um gráfico abaixo.



¹⁰ Sabemos que o comprimento de onda é escrito pela letra grega λ , mas foi percebido uma dificuldade dos alunos da EJA a se adequarem à tal letra, gerando muito trabalho desnecessário em sala. Por esse motivo optamos por usar L como comprimento de onda.

Vejamos alguns exemplos abaixo.

Exemplo: Uma onda é descrita em um gráfico mostrado abaixo.



Com base nisso, responda:

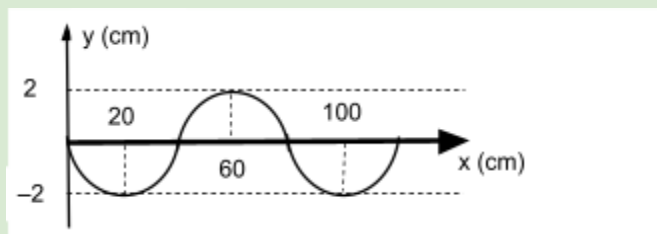
- a) Qual o comprimento de onda?
- b) Qual a amplitude associada a essa onda?

Resposta:

a) Como vimos o comprimento de onda é a distância horizontal entre 2 vales ou 2 cristas, mas no caso acima só possui 2 vales, logo usamos a distância entre esses vales. O primeiro vale está em 10cm, o segundo vale está em 50 cm, logo, $L=50-10$, $L=40\text{cm}$, ou então $L=0,4\text{m}$.

b) Como vimos, a amplitude é o ponto médio vertical entre a crista e o vale, ou então a metade da distância vertical entre a crista e o vale. O vale se encontra em -2cm de altura (abaixo do eixo x), a crista se encontra em 2cm (acima do eixo x), logo a distância total é 4cm, a amplitude é metade da distância entre crista e vale, logo $A=2\text{cm}$, ou então, $A=0,02\text{m}$.

Exemplo: Uma onda é descrita em um gráfico mostrado abaixo.



Com base nisso, responda:

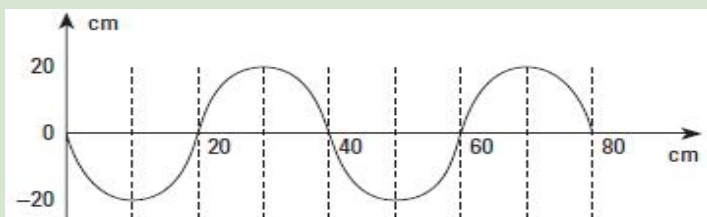
- a) Qual o comprimento de onda?
- b) Qual a amplitude associada a essa onda?

Resposta:

a) Como vimos o comprimento de onda é a distância horizontal entre 2 vales ou 2 cristas, mas no caso acima possui 2 vales, logo usamos a distância entre esses vales. O primeiro vale está em 20cm, o segundo vale está em 100 cm, logo, $L=100-20$, $L=80\text{cm}$, ou então $L=0,8\text{m}$.

b) Como vimos, a amplitude é o ponto médio vertical entre a crista e o vale, ou então a metade da distância vertical entre a crista e o vale. O vale se encontra em -30cm de altura (abaixo do eixo x), a crista se encontra em 30cm (acima do eixo x), logo a distância total é 60cm, a amplitude é metade da distância entre crista e vale, logo $A=30\text{cm}$, ou então, $A=0,3\text{m}$.

Exemplo: Uma onda é descrita em um gráfico mostrado abaixo.



Com base nisso, responda:

a) Qual o comprimento de onda?

b) Qual a amplitude associada a essa onda?

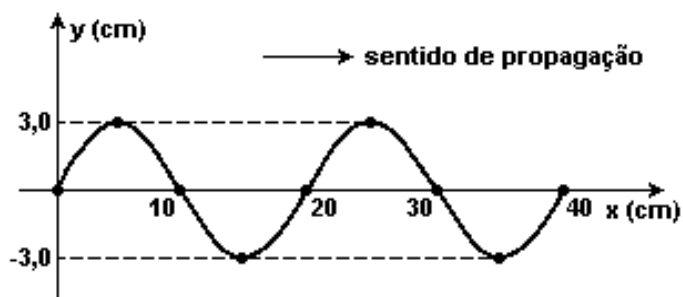
Resposta:

a) Como vimos o comprimento de onda é a distância horizontal entre 2 vales ou 2 cristas, no caso acima o primeiro vale está em 10cm e o segundo está em 50cm, logo, $L=50-10$, $L=40\text{cm}$, ou então $L=0,4\text{m}$.

b) Como vimos, a amplitude é o ponto médio vertical entre a crista e o vale, ou então a metade da distância vertical entre a crista e o vale. O vale se encontra em -20cm de altura (abaixo do eixo x), a crista se encontra em 20cm (acima do eixo x), logo a distância total é 40cm, a amplitude é metade da distância entre crista e vale, logo $A=20\text{cm}$, ou então, $A=0,2\text{m}$.

Exercícios

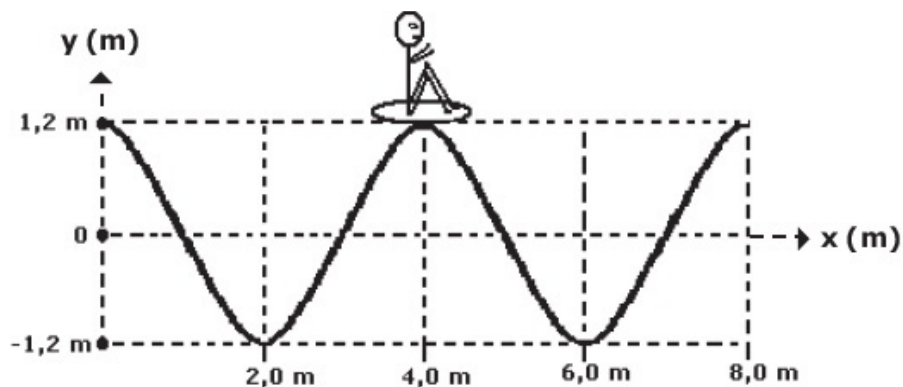
1) A figura¹¹ abaixo representa ondas periódicas que se propagam com frequência de 40 Hz ao longo de uma corda homogênea.



Com base na figura, determine:

- Comprimento de onda;
- A amplitude;

2) Uma pessoa está sentada na prancha quando é surpreendida por várias ondas do mar, como no esquema¹² abaixo:



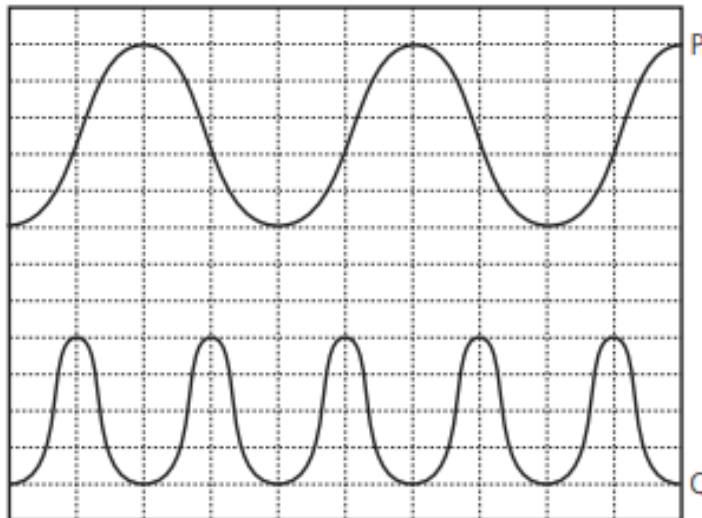
Com base na figura, determine:

- Comprimento de onda;
- A amplitude;

¹¹ Disponível em: https://fisicaevestibular.com.br/novo/ondulatória/ondas/equacao-da-onda-equacao-fundamental-da-ondulatória/exercicios-de-vestibulares-com-resolucoes-comentadas-sobre-equacao-da-onda/#google_vignette. Acesso em 18 de Dezembro de 2024.

¹² Disponível em: <https://projeto-militar.blogspot.com/p/simulado-de-fisica-espce1-gabarito.html>. Acesso em 10 de Dezembro de 2024.

3) Duas ondas sonoras P e Q são descritas conforme a figura¹³ abaixo:



Se cada retângulo possui 2cm de base e 1cm de altura, determine:

- Comprimento de onda;
- A amplitude;
- A semelhança e diferença entre as ondas P e Q;

4) Classifique cada afirmativa abaixo como verdadeira (v) ou falsa (f) e explique o erro das falsas.

- () Ondas mecânicas se propagam tanto no vácuo como em meios materiais.
- () Reflexão é um fenômeno que ocorre apenas nas ondas eletromagnéticas.
- () Ondas eletromagnéticas e mecânicas possuem amplitude, comprimento de onda, frequência e período.
- () O wifi é uma onda mecânica tridimensional.
- () Difração ocorre em todos os tipos de ondas.
- () No fenômeno de refração a velocidade de propagação da onda permanece o mesmo.

¹³ Disponível em: <https://www.infoescola.com/fisica/ondulatória-ondas/exercicios/2/>. Acesso em 10 de Dezembro de 2024.

1.5. ESTUDO MATEMÁTICO

Agora que já estudamos alguns conceitos e propriedades das ondas, vamos focar no estudo matemático das ondas. Existe uma relação entre período e frequência da onda, lembrando que:

- Período (T): É a quantidade de tempo necessário para que uma onda realize uma oscilação completa, dado em segundos (s);
- Uma oscilação completa é equivalente a um comprimento de onda L;
- Frequência (F): É a quantidade de oscilações a cada segundo, dado em hertz (Hz);

A relação entre período e frequência é que uma é o inverso da outra, ou então, de forma matemática, escrevemos:

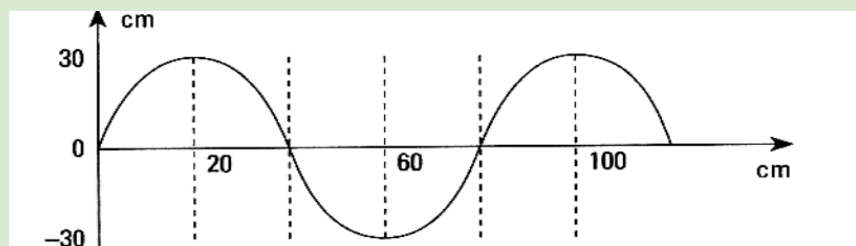
$$f = \frac{1}{T}$$

Sendo f a frequência em Hertz, denotado Hz e T o período em segundos, denotado em s. Existe também a relação entre velocidade de propagação (v), comprimento de onda (L) e frequência (f), dado por:

$$v = Lf$$

A equação acima é chamada de equação fundamental da onda. Vale lembrar que v é dado em metro por segundo (m/s), L em metro (m) e f em hertz (Hz). Vejamos alguns exemplos abaixo.

Exemplo: Uma onda é descrita em um gráfico¹⁴ mostrado abaixo e se propaga com um período de 2 segundos



¹⁴ Disponível em: <https://brainly.com.br/tarefa/19919940>. Acesso em 10 de Dezembro de 2024.

Com base nisso, responda:

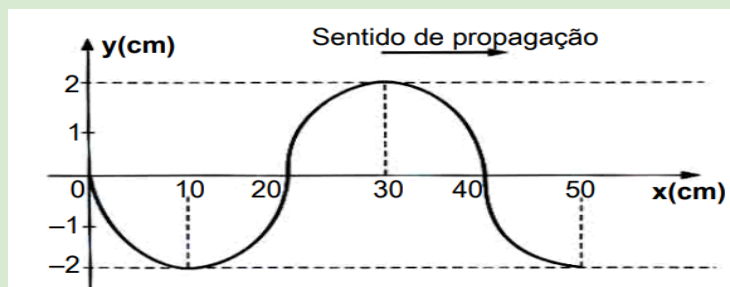
- a) Qual a frequência da onda?
b) Qual a velocidade de propagação?

Resposta:

a) Como $f = \frac{1}{T}$, $T=2s$, $f = \frac{1}{2}$, $f = 0,5 \text{ Hz}$.

b) Como $v = Lf$, $L=80\text{cm}$, $L=0,8\text{m}$ e $f = 0,5 \text{ Hz}$, $v = 0,8 \cdot 0,5$, $v = 0,4\text{m/s}$.

Exemplo: Uma onda é descrita em um gráfico mostrado abaixo e se propaga com uma frequência de 5 hertz.



Com base nisso, responda:

- a) Qual o período da onda?
b) Qual a velocidade de propagação?

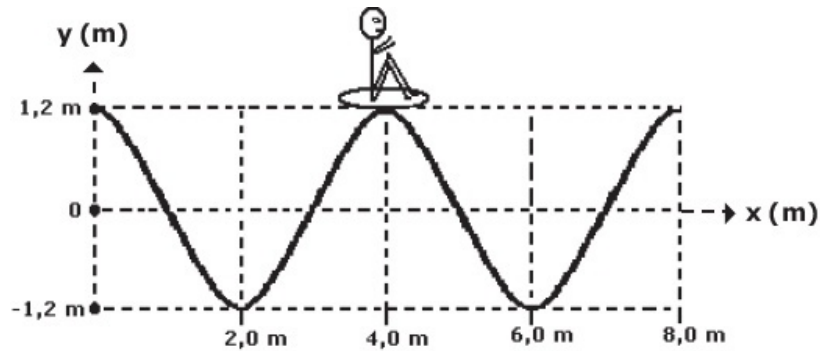
Resposta:

a) Como $f = \frac{1}{T}$, $f=5\text{Hz}$, $5 = \frac{1}{T}$, $T = \frac{1}{5}$, $T = 0,2 \text{ s}$.

b) Como $v = Lf$, $L=40\text{cm}$, $L=0,4\text{m}$ e $f = 5 \text{ Hz}$, $v = 0,4 \cdot 5$, $v = 2\text{m/s}$.

Exercícios

1) Uma pessoa está sentada na prancha quando é surpreendida por várias ondas do mar, como no esquema abaixo:



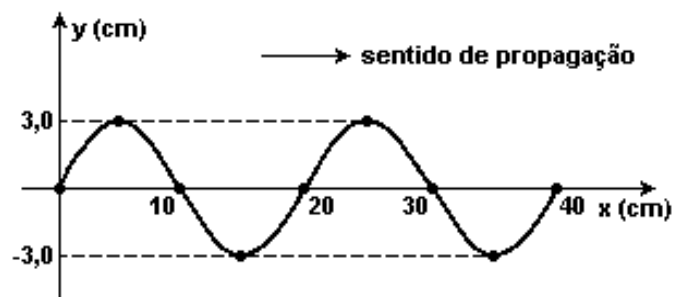
Sabendo que essas ondas se propagam com uma velocidade de 8m/s, determine.

a)O comprimento de onda;

b)A frequência das ondas;

c)O período das ondas;

2)A figura abaixo representa ondas periódicas que se propagam com frequência de 40Hz ao longo de uma corda homogênea.



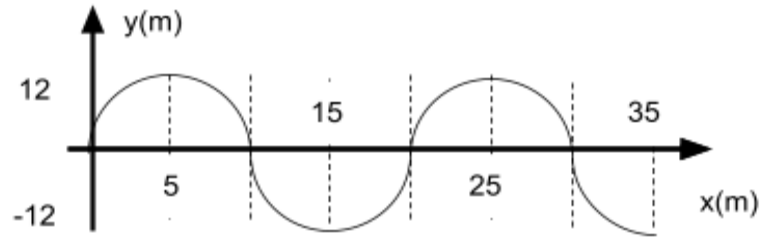
Com base na figura, determine:

a)O comprimento de onda;

b)O período;

c)A velocidade de propagação;

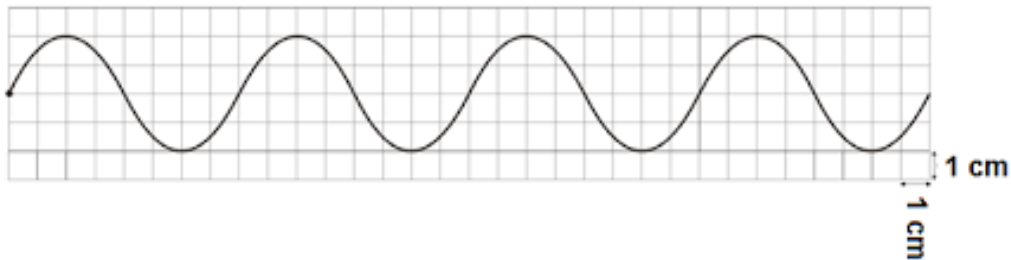
3)Uma onda com frequência de 100 hertz é representada de acordo com o gráfico a seguir.



Com base na figura, determine:

- a) O comprimento de onda
- b) O período;
- c) A velocidade de propagação;

4) Têm-se uma onda descrita conforme o gráfico¹⁵ abaixo.



Se essa onda possui um período de 10 segundos, determine.

- a) O comprimento de onda;
- b) A frequência;
- c) A velocidade de propagação;

5) Sobre as ondas sonoras, é correto afirmar que não se propagam:

- a) na atmosfera.
- b) na água.
- c) no vácuo.
- d) nos meios metálicos.

¹⁵ Disponível em: <https://brainly.com.br/tarefa/41584100>. Acesso em 12 de Dezembro de 2024.

6)A respeito da classificação das ondas, assinale verdadeiro ou falso.

- a)As ondas classificadas como longitudinais possuem vibração paralela à propagação. Um exemplo desse tipo de onda é o som ()
- b) O som é uma onda mecânica, longitudinal e tridimensional ()
- c) Todas as ondas eletromagnéticas são transversais ()
- d) A frequência representa o número de ondas geradas dentro de um intervalo de tempo específico. A unidade Hz (Hertz) significa ondas geradas por segundo ()
- e) Quanto à sua natureza, as ondas podem ser classificadas em mecânicas, elétricas, magnéticas, transversais e longitudinais ()

2. ÓPTICA GEOMÉTRICA

2.1. CONCEITOS INICIAIS

Vamos agora estudar alguns conceitos do ramo da física chamado óptica. A óptica é o ramo, ou área, da física que estuda o comportamento da luz. No capítulo anterior foi falado que a luz também é uma onda, sendo uma onda eletromagnética. Mas essa descoberta, da luz ser uma onda eletromagnética, só se deu no século XIX, com Maxwell. Porém, desde antes a luz já era um campo de estudo, no ramo da óptica geométrica, também conhecido como óptica clássica.

Na óptica geométrica (clássica) vamos fazer uma descrição da luz, assim como sua interação com os meios, porém vamos ignorar alguns fenômenos quânticos aos quais não são interessantes nesse momento do curso.

Um dos conceitos iniciais da luz é que a mesma possui uma velocidade, no vácuo, maior do que qualquer velocidade conhecida no Universo. Como essa velocidade é “especial” na natureza, vamos chamar essa velocidade de c , ou seja, sempre que falarmos c , estamos falando da velocidade da luz. Essa velocidade possui um valor de $c \approx 3.10^8 m/s$.

Um outro conceito muito importante é que, se a luz se propaga em um meio homogêneo e isotrópico, essa propagação se dará sempre em linha reta, ou seja, a priori a luz não faz curva. Note que neste momento estamos ignorando efeitos de relatividade e curvatura espaço-tempo.

Em resumo, sempre adotaremos, neste curso:

- A velocidade da luz $c \approx 3.10^8 m/s$;
- A Luz se propaga em linha reta;

Dado os conceitos iniciais importantes, vamos agora para o estudo mais aprofundado da luz.

2.2. TIPOS DE FEIXES

A luz pode ser representada pelo que chamamos de raio de luz. Esse raio é representado por uma seta, como mostrado na figura abaixo.



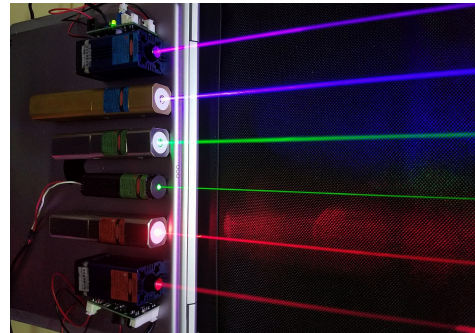
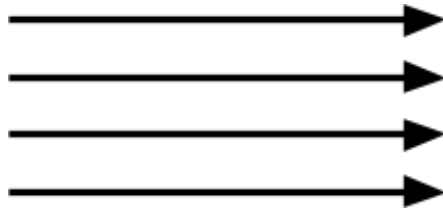
Existem 2 motivos básicos para indicarmos um raio de luz por uma seta, primeiro, lembra que falamos que a luz não faz curva? Então, a seta sendo reta representa o fato de não fazer curva. O segundo motivo é que a seta indica a direção e sentido de propagação desse raio de luz, sendo no caso acima, a direção é horizontal e sentido para a direita. Se pegarmos um exemplo prático, podemos pensar em um laser, como na figura¹⁶ ao lado.



Agora que falamos como é a representação de um raio, vamos falar como vários raios podem se comportar. Um conjunto de raios é chamado de feixe e podemos classificá-los de 3 formas, feixe paralelo, divergente e convergente.

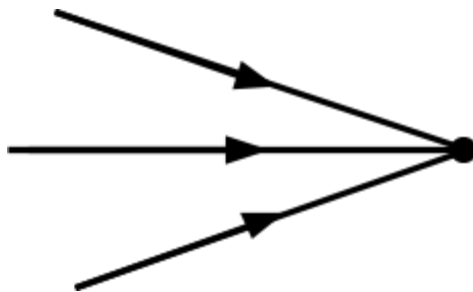
¹⁶ Disponível em: <https://www.laserpointeur.com/blog/n-235.html>. Acesso em 14 de Maio de 2024.

- 1) **Feixe Paralelo:** A característica do feixe paralelo é que os raios nunca se cruzam. Podem vir da mesma fonte luminosa ou de fontes distintas. Podemos representar da forma mostrado na figura abaixo (à esquerda).



Podemos destacar como exemplo uma sequência de lasers, como é mostrado na figura¹⁷ acima (à direita). Note que os raios não se cruzam.

- 2) **Feixe Convergente:** A característica do feixe convergente é que os raios se encontram em um ponto comum. Podem vir da mesma fonte luminosa ou de fontes distintas. Podemos representar da forma mostrado na figura abaixo (à esquerda).

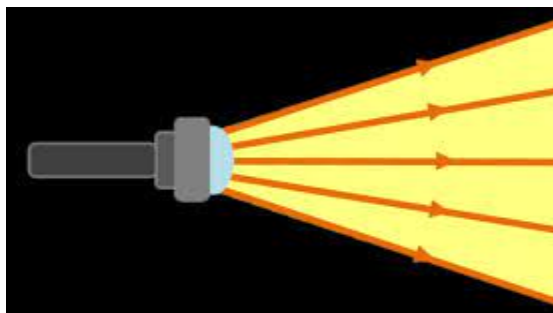
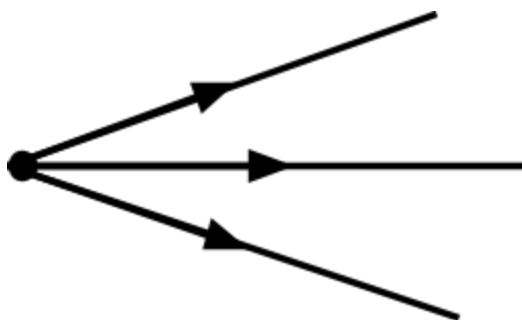


Podemos destacar como exemplo uma lupa, como é mostrado na figura¹⁸ acima (à direita). Note que a lupa faz com que os raios passem a convergir para um ponto no papel.

¹⁷ Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Laser>. Acesso em 14 de Maio de 2024.

¹⁸ Disponível em: <https://cienciasnoseculoxxi.wordpress.com/category/luz-e-cores/>. Acesso em 14 de Maio de 2024.

3) **Feixe divergente:** A característica do feixe divergente é que os raios se afastam uns dos outros. Podem vir da mesma fonte luminosa ou de fontes distintas. Podemos representar da forma mostrado na figura abaixo (à esquerda).



Podemos destacar como exemplo uma lanterna, como é mostrado na figura¹⁹ acima (à direita). Como a ideia da lanterna é iluminar o máximo possível, a maioria das lanternas vão usar raios divergentes.

2.3. INTERAÇÃO DA LUZ COM MEIOS MATERIAIS

Em geral, a luz interage com os meios materiais. Existem três tipos básicos de meios materiais, sendo eles os meios transparentes, translúcidos e opacos.

1) **Transparentes:** Um meio é dito transparente se ele permitir a passagem dos raios de luz e não alterar as características desses raios, como mostrado na imagem²⁰ abaixo (à esquerda). É muito comum encontrar exemplos de meios transparentes, tais como janelas, vidros transparentes, como mostrado na figura²¹ abaixo (à direita).

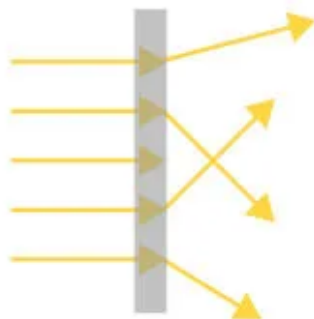
¹⁹ Disponível em: <https://cienciasnoseculoxxi.wordpress.com/category/luz-e-cores/>. Acesso em 14 de Maio de 2024.

²⁰ Imagem adaptada, disponível em: <https://mundoeducacao.uol.com.br/fisica/meios-propagacao-luz.htm>. Acesso em 14 de Maio de 2024.

²¹ Disponível em: <https://brasilescola.uol.com.br/fisica/transparentes-translucidos-opacos.htm>. Acesso em 14 de Maio de 2024.



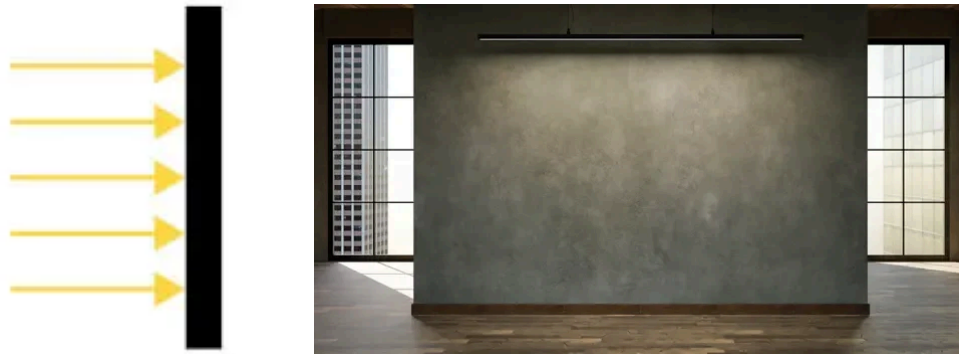
2) **Translúcidos:** Um meio é dito translúcido se ele permitir a passagem dos raios de luz, porém altera as direções desses raios. Os raios passam a se cruzarem, como mostrado na imagem¹⁷ abaixo (à esquerda). Os exemplos de meios translúcidos são basicamente cortinas e vidros fumê, como mostrado na imagem²² abaixo.



²² Imagem adaptada, disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/fisica/transparentes-translucidos-opacos.htm>. Acesso em 14 de Maio de 2024.

Note que conseguimos enxergar objetos do outro lado, porém não de forma detalhada, enxergamos de modo “embaçado”, isso é característica do cruzamento dos raios de luz.

- 3) **Opaco:** Um meio é dito opaco se ele não permitir a passagem dos raios de luz, como mostrado na imagem¹⁷ abaixo (à esquerda). Os exemplos de meios opacos são basicamente objetos feitos com madeira, concreto e metais, como mostrado no exemplo abaixo (à direita).



Note que a luz atravessa a janela, por ser transparente, porém não atravessa a parede por ela ser opaca.

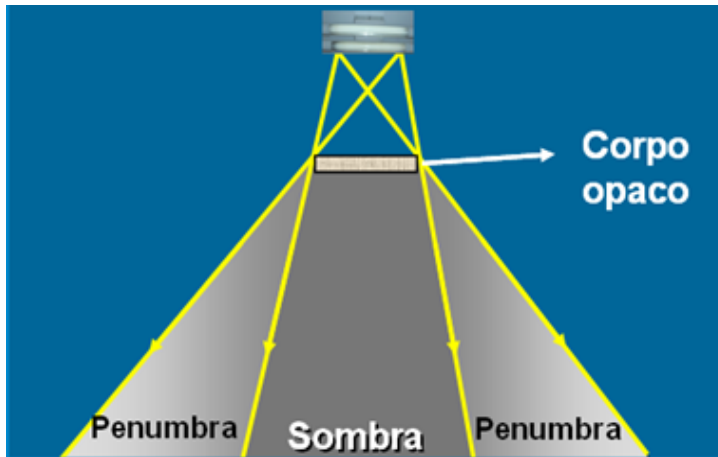
2.4. SOMBRA E PENUMBRA

Na parte anterior foi falado sobre os meios opacos, que são meios aos quais a luz não se propaga no interior. Quando a luz incide sobre meios opacos, gera o que chamamos de sombra e penumbra.

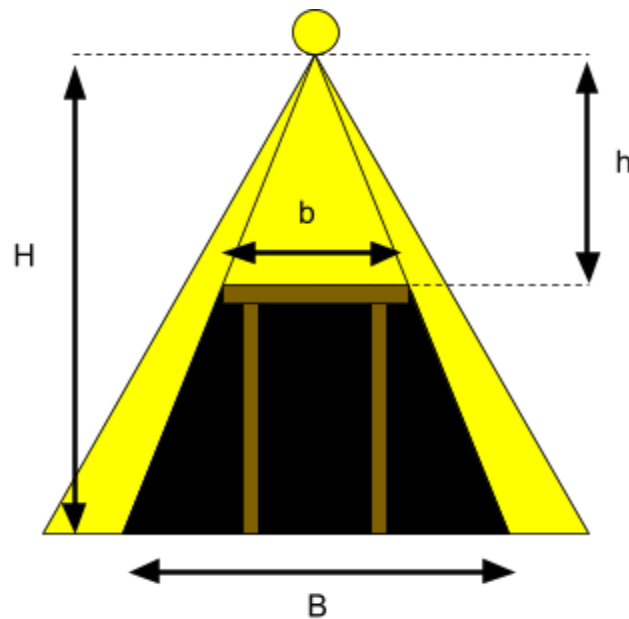
- Sombra é qualquer região onde possui ausência de luz, ou seja, é totalmente escuro;
- Penumbra é qualquer região onde possui luz de modo parcial, ou seja, fica com um efeito acinzentado;

Vejamos uma imagem²³ exemplo de sombra e penumbra.

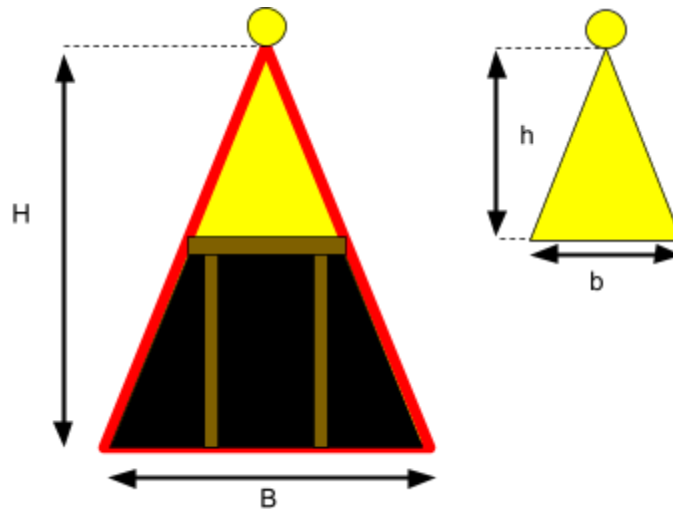
²³ Imagem adaptada. Disponível em: <https://professorpinguim.com.br/blog/introducao-a-optica-com-exercicios-resolvidos/>. Acesso em 14 de Maio de 2024.



A região de sombra pode ser facilmente calculada utilizando-se de semelhança de triângulos, como mostra a imagem abaixo.



Na imagem, temos uma lâmpada ligada, com uma altura em relação ao chão com valor H , e ela ilumina uma mesa, de comprimento b . Essa mesa possui uma altura h em relação à lâmpada. Se decomposmos a figura ao lado nos triângulos, teremos:

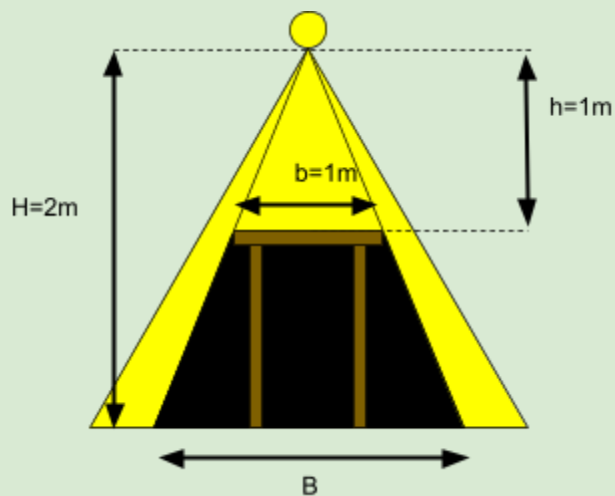


Por relação de triângulos, temos:

$$\frac{H}{B} = \frac{h}{b}$$

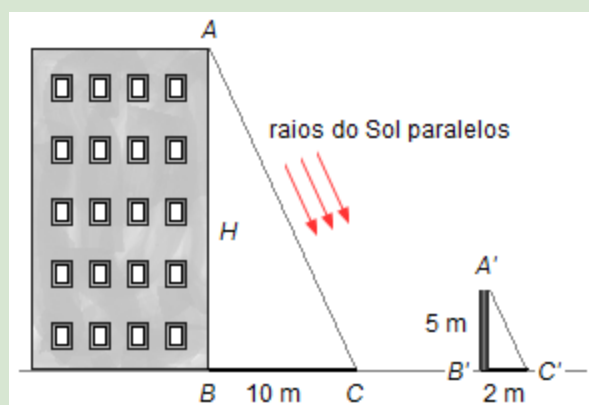
Note que a fórmula acima é uma relação de proporcionalidade de triângulos. Vejamos alguns exemplos abaixo.

Exemplo: Uma lâmpada está a 2 metros de altura do chão e ilumina uma mesa, ao qual está a 1 metro abaixo da lâmpada e possui comprimento de 1 metro, como mostra a figura a seguir. Calcule o comprimento da sombra.



Resposta: Por semelhança de triângulos, temos que $\frac{H}{B} = \frac{h}{b}$, logo, como $h=1\text{m}$, $b=1\text{m}$ e $H=2\text{m}$, então, $\frac{2}{B} = \frac{1}{1}$, $B = 2\text{m}$.

Exemplo: Um estudante deseja medir a altura de um prédio, como na figura²⁴ abaixo. Para isso ele mede a sombra gerada pelo prédio que vale $B=10\text{m}$. O estudante avista um poste e mede a altura, sendo $h=5\text{m}$, e sua sombra, $b=2\text{m}$. Com base nessas informações, calcule a altura H do prédio.



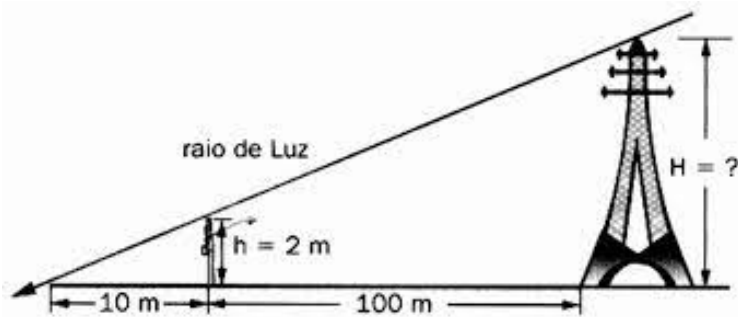
Resposta: Por semelhança de triângulos, temos que $\frac{H}{B} = \frac{h}{b}$, logo, como $h=5\text{m}$, $b=2\text{m}$ e $B=10\text{m}$, então, $\frac{H}{10} = \frac{5}{2}$, $H = \frac{10 \cdot 5}{2}$, $H = \frac{50}{2}$, $H = 25\text{m}$ é a altura do prédio.

Exercícios

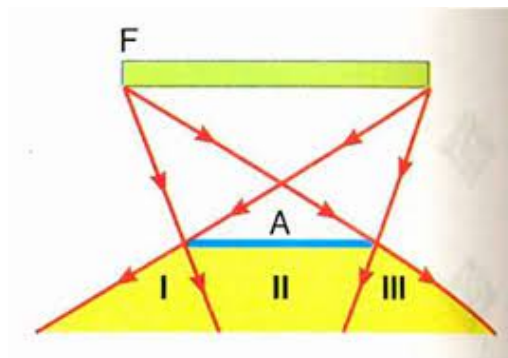
1) Um engenheiro deseja medir a torre de energia, e, para isso, mede a sombra da mesma chegando a um valor de $B=110\text{m}$, como mostra a figura²⁵ abaixo. A 100 metros de distância da torre, encontra-se um poste de altura $h=2\text{m}$ e sombra de valor $b=10\text{m}$. Com base nesses dados, calcule a altura da torre.

²⁴ Disponível em: https://www.fisicaexe.com.br/fisica0/optica/propagacao/propagacao3_nb/propagacao3_nb.html. Acesso em 24 de Maio de 2024.

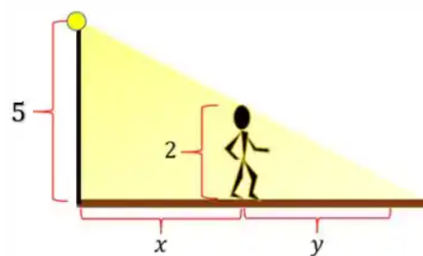
²⁵ Disponível em: <https://colegioequipeleopoldina.com.br/wp-content/uploads/2020/08/2%C2%BA-ano-22-08-2020-quest%C3%B5es-da-avalia%C3%A7%C3%A3o-de-recupera%C3%A7%C3%A3o-semestral.pdf>. Acesso em 24 de Maio de 2024.



2) Em quais regiões da imagem abaixo possui sombra e penumbra?



3) Têm-se a imagem²⁶ abaixo.



Com base na imagem, considere que a pessoa possui uma sombra de $y=4\text{m}$.
 Calcule a distância do poste até a pessoa (x), em metros.

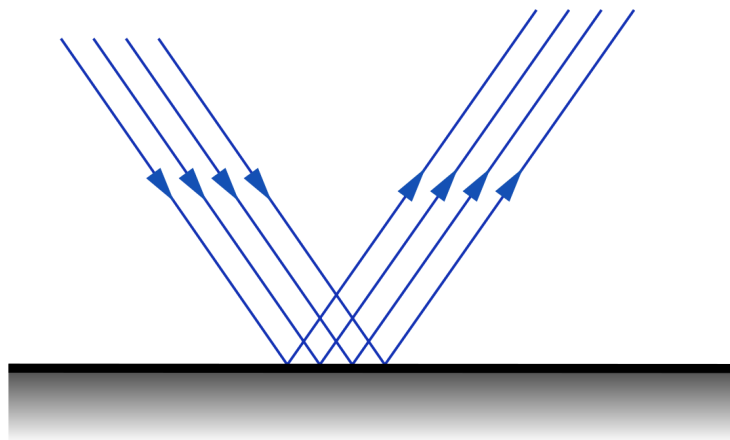
²⁶ Disponível em: <https://www.respondeai.com.br/conteudo/calculo/livro/exercicios/luz-rua-colocada-topo-poste-metros-altura-homem-altura-anda-26911>. Acesso em 20 de Maio de 2024.

4) Para as proposições abaixo, marque V para verdadeiro e F para falso.

- () O princípio da reversibilidade da luz explica a ocorrência dos eclipses.
- () O eclipse solar parcial ocorre na região de penumbra.
- () Quando um objeto opaco é posto diante de uma fonte de luz pontual, pode-se perceber a formação de sombra e penumbra.
- () Só ocorre penumbra caso a fonte de luz seja extensa, tipo de fonte cujas dimensões não podem ser desprezadas.

2.5. REFLEXÃO

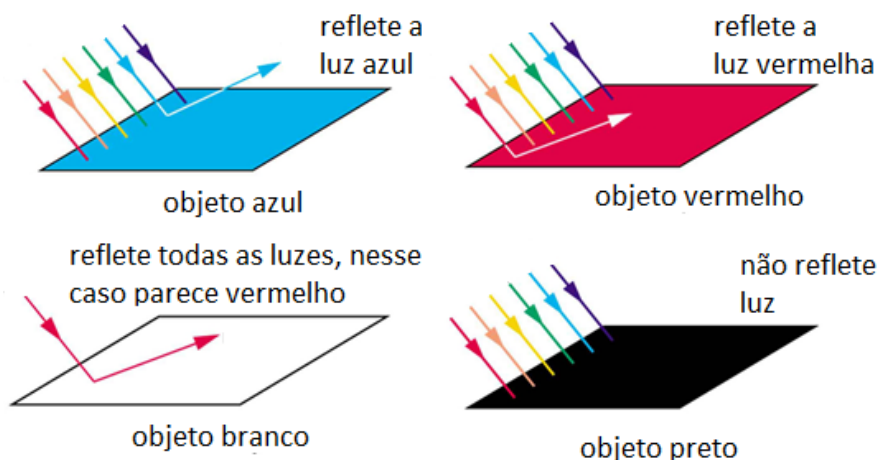
A reflexão é a capacidade da luz de incidir em um meio material e retornar ao meio de onde foi emitido. Parece meio confuso, então vamos ver algumas imagens sobre.



Na imagem²⁷ acima temos 4 raios paralelos, se propagando em um determinado meio. Ao atingir a superfície, esses raios não entram no outro meio, ou seja, não mudam de meio. Eles apenas retornam ao meio de onde vieram.

²⁷ Disponível em: <https://brainly.com.br/tarefa/27141700>. Acesso em 30 de Maio de 2024

A primeira coisa que pensamos quando falamos de reflexão é espelho, o que não é um pensamento errado. Porém a reflexão está muito mais presente no nosso cotidiano do que somente no espelho. Por exemplo, as cores que vemos em uma determinada superfície, não significa que aquela cor é da superfície. A superfície apenas reflete aquela determinada cor. Vejamos uma imagem²⁸ como exemplo.



Ou seja, uma superfície ou objeto é verde pois reflete apenas a cor verde. Uma superfície é azul pois apenas reflete a cor azul. Vale ressaltar que a cor branca na realidade é a soma de todas as cores, então uma superfície branca reflete todas as cores juntas. Mas e a cor preta? Na física, preto não é cor. Preto é a absorção de todas as cores, ou, em outras palavras, o preto absorve todas as cores.

Exercícios

1) Uma determinada camisa, quando iluminada com uma luz branca, possui uma cor branca. Qual cor essa camisa teria se:

- a) Fosse iluminada com uma luz de cor azul?
- b) Fosse iluminada com uma luz de cor vermelha?

2) Uma determinada superfície, quando iluminada com uma luz branca, possui uma cor preta. Qual cor essa superfície teria se:

²⁸ Disponível em: <https://pt.khanacademy.org/science/9-ano/materia-e-energia-as-ondas/as-cores/a/cor-luz-e-cor-pigmento>. Acesso em 20 de Agosto de 2024.

- a) Fosse iluminada com uma luz de cor azul?
- b) Fosse iluminada com uma luz de cor vermelha?
- 3) Em um dia ensolarado, uma pessoa decide colocar uma blusa branca e uma preta para secar. Alguma blusa seca primeiro ou as duas secam ao mesmo tempo?

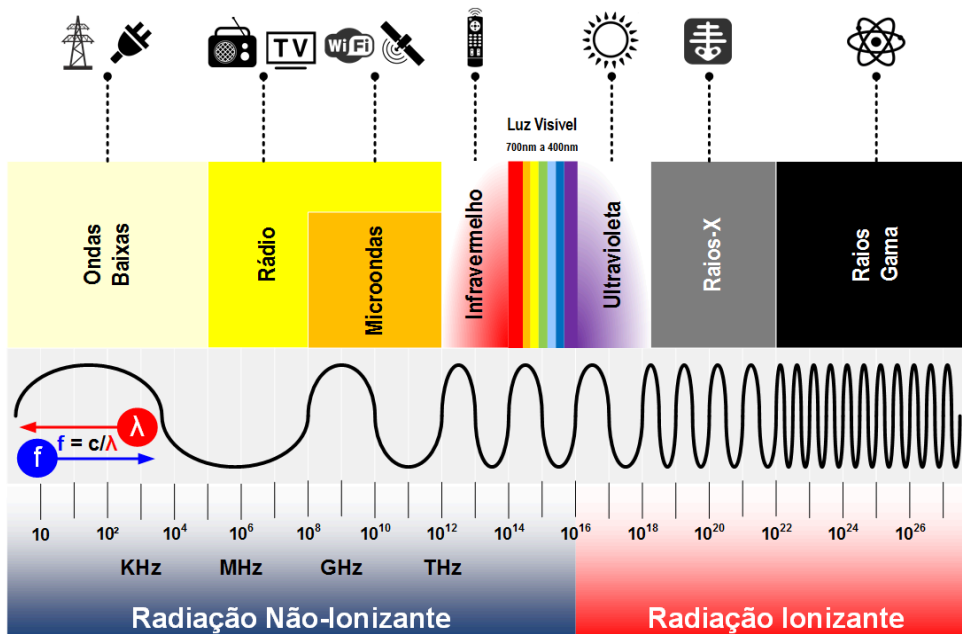
2.6. O ESPECTRO ELETROMAGNÉTICO

No subcapítulo anterior, falamos um pouco sobre as cores e como elas não são uma característica intrínseca do corpo. As cores de um corpo são apenas reflexões de uma fonte de raios de luz branca, como os raios do Sol, por exemplo. Neste subcapítulo vamos agora falar um pouco sobre o chamado espectro eletromagnético e sua relação com as cores, para isso vamos definir primeiro o espectro eletromagnético.

O espectro eletromagnético pode ser definido como o conjunto (ou junção) de todas as ondas ditas eletromagnéticas. No capítulo 1, falamos que as ondas podem ser divididas entre mecânicas e eletromagnéticas, lembram? Agora nosso foco são as eletromagnéticas.

O espectro eletromagnético é muito presente no nosso cotidiano, vai desde ondas de rádio, bluetooth, microondas até a radiação. Pode parecer estranho dizer que ondas de rádio são luz, mas é verdade, mas então, por que não vemos as ondas de rádio voando por aí? Simplesmente porque as ondas de rádio não estão no chamado espectro visível, em outras palavras, nosso olho não é capaz de interpretar as ondas de rádio, sendo invisíveis para nós. A imagem abaixo²⁹ mostra o espectro eletromagnético completo, ou ao menos conhecido, até o momento.

²⁹ Imagem adaptada, disponível em: <https://labcisco.blogspot.com/2013/03/o-espectro-eletromagnetico-na-natureza.html>. Acesso em 27 de Maio de 2024.



Podemos perceber na imagem anterior que a luz visível é apenas uma pequena parcela do espectro eletromagnético. As ondas vão se diferenciar pelo tamanho do comprimento de onda e pela frequência de emissão. A regra é uma onda que possui uma frequência baixa, então ela possui um comprimento de onda grande e vice-versa. A única coisa que todas as ondas do espectro eletromagnético possuem em comum é a velocidade de propagação, todas se propagam com $c \approx 3.10^8 m/s$, sendo, a relação entre velocidade de propagação, frequência e comprimento de onda para o caso das ondas eletromagnéticas:

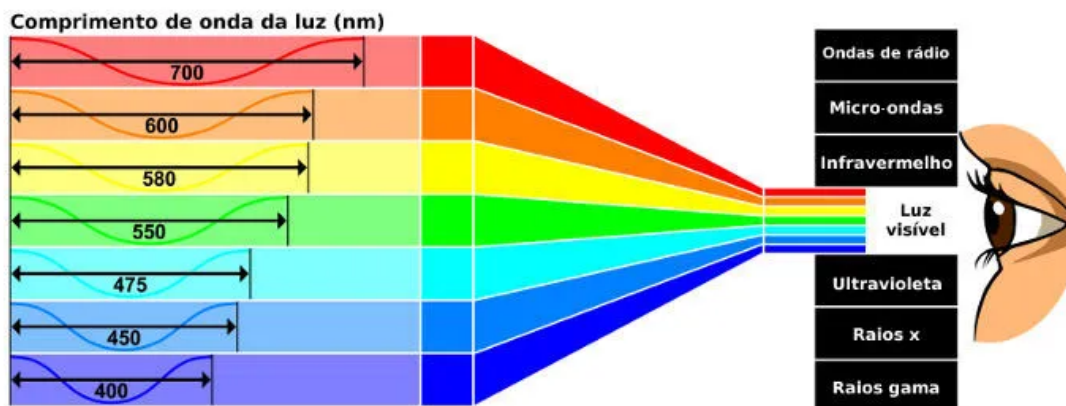
$$c = Lf$$

Geralmente não tratamos as ondas pelo comprimento de onda, no cotidiano tratamos pela frequência, afinal, quando sintonizamos um rádio, estamos sintonizando em uma frequência AM, FM dentro de um valor em específico. Vejamos uma tabela³⁰ abaixo sobre as frequências de rádio.

³⁰ Disponível em: <https://set.org.br/news-revista-da-set/artigo-news-revista-da-set/a-extensao-da-faixa-de-fm-efm-e-a-migracao-da-faixa-de-om/>. Acesso em 27 de Maio de 2024.

Canal 5 (76,0 MHz a 82,0 MHz)				Canal 6 (82,0 MHz a 87,4 MHz)			
canal	frequência (MHz)	canal	frequência (MHz)	canal	frequência (MHz)	canal	frequência (MHz)
141	76,1	156	79,1	171	82,1	186	85,1
142	76,3	157	79,3	172	82,3	187	85,3
143	76,5	158	79,5	173	82,5	188	85,5
144	76,7	159	79,7	174	82,7	189	85,7
145	76,9	160	79,9	175	82,9	190	85,9
146	77,1	161	80,1	176	83,1	191	86,1
147	77,3	162	80,3	177	83,3	192	86,3
148	77,5	163	80,5	178	83,5	193	86,5
149	77,7	164	80,7	179	83,7	194	86,7
150	77,9	165	80,9	180	83,9	195	86,9
151	78,1	166	81,1	181	84,1	196	87,1
152	78,3	167	81,3	182	84,3	197	87,3
153	78,5	168	81,5	183	84,5		
154	78,7	169	81,7	184	84,7		
155	78,9	170	81,9	185	84,9		

Mas e o que isso tem a ver com as cores? Bom, as cores estão em uma parte específica do espectro eletromagnético, chamada de luz visível. Cada cor possui uma frequência e um comprimento de onda específico, como pode ser observado na imagem³¹ abaixo.



O olho humano é capaz de interpretar as ondas com comprimento de cerca de 700 nm (nanômetro, $1\text{nm}=10^{-9}\text{m}$) até 400 nm, ou então na faixa da frequência $7,5 \cdot 10^{14}\text{Hz}$ até $4,2 \cdot 10^{14}\text{Hz}$. Em outras palavras, qualquer comprimento de onda, ou

³¹ Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/fisica/luz.htm>. Acesso em 30 de Abril de 2025.

frequência abaixo ou acima do limite, o olho não interpreta e não é possível ver as ondas.

Como é possível ver na imagem anterior, o vermelho possui comprimento de cerca de 700nm, enquanto que o laranja possui comprimento de cerca de 600nm e assim por diante. Mas agora você deve estar se perguntando, só aparece os comprimentos de onda de 7 cores, e as outras cores? As outras cores ou vão ser as tonalidades dessas cores, por exemplo, um vermelho com um comprimento de onda com 720nm possuirá uma tonalidade diferente do vermelho de 700nm, ou então as outras cores vão ser junção de alguma dessas cores, lembrando que, quando juntamos todas as cores, obtemos a cor branca.

Quando temos os comprimentos de onda menores, vamos obter o chamado ultravioleta (UV), os raios X e os raios gama. Da faixa do ultravioleta, passamos a ter a chamada radiação ionizante, em outras palavras, o ultravioleta, raios X e raios gama são capazes de arrancar elétrons de superfícies diversas. Mas e por que isso é perigoso? Bom, basta pensar que o corpo humano é formado por átomos, e quando arrancamos elétrons desses átomos, eles ficam “errados” e isso altera o DNA humano, quando isso acontece, a pessoa pode desenvolver câncer.

O ultravioleta (UV), por exemplo, é emitido na luz solar, então sempre que tiver aqueles dias de Sol intenso, é recomendado o uso de protetor solar, pois o mesmo protege o corpo contra o câncer de pele. Claro que o câncer somente ocorre em altas exposições ou um período prolongado, ou seja, não é porque alguém foi à praia uma vez e não passou o protetor solar, que irá desenvolver câncer.

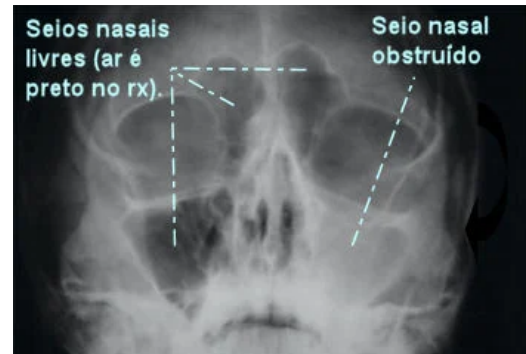
Já os raios X são raios provenientes da eletrosfera. É muito utilizado para tirar chapa e ver os ossos para saber se algum paciente quebrou algum osso, como pode ser visto na imagem³² ao lado. Esse tipo de radiação é mais perigosa do que o UV, tanto que, o médico/operador da máquina fica atrás de uma parede de chumbo protegida contra o



³² Disponível em: <https://brasilescola.uol.com.br/o-que-e/fisica/o-que-sao-os-raios-x.htm>. Acesso em 29 de Maio de 2024.

Raio X. Por mais que sejam um pouco mais perigosos do que o UV, o exame com o Raio X é necessário para avaliar um paciente que sofreu algum acidente. Como norma, para proteger, é normal colocar um colete de chumbo nas áreas, onde não será feita a radiografia, que tenham órgãos sensíveis, tais como pescoço, tórax e virilha, além de não ser recomendado fazer muitos exames ao longo do ano.

É muito comum o médico usar o exame de Raio X para diagnosticar algumas doenças, como a sinusite, como mostrado na figura³³ ao lado. Note que o normal é aparecer uma região preta, mas quando não aparece, significa obstrução por sinusite.



Os raios gama são os mais perigosos de todos e são provenientes do núcleo do átomo, também são conhecidos como radiação nuclear. Esse tipo de radiação ocorre devido ao decaimento radioativo de elementos como o urânio, polônio, rádio, entre outros. A radiação gama é muito presente em usinas nucleares, mais precisamente dentro de um reator e a concentração de raio gama é tanta que o reator é construído com uma camada de aço, chumbo e as paredes do prédio do reator chegam a ter 1 metro de espessura para conter tal radiação. Por ser bastante prejudicial à saúde, tais locais com elevados índices de raios gama possuem placas específicas de radiação, como mostrado na figura³⁴ ao lado.



Os raios gama também são bastante estudados na astrofísica e cosmologia. O próprio sol produz raios gama, em tempestades ou erupções solares. Essa radiação gama solar só não é prejudicial para o ser humano devido ao fato do planeta Terra possuir uma atmosfera que serve de filtro para tais raios. Existem também outras aplicações, por exemplo na medicina existe uma terapia para tratamento de câncer

³³ Disponível em: <https://www.mdsaude.com/otorrinolaringologia/sinusite/>. Acesso em 21 de Julho de 2024.

³⁴ Disponível em: <https://drrodrigomoraes.com.br/radiacao/>. Acesso em 29 de Maio de 2024.

e/ou tumor que usa-se fontes radioativas, na indústria alimentícia existe um processo chamado de irradiação de alimentos, ao qual quando o alimento é irradiado, essa radiação mata os microrganismos do alimento, aumentando a validade do mesmo sem precisar de conservantes químicos.

2.7. REFRAÇÃO

Quando a luz muda de meio, dizemos que a luz sofre refração. Esse é um efeito bem comum no cotidiano, como por exemplo em objetos que estão parcialmente submersos em um copo de água, sempre parecem estar quebrados ou até mesmo tortos, como mostra a imagem³⁵ ao lado.



Mas afinal, o que acontece com a luz quando ela muda de meio? A luz muda de velocidade!!! Parece estranho pensar nisso, pois no subcapítulo 2.1, foi falado

que a luz possui a maior velocidade da natureza, sendo $c \approx 3.10^8 m/s$. Mas lembra, essa velocidade da luz é no vácuo, e, no vácuo, não possui matéria.

Em geral a matéria “atrapalha” a propagação da luz, então quando a luz se depara com um objeto (que não seja opaco) muito denso, sua velocidade de propagação diminui. Vamos pensar o porquê: imagine que você esteja correndo na praia, e decida correr na água. Com certeza correr na água é mais difícil, logo a velocidade que você for correr na água é menor, pois a água é mais densa que o ar, simples assim.

Existe uma relação matemática entre a velocidade da luz no vácuo e a velocidade da luz no meio onde está se propagando, sendo dado por:

$$v = \frac{c}{n}$$

³⁵ Imagem adaptada, disponível em: <https://brasilescola.uol.com.br/o-que-e/fisica/o-que-e-refracao.htm>. Acesso em 15 de Maio de 2024.

Para efeitos de facilitar, iremos adotar que $c = 3.10^8 \text{ m/s}$. Esse v é a velocidade de propagação da luz no meio material em que ele está se propagando. O n é chamado de índice de refração do meio material. Vejamos alguns exemplos de índices de refração conhecidos na tabela abaixo.

Meio Material	Índice de refração n
Ar	1,00
Água	1,33
Gelo	1,31
Álcool	1,36
Diamante	2,42
Rubi	1,71
Vidro	1,50

Vejamos alguns exemplos abaixo.

Exemplo: Calcule a velocidade de propagação de um feixe de luz, sabendo que esse feixe se propaga na água, cujo índice de refração é de $n=1,33$. Adote que $c=3.10^8 \text{ m/s}$.

Resposta: Como $v = \frac{c}{n}$, sendo $n=1,33$ e $c=3.10^8 \text{ m/s}$, então, $v = \frac{3.10^8}{1,33}$,
 $v = 2,26.10^8 \text{ m/s}$ é a velocidade de propagação da luz na água.

Exemplo: Calcule a velocidade de propagação de um feixe de luz, sabendo que esse feixe se propaga dentro de um vidro, cujo índice de refração é de $n=1,50$. Adote que $c=3.10^8 \text{ m/s}$.

Resposta: Como $v = \frac{c}{n}$, sendo $n=1,50$ e $c=3.10^8 \text{ m/s}$, então, $v = \frac{3.10^8}{1,50}$,
 $v = 2.10^8 \text{ m/s}$ é a velocidade de propagação da luz no vidro.

Exercícios

1) Consulte a tabela dos índices de refração e calcule a velocidade de propagação da luz no álcool. Adote que $c=3 \cdot 10^8 \text{m/s}$.

2) Consulte a tabela dos índices de refração e calcule a velocidade de propagação da luz no diamante. Adote que $c=3 \cdot 10^8 \text{m/s}$.

3) Consulte a tabela dos índices de refração e diga em qual dos meios a velocidade da luz é maior e em qual a velocidade é menor. Adote que $c=3 \cdot 10^8 \text{m/s}$.

4) Será que pode existir um meio material com índice de refração $n=0,90$? Faça a conta da velocidade da luz nesse meio e lembre-se: a luz não pode possuir uma velocidade maior que $c=3 \cdot 10^8 \text{m/s}$.

2.8. DIFRAÇÃO

A difração é um fenômeno ondulatório da luz que ocorre quando a luz passa por uma abertura muito pequena, da ordem de nanômetros (10^{-9}m). A luz branca, ao passar pelo que chamamos de redes de difração, se decompõem em diversas cores,

como pode ser visto na imagem abaixo³⁶ (à esquerda). Essa é uma das maneiras que pode se provar que a luz branca é formada pela soma de todas as cores, como pode ser vista no experimento³⁷ abaixo (à direita).



Quando uma fonte de luz monocromática (monocromática significa somente uma cor) passar por uma abertura pequena, a luz difrata e passa a interagir com ela mesma, gerando padrões de interferência, como pode ser visto no esquema da imagem³⁸ abaixo (à esquerda) e seu experimento³⁹ (à direita).



Lembrando que a difração depende do tamanho de abertura da fenda, ou seja, não é qualquer fenda que irá difratar a luz, sendo apenas aberturas da ordem de nanômetros, como pode ser vista na imagem⁴⁰ abaixo.

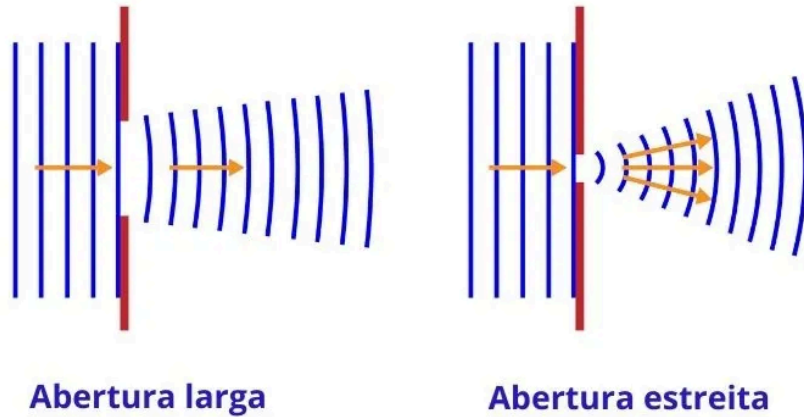
³⁶ Disponível em: <https://era-weblab.blogspot.com/2012/03/componentes-de-um-espectrofotometro.html>. Acesso em 16 de Maio de 2024.

³⁷ Disponível em: https://www.researchgate.net/figure/Figura-2-Difracao-da-luz-branca-ao-passar-pela-grade-e-ser-projetada-no-anteparo_fig2_340707096. Acesso em 16 de Maio de 2024.

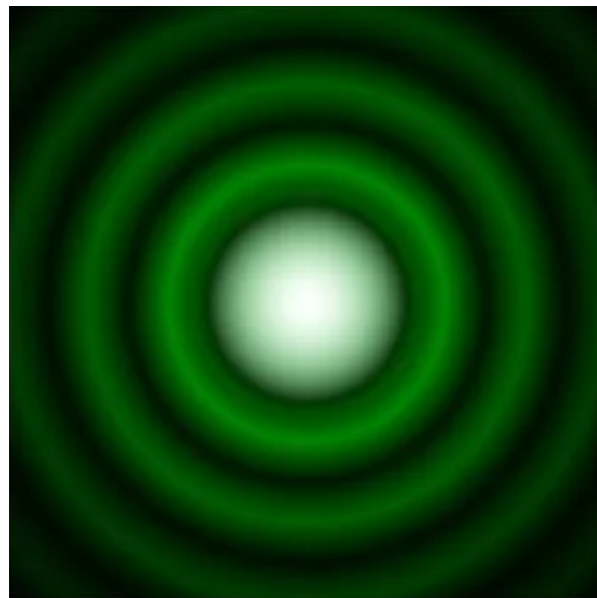
³⁸ Disponível em: <https://mundoeducacao.uol.com.br/fisica/o-fenomeno-difracao.htm>. Acesso em 16 de Maio de 2024.

³⁹ Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?app=desktop&v=Yp4mQC69Zag>. Acesso em 16 de Maio de 2024.

⁴⁰ Disponível em: <https://mundoeducacao.uol.com.br/fisica/o-fenomeno-difracao.htm>. Acesso em 16 de Maio de 2024.



A difração também depende do formato da abertura da fenda, por exemplo, se a abertura for circular, a difração ocorre como é mostrado na figura⁴¹ abaixo.



Exercícios

1) Marque V para as afirmações verdadeiras, F para as falsas e explique o erro das afirmações falsas.

() A difração é o fenômeno onde a luz contorna obstáculos ou espalha-se ao passar por uma fenda estreita.

⁴¹ Disponível em: <https://mundoeducacao.uol.com.br/fisica/o-fenomeno-difracao.htm>. Acesso em 16 de Maio de 2024.

- () A difração ocorre com maior intensidade quando o comprimento de onda da luz é muito menor que o tamanho da fenda ou do obstáculo.
- () A difração comprova o caráter ondulatório da luz.
- () Ao passar por uma fenda muito estreita, a luz branca se separa em cores devido à difração, um fenômeno conhecido como dispersão.
- () Na difração de fenda única, a franja central é a mais estreita e menos intensa de todas.
- () A luz branca, ao difratar em uma fenda, produz um padrão colorido, mas o centro da imagem permanece branco.
- () A difração permite que a luz invada a região de sombra geométrica.

2) Thomas Young (1773-1829) fez a luz de uma fonte passar por duas fendas paralelas antes de atingir um obstáculo e observou no anteparo o surgimento de regiões claras e escuras. Marque a alternativa verdadeira a respeito desse fenômeno:

- a) Trata-se do fenômeno da refração, em que a luz tem condição de passar por obstáculos.
- b) Trata-se do fenômeno da difração, que ocorre somente com ondas mecânicas.
- c) Trata-se do fenômeno da difração, em que, após a passagem por pequenos obstáculos, as ondas tendem a contorná-lo.
- d) Trata-se do fenômeno da polarização, em que, após a passagem por pequenos obstáculos, as ondas tendem a contorná-lo.
- e) Trata-se do fenômeno da difração, em que, após a passagem por pequenos obstáculos, as ondas mecânicas tendem a contorná-lo.

3)A partir do século XIII, iniciando com o pensador Robert Grosseteste,os estudos em óptica avançaram sistemática e positivamente, dando origem às explicações científicas a respeito das produções de fenômenos e imagens, como é o caso dos estudos sobre o arco-íris e as lentes.

Sobre o fenômeno de formação do arco-íris, considere as afirmativas a seguir.

I. O arco-íris primário é causado por uma refração e uma reflexão dos raios de Sol nas gotas de chuva.

II. O arco-íris aparece quando os raios de luz branca incidem em gotículas de água presentes no ar e pode ocorrer naturalmente ou ser produzido artificialmente.

III. O arco-íris é decorrente do processo de difração da luz branca nas gotas de chuva.

IV. A dispersão dos raios de luz branca é responsável pelo espectro de luzes coloridas que aparece, por exemplo, pela passagem dessa luz por gotículas de água ou por um prisma e cristal trigonal.

Estão corretas apenas as afirmativas:

a) I e III.

b) II e IV.

c) I, II e III.

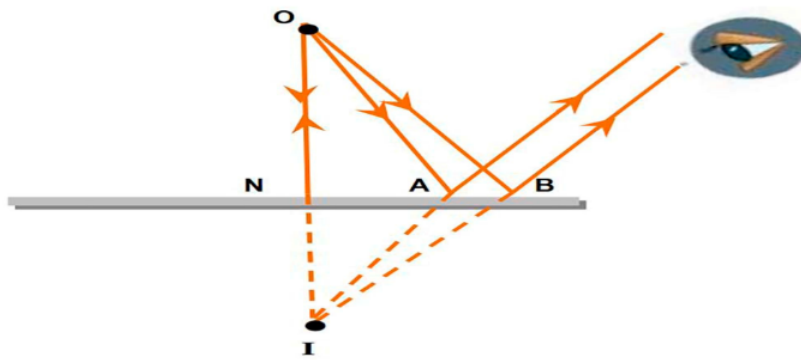
d) I, II e IV.

e) II, III e IV.

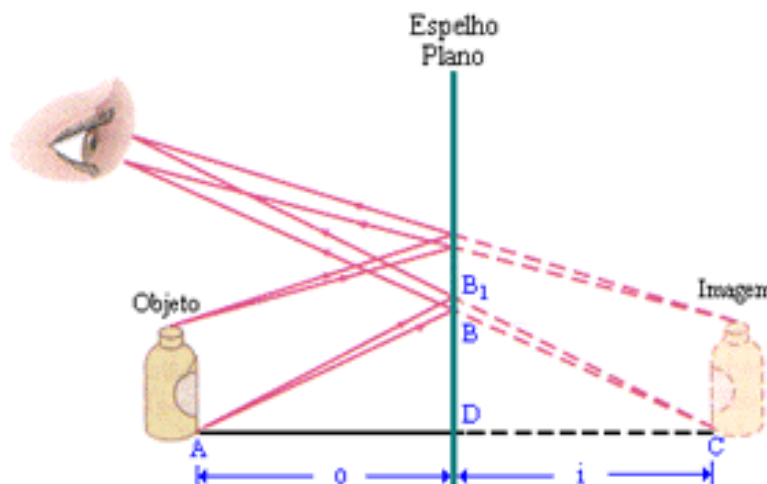
2.9. ESPELHOS PLANOS

Os espelhos planos são superfícies planas, polidas e sem curvaturas que refletem totalmente luz de maneira regular. Para se formar imagens os raios de luz precisam se cruzar. No caso dos espelhos planos, o que ocorre é o cruzamento do prolongamento dos raios luminosos. Parece meio confuso de início, para isso, vamos utilizar o auxílio da imagem⁴² abaixo.

⁴² Disponível em: <https://www.mdpi.com/2227-7102/13/5/445>. Acesso em 20 de Maio de 2024.



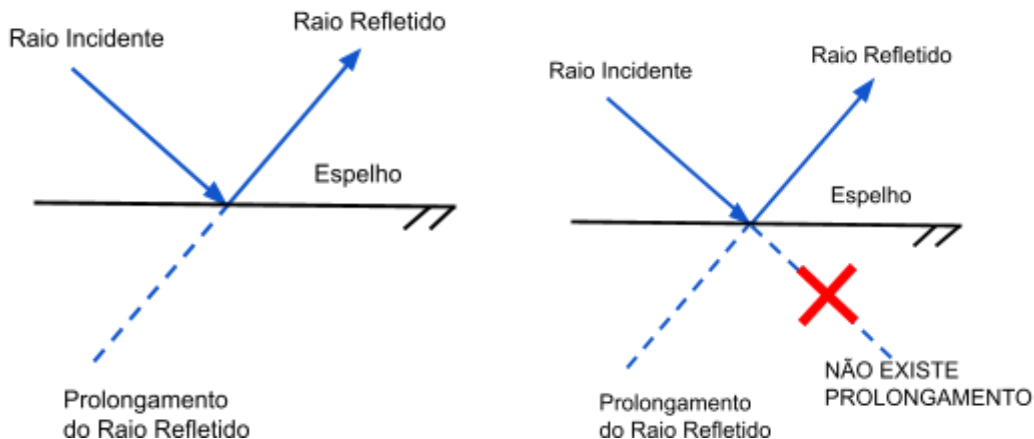
Imagine que no ponto O exista um objeto luminoso. Esse objeto possui uma distância d em relação ao espelho na vertical. Como esse objeto é luminoso, vão existir raios de luz. Tais raios vão em direção ao espelho e refletem, mas e a linha pontilhada, o que seria? A linha pontilhada é o chamado prolongamento dos raios. Por esse motivo, um observador tem sempre a sensação de que o objeto estaria “dentro” do espelho (ponto I). Vejamos outro exemplo na figura⁴³ abaixo.



Perceba que o observador não olha diretamente para o objeto, ele olha para a imagem do objeto que está “dentro” do espelho, essa imagem é formada pelo prolongamento dos raios refletidos.

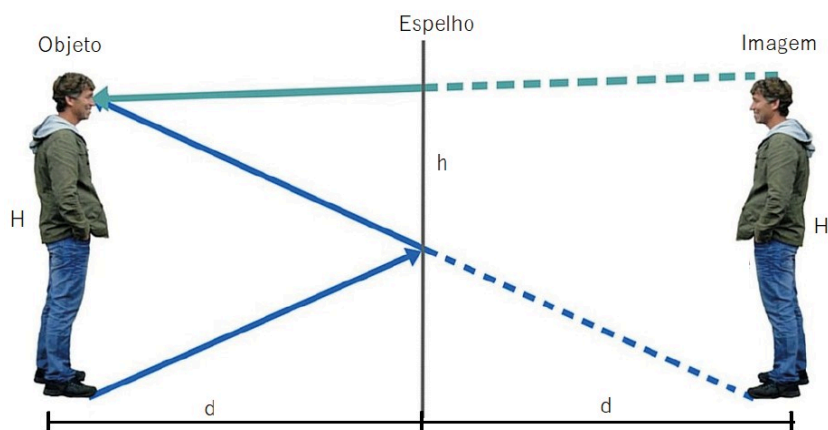
Agora, muito cuidado: somente existe o prolongamento do raio que é refletido, não existe prolongamento do raio que incide no espelho, ou seja:

⁴³ Disponível em: <https://brainly.com.br/tarefa/31187293>. Acesso em 26 de Maio de 2024.

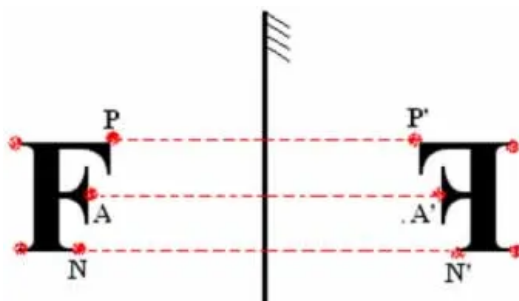


O espelho plano possui algumas propriedades, sendo elas:

- 1) A distância do objeto ao espelho é a mesma que sua imagem ao espelho, como vemos na imagem⁴⁴ abaixo.



- 2) A imagem ficará contrária, é o que chamamos de imagem espelhada, como podemos ver na imagem⁴⁵ abaixo.



⁴⁴ Disponível em: <https://www.idntimes.com/science/discovery/5-hukum-sains-yang-mengubah-cara-pandang-manusia-tentang-alam-semester-01-mfwcp-m10r54>. Acesso em 3 de Abril de 2024.

⁴⁵ Disponível em: <https://old.kuadro.com.br/resumos-enem-vestibulares/fisica/leis-da-reflexao/reflexao-da-luz-%E2%80%93-espelhos-planos?id=11125&topicId=4230>. Acesso em 3 de Abril de 2024.

- 3) Quando um espelho é colocado na frente do outro, gera uma imagem infinita, como pode ser visto na figura⁴⁶ a seguir.



- 4) A imagem refletida possui uma classificação, sendo ela de direita (pois não é invertida), virtual (pois a imagem está “dentro” do espelho) e de mesmo tamanho.

Exercícios

- 1) Por qual motivo o carro da ambulância⁴⁷ é escrito invertido?

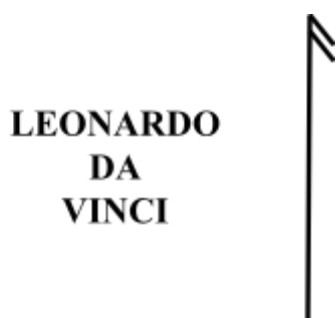


- 2) Um objeto de 30 cm de altura é colocado 40 cm à frente da superfície de um espelho plano. Qual a altura da imagem refletida pelo espelho e a distância entre o objeto e essa imagem?

⁴⁶ Disponível em: <https://tonocosmos.com.br/o-espelho-infinito-e-as-dimensoes-parallelas>. Acesso em 7 de Abril de 2024.

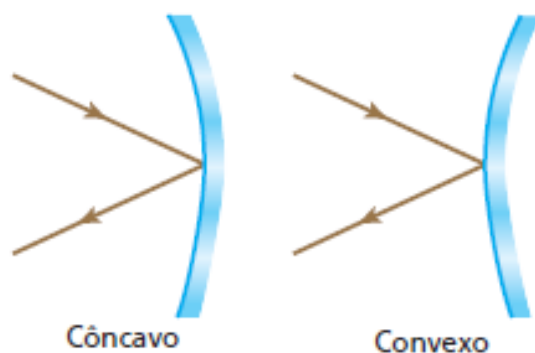
⁴⁷ Disponível em: <https://www.avare.sp.gov.br/noticias/secretaria-da-saude-cede-ambulancia-para-samu-de-avare/>. Acesso em 7 de Abril de 2024.

3) Leonardo da Vinci foi um grande pensador da renascença. Seus diários eram codificados para que apenas ele conseguisse ler. A forma de codificação era utilizar espelho e escrever espelhado. Complete o desenho abaixo de como ficaria o nome Leonardo da Vinci no espelho.



2.10. ESPELHOS ESFÉRICOS

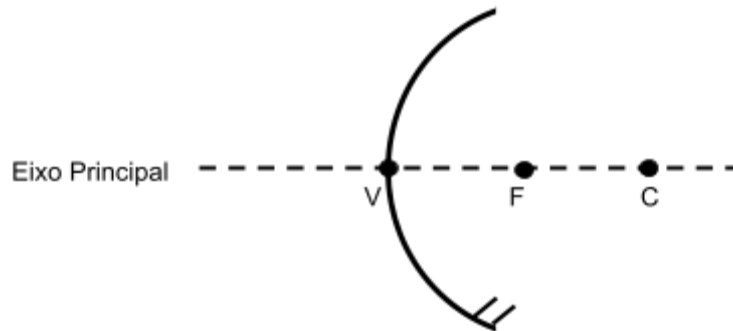
Os espelhos esféricos são superfícies polidas e com curvaturas que refletem totalmente luz de maneira regular. Diferente do espelho plano, uma superfície esférica pode ser polida de duas formas: externa e interna. Por isso, os espelhos esféricos são divididos em 2 categorias, os espelhos convexos e côncavos. Vejamos uma imagem⁴⁸ como exemplo e depois abordaremos mais a fundo cada caso.



⁴⁸ Disponível em: <https://dex.descomplica.com.br/enem/fisica/extensivo-enem-espelhos-esfericos-metodo-grafico-2/explicacao/1>. Acesso em 10 de Abril de 2024

2.10.1. ESPELHO CONVEXO

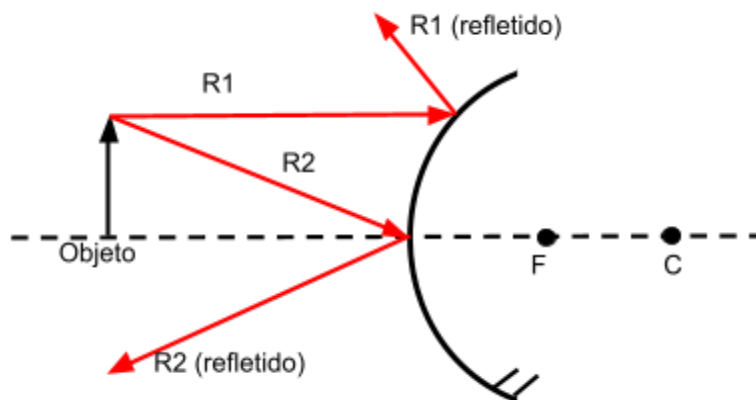
No espelho convexo a parte externa da superfície esférica é polida. Se pensarmos em uma colher, a parte convexa seria a parte externa da colher. A representação do espelho é da forma:



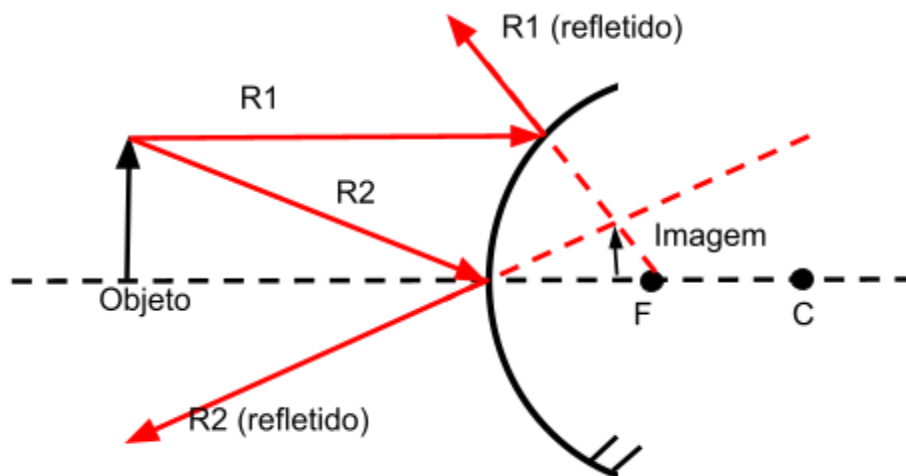
O espelho convexo é composto pelo eixo principal, centro (C), foco (F) e vértice (V). O centro e o foco são ditos virtuais, pois estão na parte de “dentro” do espelho e o vértice é o ponto que fica no espelho e no eixo principal ao mesmo tempo. É muito importante, para o estudo de espelhos esféricos, sabermos desenhar os chamados raios notáveis. Imagine um objeto sendo uma seta, por exemplo. São sempre 2 raios notáveis:

- O primeiro raio notável, R1, vai paralelo ao eixo principal, encosta na superfície do espelho e reflete, o prolongamento desse raio refletido sempre passa pelo foco;
- O segundo raio notável, R2, vai pela diagonal, encosta no vértice e é refletido;

Se fizermos um esquema, teremos:



Lembre que para formar imagem, precisa haver cruzamento dos raios, mas perceba que os raios não se cruzam. Então não forma imagem? Vamos ver os prolongamentos dos raios refletidos:



Note que o prolongamento se cruza, logo a imagem é formada “dentro” do espelho. Classificamos essa imagem como direita (pois não está invertida), virtual (pois está dentro do espelho) e menor (pois é menor que o objeto).

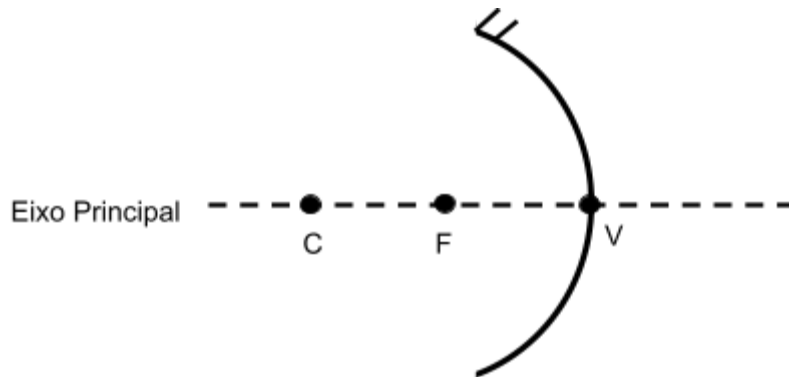
No cotidiano é muito comum esse tipo de espelho em retrovisores de carros, ônibus e até mesmo em lojas, como mostra as imagens⁴⁹ abaixo.



⁴⁹ Disponíveis em: <https://www.amazon.com.br/Espelho-Convexo-Borda-Borracha-Liga%C3%A7%C3%A3o/dp/B07GC9NFXY>.
<https://www.magazineluiza.com.br/par-espelho-redondo-auxiliar-carro-vans-caminhao-onibus-estamparia-paulista/p/cb7e821jag/au/reca/>. Acesso em 15 de Abril de 2024.

2.10.2. ESPELHO CÔNCAVO

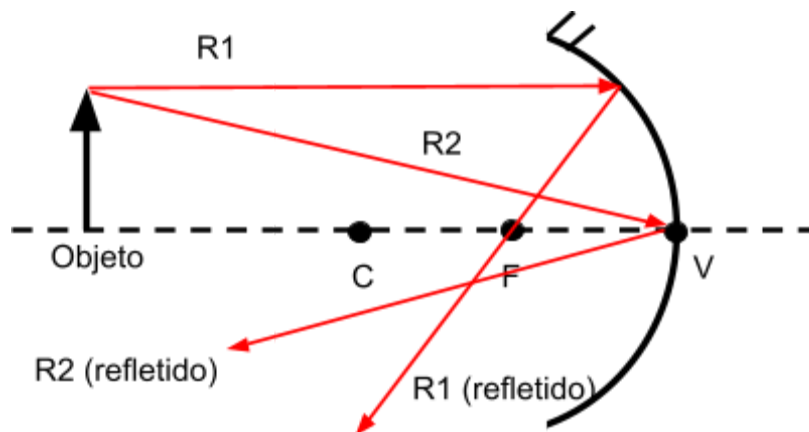
No espelho côncavo a parte interna da superfície esférica é polida. Se pensarmos em uma colher, a parte côncava seria a parte interna da colher. A representação do espelho é da forma:



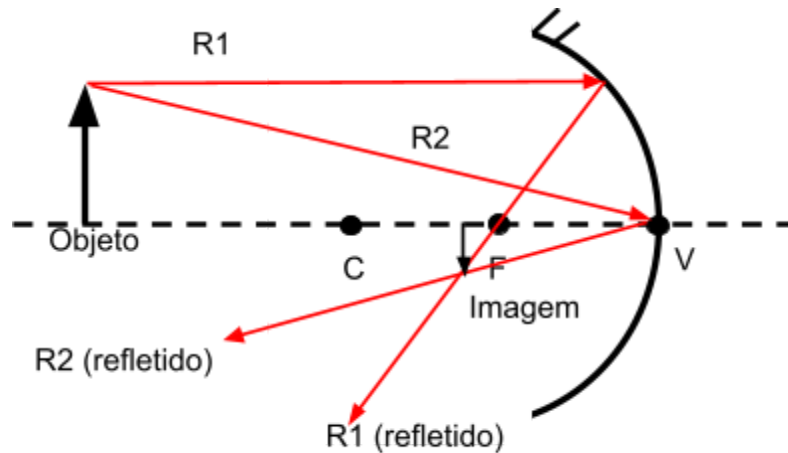
O espelho côncavo é composto pelo eixo principal, centro (C), foco (F) e vértice (V). O centro e o foco são ditos reais, pois estão na parte de "fora" do espelho e o vértice é o ponto que fica no espelho e no eixo principal ao mesmo tempo. É muito importante, para o estudo de espelhos esféricos, sabermos desenhar os chamados raios notáveis. Imagine um objeto sendo uma seta, por exemplo. São sempre 2 raios notáveis:

- O primeiro raio notável, R1, vai paralelo ao eixo principal, encosta na superfície do espelho e reflete,
- O segundo raio notável, R2, vai pela diagonal, encosta no vértice e é refletido;

Se fizermos um esquema, teremos:

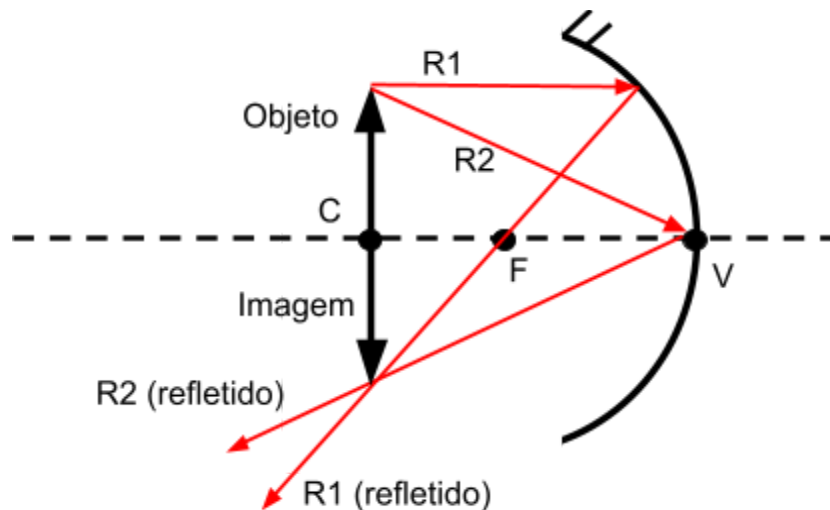


Lembre que para formar imagem, precisa haver cruzamento dos raios, logo:



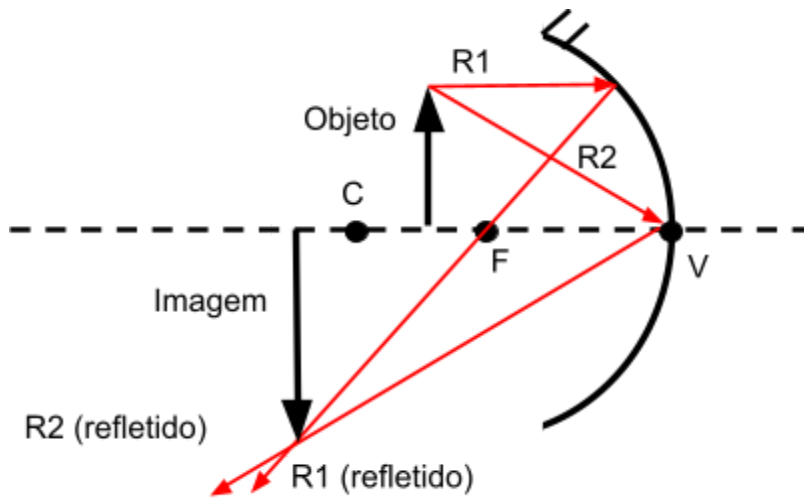
Note que os raios refletidos se cruzam, logo a imagem é formada “fora” do espelho. Classificamos essa imagem como invertida, real (pois está “fora” do espelho) e menor (pois é menor que o objeto). Esse tipo de espelho é um pouco mais complicado, pois a classificação da imagem dependerá da posição do objeto. Vejamos outros casos abaixo.

1) Objeto no centro:



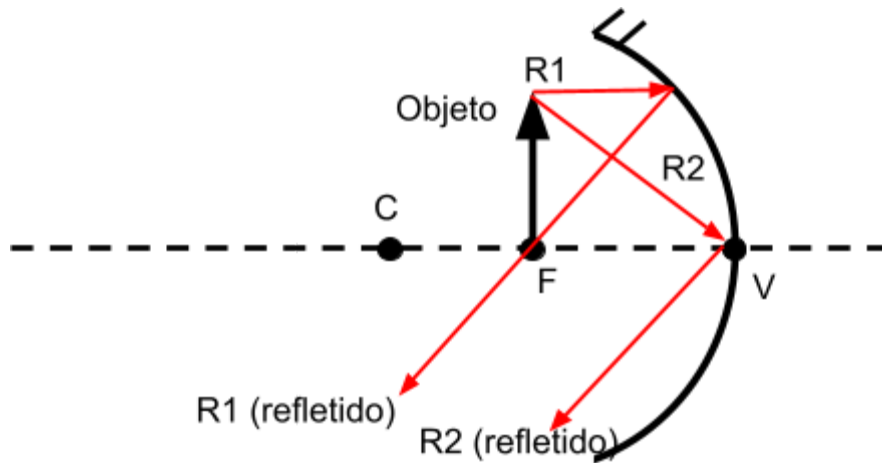
Agora o objeto está no centro. Sua imagem recebe a classificação de invertida, real e de mesmo tamanho.

2) Objeto entre o centro e o foco:



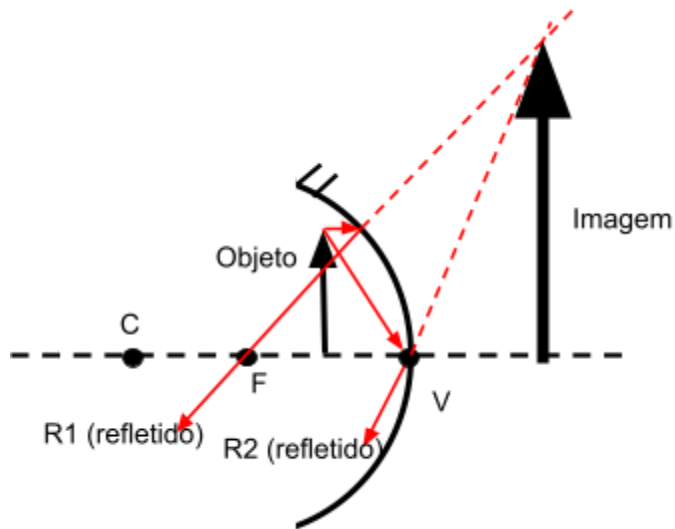
Agora o objeto está entre o centro e o foco. Sua imagem recebe a classificação de invertida, real e maior.

3) Objeto no foco:



Agora o objeto está no foco. Note que os raios R1 e R2 não se cruzam, logo não forma imagem, também chamado de imagem imprópria.

4) Objeto entre foco e vértice:



Agora o objeto está entre o foco e o vértice. Note que os raios R1 e R2 não se cruzam, mas o cruzamento se dá no prolongamento dos raios refletidos. A imagem é classificada como virtual (pois está dentro do espelho), direita (pois não é invertida) e maior.

No cotidiano os espelhos côncavos são encontrados nos postes de iluminação, faróis de carros e lanternas em geral, como pode ser visto na imagem⁵⁰ ao lado.



Exercícios

1) Explique com as suas palavras as diferenças entre:

- a) Imagem Virtual e Real;
- b) Imagem Direita e Invertida;

⁵⁰ Disponível em: <https://www.magazineluiza.com.br/farolete-holofote-lanterna-led-sitio-chacara-profissional-nf-dp-led-light/p/hd0b5acah9/es/lhof/>. Acesso em 16 de Abril de 2024.

2) Classifique os tipos de espelho abaixo.

a)



b)



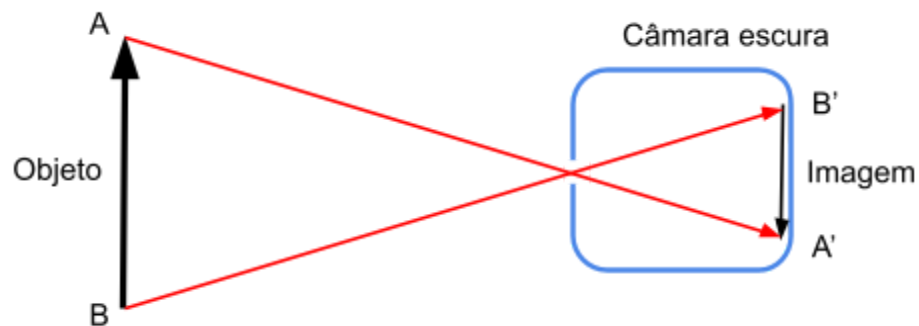
c)



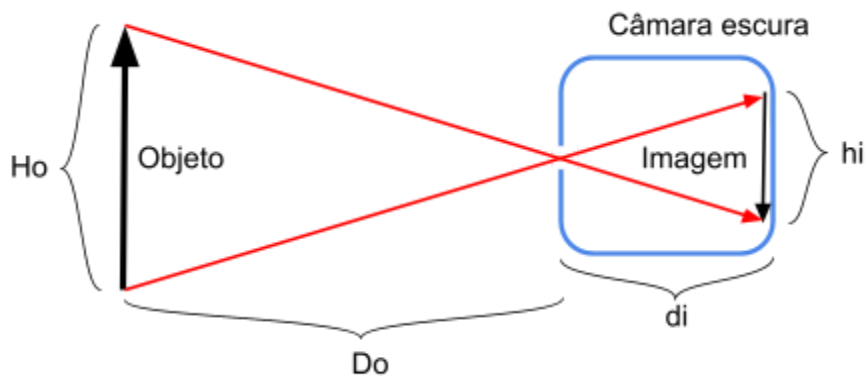
3) Cite duas semelhanças e duas diferenças entre espelhos convexos e côncavos.

2.11. CÂMARA ESCURA

A câmara escura é considerada a origem da máquina fotográfica. Ela é composta por uma câmara com um orifício (abertura). Ela usa o princípio de independência dos feixes luminosos e, a imagem projetada fica invertida, parece estranho pensar nisso, então vejamos a imagem abaixo.

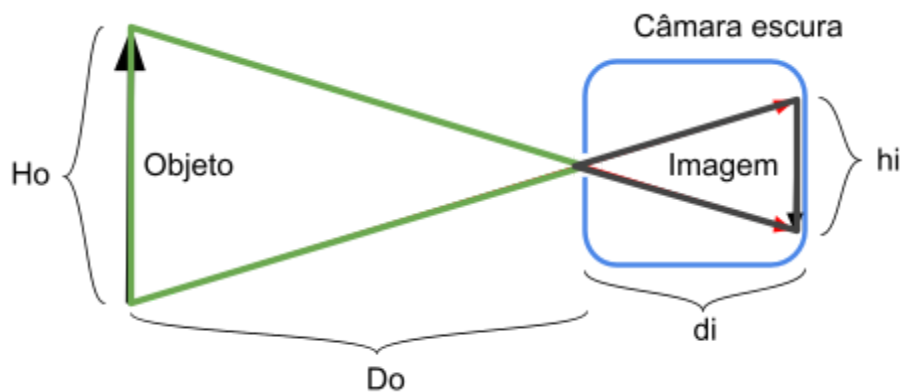


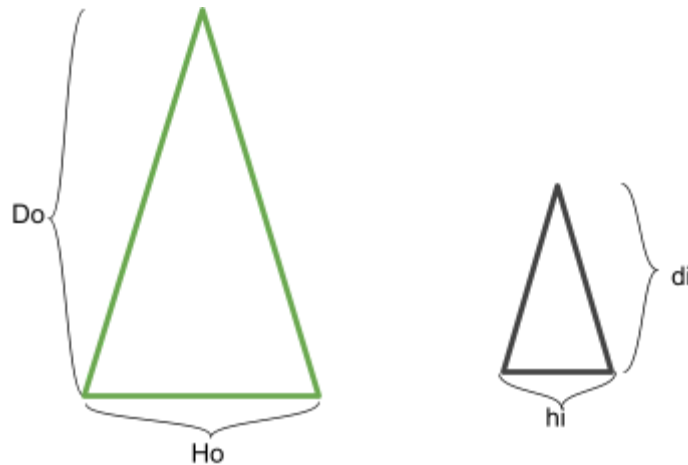
Se formos analisar a imagem acima, percebemos que os raios luminosos partem da parte superior do objeto (A), passam pelo orifício e ficam na parte inferior do fundo da câmara (A'). Já os raios luminosos da parte inferior (B), passam pelo orifício, e ficam na parte superior do fundo da câmara (B'). Agora percebemos que a imagem fica invertida e menor. Podemos calcular o tamanho da imagem em relação às dimensões da câmara, da altura e distância do objeto em relação à câmara, como é mostrado na imagem abaixo.



Sendo H_o a altura do objeto, D_o a distância do objeto em relação à abertura da câmara, d_i a distância da imagem em relação à abertura da câmara e h_i a altura da imagem formada. Note que d_i é exatamente a profundidade da câmara e h_i só pode possuir o valor máximo referente a altura da câmara.

Se percebermos, temos relações de triângulos, como mostra a imagem abaixo.





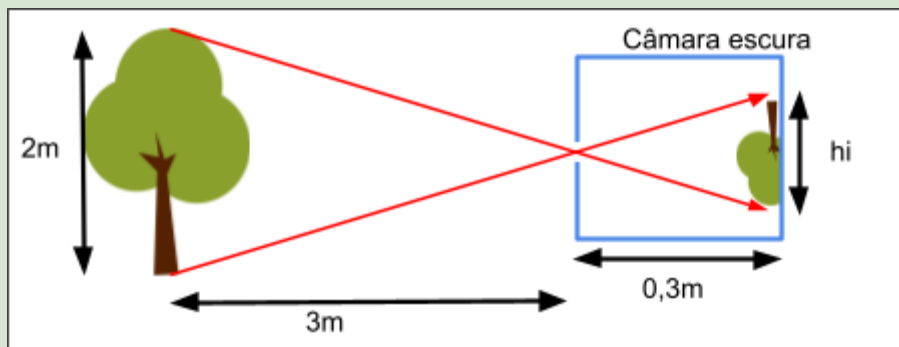
Por semelhança de triângulos, obtemos:

$$\frac{H_o}{D_o} = \frac{h_i}{d_i}$$

Vejam alguns exemplos abaixo:

Exemplo: Deseja-se tirar uma foto de uma árvore que possui 2 metros de altura. Para isso, posiciona-se a câmara em uma posição a 3 metros de distância da árvore. Sabendo que a câmara é um cubo de dimensões de lado com 0,3m, calcule o tamanho da imagem formada na foto.

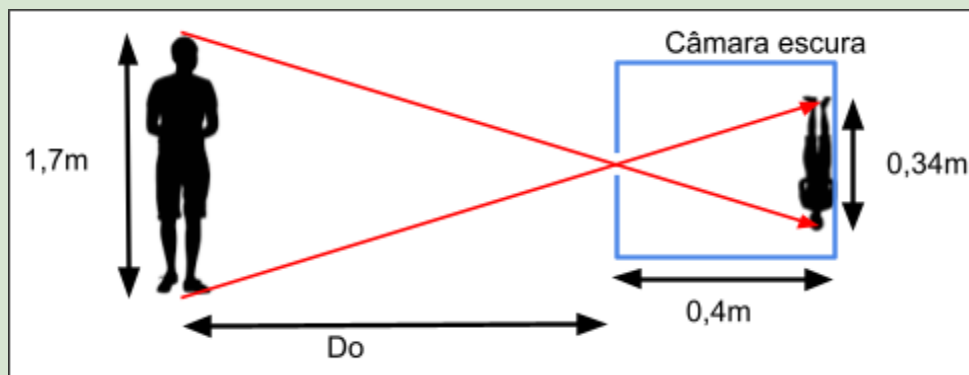
Resposta: Para isso vamos fazer o desenho do problema:



Sendo $H_o=2m$, $D_o=3m$, $d_i=0,3m$, basta calcular o tamanho da imagem formada h_i , usando a fórmula $\frac{H_o}{D_o} = \frac{h_i}{d_i}$, logo, $\frac{2}{3} = \frac{h_i}{0,3}$, $h_i = \frac{2 \cdot 0,3}{3}$, $h_i = \frac{0,6}{3}$, $h_i = 0,2m$ é a altura da imagem formada.

Exemplo: Deseja-se obter uma imagem de altura 0,34m, de uma pessoa que possui 1,7 metro de altura. Sabendo que a câmara é um cubo de dimensões de lado com 0,4m, calcule qual distância da pessoa em relação à câmara.

Resposta: Para isso vamos fazer o desenho do problema:



Sendo $H_o=1,7\text{m}$, $h_i=0,34\text{m}$, $d_i=0,4\text{m}$, basta calcular a distância do objeto (pessoa) em relação à câmara D_o , usando a fórmula $\frac{H_o}{D_o} = \frac{h_i}{d_i}$, logo, $\frac{1,7}{D_o} = \frac{0,34}{0,4}$, $D_o = \frac{1,7 \cdot 0,4}{0,34}$, $D_o = \frac{0,68}{0,34}$, $D_o = 2\text{m}$ é a distância da pessoa em relação à câmara.

Exercícios

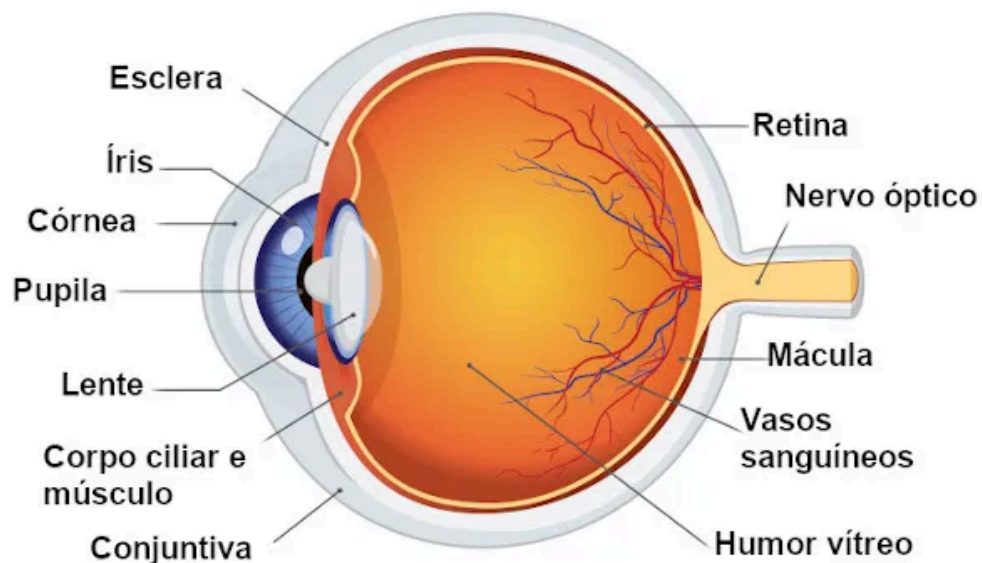
1) Um fotógrafo observa a imagem de uma árvore formada em uma câmara escura. Com o objetivo de definir a altura da árvore, o fotógrafo posiciona a câmara, de 0,30m de comprimento, a uma distância de 30m da árvore. Se o tamanho da imagem obtida pelo instrumento foi de 0,05m, qual era a altura da árvore?

2)Um prédio de 30 m está posicionado frente a uma câmara escura de orifício de tamanho 0,60m. Sabendo que a imagem formada na câmara tem tamanho 0,20m, determine a distância entre o prédio e a câmara.

2.12. OLHO HUMANO

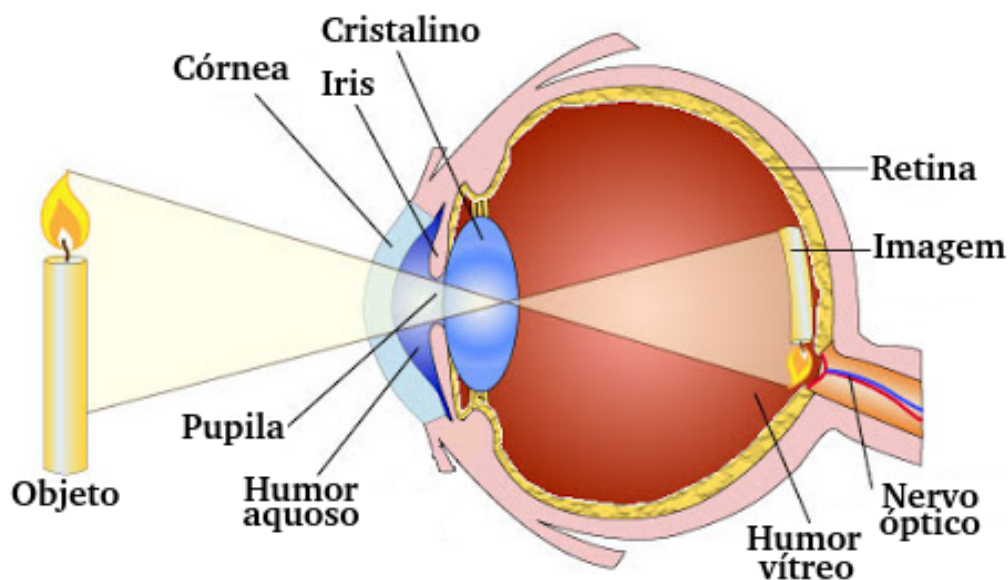
Inicialmente parece estranho estarmos falando do olho humano, afinal isto não é uma apostila de biologia. Mas se pararmos para pensar um pouco, o olho humano tem muita física envolvida. Em outras palavras, neste subcapítulo vamos abordar a parte física do olho humano.

O olho humano é um órgão complexo, responsável por captar raios luminosos e, através dos nervos e neurônios, levar essa informação para o cérebro interpretar as informações. A imagem⁵¹ abaixo mostra um pouco sobre a anatomia do olho humano.



⁵¹ Disponível em: <https://mundoeducacao.uol.com.br/biologia/estrutura-interna-dos-olhos.htm>. Acesso em 21 de Maio de 2024.

Mas e o que isso teria a ver afinal com a física? Bom, nesta apostila estamos interessados em saber como a imagem é formada no olho humano, como podemos perceber na figura⁵² abaixo.



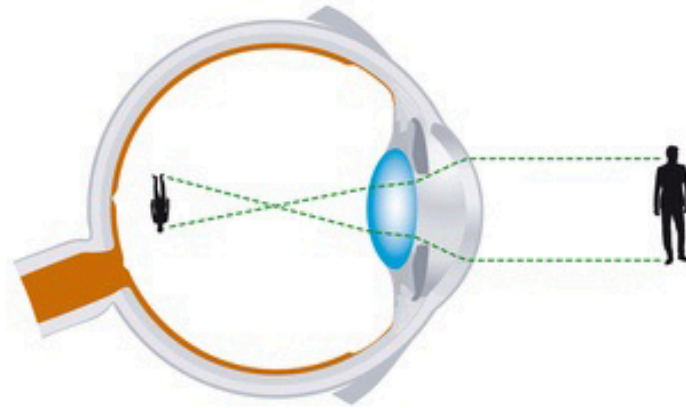
Como podemos perceber, a formação de dentro do olho humano funciona exatamente como uma câmara escura: a imagem fica invertida. Mas espera, isso significa que vemos o mundo invertido? Não, afinal a formação da imagem é invertida, mas quando essa informação vai até o cérebro, o cérebro conserta a imagem, ficando de forma não mais invertida.

Em um olho saudável, a imagem se forma na parte posterior do olho, mais precisamente na retina. Existem casos em que a imagem se forma antes da retina ou depois. Veremos cada caso abaixo.

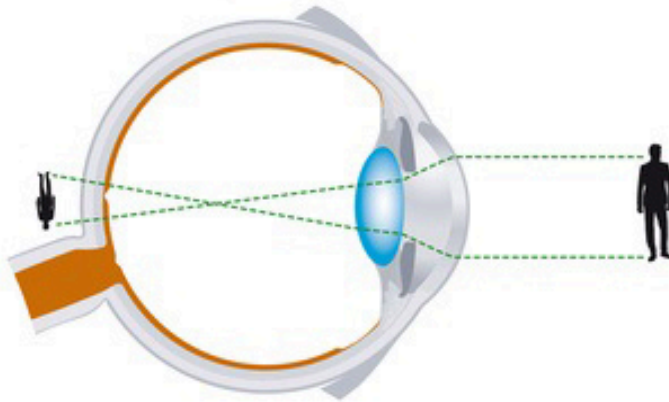
- 1) **Miopia:** A miopia ocorre quando a imagem se forma antes da retina, como é mostrado na imagem⁵³ abaixo. Quanto mais longe o objeto estiver do olho, mais difícil será enxergar tal objeto, ou, em outras palavras, o olho míope é aquele que possui dificuldade de enxergar objetos longes.

⁵² Disponível em: <https://webfisica.com/fisica/curso-de-fisica-basica/aula/7-61>. Acesso em 21 de Maio de 2024

⁵³ Imagem adaptada, disponível em: <https://www.neovisao.com/saude-ocular/ametropias-miopia-hipermetropia-astigmatismo-presbiopia/>. Acesso em 21 de Maio de 2024.



- 2) **Hipermetropia:** A hipermetropia é o oposto da miopia, ocorre quando a imagem se formar depois da retina, como é mostrado na imagem abaixo. Quanto mais perto o objeto estiver do olho, mais difícil será enxergar tal objeto, ou, em outras palavras, o olho com hipermetropia é aquele que possui dificuldade de enxergar objetos de perto.



Para cada um dos casos existem os chamados graus. Quanto maior o grau, maior será a dificuldade de enxergar perto e/ou longe. Para determinar o grau, a pessoa deve procurar um médico oftalmologista para ele avaliar.

Em alguns casos pode ser feita uma cirurgia a laser. Mas em geral as pessoas optam pela correção da visão através do uso de óculos ou lentes, que será o assunto do próximo subcapítulo.

2.13. LENTES

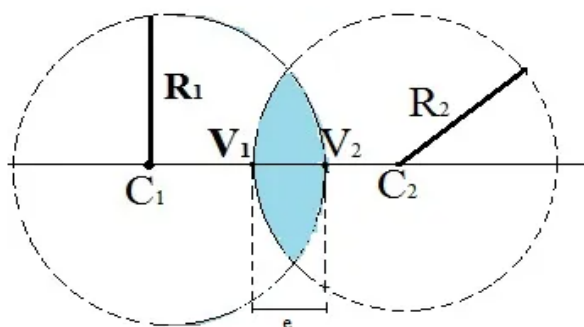
As lentes são objetos muito comuns no nosso cotidiano. Quando falamos de lentes, a primeira coisa que vem na nossa mente é óculos, lupa ou até mesmo a lente de contato para corrigir a visão.

Mas as lentes vão além disso. Elas estão presentes em diversas outras aplicações científicas, se destacando, por exemplo, no microscópio, telescópio e até mesmo no binóculos. Neste curso de óptica para a EJA, iremos apenas destacar as características das lentes e os tipos, não nos aprofundando muito nas contas.

As lentes podem ser classificadas de 2 formas, lentes convergentes e divergentes, aos quais vamos falar mais detalhadamente.

1) Lentes Convergentes

Também são conhecidas como lentes de borda fina e são ditas positivas. As lentes convergentes são aquelas que são formadas pela intersecção entre 2 círculos, como mostrado na figura⁵⁴ abaixo.

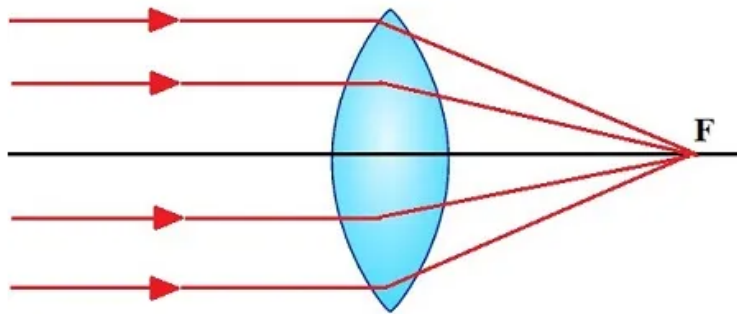


Sendo a parte azul a intersecção dos dois círculos, formando assim a lente. Os elementos são:




- R_1 e R_2 os raios dos círculos 1 e 2, respectivamente;
- C_1 e C_2 os centros dos círculos 1 e 2, respectivamente;
- V_1 e V_2 os vértices que a lente faz com o interior de cada círculo, 1 e 2;
- e , a espessura da lente;

⁵⁴ Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/fisica/lentes-1.htm>. Acesso em 04 de Junho de 2024.

Por ser uma lente dita convergente, os raios vão convergir em um ponto, chamado de foco, como pode ser observado na figura⁵⁵ abaixo.



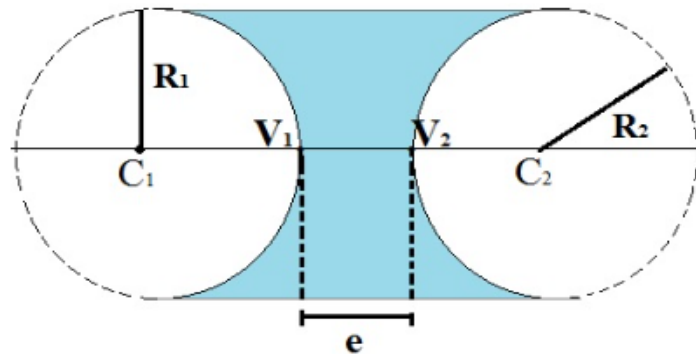
Existem 3 tipos de lentes convergentes, sendo elas a Biconvexa, Plano-Convexa e Côncava-Convexa ao qual a tabela abaixo mostra as aplicações e as representações de cada tipo.

Lente	Aplicação	Representação
Biconvexa	Utilizada nas câmeras fotográficas, para focar a luz que entra na lente e formar uma imagem nítida no sensor e na correção da hipermetropia, dificuldade de enxergar de perto	
Plano-convexa		
Côncava-convexa		

⁵⁵ Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/fisica/lentes-1.htm>. Acesso em 04 de Junho de 2024.

2) Lentes Divergentes

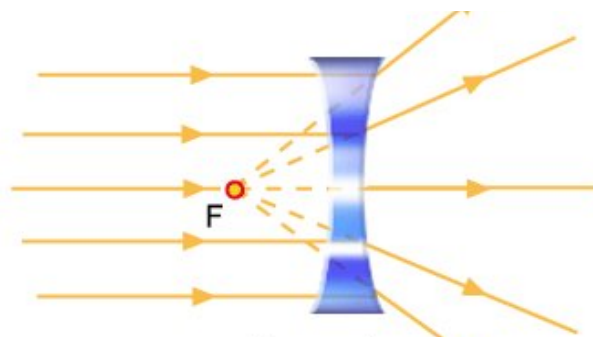
Também são conhecidas como lentes de borda grossa e são ditas negativas. As lentes divergentes são aquelas que são formadas quando 2 círculos não se intersectam, além disso, possuem uma distância entre si, como pode ser visto na figura⁵⁶ abaixo.



Sendo a parte azul, o espaço formado entre os dois círculos que não se encostam, a lente divergente. Seus elementos são:

- R_1 e R_2 os raios dos círculos 1 e 2, respectivamente;
- C_1 e C_2 os centros dos círculos 1 e 2, respectivamente;
- V_1 e V_2 os vértices que a lente faz com o interior de cada círculo, 1 e 2;
- e , a espessura da lente;




Por ser uma lente dita divergente, os raios vão divergir ao passar pela lente. Seu foco é virtual, ou seja, apenas o prolongamento dos raios passam pelo foco, como pode ser observado na figura⁵⁷ abaixo.



⁵⁶ Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/fisica/lentes-1.htm>. Acesso em 04 de Junho de 2024.

⁵⁷ Disponível em: <https://www.infoescola.com/fisica/vergenza/>. Acesso em 04 de Junho de 2024.

Existem 3 tipos de lentes divergentes, sendo elas a Bicôncavas, Plano-Côncava e Convexa-Côncava ao qual a tabela abaixo mostra as aplicações e as representações de cada tipo.

Lente	Aplicação	Representação
Bicôncava	Utilizadas na correção da miopia, dificuldade de enxergar de longe	
plano-côncava		
Convexa-côncava		

Exercícios

1) Dado as lentes abaixo, desenhe os feixes e diga se ela é convergente ou divergente

a) Plano-convexa;

b)Plano-Côncava;

c)Côncava-Convexa;

d)Bicôncava;

2)Se uma pessoa possui dificuldade de enxergar de longe, qual o tipo de lente seria a mais adequada, a convergente ou a divergente?

3)Explique com suas palavras a diferença entre lentes de borda fina e as de borda grossa, citando exemplos do cotidiano.

4)A lupa consegue concentrar, em um ponto, os raios luminosos provenientes do Sol. Se esse ponto for um material inflamável, pode pegar fogo. Qual o tipo de lente utilizado para a lupa? Explique e faça um esquema/desenho.

5)Dada as afirmações abaixo, assinale V para as verdadeiras e F para as falsas, explicando o erro das falsas.

() A Lente Côncava-Convexa é uma lente de borda grossa.

() Toda Lente de borda fina é Divergente.

() Lentes convergentes têm o centro mais espesso que as bordas e convergem raios paralelos para um ponto focal real.

() Lentes divergentes (bordas mais espessas) formam apenas imagens virtuais, direitas e menores, independentemente da posição do objeto.

() A imagem formada por uma lente convergente é sempre real e invertida, mesmo quando o objeto é colocado entre o foco e a lente.

() Uma lente Biconvexa é uma lente convergente.

BIBLIOGRAFIA

DOCA, R. H. BISCUOLA, G. J. VILLAS BÔAS, N. **Tópicos de Física: Volume 3**. São Paulo: Saraiva, 1997;

HEWITT, P. G. **Física Conceitual**, 12º edição. Porto Alegre: Bookman, 2015;

NUSSENZVEIG, H. MOYSÉS. **Curso de Física Básica: Ótica, Relatividade, Física Quântica (Volume 4)**, 2ª Edição. São Paulo: Blucher, 2015.

KNIGHT, Randall D. **Física - Uma abordagem estratégica-Volume 3**, 2ª Edição. Porto Alegre: Bookman, 2009.