

# **CEJA >>**

**CENTRO DE EDUCAÇÃO**  
**de JOVENS e ADULTOS**

## **CIÊNCIAS DA NATUREZA**

**e suas TECNOLOGIAS >>**

**Física**

**Fascículo 8**  
**Unidades 18 e 19**

---

## GOVERNO DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO

---

Governador

**Wilson Witzel**

Vice-Governador

**Claudio Castro**

---

## SECRETARIA DE ESTADO DE CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO

---

Secretário de Estado

**Leonardo Rodrigues**

---

## SECRETARIA DE ESTADO DE EDUCAÇÃO

---

Secretário de Estado

**Pedro Fernandes**

---

## FUNDAÇÃO CECIERJ

---

Presidente

**Gilson Rodrigues**

---

## PRODUÇÃO DO MATERIAL CEJA (CECIERJ)

---

Coordenação Geral de  
Design Instrucional

**Cristine Costa Barreto**

Elaboração

**Claudia Augusta de Moraes Russo**

**Ricardo Campos da Paz**

Revisão de Língua Portuguesa

**Ana Cristina Andrade dos Santos**

Coordenação de  
Design Instrucional

**Flávia Busnardo**

**Paulo Miranda**

Design Instrucional

**Aline Beatriz Alves**

Coordenação de Produção

**Fábio Rapello Alencar**

Capa

**André Guimarães de Souza**

Projeto Gráfico

**Andreia Villar**

Imagen da Capa e da Abertura das Unidades

[http://www.sxc.hu/browse.](http://www.sxc.hu/browse.phtml?f=download&id=1381517)

**phtml?f=download&id=1381517**

Diagramação

**Equipe Cederj**

Ilustração

**Bianca Giacomelli**

**Clara Gomes**

**Fernando Romeiro**

**Jefferson Caçador**

**Sami Souza**

Produção Gráfica

**Verônica Paranhos**

# Sumário

<b>Unidade 18   Entrando nessa onda</b>	<b>5</b>
---	----------

---

<b>Unidade 19   Experimentando o fenômeno da difração</b>	<b>39</b>
---	-----------

---

# Prezado(a) Aluno(a),

Seja bem-vindo a uma nova etapa da sua formação. Estamos aqui para auxiliá-lo numa jornada rumo ao aprendizado e conhecimento.

Você está recebendo o material didático impresso para acompanhamento de seus estudos, contendo as informações necessárias para seu aprendizado e avaliação, exercício de desenvolvimento e fixação dos conteúdos.

Além dele, disponibilizamos também, na sala de disciplina do CEJA Virtual, outros materiais que podem auxiliar na sua aprendizagem.

O CEJA Virtual é o Ambiente virtual de aprendizagem (AVA) do CEJA. É um espaço disponibilizado em um site da internet onde é possível encontrar diversos tipos de materiais como vídeos, animações, textos, listas de exercício, exercícios interativos, simuladores, etc. Além disso, também existem algumas ferramentas de comunicação como chats, fóruns.

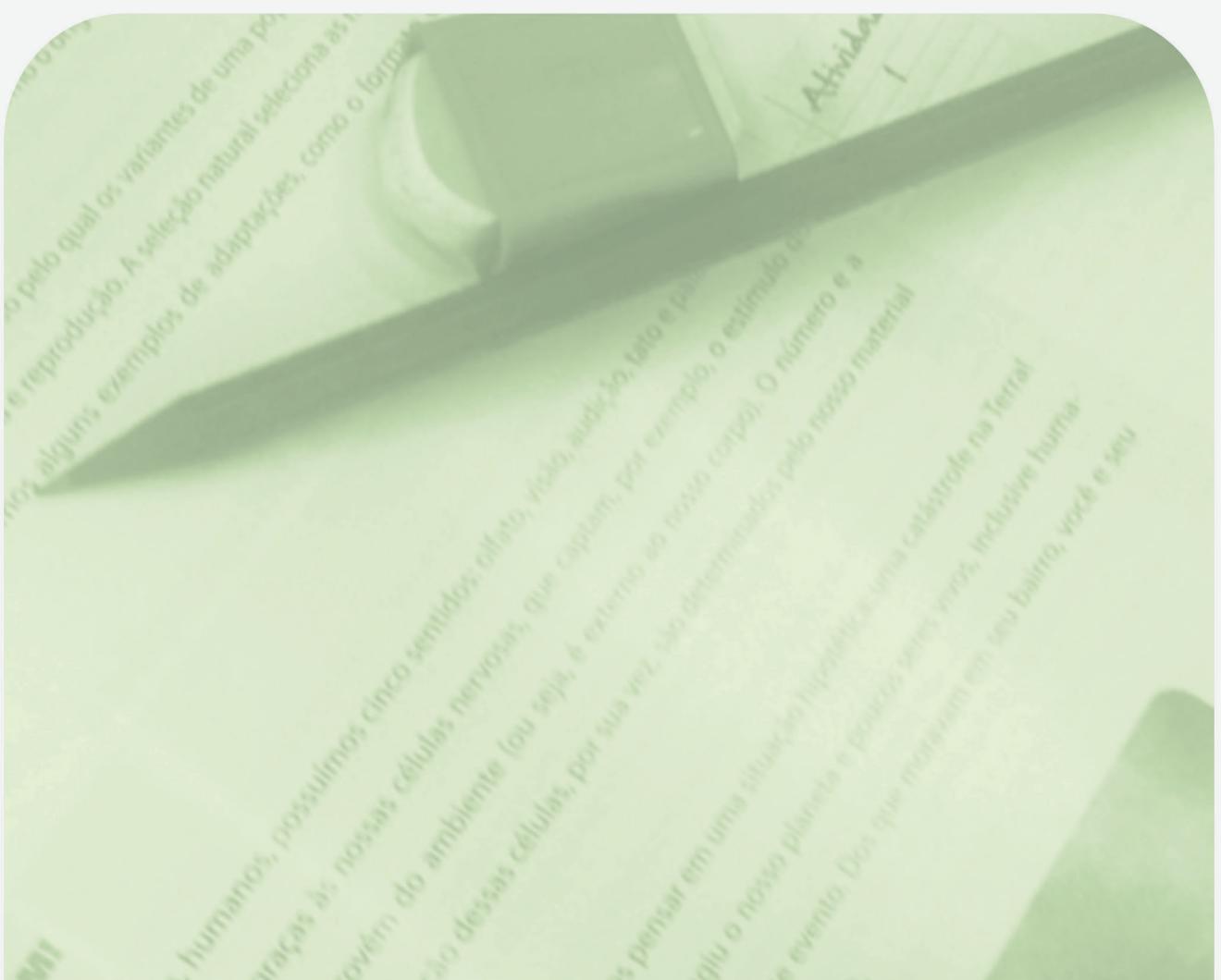
Você também pode postar as suas dúvidas nos fóruns de dúvida. Lembre-se que o fórum não é uma ferramenta síncrona, ou seja, seu professor pode não estar online no momento em que você postar seu questionamento, mas assim que possível irá retornar com uma resposta para você.

Para acessar o CEJA Virtual da sua unidade, basta digitar no seu navegador de internet o seguinte endereço:  
<http://cejarj.cecierj.edu.br/ava>

Utilize o seu número de matrícula da carteirinha do sistema de controle acadêmico para entrar no ambiente. Basta digitá-lo nos campos “nome de usuário” e “senha”.

Feito isso, clique no botão “Acesso”. Então, escolha a sala da disciplina que você está estudando. Atenção! Para algumas disciplinas, você precisará verificar o número do fascículo que tem em mãos e acessar a sala correspondente a ele.

Bons estudos!



# Entrando nessa onda

Fascículo 8

Unidade 18



# Entrando nessa onda

## Para início de conversa...

Antigamente, até o século XIX, não havia o hábito de se fazer a assepsia (ou seja, cuidados de higiene) para realização de um parto. O pré-natal, ou seja, o acompanhamento da gestação de uma criança, também não ocorria. Naquela época, por exemplo, só se sabia o sexo do bebê no momento do nascimento. Da mesma forma, problemas no desenvolvimento do feto também só eram percebidos após o seu nascimento.

Estudos biológicos mostram que o tamanho da cabeça da criança é relacionado a uma característica evolutiva dos seres que andam sobre duas pernas: ela não pode ser grande demais para passar na cavidade da bacia da mulher. No entanto, uma cabeça “pequena demais” pode representar algum problema de desenvolvimento da criança.



A medição do tamanho da cabeça e a descoberta do sexo da criança ainda na barriga da mãe são possibilidades modernas. Elas existem porque, nos dias de hoje, existem equipamentos que nos possibilitam ver dentro da barriga de uma gestante e avaliar o que está acontecendo. Um desses equipamentos, importantíssimo para acompanhamento pré-natal, é o ultrassom.

Você deve estar se perguntando o que esse ultrassom tem a ver com esta aula... Pois a resposta é muito simples: um aparelho de ultrassom é um aparelho que emite ondas. Você sabe o que é uma onda?

Provavelmente, você tem um conceito **intuitivo** sobre esse assunto, e é em cima dele que trabalharemos nesta aula. Por exemplo, deve vir à sua cabeça a onda do mar, ou duas crianças segurando e balançando uma corda esticada. Ou os círculos que se formam na superfície da água quando jogamos uma pedrinha em um lago calmo.

## Intuitivo

Que se conhece por intuição.



Figura 1: Ondas do mar e vibrações circulares na água são exemplos cotidianos de ondas que estamos acostumados a observar.

As ondas realmente estão em toda parte. Um mosquito passando perto do seu ouvido (e perturbando seu sossego) produz um som agudo. Se for uma abelha, produz um som mais grave. Veremos mais tarde que o som é um tipo de onda também. E a luz, que já estudamos um pouco nas duas aulas passadas, são também ondas, de um tipo diferente das do som.

As propriedades básicas das ondas são conceitos muito importantes na Física e no nosso dia a dia, da música ao acompanhamento do nascimento dos bebês. Por esse motivo, você aprenderá sobre isso nesta aula.

# Objetivos de Aprendizagem

- Conceituar onda e seus diferentes tipos.
- Identificar as propriedades básicas de uma onda.
- Calcular a frequência de uma onda.
- Calcular o comprimento de onda.
- Aplicar o conceito de intensidade da onda.

# Seção 1

## O que é uma onda

Vamos começar discutindo uma onda numa corda. Imagine duas crianças brincando com uma corda esticada.

Vamos supor que a criança da direita segure a corda sem se mexer. A corda, inicialmente, está parada. Se a criança da esquerda subir e descer a mão rapidamente, voltando a mão para o mesmo lugar, então um pulso vai se propagar na corda. Imagine como isso acontece. A corda como um todo continua parada. Mas cada pedacinho da corda sobe e depois desce. E o pulso vai se propagando para a direita. Ao final, a criança da direita sente um puxão na mão dela.

Veja Figura 2.

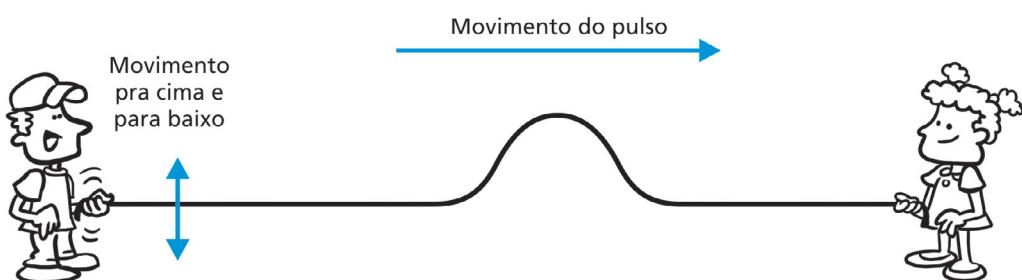


Figura 2: Um pulso se movimenta da esquerda para a direita na corda esticada, resultado de um movimento brusco para cima e para baixo na ponta da corda do lado direito.

Agora, vamos imaginar que a criança da esquerda balança a extremidade da corda, para cima e para baixo, de forma rápida, contínua e ritmada. Um pulso depois do outro vai se propagando para a esquerda. Veja Figura 3.

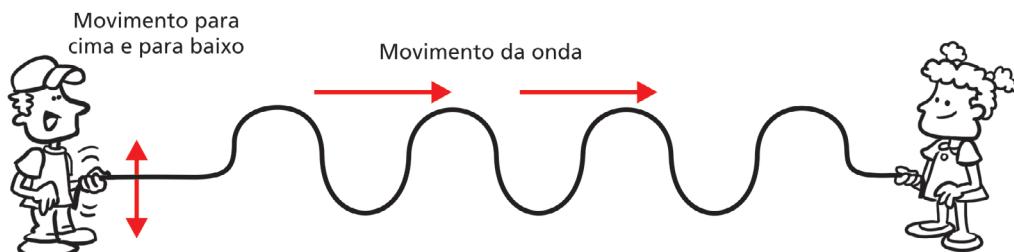


Figura 3: Uma corda esticada cuja extremidade esquerda é balançada, para cima e para baixo, de forma ritmada. Uma onda (uma sucessão de pulsos) se movimenta para a direita.

É importante perceber que a corda, ela mesma, não está se movendo para a direita, pois as duas crianças estão paradas. Mas a onda na corda, essa sucessão de pulsos para a esquerda na figura, se move. Vamos ver mais tarde que algo que se movimenta possui energia cinética, energia de movimento. O movimento da mão da criança possui

energia cinética e a transmite para a corda. Essa energia cinética se propaga na corda, a criança na outra ponta sente o movimento da corda na sua mão. Ou seja, a energia está se movendo, mas a corda como um todo está parada. A energia poderia ser transmitida, da mão da criança da esquerda para a mão da criança da direita, quando a primeira jogasse uma bola para a segunda. A energia é transmitida porque a matéria (no caso, a bola) movimentou-se de uma mão para a outra. Mas, no caso da corda, é diferente. A matéria (a corda) está parada, a energia flui nela em forma de onda.

Podemos sintetizar, então, o conceito de onda da seguinte forma:

*Onda é o transporte de energia de um ponto a outro do espaço sem que haja transporte de matéria.*

## Seção 2

### Tipos de ondas

A onda que utilizamos como exemplo na seção passada é uma onda mecânica, ou seja, que necessita de um meio para se propagar. O meio no exemplo anterior foi a corda. As ondas na superfície de um lago, por exemplo, têm como meio a água.

Pode parecer estranho, mas existe um tipo de onda, que estudaremos mais tarde, chamada **onda eletromagnética**, que pode se **propagar** no vácuo (vazio), não precisa de um meio para se propagar. Essas ondas têm a ver com os fenômenos ligados à eletricidade e ao magnetismo. Mas, nesta aula, só estudaremos ondas mecânicas.

#### Propagar

Difundir, divulgar, multiplicar, espalhar.

Mencionamos, no início, que uma pedra lançada no lago cria um pulso que se propaga como um círculo a partir do ponto aonde ela entra na água. Mas para que haja uma onda (ou seja, muitos pulsos um atrás do outro) podemos imaginar que, ao invés da pedra, uma pessoa num barquinho permanece batendo, de leve com a pontinha de uma vareta no mesmo ponto da água, conforme ilustrado na Figura 4.

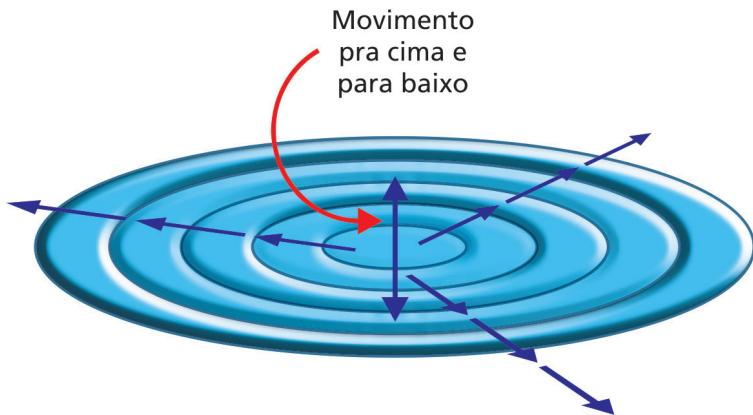


Figura 4: Ondas se propagando num lago bem calmo a partir de um ponto onde alguém balança a pontinha de uma vareta para baixo e para cima.

Quando comparamos as ondas que se propagam na superfície da água do lago e as ondas que se propagam na corda, temos algumas diferenças. Uma delas, claro, é o meio, o primeiro é a água e o segundo é a corda. Mas outra diferença é que o pulso na corda se movimenta em uma dimensão (a velocidade do pulso tem uma direção que é a mesma da corda). Veja a Figura 3.

Por outro lado, as ondas que se movimentam na superfície do lago se movimentam em duas dimensões, ou seja, numa superfície plana. Veja a Figura 4. Aqui, a velocidade da onda não tem uma única direção. A partir da origem da onda todas as direções são permitidas. Mas se você imaginar uma direção apenas no lago, ou seja, uma reta saindo do ponto onde a onda está sendo produzida, o movimento da onda, nessa reta, seria muito parecido com o movimento da onda numa corda!

Os dois exemplos que mencionamos são ondas mecânicas transversais. Chamamos ondas transversais as ondas cujo meio (seja a corda ou a superfície do lago) se move para cima e para baixo, porém a onda mesmo anda horizontalmente, em cima da corda ou sobre a superfície do lago. Mas há outros tipos de ondas mecânicas. Veja a Figura 5.

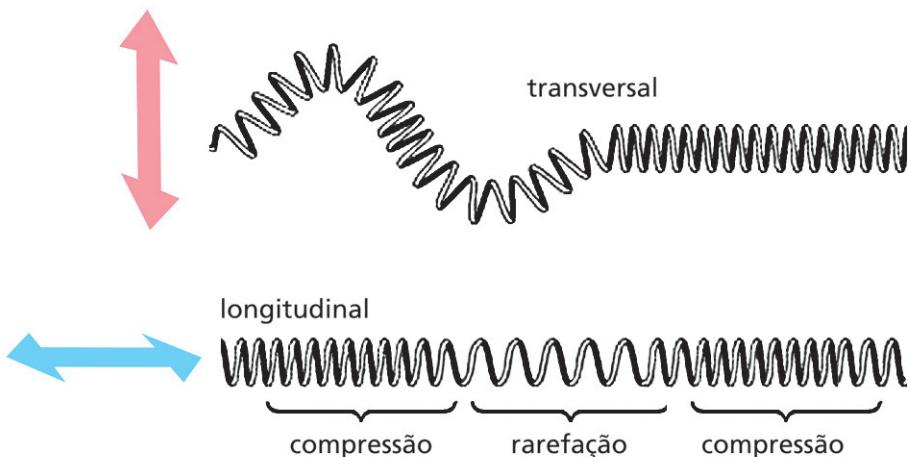


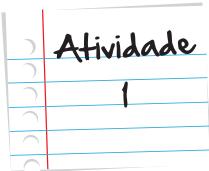
Figura 5: Duas molas compridas nas quais se produzem dois tipos de ondas. Na figura de cima, temos uma ilustração de ondas transversais e, na figura de baixo, ondas longitudinais.

Na parte de cima da Figura 5, ilustramos uma onda transversal produzida numa longa mola. O comportamento da onda é o mesmo que já discutimos nos exemplos da corda e no exemplo do lago. A mola fica parada e a onda se propaga para a direita. Cada pedaço da mola sobe e desce no lugar e a onda vai se propagando para a direita.

Na parte de baixo da figura, ilustramos um novo tipo de onda, a onda longitudinal. Esse tipo não pode ser produzido numa corda. Imagine agora alguém puxando e empurrando a extremidade esquerda da mola. Agora, ao invés de termos **cristas** e **vales**, temos zonas de compressão (onde a mola está mais comprimida) e zonas de rarefação (onde a mola está mais relaxada), como ilustrado na figura. Observe que um pedacinho da mola vai para frente e para trás, mas a mola como um todo não sai do lugar. Ou seja, aqui o meio (a mola) e a onda se movem na mesma direção, ao longo da mola, e por isso chamamos a esse tipo, onda longitudinal.

### Crista

É o nome da parte da onda que faz uma curva para cima e o vale é a parte da onda que faz uma curva para baixo, entre duas cristas.



### Uma nova onda

#### Atividade

Na mola comprida, mencionada anteriormente, estudamos dois tipos de onda. Um que se obtinha balançando uma das extremidades da mola para cima e para baixo (transversal) e o outro, empurrando e puxando a ponta da mola (longitudinal). Imagine que tipo de onda você obteria se torcesse levemente a ponta da mola para um lado e para o outro, repetidamente. Faça um esquema de como essa onda se comportaria.

Above suas  
respostas em  
seu caderno

## Seção 3

# Propriedades fundamentais das ondas

Vamos redesenhar a Figura 3, agora com mais detalhes, na Figura 6. Queremos obter as propriedades fundamentais das ondas. Antes da extremidade da esquerda da corda ser balançada, vamos supor que a corda se encontre parada. Essa posição é denominada posição de equilíbrio. A extremidade esquerda é balançada para cima e para baixo. Temos, então, de novo a onda, que é composta de vários pulsos, todos eles se movimentando para a direita, um depois do outro.

Cada pulso tem uma parte alta, que chamamos crista e outra baixa que chamamos vale (veja Figura 6). A distância entre duas cristas sucessivas é chamada comprimento de onda.

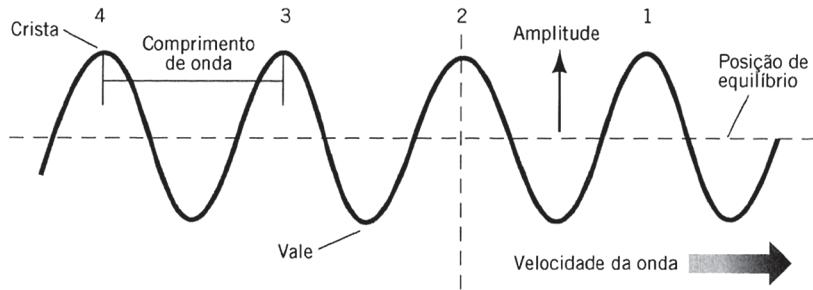


Figura 6: Onda se propagando para a direita, na qual são indicadas algumas características fundamentais. Temos a posição de equilíbrio, as cristas, os vales, o comprimento de onda e a amplitude.

O comprimento de onda também é a distância entre dois vales sucessivos. A amplitude mede o tamanho do pulso (da posição de equilíbrio da corda até o ponto mais alto da crista). O comprimento de onda costuma ser representado pela letra grega lambda ( $\lambda$ ) e é um número que tem unidade de comprimento. Assim, uma onda pode ter  $\lambda = 2\text{ cm}$ .

Na Figura 6, temos quatro pulsos numerados. Imagine que uma terceira criança fique próximo a um ponto qualquer da corda, marcado pela linha horizontal na figura. Ela vê passar a crista do pulso 1 por aquele ponto e marca, em um cronômetro, quanto tempo leva até a crista do pulso 2 passar também. O tempo entre duas cristas sucessivas é denominado período da onda e costuma ser representado pela letra **T**. O tempo, como já vimos anteriormente, se mede em segundos. Assim, se o tempo entre duas cristas sucessivas é de um quarto de segundo, escreve-se  $T = 1/4\text{ s} = 0,25\text{ s}$ .

Outro conceito importante é o conceito de frequência. Vamos supor que a terceira criança, ao invés de marcar o tempo que as duas cristas levam para passar por um determinado ponto da corda, conta quantas cristas passam por segundo. A frequência da onda é exatamente isso: o número de cristas que passam num determinado ponto por segundo. Ela, normalmente, é representada pela letra **f**. A unidade de frequência é *hertz* (cujo símbolo é Hz). Na realidade, o hertz é simplesmente  $1/\text{s}$ , ou seja, o inverso do segundo, também escrito como  $\text{s}^{-1}$ . Assim, se quatro cristas passam num ponto da corda por segundo, dizemos que a frequência é de  $4\text{ Hz}$  ou  $4\text{ s}^{-1}$ . A frequência é, portanto, o inverso do período:  $f = 1/T$ .



Saiba Mais

### O que é velocidade

Velocidade é um conceito intuitivo. Aqui, vamos nos limitar a movimentos em uma dimensão e em linha reta. Imagine um carro que se movimente numa estrada reta e ande 10 m em 1 s. Assim,  $v=10 \text{ m/s}$ . Definimos velocidade = distância/tempo (distância sobre tempo), que escrevemos de forma abreviada  $v = d/t$ . O que queremos dizer com isso é que, a cada segundo, o carro percorre 10 m. Se marcarmos 5 segundos no nosso relógio, como a cada segundo o carro percorre 10 m, o carro percorreu  $5 \times 10 = 50 \text{ m}$ . Isso pode ser compreendido a partir da definição de velocidade. Da definição acima:

$$v = d/t$$

podemos escrever  $d = v \times t$ , ou seja, distância = velocidade x tempo.

Existe uma relação importante entre as grandezas fundamentais de uma onda. Pode-se mostrar que a velocidade de uma onda é igual ao comprimento de onda vezes a frequência. Em termos dos símbolos definidos acima:

$$v = \lambda \times f$$

Essa relação vale para qualquer onda. Observe que a unidade de velocidade é m/s (o comprimento de onda é dado por m e a frequência é 1/s, que, quando multiplicados, fornecem m/s). Ou seja, é simplesmente a definição de velocidade reescrita de uma forma adequada para a onda.



### Vibrando na mesma frequência

Se dobrarmos a frequência de vibração de uma onda numa corda esticada, o que acontece com seu período? O que acontece com seu comprimento de onda?

Above suas  
respostas em  
seu caderno

## **Na frequência certa**

A corrente elétrica na rede de distribuição de energia do Brasil oscila 60 vezes por segundo. Qual sua frequência e o período?

**Atividade**

**3**

**Anote suas respostas em seu caderno**

## **Viajando na velocidade da luz**

A velocidade da luz no vácuo é dada por  $c = 3 \times 10^8$  m/s. Um onda de luz visível amarela tem comprimento de onda de 580 nanômetros. Qual a frequência desta onda?

Observação: Um nanômetro equivale a  $1 \times 10^{-9}$  metros.

**Atividade**

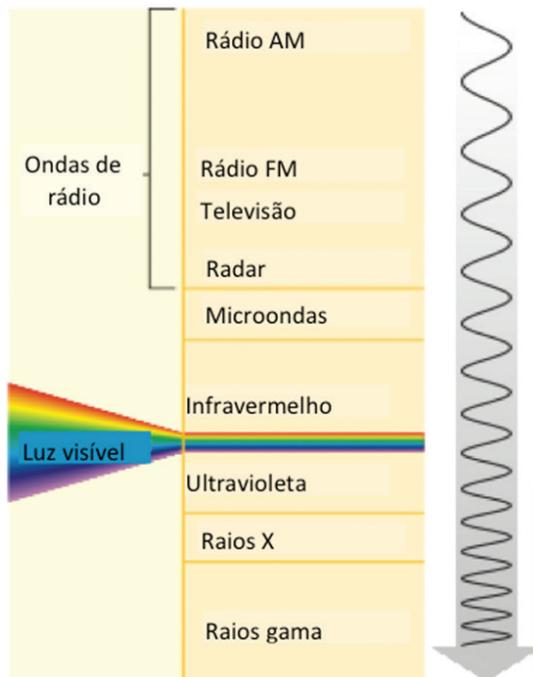
**4**

**Anote suas respostas em seu caderno**

### Saiba Mais

#### A luz é uma onda

O que é a luz? A luz é uma onda denominada onda eletromagnética. Ela sempre se move com a mesma velocidade  $c = 3 \times 10^8$  m/s no vácuo (vazio). A luz é uma onda transversal, mas diferentemente das ondas sonoras, ela não necessita de um meio para se propagar. Por isso, a luz do Sol consegue chegar à Terra, propagando-se no espaço vazio. As ondas de luz são classificadas em tipos que dependem do comprimento de onda  $\lambda$  da onda. Se a velocidade da luz é  $c = \lambda f$  e  $c$  é fixa (para um dado meio), quanto menor a frequência, maior o comprimento de onda. Ao conjunto de todos os tipos de ondas eletromagnéticas dá-se o nome de **espectro eletromagnético**, ilustrado na figura ao lado. Da mesma forma que o ouvido humano usualmente só consegue captar sons entre 20 e 20000 Hz, o olho humano só consegue captar uma faixa limitada de ondas eletromagnéticas, a região do visível, que fica entre o infravermelho e o ultravioleta. Num dos extremos do espectro, temos as ondas de rádio, que podem ter comprimento de onda da ordem de quilômetros. As microondas que aquecem a comida no forno da sua casa tem comprimento de onda da ordem de centímetros. O comprimento da luz visível amarela é de cerca de 580 nanômetros, ou seja,  $5.8 \times 10^{-7}$  m. Os raios X têm comprimento de onda da ordem de 10 nanômetros e elas podem atravessar certos tipos de materiais, por isso são muito úteis para se obter imagens de ossos e de órgãos internos. Finalmente, no outro extremo do espectro, os raios gama são produzidos em processos relacionados à física nuclear e são as ondas mais energéticas do espectro.



## Seção 4

### O som: um exemplo de ondas longitudinais

Quando cantamos (ou falamos), nossas cordas vocais vibram rapidamente e produzem regiões mais comprimidas e regiões mais **rarefeitas** que se propagam com uma onda. No nosso ouvido, temos um detector dessas ondas, que é uma membrana chamada **tímpano**. O funcionamento do ouvido é complicado e não vamos apresentar detalhes aqui. Mas a ideia básica é que as vibrações do **tímpano** são transmitidas ao cérebro que reconhece o som.

## Rarefeito

Espalhado, esparsos, pouco denso.

Imagine que você cante uma música com a boca encostada num tubo e seu amigo encoste o ouvido no outro lado do tubo. Como ilustrado (de forma simplificada na Figura 7), o som consiste de ondas longitudinais com zonas de compressão e zonas de rarefações. O som, na realidade, é uma onda mais complicada porque não consiste apenas de um comprimento de onda, como no caso do exemplo simples da corda que discutimos. Na realidade, ele consiste da soma de várias ondas, algumas com comprimento pequeno de onda e outras com comprimento maior de onda.

Se você ficar perto das caixas de som num show de música e colocar a mão numa delas, vai sentir vibrações. Se conseguir colocar a mão no cone de uma das caixas, vai perceber que ela vibra de acordo com a música que está tocando. Ao vibrar, ela “empurra” as moléculas de ar que se movem levemente para frente e para trás, causando as zonas de compressão e rarefação. O ar que foi empurrado pelo cone, por sua vez, empurra as moléculas vizinhas, que repetem esse padrão mais à frente e assim por diante. Assim, um padrão ritmado de ar rarefeito e comprimido enche uma sala de ondas sonoras e podemos ouvir um show ou um concerto.

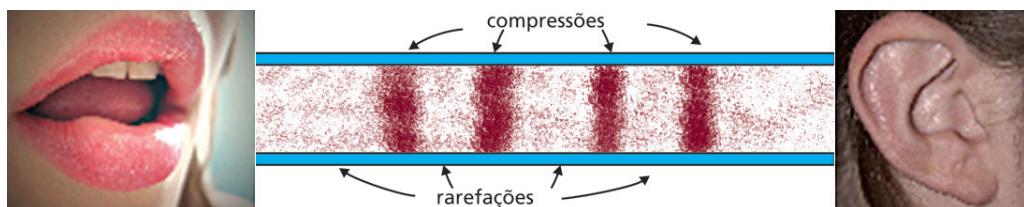


Figura 7: O som sendo transmitido através de um tubo contendo ar. A onda sonora consiste de regiões de compressão e rarefação do ar que se propagam da boca até o ouvido.

## Seção 5

### Reflexão e velocidade do som

Algumas vezes estamos longe de um prédio ou de um paredão numa montanha, num dia sem vento, e percebemos que um grito produz um eco bem claro. Chamamos eco ao som refletido. Pelo tempo que o som leva para ir e voltar, podemos medir a velocidade do som, se soubermos a distância até o paredão. Numa temperatura ambiente usual a velocidade do som é de cerca de 340 m/s. A luz anda com muito mais velocidade do que o som. Por isso, ouvimos um trovão bem depois que vemos o relâmpago, durante uma tempestade.



Figura 8: A diferença entre as velocidades da luz e do som (a primeira mais rápida que a segunda) é a explicação do porquê de, primeiro, vermos a luz do relâmpago e, só depois de alguns segundos, ouvirmos o barulho dele.

O som se reflete em uma superfície lisa de forma semelhante à luz, como foi visto na *segunda unidade*, ou seja, o ângulo de incidência é igual ao ângulo de reflexão. Assim, se você estiver ouvindo música numa sala, o som que sai da caixa se reflete nas paredes e no teto da sala e, dependendo de como essa reflexão acontece, o som pode sofrer alterações.

### Atividade

5

#### Ouvindo ecos na montanha

Você está em frente a um paredão numa montanha. Você dá um grito e ouve o eco do grito, 6 segundos mais tarde. Qual a máxima distância D atingida pelo som?

Anote suas  
respostas em  
seu caderno

### No mundo da Lua

Sabemos que a Lua não possui atmosfera. Consequentemente, não tem ar. Assim, a Lua é um lugar muito silencioso. Se um astronauta levar uma sineta e agitá-la na Lua (ou em qualquer outro lugar sem atmosfera), ninguém a ouvirá, nem mesmo ele!

Você já percebeu algum “furo” em filmes de ficção científica relacionado a isso?

Muitos filmes erram nesse aspecto. Isso não os diminui como obras de arte, mas a ciência neles poderia ser melhor apresentada. Tente descobrir esse furo nos seguintes filmes: Contato (1997), Cowboys do Espaço (2000), Armageddon (1998), Guerra nas Estrelas (1997 a 2005), Alien (1979), Solaris (1972), The Black Hole (1979) e muitos outros!!



**Saiba Mais**

## Seção 6

### Propriedades do som

O tom de um som relaciona-se à frequência. Vibrações rápidas (como as da asa de um mosquito) produzem um som agudo, enquanto vibrações lentas (como o bater de asas de um pombo) produzem um som mais grave. A audição humana é sensível a sons com frequências entre  $f = 20$  Hz e  $f = 20.000$  Hz. Como a velocidade do som no ar é praticamente constante para essas frequências, podemos ver que, na relação  $v = \lambda \times f$ , quanto maior a frequência menor o comprimento de onda ( $\lambda$ ) e vice-versa.

Outra propriedade fundamental é a intensidade que quantifica quanto de energia a onda sonora possui. A intensidade é medida em uma unidade chamada decibel (dB). Por convenção, o menor som que se consegue ouvir, possui 0 dB, que corresponde ao limite da audição humana. No outro extremo, um avião a jato, decolando pertinho

de você, pode produzir um som de intensidade 150 dB. Mas essas unidades têm uma particularidade. Um som de 10 dB é dez vezes maior do que o limite da audição. Um som de 20 dB é 100 vezes maior, um som com intensidade de 30 dB é 1000 vezes maior e por aí vai. Esse é um exemplo de uma escala logarítmica, ou seja, cada aumento de 10 dB representa um fator multiplicativo de 10 na intensidade. Veja a Tabela 1 com alguns valores representativos das intensidades.

Tabela 1 - Intensidades sonoras

Jato decolando perto	150 dB
Limiar da dor	120 dB
Concerto de rock	110 dB
Liquidificador	90 dB
Rua movimentada	70 dB
Conversa normal	60 dB
Conversa sussurrada	30 dB
Folhas numa brisa leve	10 dB
Limiar da audição humana	0 dB

### Atividade

6

#### Concerto de Rock

Em alguns concertos, a intensidade do som chega a 110 dB. Quantas vezes mais energia sonora chega ao seu ouvido no concerto, comparado ao som de uma conversa normal?

Anote suas  
respostas em  
seu caderno

## Seção 7

# O efeito Doppler

Já vimos que, quanto menor o comprimento de onda, maior a frequência e mais agudo o som, e, portanto, quanto maior for o comprimento de onda, menor a frequência e mais grave será o som. Provavelmente você já observou uma ambulância ou um carro de polícia com uma sirene ligada passando por você. Quando a sirene se aproxima parece emitir um som mais agudo e, quando ela se afasta, parece emitir um som mais grave. Isso é muito comum também nas transmissões de corridas de automóveis pela TV, ouvimos aquele som a princípio agudo e que depois se torna grave.

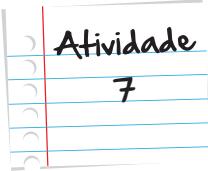
Se a ambulância estiver parada, sabemos que o som se propaga em todas as direções como ondas circulares entre a sirene e você. O comprimento de onda é constante e o som parece ser sempre o mesmo. Na realidade, o som no espaço se propaga em todas as direções e a onda resultante seria uma onda esférica centrada na ambulância. Mas, para o nosso argumento basta pensar nas ondas se propagando no plano entre a sirene e o seu ouvido.



Quando a ambulância se aproxima de você, a onda sonora parece estar “achatada”, ou seja, o comprimento de onda se torna menor. Isso acontece porque o emissor do som, a ambulância, também está andando para você e a distância entre dois máximos de compressão se torna menor. Como o comprimento de onda é efetivamente menor, a frequência se torna maior e você ouve um som agudo.

Uma pessoa que estivesse parada num ponto atrás da ambulância ouviria, ao mesmo tempo, um som mais grave, pois para ela, as ondas sonoras parecem estar “esticadas”, o comprimento de onda é maior e a frequência se torna menor. Essa pessoa ouve um som grave.

## Músico num automóvel



Um músico toca um trompete num conversível que se aproxima de você.

O som lhe parecerá mais agudo ou grave? A frequência do som lhe parece maior ou menor? E o comprimento de onda? E a velocidade do som?

Anote suas  
respostas em  
seu caderno



Importante

### Exame de ultrassom

Os médicos usam uma onda sonora de alta frequência para exames com o objetivo de “fotografar” o interior do corpo humano. Os sons, cujas frequências estão acima do limite percebido pela audição humana (cerca de 20kHz), são denominados ultrassom. Essa técnica, diferentemente de exames de Raios X, não causa efeitos colaterais.

O exame mais comum é o de ultrassom pré-natal para acompanhar as condições de desenvolvimento do feto. Usualmente se utilizam ondas sonoras de frequência muito alta, de 5 a 10 MHz. O ultrassom também é utilizado na obtenção de imagens de órgãos como os rins, o fígado, o coração e os vasos sanguíneos.

O princípio físico utilizado no exame é similar à forma de localização por eco, utilizada pelos morcegos. Um aparelho localizado fora do corpo do paciente envia pulsos ultrassônicos à região que vai ser examinada. Esses pulsos são refletidos nas divisões entre os diferentes tecidos e órgãos humanos. Os pulsos que retornam são detectados por um outro sensor e processados por um computador para formar a imagem.

Outra utilização na medicina do ultrassom se dá no tratamento das “pedras nos rins” ou cálculos renais. Algumas pessoas produzem esses cálculos renais que, se forem pequenos, são expelidos naturalmente pela urina. Mas os cálculos maiores, em alguns casos, podem ser eliminados com o uso do ultrassom. Esse procedimento, não invasivo, é denominado litotripsia. Ondas ultrassônicas são focalizadas na pedra que se parte em vários pedaços pequenos e podem ser eliminadas pela urina.



Você agora se convenceu que ondas, visíveis e invisíveis, estão em toda parte. O conceito de onda é central no estudo da Física. Ondas mecânicas aparecem na superfície dos lagos, ondas propagando-se no ar transmitem música e as ondas eletromagnéticas fazem sua TV e seu celular funcionarem. Você está cercado de ondas!

## Resumo

- Nesta unidade, você viu que uma onda é o transporte de energia de um ponto a outro do espaço sem que haja transporte de matéria.
- As ondas mecânicas necessitam de um meio para se propagar, como o som e as ondas do mar.
- As ondas eletromagnéticas são capazes de se propagar no vácuo, como a luz e as ondas de rádio e TV.
- Ondas transversais apresentam vales e cristas, ondas longitudinais apresentam zonas de compressão e zonas de rarefação.
- O comprimento de onda ( $\lambda$ ) é a medida entre duas cristas, ou dois vales de uma onda e a amplitude são a distância entre uma crista e o ponto médio (vertical) da onda, ou seja, a metade de altura entre um vale e uma crista.
- A frequência da onda é o número de cristas que passam num determinado ponto por segundo. Ela é medida em *hertz*.
- O período da onda é o tempo medido entre duas cristas sucessivas, representado pela letra *T*.
- A intensidade quantifica quanto de energia a onda sonora possui. Ela é medida em uma unidade chamada decibel (dB).

## Veja Ainda

### Demonstrando a reflexão do som

Neste experimento, vamos demonstrar que o som apresenta uma das propriedades básicas de onda: a reflexão.

São necessários duas pessoas para este experimento.

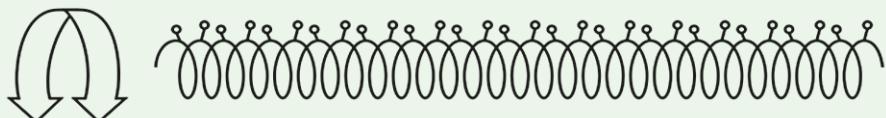
Consiga dois tubos de, aproximadamente, meio metro. Aponte um dos tubos para uma mesa e fale baixinho

alguma coisa. Ao mesmo tempo, seu companheiro encosta o outro tubo no ouvido e o aponta também para o mesmo ponto da mesa. Ele vai ouvir o que você disser, mesmo se você falar bem baixinho.

**Respostas**  
das  
**Atividades**

### Atividade 1

Você obteria uma onda “torsional”, ou seja, uma onda longitudinal onde cada seção da mola oscilaria para a esquerda e para a direita, como na figura:



### Atividade 2

Cai à metade; Cai à metade.

### Atividade 3

$$f = 60 \text{ Hz}; T = 1/60 = 0.0167 \text{ s}.$$

### Atividade 4

Como  $c = \lambda f$  (usualmente se chama a velocidade da luz de  $c$ ),  $f = c/\lambda = 3 \times 10^8 / 5.8 \times 10^{-7} = 5.2 \times 10^{14}$  Hz.

### Atividade 5

O som sai da sua boca, é refletido no paredão e volta. Assim, ele percorre duas vezes a distância até o paredão, uma vez indo e outra vez voltando. Já vimos que distância ( $m$ ) = velocidade ( $\text{m/s}$ ) x tempo ( $\text{s}$ ). Portanto:

$$2D = 340 \text{ m/s} \times 6 \text{ s} = 2040 \text{ m}$$

e portanto  $2D = 2040 \text{ m}$ , ou seja,  $D = 1020 \text{ m}$ .

## Atividade 6

Na escala de decibéis, cada aumento de 10 na realidade significa um fator 10 na intensidade. Assim,  $10^5$  vezes ( $110\text{dB} - 60\text{dB} = 50\text{dB}$ ; logo, há um aumento de 100.000 vezes).

## Atividade 7

Mais agudo. A frequência será maior. O comprimento de onda menor. A velocidade do som deve ser a mesma, supondo que não haja vento forte (pois as ondas sonoras se movem no ar).

## Bibliografia

- Física Conceitual, Paul G. Hewitt, Bookman, Porto Alegra, 2000.
- Understanding Physics, David Cassidy, Gerald Holton, James Rutherford, Springer, 2002.
- Scientific American Como Funciona, editores: Michael Wright e Mukul Patel, Editora e Gráfica Visor, 2000.

## Imagens



- <http://www.sxc.hu/photo/1358374>.



- <http://www.sxc.hu/photo/565754>.



- <http://www.sxc.hu/browse.phtml?f=download&id=1381517>.



- <http://www.sxc.hu/photo/1339909>.



- <http://www.sxc.hu/photo/1220145>.



- <http://www.sxc.hu/photo/1286448>.



- <http://www.sxc.hu/photo/1380855>.



- <http://www.sxc.hu/photo/676878>.

# O que perguntam por aí?

## Questão 1 (ENEM 2011)

Para que uma substância seja colorida ela deve absorver luz na região do visível. Quando uma amostra absorve luz visível, a cor que percebemos é a soma das cores restantes que são refletidas ou transmitidas pelo objeto. A Figura 1 mostra o espectro de absorção para uma substância e é possível observar que há um comprimento de onda em que a intensidade de absorção é máxima. Um observador pode prever a cor dessa substância pelo uso da roda de cores (Figura 2): o comprimento de onda correspondente à cor do objeto é encontrado no lado oposto ao comprimento de onda da absorção máxima.

Figura 1

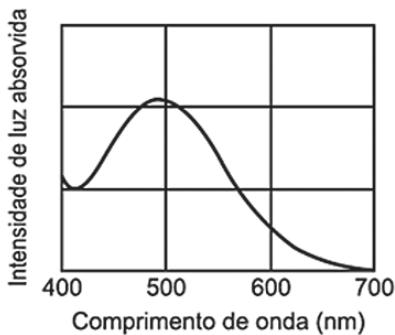
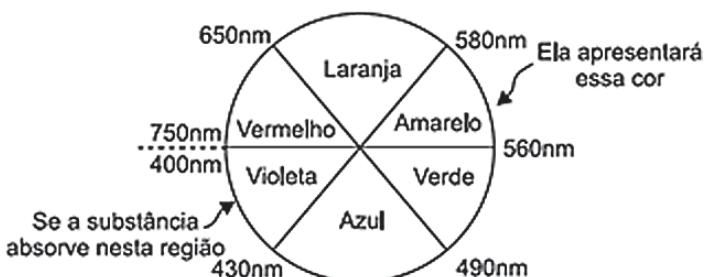


Figura 2



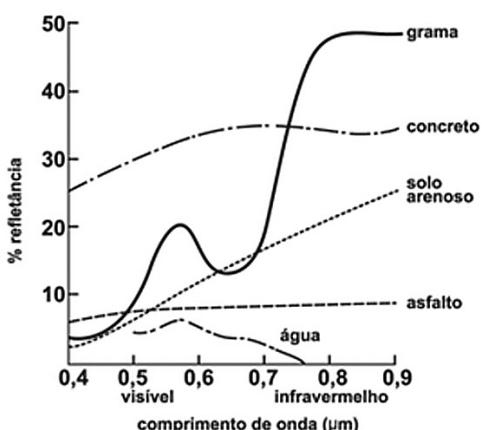
Brown. T. Química e Ciência Central. 2005 (adaptado)

Qual a cor da substância que deu origem ao espectro da Figura 1?

- a) azul.      b) verde.      c) violeta.      d) laranja.      e) vermelho.

## Questão 2 (ENEM 2011)

O processo de interpretação de imagens capturadas por sensores instalados a bordo de satélites que imageiam determinadas faixas ou bandas do espectro de radiação eletromagnética (REM) baseia-se na interação dessa radiação com os objetos presentes sobre a superfície terrestre. Uma das formas de avaliar essa interação é por meio da quantidade de energia refletida pelos objetos. A relação entre a refletância de um dado objeto e o comprimento de onda da REM é conhecida como curva de comportamento espectral ou assinatura espectral do objeto, como mostrado na figura, para objetos comuns na superfície terrestre.



De acordo com as curvas de assinatura espectral apresentadas na figura, para que se obtenha a melhor discriminação criminária dos alvos mostrados, convém selecionar a banda correspondente a que comprimento de onda em micrômetros ( $\mu\text{m}$ )?

- a) 0,4 a 0,5.  
b) 0,5 a 0,6.  
c) 0,6 a 0,7.  
d) 0,7 a 0,8.  
e) 0,8 a 0,9.

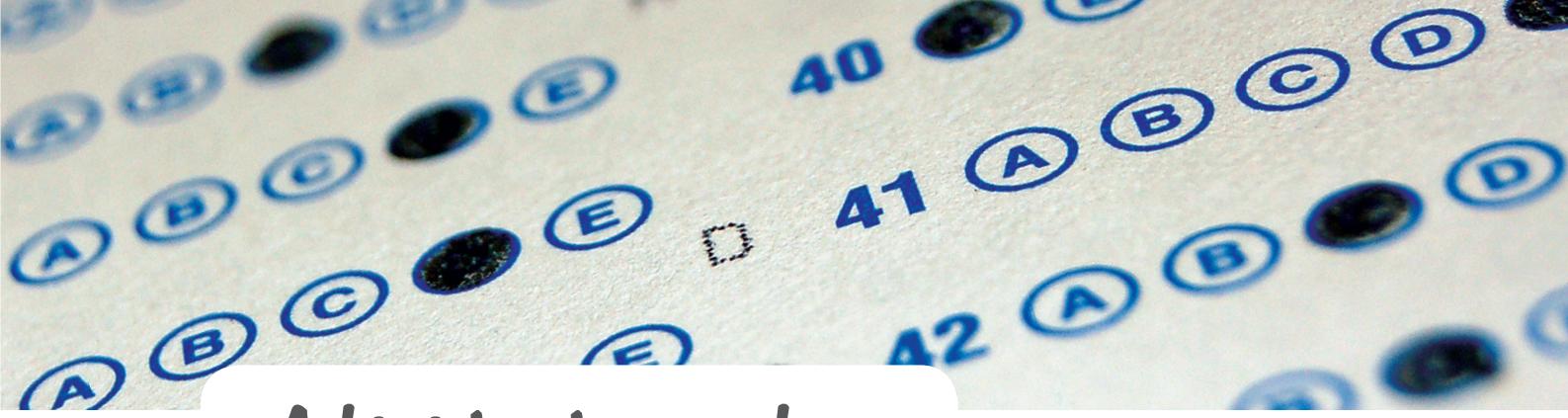
## Gabarito

1. **E. Comentário:** Do gráfico da Figura 1 que apresenta o espectro de absorção, percebemos que o comprimento de onda da luz absorvida com mais intensidade é da ordem de 500nm. Na Figura 2, roda de cores, este comprimento de onda está na faixa da radiação verde, logo o seu oposto que será observado é a luz vermelha.
2. **E. Comentário:** A melhor discriminação dos alvos mostrados vai ocorrer quando os valores de refletância forem os mais distintos possíveis, isto é, as curvas forem mais separadas. Isto ocorre na faixa de comprimento de onda entre 0,8 μm e 0,9 μm.

Observe que, nesta faixa, a refletância de água é nula, o que significa uma região escura do espectro.







## Atividade extra

### Questão 1 (Adaptado de UERGS – 2000)

Uma pedra jogada em uma piscina gera uma onda na superfície da água. Essa onda e a onda sonora são classificadas, respectivamente, como:

- a. transversal e longitudinal;
- b. longitudinal e transversal;
- c. magnética e eletromagnética;
- d. eletromagnética e magnética.

### Questão 2 (Adaptado de UFPB – 2002)

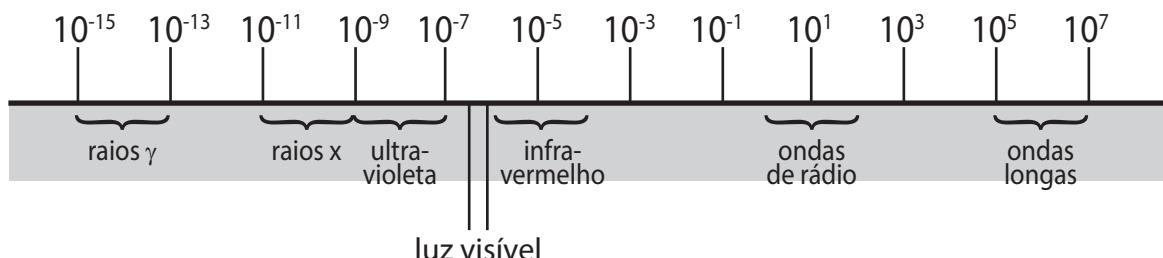
Um pescador verifica que, num certo dia, as ondas se propagam na superfície do mar com velocidade de 1,2 m/se, ao passarem por seu barco, que se encontra parado, fazem com que o barco oscile com período de 8 s.

Com base nesses dados, conclui-se que o comprimento de onda dessas ondas, em metros, é:

- a. 9,6;
- b. 9,2;
- c. 8,0;
- d. 6,8.

### Questão 3 (Adaptado de UFMG-1997)

O diagrama apresenta o espectro eletromagnético com as identificações de diferentes regiões em função dos respectivos intervalos de comprimento de onda no vácuo.



Podemos dizer que, no vácuo,

- os raios X têm menor frequência que as ondas longas;
- todas as radiações eletromagnéticas têm a mesma frequência;
- os raios  $\gamma$  se propagam com maiores velocidades que as ondas de rádio;
- todas essas radiações eletromagnéticas têm a mesma velocidade de propagação.

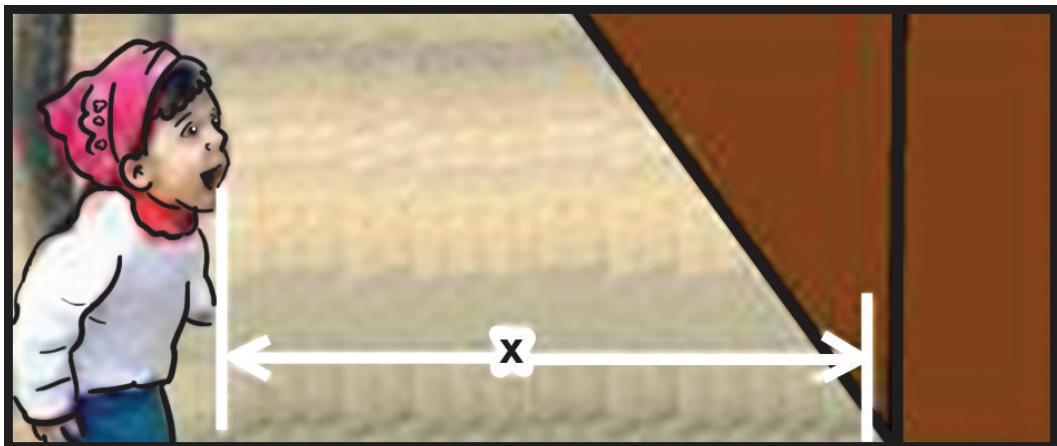
### Questão 4 (Adaptado de UFMG - 1990)

Uma pessoa toca, no piano, uma tecla correspondente à nota **mi** e, em seguida, a que corresponde à nota **sol**. Nessa situação, serão ouvidos dois sons diferentes, porque as ondas sonoras correspondentes a essas notas têm diferentes:

- intensidades;
- velocidades;
- frequências;
- amplitudes.

## Questão 5 (Adaptado de UNICAMP)

O menor intervalo de tempo entre dois sons percebidos pelo ouvido humano é de 0,10s. Considere uma pessoa em frente a uma parede num local onde a velocidade do som é 340 m/s.



Determine:

- a distância x para a qual o eco é ouvido 3,0s após a emissão da voz.
- a menor distância para que a pessoa possa distinguir sua voz e o eco.

# Gabarito

## Questão 1

- A      B      C      D
- A     B     C     D

## Questão 2

- A      B      C      D
- A     B     C     D

## Questão 3

- A      B      C      D
- A     B     C     D

## Questão 4

- A      B      C      D
- A     B     C     D

## Questão 5

a.  $V = \Delta S / \Delta t$

$$340 = \Delta S / 3$$

$$\Delta S = 1020 \text{ m (ida e volta)}$$

$$\Delta S = 510 \text{ m}$$

b.  $340 = \Delta S / 0,10$

$$\Delta S = 34 \text{ m (ida e volta)}$$

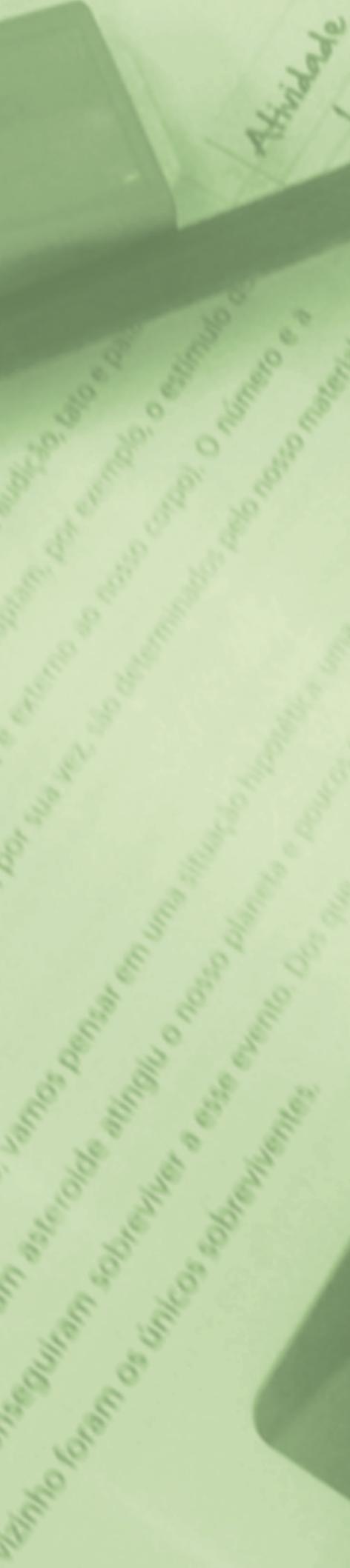
$$\Delta S = 17 \text{ m.}$$

# **Experimentando o fenômeno da difração**

**Fascículo 8**

**Unidade 19**





# Experimentando o fenômeno da difração

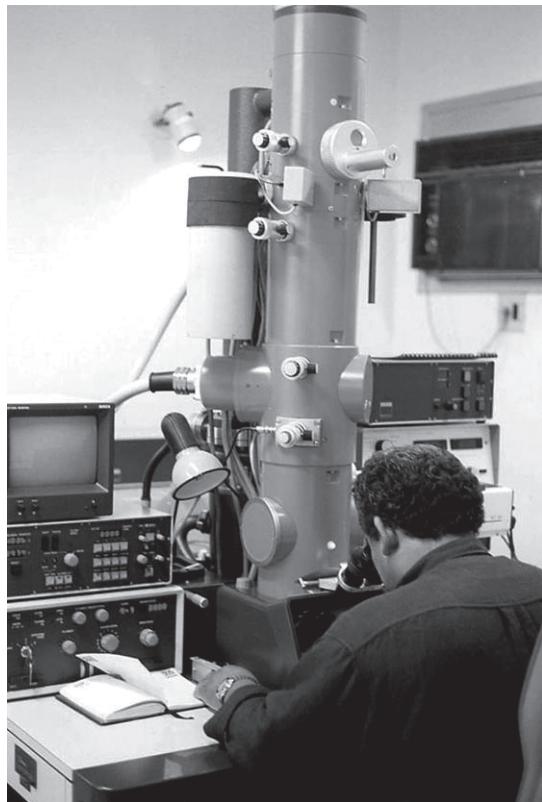
## Para início de conversa...

O fato de você não conseguir ver algo, não quer dizer que ele não exista. Talvez, você apenas não tenha instrumentos ou técnicas para observá-lo.

Até o século XIX, por exemplo, uma grande quantidade de pessoas morriam de doenças inexplicáveis, um certo “mal invisível” acometia-as. Tempos depois, como você viu nas Unidades 1 e 2, foram difundidos e aperfeiçoados instrumentos que possibilitavam a observação física (por meio de instrumentos) dos microorganismos que causavam tantas doenças. Era a propagação dos microscópios.

O aperfeiçoamento de instrumentos e técnicas em Ciência e Tecnologia é uma busca constante. Assim, desde a construção dos primeiros microscópios ópticos, por Von Leeuwenhoek, foram possíveis outros avanços na direção de se conseguir obter imagens de objetos de tamanhos muito, muito pequenos (mais de um milhão de vezes menores do que a cabeça de um alfinete!).

Um desses equipamentos, por exemplo é o microscópio eletrônico, que opera baseado em um fenômeno da Física: a difração. Este fenômeno é relativamente complexo, mas você pode visualizá-lo no seu dia a dia. Ele explica, por exemplo, por que você consegue escutar atrás da porta...



**Figura 1:** Microscópio eletrônico de transmissão, um exemplo de utilização da difração de ondas.

## Objetivos de aprendizagem

- Compreender o fenômeno da difração e o limite da sua ocorrência;
- Descrever o fenômeno da difração da luz;
- Identificar a difração do som.

# Seção 1

## Difração

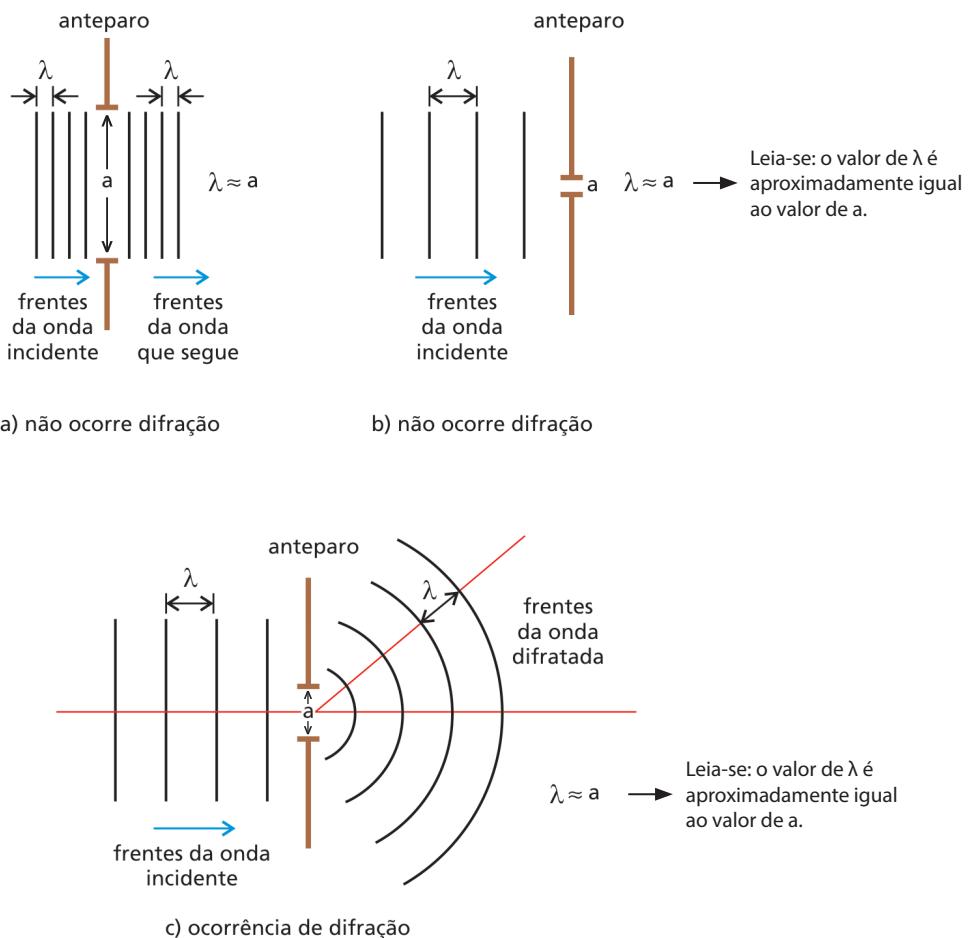
A chamada difração de uma onda é um fenômeno que ocorre no dia a dia sob certas condições e seus efeitos são percebidos pelos nossos sentidos sem que saibamos por que eles ocorrem. Assim, vale a pena estudar este interessante fenômeno, para comprehendê-lo melhor. Ela pode acontecer quando a onda contorna um obstáculo ou passa por uma abertura. Vamos explicar melhor. A ponta de uma rocha que emerge e fica exposta na superfície pode representar um obstáculo a ser contornado pelas ondas do mar, caso ocorra a difração dessas ondas.

No caso da luz, esta pode incidir em uma abertura representada, por exemplo, por um pequeno orifício produzido em um pedaço de cartolina que irá difratar as ondas de luz sob certas condições.

### O fenômeno da difração

Vamos considerar que o orifício na cartolina seja iluminado por uma lanterna, para efeito de exemplo. Chamaremos a lanterna de "fonte de onda luminosa", a cartolina de "anteparo" e o orifício nela de "abertura" ou "fenda".

Quando a onda (no exemplo, a luz que sai da lanterna) encontra o anteparo (cartolina) e este apresenta uma abertura (fenda, orifício na cartolina), a difração poderá ocorrer. Entretanto, para isso, é necessário que seja satisfeita uma condição: a largura da abertura (orifício) na cartolina deve ser aproximadamente igual ao comprimento de onda relativo à onda que incide na abertura. A figura a seguir ilustra três casos onde o fenômeno pode ocorrer ou não.



**Figura 2:** Condições para ocorrência de difração.

No **primeiro caso** (**Figura 2a**), temos uma onda incidente cujo comprimento de onda ( $\lambda$ ) é muito menor que a abertura ( $a$ ) e a onda passa pela fenda sem sofrer deformação. É o caso de, por exemplo, fazermos um orifício do tamanho da palma da mão e utilizarmos como fonte luminosa uma lanterna. O comprimento de onda da luz é da ordem de  $10^{-6}$  m; logo, é tão pequeno em relação ao tamanho da palma da mão que a difração não acontece.

No **segundo caso** (**Figura 2b**), o comprimento de onda ( $\lambda$ ) é muito maior e a difração da onda também não acontece. É como se fizéssemos um orifício com um alfinete na cartolina e sobre ele incidisse uma onda de comprimento de onda muito grande em relação ao tamanho do orifício, o que não seria possível com a onda de luz, já que o seu comprimento de onda é pequeno ( $10^{-6}$  m).

O fenômeno da difração é observado no **terceiro caso** (**Figura 2c**), onde a largura da abertura ( $a$ ) e o comprimento de onda ( $\lambda$ ) são muito parecidos. Isso equivale a fazer um experimento com uma lanterna e um orifício bem pequeno na cartolina, de tal maneira que o tamanho do orifício aproxime-se ao máximo do comprimento de onda da luz.

A rigor, esse limite de aproximação é difícil de ser atingido, uma vez que a ponta de um alfinete não pode produzir um orifício tão pequeno, da ordem de  $10^{-6}$  m. Entretanto, mesmo neste caso, o fenômeno já pode ser observado e a difração da onda pela fenda será tão mais acentuada quanto mais o seu comprimento de onda aproximar-se das dimensões da fenda.

Outra observação importante está relacionada com o primeiro caso discutido anteriormente (Figura 2a). Na realidade, o resultado experimental irá exibir alguma difração das ondas, nas bordas da fenda. Entretanto, este efeito não é relevante quantitativamente, porque a intensidade da onda que continua a se propagar é muito maior do que a pequena parcela difratada.

Este fenômeno também pode ser observado em ondas que se propagam na água e pode ser reproduzido facilmente, utilizando-se uma cuba de ondas. A figura a seguir ilustra o primeiro e o terceiro casos acima descritos, em um experimento realizado com o auxílio de uma dessas cubas, onde foram obtidas fotografias das duas situações.

A "cuba de ondas" é um recipiente com fundo de vidro que possui no seu interior uma lâmina de líquido, onde são produzidas ondas mecânicas utilizando-se de uma superfície que vibra, essas ondas são projetadas (utilizando um retroprojetor) sobre uma superfície, com o objetivo de exemplificar os tipos de ondas e algumas leis da reflexão, da refração e da difração.

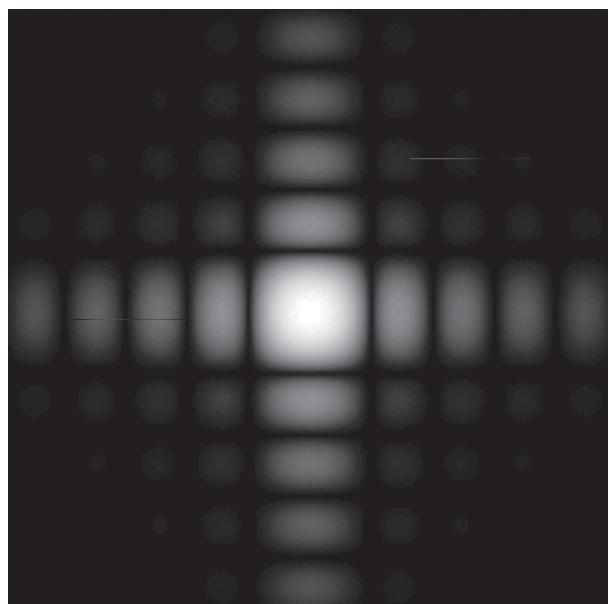


Figura 3: A difração da luz ocorre quando a largura da abertura da fenda é muito próxima ao comprimento da onda, como nesta figura que mostra a difração de um raio laser em um fenda quadrada.

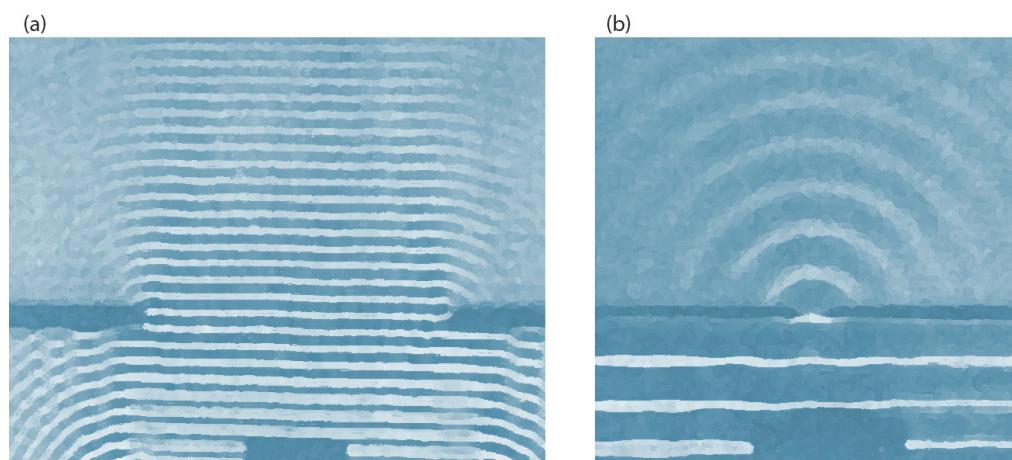


Figura 4: Difração na cuba de ondas. Na figura 4a) temos uma onda mecânica, que atravessa um orifício sem sofrer deformação. Na figura 4b) temos uma onda mecânica que atravessa um pequeno orifício e se deforma.

Para exemplificar a difração, vejamos o caso dos chamados Raios-X, um tipo de onda eletromagnética cujo comprimento de onda médio é muito pequeno. A difração de Raios-X é uma técnica que encontra aplicação na caracterização de materiais cristalinos. Pode ocorrer difração através da interação dessas ondas com os espaçamentos existentes entre os planos atômicos que constituem o material estudado. Os padrões de difração resultantes podem ser registrados por meio de equipamentos especiais e, a partir da análise desses padrões, é possível obtermos informações a respeito da estrutura do material. O comprimento de onda característico dos Raios-X é compatível, portanto, com as dimensões desses espaçamentos existentes entre os planos atômicos, em uma estrutura cristalina.

Quando ocorre a difração, a fenda comporta-se como se fosse uma fonte pontual que reproduz as mesmas propriedades da fonte que gerou a onda incidente, ou seja, a mesma frequência e o mesmo comprimento de onda. Logo, a onda difratada deverá possuir as mesmas características da onda que chega à fenda.



### Saiba Mais:

Você pode estar se perguntando: por que, na **Figura 4b**, a onda incidente é formada por frentes retas e paralelas, enquanto a onda difratada apresenta frentes circulares e concêntricas? Aqui é importante esclarecer que a fonte geradora da onda incidente também produziu uma onda de frentes circulares e concêntricas. Entretanto, o que está representado nos desenhos da Figura 2 são trechos de ondas cujas fontes encontram-se muito distantes dos anteparos.

As frentes que aparecem nas ilustrações são pequenos trechos de círculos extensos, que foram gerados distante do anteparo e, por isso, parecem planos. São segmentos de círculos cujos raios de curvatura são muito grandes, como você pode observar na parte de baixo da **Figura 4a**.

### Atividade

#### Experiência: Difração da luz.

Atenção: ao realizar o procedimento experimental que descreveremos a seguir  
TOME MUITO CUIDADO PARA QUE O LASER NÂO ATINJA OS SEU OLHOS!

Objetivo: analisar a difração da luz e o limite da sua ocorrência.

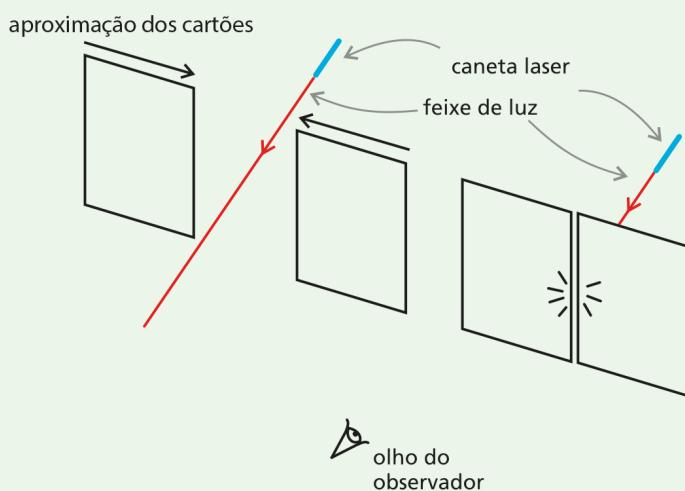
Material experimental:

- 1 ponteira laser;
- 2 cartões de crédito.

## Atividade

### Procedimento experimental:

- 1) Peça a ajuda de alguém para a realização da experiência;
- 2) Vão para um local onde se possa apagar as luzes;
- 3) Ligue a ponteira laser;
- 4) Peça para o seu ajudante posicionar os cartões lado a lado, na frente dos seus olhos, ajustando a distância entre os cartões para que seja a menor possível;
- 5) Sem ligar o laser ainda, posicione a ponteira de frente para você, SEM APONTAR A SAÍDA DO LASER PARA OS SEUS OLHOS, com os cartões entre a ponteira e os seus olhos, conforme a figura a seguir:



Aparato para observação da difração da luz.

- 6) Ligue a ponteira laser;
- 7) Diminua a distância entre os cartões pouco a pouco e devagar, até que se encostem a fim de observar o fenômeno da difração;
- 8) Desligue a ponteira laser.

Análise da experiência: Agora descreva com suas palavras, em seu caderno, qual foi o comportamento da luz laser durante a realização da experiência.

Above:  
Anote suas  
respostas em  
seu caderno

## Seção 2

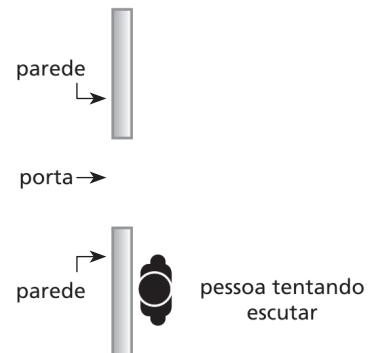
### Difração do som

O fenômeno da difração também pode acontecer com o som, que, assim como a onda de luz e as ondas que se propagam no mar, é também uma onda.

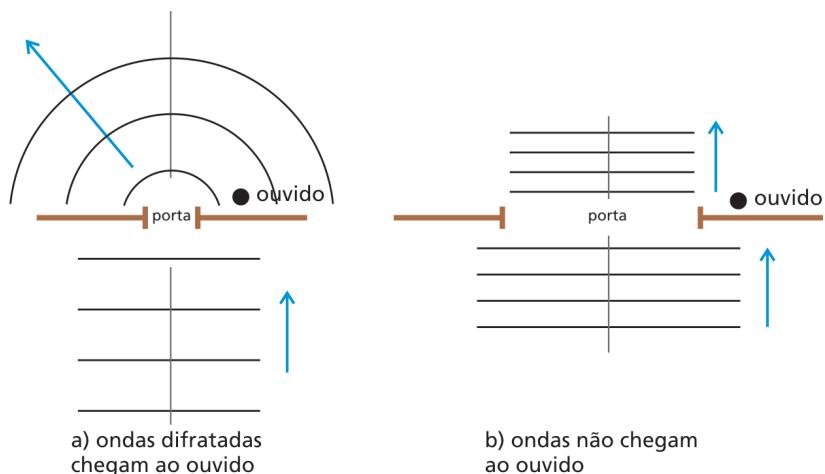
Vamos imaginar que pudéssemos construir salas de aula com material que fosse um perfeito isolante acústico. Imagine que a porta da sala estivesse aberta e você se posicionasse da seguinte forma: próximo à parede da sala, pelo lado de fora, ao lado da porta. Conseguiríamos ouvir o som que sai da sala?

Ora, isso depende da ocorrência da difração da onda do som ou não. Se conseguirmos, a responsável por isso será a difração. Vamos entender duas situações:

No primeiro caso da **figura 6 a)**, temos a ocorrência da difração e, portanto, é possível ouvir na posição em que se encontra a pessoa. Isso seria possível porque o comprimento de onda relativo à onda de som é aproximadamente igual à dimensão da largura de uma porta. Logo, esta porta funcionaria como fenda ideal para que a difração acontecesse e a onda contornasse a abertura. Entretanto, se a porta fosse muito larga, com as dimensões muito maiores que o comprimento de onda característico das ondas sonoras, como na **figura 6 b)**, o ouvido da pessoa que estivesse posicionada ao lado da porta não seria atingido pelas frentes da onda difratada, já que não ocorreria a difração.



**Figura 5:** Sempre é possível escutar "atrás da porta"?



**Figura 6:** O que acontece com uma onda sonora, quando se depara com um anteparo, depende do comprimento da onda em relação à largura da fenda neste anteparo.

(UFRJ - adaptada) A difração da luz só é nitidamente perceptível quando ocasionada por objetos pequeninos, com dimensões inferiores ao milésimo de milímetro. Por outro lado, diante de obstáculos macroscópicos, como uma casa ou seus móveis, a luz não apresenta difração, enquanto que o som difrata-se com nitidez. A velocidade de propagação do som no ar é de cerca de 340 m/s e o intervalo de frequências audíveis vai de 20 Hz até 20000 Hz. Calcule o intervalo dos comprimentos de onda audíveis e com esse resultado explique por que há difração do som diante de objetos macroscópicos.

Atenção: para fazer o cálculo, você deverá utilizar a Equação Fundamental da Ondulatória:

$$v = \lambda \cdot f,$$

onde:

$v$  = velocidade de propagação da onda;

$\lambda$  = comprimento de onda;

$f$  = frequência da onda.

Anote suas  
respostas em  
seu caderno

Utilizamos os casos do som e da luz, por serem exemplos concretos e possíveis de você observar.

O fenômeno da difração poderia parecer uma coisa distante de nós, mas, se pensarmos em diversas situações do dia a dia, percebemos que isso não é necessariamente verdade. Da configuração de um projeto de iluminação por um arquiteto até o simples “escutar atrás da porta”, a ocorrência da difração de ondas é algo que permeia o nosso entorno.

Há exemplos de difração dos quais você ainda nem faz ideia, como é o caso das ondas eletromagnéticas do sinal de telefonia celular, que sofrem sucessivos processos de difração ao se propagarem pelas cidades, mas que às vezes somem porque não conseguem difratar ao encontrar um obstáculo de dimensões incompatíveis (um morro, por exemplo). Outro exemplo é a difração de elétrons em um microscópio eletrônico, que tem permitido aos cientistas responderem a uma série de perguntas importantes sobre o funcionamento das células dos seres vivos, utilizando o fenômeno da difração.

## Atividade

2

Os estudos já realizados mostraram que a difração pode ocorrer com qualquer tipo de onda, sejam elas as ondas do mar, o som, a luz e outras ondas eletromagnéticas, como os Raios-X. A condição para a ocorrência da difração é que o tamanho do comprimento de onda ( $\lambda$ ) seja próximo do tamanho da fenda, ou do obstáculo com o qual a onda vai interagir. Nesse caso, quanto mais próximos forem esses valores, mais perceptível será a difração. Além disso, a onda difratada irá preservar as mesmas características da onda incidente.

A difração pode explicar para nós um pouco daquilo que, experimentalmente, podemos observar no dia a dia. Esse é um dos importantes papéis que a Física desempenha e, para isso é que desejamos sensibilizar vocês com os conteúdos apresentados neste módulo.



### Saiba Mais

#### Difração e microscopia

Quando nos referimos às técnicas de microscopia e aos microscópios, quase sempre nos vem à cabeça aquele aparelho que foi desenvolvido pelo microscopista Von Leeuwenhoek (1632-1723), mais comumente encontrado nas bancadas dos laboratórios de ciências e utilizado para a realização de análises clínicas ou de amostras biológicas, dentre outras aplicações. Esses instrumentos são microscópios ópticos, ou seja, funcionam baseados em princípios e métodos que envolvem a incidência da luz sobre a amostra e, de maneira geral, possibilitam uma ampliação de 1.000 vezes da área analisada.

Outra forma de obter imagens de estruturas microscópicas é através do uso de microscópios eletrônicos. Nesse caso, ocorre a incidência de um feixe de elétrons na amostra ao invés de luz. Esses aparelhos são muito poderosos e permitem ampliações bem maiores do que aquelas fornecidas pelos microscópios ópticos, podendo chegar até 1.000.000 de vezes de aumento da região analisada. Além disso, funcionam como instrumentos analíticos bastante completos, na medida em que possibilitam a realização de avaliações acerca da composição química e, principalmente, permitem identificar as características físicas relacionadas com a estrutura cristalina da amostra, a partir da utilização de técnicas de difração de elétrons. Devido a isso, esses instrumentos têm sido largamente utilizados nas áreas de química, física e engenharia.

Você pode estar se perguntando: se a difração é um fenômeno que ocorre com as ondas, como pode ocorrer a difração de elétrons, que são partículas e, portanto, matéria?

Sendo o elétron uma partícula de massa conhecida  $m = 9,1 \cdot 10^{-31}$  Kg, talvez fosse mesmo difícil atribuir a este corpúsculo uma propriedade que normalmente atribuímos às ondas, como é o caso do fenômeno da difração. Entretanto, a difração de partículas materiais, como os elétrons, foi uma das principais evidências experimentais que ajudou a esclarecer questões levantadas no início do século XX a respeito da natureza ondulatória da matéria, quando da formulação do princípio da dualidade partícula-onda, um dos princípios fundamentais da Mecânica Quântica.

Hoje, a difração de elétrons, amplamente utilizada como técnica de análise, evidencia o comportamento dual da matéria. O que ocorre é que, assim como no caso dos Raios-X, o comprimento de onda ( $\lambda$ ) da onda associada ao elétron é da ordem do tamanho dos espaçamentos existentes entre os planos atômicos de cristais que funcionam como fendas para os feixes de elétrons acelerados, por exemplo, pelas lentes eletromagnéticas de microscópios eletrônicos de transmissão.

A figura a seguir ilustra tanto o mecanismo de interação entre os elétrons e a rede de difração que o cristal proporciona, como os padrões obtidos dessa difração realizada em um microscópio eletrônico de transmissão.

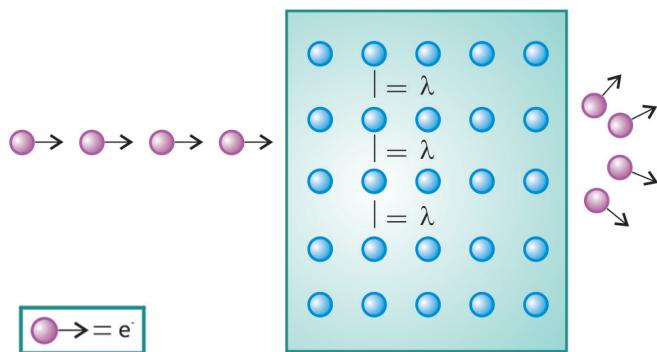


Ilustração do mecanismo de interação do elétron com o cristal.

## Resumo

Nesta aula, esperamos que você tenha aprendido que:

- A difração é um fenômeno que ocorre em dois casos: quando uma onda precisa contornar um obstáculo que se encontra em seu trajeto, ou quando atravessa uma fenda;
- Para que ocorra a difração da luz em uma fenda, este orifício precisa ter uma largura próxima da medida do comprimento da onda da luz;
- Quando o orifício de um anteparo é maior que o comprimento da onda, esta não sofre modificação em sua trajetória;
- A difração do som ocorre de forma similar à difração da luz, a diferença está no comprimento da onda do som, que por ser maior que a da luz, faz com que a difração ocorra em aberturas maiores do que para a luz.

## Veja ainda

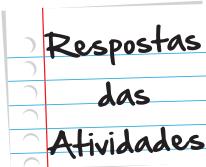
O fenômeno da difração é algo corriqueiro em nosso dia a dia, porém não nos damos conta de sua existência. Ela pode ser observada quando ouvimos sons que passam por obstáculos, ao vermos luz por uma fenda e, em escadas maiores, em ondas do mar, quando encontram grandes obstáculos. A seguir, há dois vídeos bastante interessantes, mostrando experimentos de difração com ondas mecânicas (ondas na água) e com ondas eletromagnéticas (feixe de luz). Veja como essas ondas comportam-se ao atravessar obstáculos diferentes e compare com fenômenos do nosso cotidiano.

O experimento com ondas na água pode ser visto no *link*:

<http://www.youtube.com/watch?v=JrQ1jgwKd-0>

e o experimento com um feixe de luz pode ser visto no *link*:

[http://www.youtube.com/watch?v=\\_BunlbYgwa8](http://www.youtube.com/watch?v=_BunlbYgwa8)



## Atividade 1

Inicialmente, o feixe de LASER passa direto entre os cartões e o fenômeno repete-se até que os cartões estejam bem próximos. Quando o espaçamento entre eles se torna muito pequeno, observa-se que a luz que emerge da fenda difrata-se. A partir deste ponto, vários raios divergem. O ponto funciona como se fosse uma fonte pontual, emitindo luz em diversas as direções.

## Atividade 2

Como dissemos no enunciado da questão, a relação matemática que envolve a velocidade de propagação da onda ( $v$ ), o comprimento de onda ( $\lambda$ ) e a frequência ( $f$ ) é:

$$v = \lambda f.$$

Logo, para obtermos o intervalo entre os comprimentos de onda, podemos utilizar:

$$\lambda = \frac{v}{f}.$$

Substituindo os dados fornecidos para os dois valores de  $\lambda$  limites do intervalo:

$$\lambda_1 = \frac{340}{20000} = 0,017\text{m};$$

$$\lambda_2 = \frac{340}{20} = 17\text{m}.$$

## Bibliografia

- KANTOR, Carlos; PAOLIELLO Jr, Lilio; MENEZES, Luis Carlos; BONNETTI, Marcelo; CANATO Jr, Osvaldo; ALVES, Viviane. Quanto Física. v. 3, Primeira edição, São Paulo: Ed. PD, 2010, 96 p.
- GUIMARÃES, Luiz Alberto; FONTE BOA, Marcelo. Física Ensino Médio. v. 3, Segunda edição, São Paulo: Ed. Futura, 2004, 327 p.

## Imagens



- <http://www.sxc.hu/browse.phtml?f=download&id=1381517>.



- <http://teca.cecierj.edu.br/popUpVisualizar.php?id=50138>.



- [http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Diffraction\\_ouverture\\_carree.png?uselang=pt-br](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Diffraction_ouverture_carree.png?uselang=pt-br).





# O que perguntam por aí?

## Questão 1 (UFF-RJ)

A luz visível que atravessa um buraco de fechadura praticamente não sofre desvio porque:

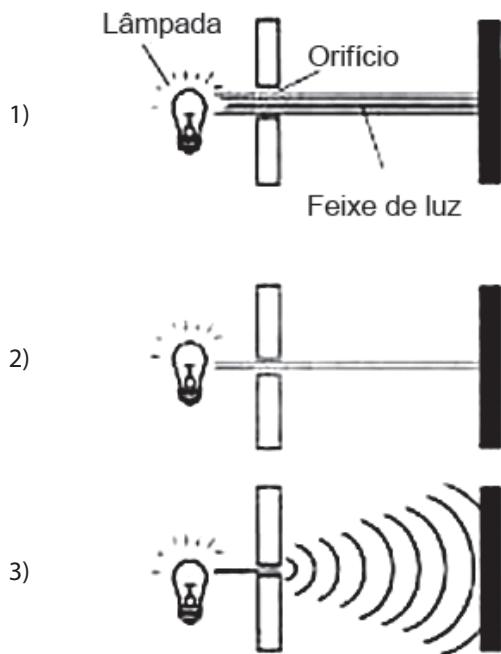
- Os comprimentos de onda da luz são muito menores que as dimensões do buraco da fechadura.
- Os comprimentos de onda da luz são muito maiores que as dimensões do buraco da fechadura.
- Os comprimentos de onda da luz têm dimensões da ordem daquelas do buraco da fechadura.
- A luz sempre se propaga na mesma direção.
- A luz só muda de direção de propagação, quando passa de um meio para outro.

## Questão 2 (ENEM 2011)

A diminuição do tamanho de um orifício atravessado por um feixe de luz, ocasiona a passagem de menos luz por intervalo de tempo (veja as figuras 1), 2) e 3) em sequência).

Próximo da situação de completo fechamento do orifício, verifica-se que a luz apresenta um comportamento como o ilustrado na figura 3).

Sabe-se que o som, dentro de suas particularidades, também pode se comportar dessa forma.



Em qual das situações a seguir está representado o fenômeno descrito no texto?

- Ao se esconder atrás de um muro, um menino ouve a conversa de seus colegas.
- Ao gritar diante de um desfiladeiro, uma pessoa ouve a repetição do seu próprio grito.
- Ao encostar o ouvido no chão, um homem percebe o som de uma locomotiva, antes de ouvi-la pelo ar.
- Ao ouvir uma ambulância aproximando-se, uma pessoa percebe o som mais agudo do que quando ela se afasta.
- Ao emitir uma nota musical muito aguda, uma cantora de ópera faz com que uma taça de cristal despedace-se.

## Gabarito

- Comentário:** Sendo o comprimento de onda da luz ( $\lambda$ ) da ordem de  $10^{-6}$  m, fica claro que a difração da luz não pode ocorrer em uma fenda tão grande em relação à  $\lambda$ , como é o caso do buraco da fechadura.
- Comentário:** O texto e a figura tratam do fenômeno da difração da luz, que ocorre no limite em que o tamanho do orifício torna-se próximo do comprimento de onda, característico da luz. Nas opções oferecidas, a letra a é a que trata do fenômeno da difração da onda sonora, quando esta incide no muro, que funciona como um obstáculo. Como a altura do muro aproxima-se do comprimento de onda do som, a difração ocorre neste caso.





# Atividade extra

## Questão 1 (Adaptado de UFSCAR)

Os fenômenos ondulatórios estão presentes no nosso cotidiano como, por exemplo, as ondas sonoras que possuem origem mecânica.

Sobre essas ondas, podemos concluir que:

- em meio ao ar, todas as ondas sonoras têm igual comprimento de onda;
- assim como as ondas eletromagnéticas, as sonoras propagam-se no vácuo;
- assim como as ondas eletromagnéticas, as sonoras também sofrem difração;
- a velocidade da onda sonora no ar é próxima da velocidade da luz nesse meio.

## Questão 2 (Adaptado de UFRN)

Na óptica geométrica, utiliza-se o conceito da propagação do raio de luz em linha reta. Isso é o que ocorre, por exemplo, no estudo das leis da refração.

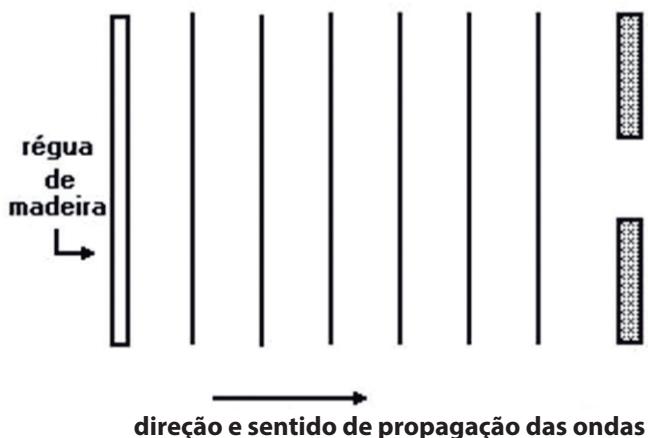
Esse conceito é válido:

- somente para espelhos cujas superfícies refletoras sejam compatíveis com a lei de Snell-Descartes;
- sempre, independentemente de a superfície refletora ser ou não compatível com a lei de Snell-Descartes;
- somente para objetos (obstáculos ou fendas) cujas dimensões relevantes sejam muito maiores que o comprimento de onda da luz;
- sempre, independentemente da relação entre a dimensão relevante do objeto (obstáculo ou fenda) e o comprimento de onda da luz.

### **Questão 3 (Adaptado de UFMG)**

Para se estudar as propriedades das ondas num tanque de água, faz-se uma régua de madeira vibrar regularmente, na direção vertical, tocando a superfície da água e produzindo uma série de cristas e vales que se deslocam da esquerda para a direita.

Na figura a seguir, vista de cima, estão esquematizadas duas barreiras verticais separadas por uma distância aproximadamente igual ao comprimento de onda das ondas.



Após passar pela abertura, a onda apresenta modificação:

- em sua forma;
- na sua frequência;
- em sua velocidade;
- no seu comprimento de onda.

### **Questão 4 (Adaptado de EFOMM)**

As ondas contornam obstáculos. Isto pode ser facilmente comprovado quando ouvimos e não vemos uma pessoa situada em outra sala, por exemplo. O mesmo ocorre com o raio luminoso, embora este efeito seja observável em condições especiais.

O fenômeno acima descrito é chamado de:

- difusão;

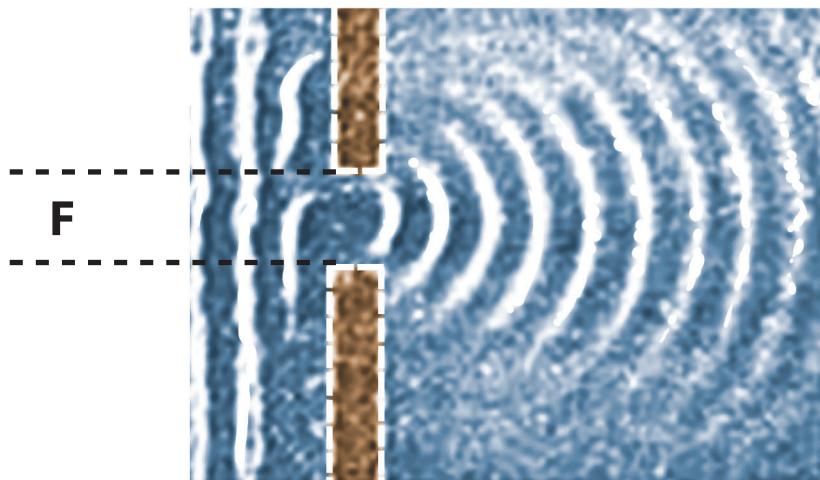
b. difração;

c. refração;

d. reflexão.

## Questão 5 (Adaptado de UFRGS)

Uma sequência de ondas planas de comprimento de onda  $\lambda$ , que se propaga para a direita em uma cuba com água, incide em um obstáculo que apresenta uma fenda de largura F. Ao passar pela fenda, a sequência de ondas muda sua forma, como se vê na fotografia a seguir?



Responda:

a. Qual é o fenômeno físico que ocorre com a onda quando ela passa pela fenda?

b. O que aconteceria se aumentássemos o tamanho da fenda de forma que F fosse bem maior que  $\lambda$ ?

# Gabarito

## Questão 1

- A      B      C      D
- 

## Questão 2

- A      B      C      D
- 

## Questão 3

- A      B      C      D
- 

## Questão 4

- A      B      C      D
- 

## Questão 5

- a. Difração.
- b. Quando o orifício de um anteparo é maior que o comprimento da onda, então a onda não sofre modificação em sua trajetória.