

TRABALHO DE INSTRUMENTAÇÃO  
LICENCIATURA EM FÍSICA NOTURNA  
INSTITUTO DE FÍSICA / UFRJ

---

# **FÍSICA** **ONDULATÓRIA**

**PARA O ENSINO MÉDIO**

Aluno: André Luiz Corrêa de Araujo  
Orientador: Marcos Binderly Gaspar (IF/UFRJ)

Dezembro de 1999

## ÍNDICE

<b>I -INTRODUÇÃO</b>	<i>pg 02</i>
<b>II -OBJETIVOS GERAIS E METODOLOGIA</b>	<i>pg 02</i>
<b>III-PULSOS E ONDAS</b>	<i>pg 05</i>
<b>IV-FENÔMENOS ONDULATÓRIOS</b>	<i>pg 11</i>
<b>V-ONDAS SONORAS(SOM)</b>	<i>pg 21</i>
<b>VELOCIDADE DO SOM</b>	<i>pg 23</i>
<b>GRANDEZAS FÍSICAS DO SOM</b>	<i>pg 24</i>
<b>PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOM</b>	<i>pg 25</i>
<b>CORDAS VIBRANTES E TUBOS SONOROS</b>	<i>pg 28</i>
<b>SOM RUÍDO E POLUIÇÃO SONORA</b>	<i>pg 34</i>
<b>VI-ONDAS ELETROMAGNÉTICAS</b>	<i>pg 37</i>
<b>DEFINIÇÃO</b>	<i>pg 40</i>
<b>PROPIEDADES DAS ONDAS ELETROMAGNÉTICAS</b>	<i>pg 41</i>
<b>ESPECTRO ELETROMAGNÉTICO</b>	<i>pg 42</i>
<b>RADIAÇÃO VISÍVEL E A LUZ BRANCA</b>	<i>pg 45</i>
<b>ONDAS DE RÁDIO E TELEVISÃO</b>	<i>pg 52</i>
<b>RADIAÇÃO E MATÉRIA</b>	<i>pg 53</i>

# FÍSICA ONDULATÓRIA PARA O ENSINO MÉDIO

## I – INTRODUÇÃO:

O nosso cotidiano está repleto de fenômenos de natureza ondulatória. Os mais importantes estão de alguma maneira associados ao som e a luz. São também ondulatórias as transmissões de sinais de rádio, televisão, raio X, microondas, telefone, etc. ,que fazem parte deste Mundo Moderno. Para entendê-lo devemos ter em primeiro lugar a idéia da diferença entre movimento corpuscular e movimento ondulatório, o primeiro ocorre quando uma quantidade de matéria se move de um ponto a outro, como uma pedra arremessada em uma janela, que a quebra; o segundo ocorre quando “algo” que não é matéria , mas também se desloca, como uma bomba que explode próxima a uma janela, que também é quebrada.

Nos dois casos há transferência de energia de um local para outro, porém no primeiro além do transporte de energia, há também transporte de matéria (pedra), enquanto que, no segundo isso não acontece, pois **uma onda transporta somente energia.**

Muitos cientistas contribuíram para a evolução da física ondulatória, mas foi com Christian Huyghens, no século XVII, que se deu o grande salto, mesmo sem uma ferramenta matemática adequada. Suas idéias continuaram germinando até o século XX, nos trabalhos de Wilebrord Snell, René Descartes, Augustin Jean Fresnel, Thomas Young, Louis de Broglie, Max Planck e outros.

## II – OBJETIVOS GERAIS E METODOLOGIA.

O aluno relacionará os fenômenos da natureza ondulatória ao seu cotidiano de forma mais motivadora, sem muito formalismo, com mais **significados e exemplos relacionados ao seu dia-a-dia.**

Com a atual proposta nacional para o ensino médio (diretrizes curriculares – MEC/SEMTEC), os conteúdos de física devem estar voltados para o dia-a-dia do aluno, contribuindo para a formação de uma cultura científica que permita ao aluno interpretar fatos, fenômenos e processos naturais. É necessário também que a física trabalhe na compreensão básica do funcionamento de equipamentos que cercam o cotidiano doméstico , social e profissional do aluno, ao contrário de hoje , onde o ensino de física se reduz a leis e fórmulas , de forma desarticulada e cada vez mais distante da realidade, com poucos significados e exemplos concretos .

*A escola deve ser capaz de ajudar o aluno a exercer plenamente a sua cidadania, excluindo de uma vez por toda a chamada cidadania ausente. O cidadão é o indivíduo capaz de leitura crítica da sociedade em que vive ; inserido no processo sócio- econômico-político e cultural da sociedade, como elemento participante e interveniente do processo histórico e transformador dessa sociedade. A cidadania passa necessariamente, pela escolaridade, pois conhecimentos, valores e comportamentos socialmente privilegiados têm, na escola, espaço de socialização, preparando o aluno para inserção ao mundo do trabalho. (“A TEORIA NA PRÁTICA É OUTRA” ,DEMARION VILLAS BOAS SÁ REGO)*

O tema desse trabalho de tanta importância para a formação científica de um cidadão é pouco abordado por professores do ensino médio de algumas escolas do estado do Rio de Janeiro, que por vários motivos não trabalham com informações da física ondulatória, haja visto que existem variações de uma escola para outra, no que se refere à carga horária e prioridades no programa do ensino de física. Normalmente as informações passadas pelas escolas que trabalham o referido assunto são de caráter introdutório e superficial, sem muito significado, e que pouco se relacionam com a modernidade em que vive o aluno. Trabalharemos com as idéias principais da física ondulatória, que é uma das responsáveis por esse mundo moderno e evolutivo que vivemos ,não esquecendo da sua complexidade. Com isso trabalharemos mais próximo da realidade do aluno, pois o conhecimento físico, atualmente transmitido, se distancia cada vez mais da tecnologia, onde o aluno ao invés de adquirir uma educação científica ,aprende cada vez mais “ **apertar o botão**“.

Para entendê-lo devemos organizar uma seqüência crescente de dificuldade, onde primeiramente trabalharemos com os conceitos de pulsos, ondas periódicas, comprimento de onda, freqüência, amplitude e a equação fundamental das ondas, de uma forma geral, sem formalismo e sem muitos detalhes. Depois trabalharemos os fenômenos ondulatórios como: a reflexão, a refração, a interferência, a ressonância e a difração, também de forma geral (para qualquer tipo de onda). Desta forma, se pretende desenvolver passo a passo, os conhecimentos cuidadosamente trabalhados, a fim de se obter uma preparação para o estudo das ondas sonoras (acústica) e ondas eletromagnéticas (luz), mais freqüentes no dia-a-dia dos alunos. Serão abordadas as características principais desses tipos de ondas com seus fenômenos, de forma significativa e real, com sugestões experimentais, sem muita matemática, nem exercícios repetitivos, que nessa etapa do aprendizado pouco somam, levando a uma memorização e não à construção do conhecimento através de competências adquiridas.

Dessa forma se espera obter um melhor aproveitamento, onde um aprendizado de física, útil à vida do aluno, se processe mais facilmente, respeitando uma seqüência crescente de aprendizado, como o já proposto por PIAGET, em que o conhecimento é alcançado por experiências passadas e acumuladas de forma crescente (CONSTRUTIVISMO), pois se constrói na interação do *sujeito* com o *objeto*. Na medida que o sujeito interage com o objeto, o objeto age sobre o sujeito, com isso o sujeito vai produzindo sua capacidade de conhecer e *gradativamente* vai produzindo também o seu próprio conhecimento. PIAGET organizou os estágios do desenvolvimento, vejamos como ele afirmava as necessidades para houvesse esses estágios:

*Para que haja estágios é necessário primeiramente que a ordem de sucessão das aquisições seja constante, não a cronologia mas a ordem de sucessão. Podemos caracterizar os estágios numa população dada por uma cronologia, mas essa cronologia é extremamente variável; ela depende da experiência anterior dos indivíduos e não somente de sua maturação e depende principalmente do meio social que pode alterar ou retardar o aparecimento de um estágio, ou impedir sua manifestação. (PIAGET, 1978, p.235)*

O CONSTRUTIVISMO E A EDUCAÇÃO, SÉRGIO ROBERTO KIELING FRANCO, Medição editora, 1995.

Vamos trabalhar, juntamente com exemplos e sugestões experimentais simples, porém sempre relacionadas aos assuntos em questão, com objetivos e procedimentos bem definidos. O papel do professor não pode ser simplesmente um expositor, nem um facilitador, mas sim de um **PROBLEMATIZADOR**, isto é **organizar as interações do aluno com o meio e problematizar as situações, de modo a fazer o aluno, ele próprio, construir o conhecimento.**

### III – PULSOS E ONDAS

**i)Objetivos:** O aluno deve compreender o que é um pulso e uma onda periódica, com a sua amplitude, velocidade, período e frequência, tudo de forma simples e introdutória.

#### **ii)Pulso**

Uma pessoa produz um “vaivém” em uma das extremidades de uma corda em equilíbrio, e uma caixa de fósforo é colocada sobre a corda, conforme a figura.

Observamos que uma perturbação se deslocará ao longo da corda (fig.1a) e ao atingir a caixa (fig. 1b) essa perturbação a empurrará, cedendo-lhe parte da energia que a pessoa inicialmente transferiu à corda.

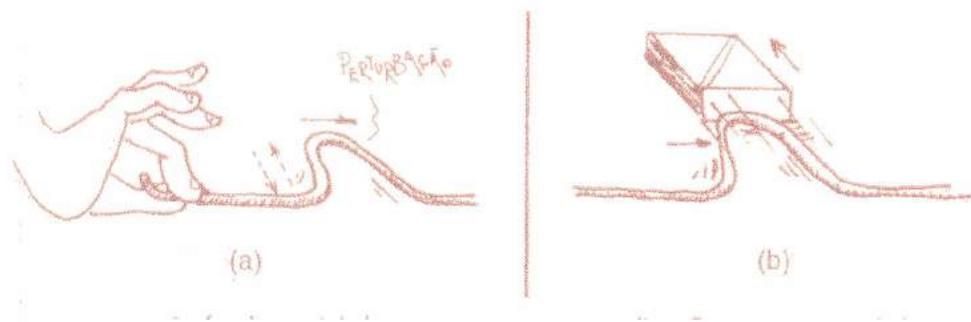


Figura 1 Pulso em uma corda

Com isso podemos dizer que quem caminhou ao longo da corda, transportando energia de um ponto para outro, foi uma perturbação e não a matéria, perturbação esta, que faz a corda se deslocar para um lado e para o outro, não havendo deslocamento do trecho inicial da corda até a caixa.

### iii)onda

A perturbação produzida em um meio, tirando-o de uma situação de equilíbrio( não há perturbação), que se desloca transportando energia é denominada de *pulso* e uma seqüência de pulsos recebe o nome de *onda*.

Quando uma sucessão de pulsos(uma onda) se repete a cada intervalo de tempo de propagação, dizemos que esses pulsos formaram uma *onda periódica*. Neste trabalho a palavra *onda* estará sempre relacionada à onda periódica, que mais adiante veremos.

#### SUGESTÃO 01:

**OBJETIVOS:** Mostrar que uma onda transporta somente energia e que não há transporte de matéria na propagação da onda.

**MATERIAL:** Uma corda, uma caixa de fósforo e uma caneta piloto ou pincel atômico.

**PROCEDIMENTOS:**

- atômico.
- i) Marque na corda porções enumeradas de 1 a 10 com a caneta ou pincel
  - ii) Estique a corda já enumerada sobre o chão da sala e coloque a caixa de fósforo sobre a mesma.
  - iii) Produzir um “vaivém” na parte numero 1 da corda conforme a figura.
  - iv) Responda: O que se propagou ao longo da corda?  
O número 1 caminhou ao longo da corda? Justifique!
  - v) Dê outros exemplos de situações que se relacionam com a atividade?

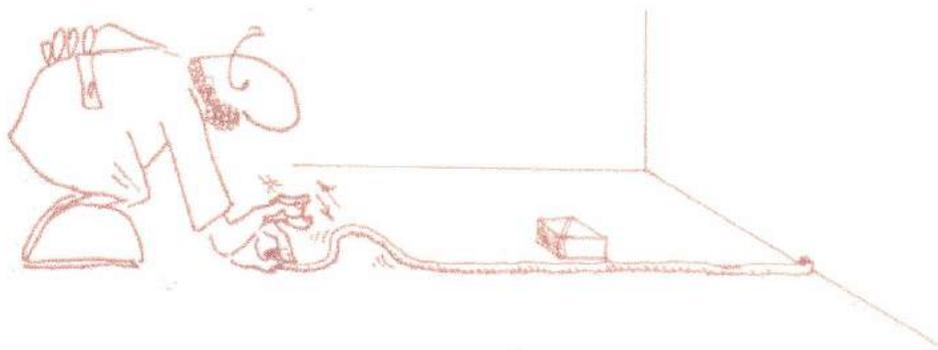


Figura 2 Pulso, transporte de energia

Um exemplo é quando uma pedra cai na superfície de um lago e produz uma perturbação, ela desloca certo volume de água, ocorre simultaneamente um deslocamento lateral e um vertical (fig.3a), a porção que se projeta acima do nível normal do lago tende a descer, mas quando atinge o nível normal ultrapassa-o devido à inércia, deslocando uma **nova** porção de água ao seu redor (fig. 3b). Assim, uma oscilação mecânica vai se propagando pela superfície do lago. (fig. 3c).



Figura 3 Pedra que cai em um lago

Para conhecermos uma onda periódica precisamos saber os seguintes parâmetros:

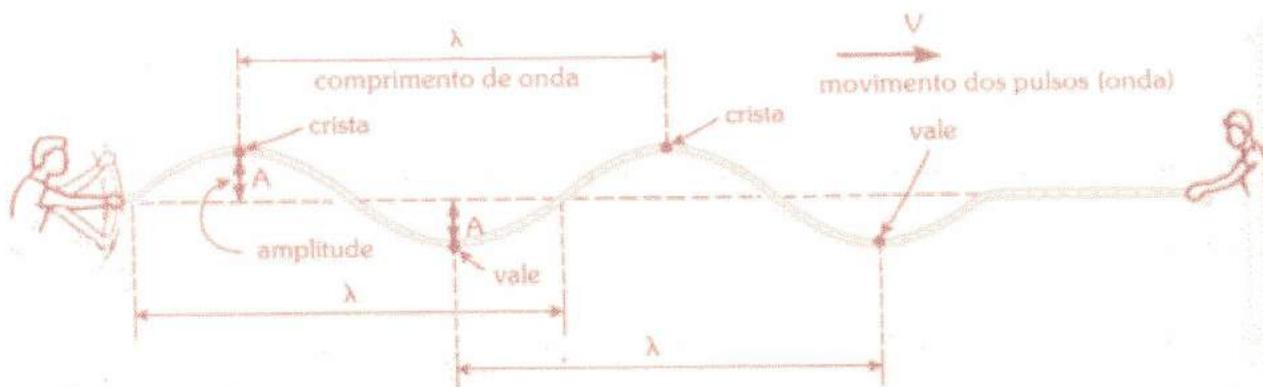


Figura 4 Onda periódica

- i) **Comprimento da onda ( $\lambda$ ):** é a distância entre duas cristas ou dois vales ou entre quaisquer outros dois pontos consecutivos que estejam em condições idênticas.
- ii) **Amplitude da onda (A):** é o maior valor da oscilação, está relacionado com a energia transmitida pela onda. Não correspondente necessariamente a um comprimento. Ex. . Para uma onda de pressão (som) a amplitude é a diferença entre o ponto da onda onde a pressão máxima e o ponto da onda onde a pressão é de equilíbrio(não há vibração).

iii) **Frequência (f) e Período (T)**

A frequência (f) é o número de oscilações executadas por unidade de tempo, no SI\*\* a unidade é 1/s ou Hertz e o Período (T) é o intervalo de tempo de uma oscilação completa ou o intervalo de tempo em que um *ponto da onda* leva para percorrer um comprimento de onda, conforme a figura 4 ,no SI a unidade do período (T) é o segundo(s). A frequência (f) é o inverso do período, ou seja :  $f=1/T$

- iv) **Velocidade de propagação(v):** nas ondas o que se desloca não é o meio e sim as cristas, os vales e também os outros pontos da onda. Para cada intervalo de tempo igual a um período (T), um ponto qualquer da onda se repete, com isso a cada comprimento de onda ( $\lambda$ ) esses pontos também se repetem. Como:  $v = \Delta S/ \Delta T$  \*\*\*,sendo” S “a distancia percorrida pela onda e “T ”é o tempo gasto no percurso.

Temos então que:  $v = \lambda/T = \lambda \cdot f$

\* ( $\lambda$ ) é uma letra grega (*lâmbda*) equivalente ao “l” do nosso alfabeto, muito usada na física como indicação de comprimento.

\*\* (SI) SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES, é um sistema muito usado, onde a unidade de comprimento é o metro(m), a de massa é o quilograma (kg) , de tempo é o segundo(s) e outros.

\*\*\* ( $\Delta$ ) delta é símbolo que sempre indica um *intervalo* qualquer , por exemplo:  $\Delta V = V_f - V_i$  , que é o intervalo entre a velocidade final e a inicial .

#### iv) Classificação das ondas segundo três critérios

Direção da vibração  
Natureza da vibração  
Liberdade para propagação.

##### a) Direção da vibração

ai) **Transversal** → quando a direção da vibração é perpendicular à direção em que se propaga a onda.

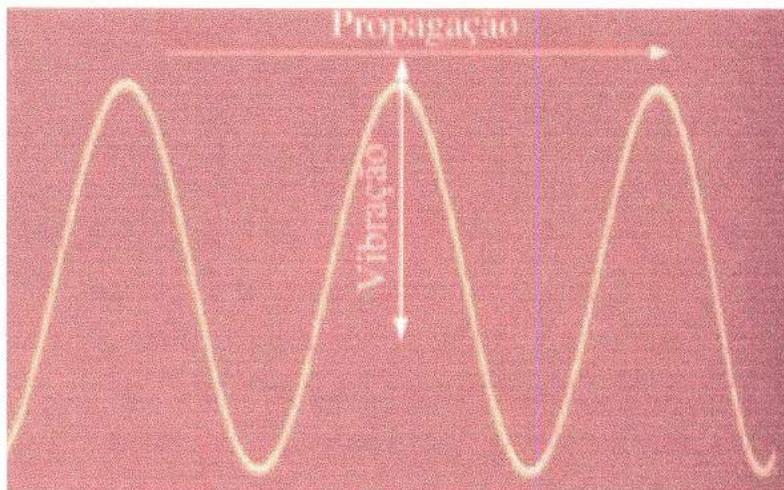


Figura 5 Onda com direção de vibração transversal

**aii) Longitudinal**→quando a direção de vibração é a mesma na qual se propaga a onda



Figura 6 Onda com direção de vibração longitudinal

## **b) Natureza de vibração**

**bi) Mecânicas**→ Ocorre transporte de vibrações mecânicas, onde as partículas materiais vibram.

Ex. Ondas em cordas, na superfície dos líquidos, nos sólidos (terremotos), etc.

**bii) Eletromagnética**→ Corresponde a variação no campo elétrico e no campo magnético, originadas por cargas elétricas oscilantes.

Ex. Ondas de rádio, microondas, luz visível, raios x, etc.

## **c) Liberdade para a propagação**

**ci) Propagações unidimensionais**→ o deslocamento da onda se dá sobre uma linha.

Ex: ondas em uma corda

**cii) Propagações bidimensionais** → as ondas são produzidas sobre uma superfície.

Ex: ondas na superfície de um líquido.

**ciii) Propagações tridimensionais** → as ondas se espalham em todas as direções no espaço. Ex. propagação do som no ar.

*LEITURA COMPLEMENTAR:* – FÍSICA, ELETRICIDADE E ONDAS, *EDSON, ROBERTERLLA, AVELINO*, Volume 3 – Editora Ática, 1988.

## IV – FENÔMENOS ONDULATÓRIOS

**i) Objetivos:** O aluno compreenderá os fenômenos ondulatórios, dando continuidade ao trabalho do item III, para que tenha uma visão geral dos comportamentos de uma onda, a fim de associá-los aos fenômenos que acontecem em seu dia-a-dia, principalmente relacionados ao SOM e a LUZ.

O estudo dos principais fenômenos que ocorrem com as ondas como: a reflexão, a refração, a interferência, a ressonância, a difração, a dispersão e a polarização será mostrado de uma forma geral, ficando os principais exemplos relacionados ao estudo do SOM e da LUZ para os próximos itens.

Para entendermos os fenômenos ondulatórios devemos primeiramente introduzir o conceito de *direção de propagação*. Uma onda qualquer tem sempre a sua direção de propagação, que é muito citada no estudo da física ondulatória, principalmente quando interage de alguma maneira com uma superfície, seja atravessando-a, seja refletindo, ou sendo absorvida. Citaremos algumas informações e procedimentos comuns para o estudo dos fenômenos ondulatórios:

- 1) Um plano perpendicular à superfície ,conforme a figura 7, será usado como auxílio ao entendimento dos fenômenos ondulatórios..
- 2) Uma reta perpendicular a qualquer superfície plana , também chamada de reta normal à superfície, é usada como referência para a direção de propagação da onda ,seja ela incidente, refletida ou refratada, como veremos mais adiante.
- 3) O ângulo de incidência( $i$ ) é o ângulo com que a onda que se aproxima da superfície forma com a reta normal, conforme a figura 8.



Figura 7 plano perpendicular à superfície

## ii) Reflexão

Uma onda sofre reflexão quando ao atingir a fronteira entre dois meios, retorna ao meio original, ou seja, muda a sua direção de propagação.

A onda refletida tem a mesma velocidade da onda incidente, mantém a frequência ( $f$ ) e o comprimento de onda ( $\lambda$ ) inalterados.

No mesmo plano, a medida do ângulo de reflexão  $r$  é igual a do ângulo de incidência  $i$ , conforme a figura 8.

1

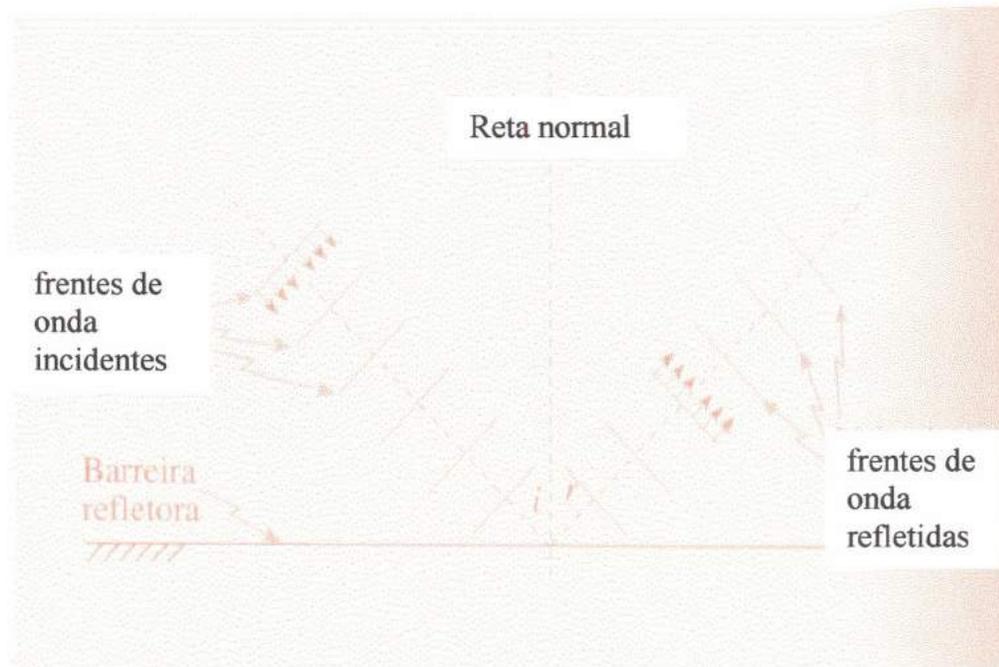


Figura 8 Reflexão de uma onda

As frentes de onda mencionadas na figura na figura 8 correspondem a *pontos da onda* separados por um comprimento de onda( $\lambda$ ), ou seja, as frentes de ondas podem ser cristas, vales ou qualquer outros *pontos da onda*, desde que estejam sempre separados por um comprimento da onda. (veja a figura 4). É comum associar as frentes de onda às cristas, onde o deslocamento da onda é máximo.

### iii) Refração

Uma onda sofre refração quando ultrapassa a fronteira de separação entre dois meios de propagação, passando então a se propagar no outro meio com outra velocidade.

A onda refratada se propaga com outra velocidade e a frequência ( $f$ ) é a mesma nos dois meios, com isso o comprimento de onda ( $\lambda$ ) também mudará, como foi mencionado acima, pois a refração das ondas obedece a lei:

$$\frac{\text{Sen } i}{\text{Sen } r} = \frac{v_1}{v_2}$$

Esta equação é conhecida como lei de SNELL-DESCARTES, onde  $v_1$  e  $v_2$  são as velocidades da onda nos meios 1 e 2 respectivamente e “ $i$ ” o ângulo de incidência e “ $r$ ” o ângulo de refração, onde “ $i$ ” é o ângulo que a onda incidente faz com a reta normal (perpendicular à superfície de separação) e “ $r$ ” é o ângulo que a onda refratada faz com a mesma reta normal a superfície (ver figura 9).

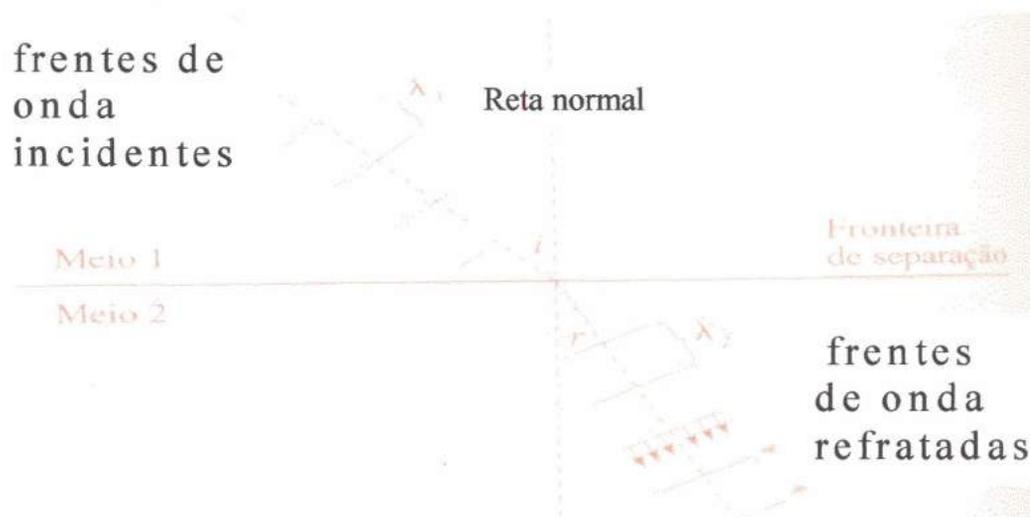


Figura 9 Refração de uma onda

Como já vimos, as frentes de onda estão sempre separadas por um comprimento de onda ( $\lambda$ ), no caso da refração, a onda refratada muda o seu comprimento de onda, consequentemente as frentes de onda refratadas estarão separadas por um novo comprimento de onda ( $\lambda_2$ ), conforme a figura 9.

SUGESTÃO 03:

**OBJETIVO:** O aluno observará a passagem de um pulso de onda de uma corda para outra, a fim de observar o fenômeno da refração para dar continuidade a compreensão da ondulatória.



v) Repita o item anterior, agora produzindo ondas da parte rasa para a parte funda, anote e explique o observado.

vi) Coloque a lâmina de vidro perpendicularmente ao fundo do pirex, posicionada aproximadamente sobre a diagonal principal do pirex e produza novamente as mesmas ondas planas com régua, anote e explique o que acontece quando essas ondas planas incidem sobre a lâmina de vidro, formando um ângulo "i" com a reta normal à lâmina de vidro.

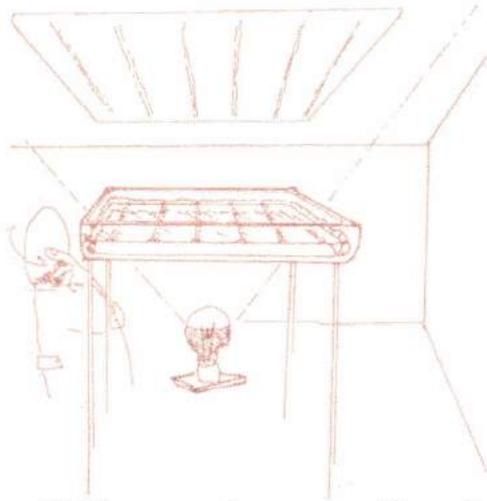


Figura 11 Pirex com água e uma lâmpada

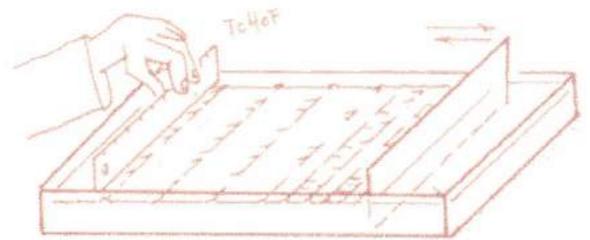


Figura 12 Produção de ondas planas

#### iv) Difração

Ocorre quando uma onda encontra uma fenda ou um obstáculo, consegue contorná-lo e então chegar a regiões que não seriam atingidas caso apresentasse apenas propagação retilínea. Uma pessoa que fala com outra pessoa, estando em cômodos diferentes, conseguem se comunicar (fig 13a), caso contrário não haveria comunicação (fig 13b)

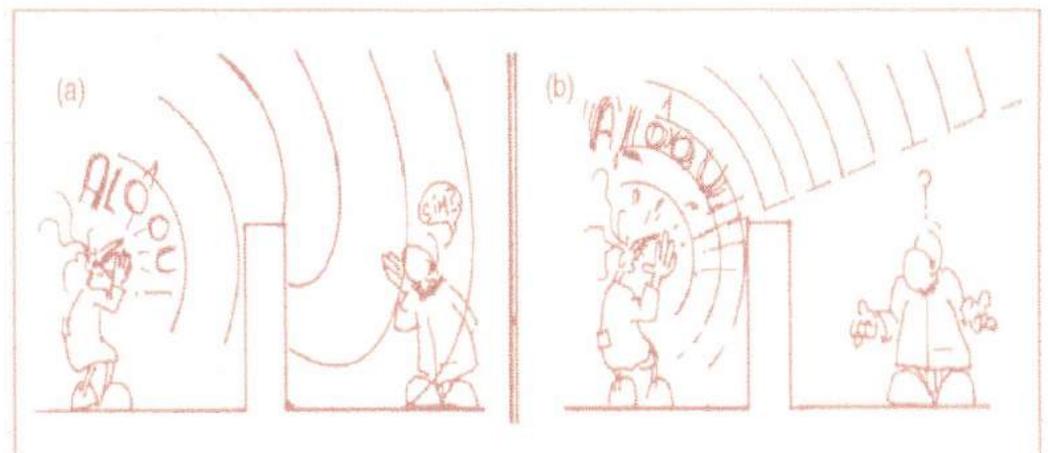


Figura 13 Difração de ondas

## vi) Interferência

As perturbações se propagam de modo independente, um pulso não interfere na propagação do outro. O que chamamos de interferência, ocorre nos pontos onde elas se encontram., havendo então uma superposição e depois prosseguem como se nada tivesse acontecido.

Exemplos: Dois pulsos são produzidos em uma corda e caminham em direções opostas como mostrado na figura 15a.

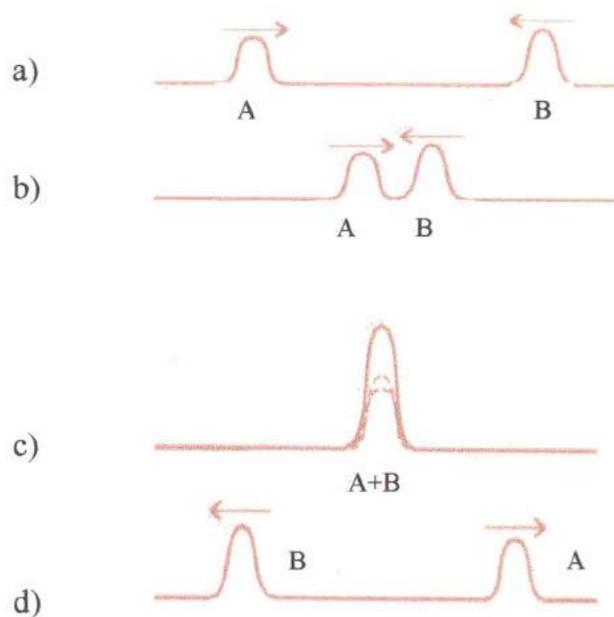


Figura 15 Interferência construtiva

Os pulsos se encontram (fig. 15b), se superpõem (fig. 15c) e prosseguem como se nada tivesse acontecido (fig. 15d).

A corda sofre um deslocamento transversal igual à soma dos deslocamentos que cada pulso produziria isoladamente.

A interferência pode ser **construtiva**, ocorre quando o pulso resultante for maior que cada um individualmente ou **destrutiva**, quando os pulsos tem polaridades opostas, onde o pulso resultante é a diferença entre os pulsos originais.

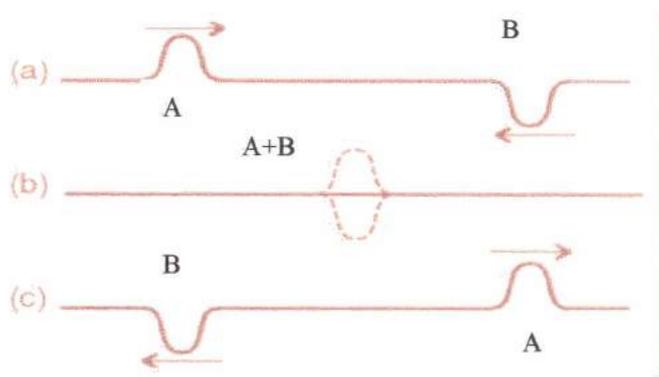


Figura 16 Interferência destrutiva

Dois pulsos de polaridades opostas caminhando um para o outro (fig.16a). Há um momento em que eles são simétricos em relação a posição de equilíbrio da corda (fig. 16b) e logo depois eles reaparecem, continuando com suas formas originais, como se nada tivesse acontecido (fig 16c).

#### SUGESTÃO 05:

**OBJETIVO:** O aluno observará a propagação, a reflexão e a interferência de um pulso transversal para então dar continuidade a compreensão do estudo ondulatório.

**MATERIAL:** Uma corda de mais ou menos 3 metros.

**PROCEDIMENTOS:**

- i) Segure uma das extremidades da corda e peça a um colega que segure **firmemente** na outra extremidade (conforme a figura 17)..
- ii) Emita um pulso transversal e observe o que acontece no outro extremo.
- iii) Emita um pulso transversal, idêntico ao anterior, e antes do primeiro chegar a extremidade, emita um segundo pulso, com as mesmas características.
- iv) Observe atentamente o que ocorre durante o encontro desses pulsos, e também o que ocorre após o encontro.



Figura 17 Pulso em uma corda ,sugestão experimental

## vii) Ressonância

Ocorre ressonância quando transferimos energia para um sistema oscilante, de forma que a frequência do “motor”(fornecedor de energia) coincida com a frequência do sistema oscilante. Por exemplo: uma ponte como a Rio-Niterói balança devido ao fenômeno da ressonância, onde o vento funciona como um “motor”(fornecedor de energia) e a oscilação da ponte coincide com a frequência de fornecimento de energia do vento, caso não existisse o amortecimento, as oscilações teriam **amplitudes cada vez maiores**, até a estrutura da ponte não suportar e se romper.

Ao ocorrer a ressonância, há uma transferência contínua de energia da fonte para o sistema oscilante, cuja amplitude de oscilação vai aumentando até o instante em que a energia fornecida for equivalente a energia dissipada por eventuais amortecimentos.

Exemplo: Quando empurramos uma criança num balanço, e ela vai cada vez mais alto, estamos transferindo energia na mesma frequência que o balanço oscila e sempre que o balanço completa uma oscilação, nós o empurramos novamente. Não há um aumento exagerado da altura atingida pelo balanço devido aos amortecimentos, podendo ser o atrito com o ar ou na fixação do mesmo. Imagine se nós o empurrássemos em outra frequência ou quando o balanço estivesse vindo em sua direção, sem ter efetuado uma oscilação completa.

### viii) Polarização

Uma vibração transversal é geralmente complexa, compreendendo vários planos de vibração, no entanto ao vibrar uma corda, podemos escolher tanto movimentá-la com pulsos para cima e para baixo, como em outras direções. Na primeira a onda já está polarizada verticalmente e na segunda podemos polarizá-la, colocando-a de forma que passe por uma estreita fenda vertical, com isso as variações só acontecerão verticalmente, conforme a figura 18.

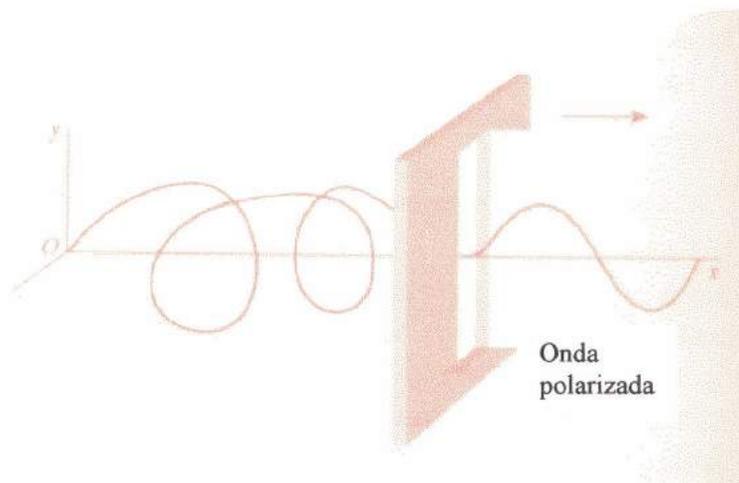


Figura 18 Polarização de uma onda em uma corda

Este conceito é de maior interesse quando referido a ondas eletromagnéticas e a luz em particular. Um bom exemplo é a aplicação em mostradores feitos de cristais líquidos muito usados em relógios digitais.

*LEITURA COMPLEMENTAR: FÍSICA PARA O 2º GRAU, ELETRICIDADE E ONDAS, LUIS ALBERTO GUIMARÃES e MARCELO FONTE BOA, Editora Harbra, 1998.*

## V- ONDAS SONORAS (SOM)

**i) Objetivos:** O aluno compreenderá as propriedades e as características desse tipo de onda, sendo capaz de diferenciá-la de uma outra onda, relacioná-la ao seu cotidiano e também compreender as diferenças entre som e ruído e alguns cuidados.

Chama-se de som, as ondas mecânicas (ondas que necessitam de um meio material para se propagar) que podem ser captadas através da nossa audição.

Costumamos valorizar a visão como o sentido mais importante que possuímos, porém esquecemos de que a percepção do som apresenta algumas vantagens em relação a percepção de luz (uma onda eletromagnética). Por exemplo, quando misturamos duas radiações puras, tais como a vermelha ao amarelo, nossa visão não as percebe separadamente, o que vemos é somente uma cor alaranjada, já com a audição conseguimos identificar vários sons diferentes, mesmo recebidos em conjunto. Vamos ver como acontece o que foi mencionado acima, alguns conceitos de acústica e suas aplicações no nosso dia-a-dia.

### ii) Ondas Sonoras.

Este tipo de onda, sempre precisa de um meio material (ar, água, etc.) para se propagar e não se propaga no vácuo. Ao vibrar, a fonte produz inicialmente uma compressão do ar, com isso as moléculas começam a vibrar longitudinalmente, transmitindo essas vibrações para as moléculas vizinhas e assim por diante, até que possamos senti-la através dos nossos ouvidos, conforme a figura 19.

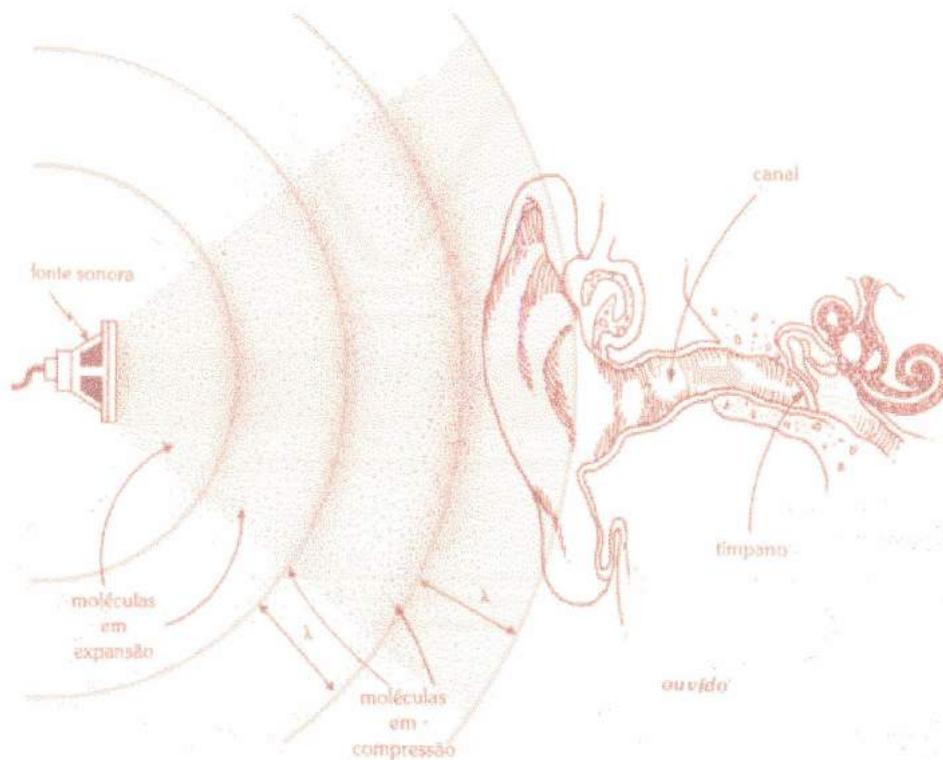


Figura 19 Ondas sonoras atingindo um ouvido humano

**SUGESTÃO 06:**

**OBJETIVO:** Levar o aluno a perceber que o som necessita de um meio material para se propagar.

**MATERIAL:** Um lápis, mesa de madeira, um pedaço de isopor, um cano de metal, etc.

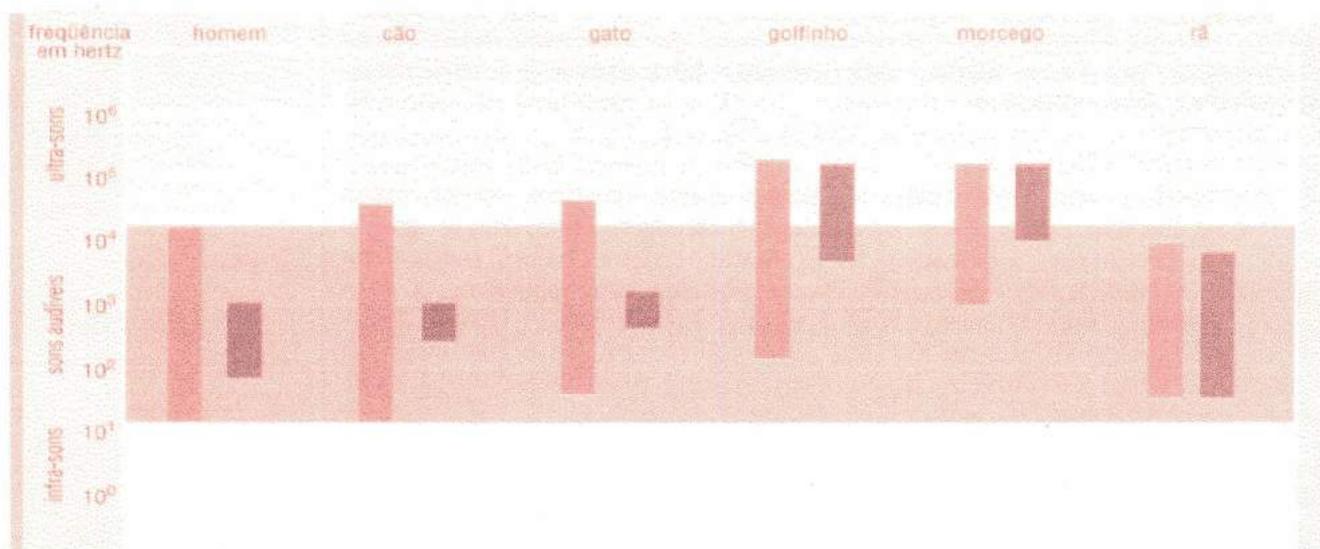
**PROCEDIMENTO:**

- i) Peça para um colega bater um lápis numa ponta da mesa.
- ii) Enquanto seu colega continuar batendo com o lápis na mesa, você encosta o ouvido no outro lado da mesa.
- iii) Você consegue notar alguma diferença?
- iv) Repita colocando o ouvido sobre diferentes tipos de materiais e escreva suas conclusões.

Os parâmetros médicos adotados para o ser humano são de 20 Hz (1Hz= uma oscilação por segundo) como frequência mínima e de 20.000 Hz como máxima. Abaixo de

20 Hz as vibrações são chamadas de infra-sons e acima de 20.000 Hz, chamadas de ultra-sons, sendo essa última muito utilizada na medicina.

Os animais possuem faixas de frequências particulares, abaixo (figura 20) seguem alguns exemplos dessas faixas de frequências de emissão e captação.



- Figura 20 Faixas de frequências emitidas e captadas por alguns animais

OBS: As faixas mais claras correspondem à **captação** e as mais escuras à **emissão**

### iii) Velocidade do som

O som viaja com velocidade baixa o suficiente para que possamos perceber um atraso entre a emissão e a detecção. Como qualquer outra onda, se propaga com velocidades diferentes em meios diferentes, isto é, o som se propaga mais rapidamente nos sólidos do que nos líquidos, e, nos líquidos mais rapidamente do que nos gases, lembro que no vácuo o som não se propaga, já que precisa sempre de um meio material para se propagar.

No ar a velocidade do som é aproximadamente de 340 m/s, na água é de 1.482 m/s e no alumínio é de 6.420 m/s, são velocidades diferentes em meios diferentes.

Podemos sempre relacionar a velocidade da onda com a sua frequência e seu comprimento, com foi mencionado no item II.

$$v = f \cdot \lambda$$

#### iv) Grandezas físicas do som.

Há várias grandezas físicas que caracterizam um som, são elas:

a) **Intensidade** → é a qualidade através do qual podemos distinguir quando um som é forte ou é fraco, ela está relacionada à amplitude de vibração ou a energia que a onda transporta.

b) **altura** → é a qualidade através do qual podemos distinguir um som “grave” de um som “agudo”, que está relacionado a frequência da onda sonora.

Quanto maior a frequência mais agudo e quanto menor a frequência mais grave é o som.

c) **timbre** → é a qualidade através do qual podemos distinguir dois sons de mesma “altura” e mesma “intensidade”, emitidos por instrumentos diferentes. Isso acontece devido as formas das ondas serem diferentes.

Exemplo: É fácil distinguir uma “mesma nota musical” emitida por um violão e por um piano, devido a nota emitida por um violão possuir uma **forma de onda** diferente da emitida por um piano.

#### SUGESTÃO 07:

**OBJETIVOS:** Diferenciar sons fortes de sons fracos, de forma que o aluno consiga compreender a intensidade sonora.

**MATERIAL:** Vários objetos que possam fazer bastante barulho.

#### PROCEDIMENTOS:

i) Bata palmas o mais forte que puder e, depois o mais fraco possível. Qual a diferença?

ii) Utilizando os objetos, fazer barulhos os mais fortes e fracos possíveis. Quais barulhos lhe incomodam? Explique.

### **v) Propriedades das ondas sonoras.**

Uma onda sonora pode sofrer reflexão, refração, difração e interferência. Não ocorre a polarização, porque o som se constitui de ondas longitudinais e não transversais. Vimos também que diferentes espécies de animais tem capacidades sonoras diferentes, o homem pode ouvir entre 20 e 20.000 Hz, e considera graves os sons com menor frequência e agudos os sons com maior frequência.

#### **a) Refração das ondas sonoras;**

Quando uma onda passa de um meio para outro, muda a sua velocidade de propagação e, dependendo do ângulo de incidência, a sua direção, porém mantém constante a sua frequência ( veja no item IV). Com as ondas sonoras não é diferente, por exemplo: às vezes ouvimos um trovão, enquanto outras pessoas não podem ouvi-lo, a causa é justamente a refração das ondas sonoras do trovão, que ao passarem pelas camadas de ar, que estão a diferentes temperaturas, mudam de direção, não chegando a alguns lugares.

#### **b) Reflexão de ondas sonoras**

Uma pessoa pode ouvir o som da própria voz de dois modos: Diretamente, quando está falando ou refletido em alguma barreira(fig 21). O som refletido chega de volta até os nossos ouvidos após um intervalo de tempo ( $\Delta t$ ). Ocorre o fenômeno “ECO” quando o  $\Delta t$  for maior que 1/10 segundo (tempo em que dura uma sensação auditiva denominado de *remanescência* ), pois o som refletido(ECO) chegará após a pessoa ter falado e já ouvido a

sua fala. Se o  $\Delta T \leq 0,1$  s não ocorre o eco, pois o som refletido será percebido praticamente junto com a fala, o resultado é uma sensação única, mais intensa e prolongada denominada de *reverberação do som*. Com isso uma pessoa deve estar pelo menos a 17 m de uma barreira para ouvir o eco da própria voz, pois a velocidade do som no ar é 340 m/s.



Figura 21 Reflexão de ondas sonoras

Também com base na reflexão das ondas sonoras de alta frequência e de baixa intensidade (ultrassom), pode-se diagnosticar doenças no fígado, rim, bexiga, fazer exames de pré-natal, etc. Ela pode ainda ser usada em ensaios não destrutivos de materiais (detectar rachaduras e falhas).

O ultra-som, quando utilizado em alta intensidade tem como objetivo produzir alterações no meio através do qual a onda se propaga. Por exemplo: terapias médicas, soldas, etc.

### c) Difração de ondas sonoras

Já vimos que a difração ocorre quando uma onda consegue contornar obstáculos ou passar através de uma abertura e atingir locais onde não seriam possíveis se apresentassem

somente propagações retilíneas, conforme a figura 13. O nível de difração que uma onda sofre depende da relação entre dimensão do obstáculo ( $d$ ) e o comprimento da onda ( $\lambda$ ); quanto mais próximo ( $\lambda$ ) está de ( $d$ ), mais acentuada é a difração.

As ondas sonoras possuem comprimento de onda ( $\lambda$ ) da mesma ordem que a altura de um muro ou parede ( $d$ ), permitindo então que a contorne como na figura 22, onde um homem atrás de um muro ouve o latido de um cão.

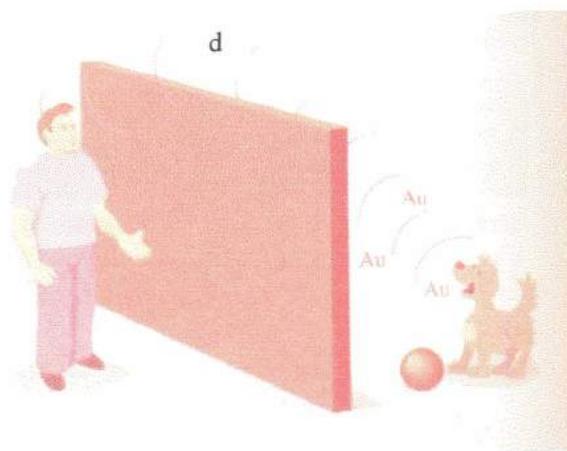


Figura 22 Difração de ondas sonoras

#### **d) Interferência de ondas sonoras**

Ocorre quando duas ou mais ondas sonoras se encontram e um novo som ou ruído é produzido, depois disso, as ondas seguem normalmente, devido às ondas sonoras seguirem como se nada tivesse acontecido logo após as superposições conseguimos identificar os diferentes sons, mesmo recebendo-os em conjunto. Por exemplo, podemos ouvir um chamado em plena festa ou aniversário, com músicas e falatórios, onde há superposições de

sensações sonoras, porém após essas superposições, as ondas emitidas pela pessoa que está chamando seguem como se nada tivesse acontecido e a pessoa chamada consegue ouvir o chamado.

#### e) Ressonância em ondas sonoras.

Já vimos que a condição para que ocorra a ressonância é que a frequência da fonte seja igual a frequência do sistema, onde há, com isso, uma transferência contínua de energia para o sistema e sua **amplitude vai aumentando** até que a energia dissipada por eventuais amortecimentos, possa equivar a energia fornecida pela fonte. Um exemplo desse fenômeno é a quebra de uma taça de cristal por um cantor de óperas apenas com o seu canto, onde as ondas sonoras emitidas pelo cantor são capazes de fazer as paredes da taça vibrarem com a mesma frequência do som emitido, há uma transferência contínua de energia, até que a estrutura não suporta tamanha vibração e não havendo um amortecimento suficiente, ela se rompe, estilhaçando o cristal.

#### vi) Ondas em cordas vibrantes e tubos sonoros

Uma onda se propaga com velocidade ( $v$ ), possui frequência ( $f$ ) e amplitude ( $A$ ), conforme visto no item III. Quando uma onda caminha em uma corda da esquerda para a direita, e uma outra com as mesmas características caminha em sentido contrário, pelo princípio da superposição, teremos pontos na corda em que **não haverá vibração**, denominados de **nós** (pontos A, C e E) e pontos na corda em que **a oscilação será máxima**, denominados de **ventres** (B e D) conforme a figura 23.

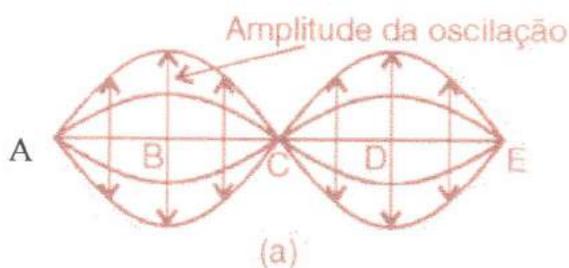
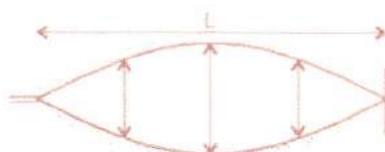


Figura 23 Onda estacionária com “nós” e “ventres”

Esse tipo de onda pode ser gerado (conseguido) utilizando de uma corda fixa em uma extremidade e na outra um vibrador ou oscilador com frequência definida, chamamos este tipo de onda de **onda estacionária**, pois não caminha na corda a medida que o tempo passa, ao contrário de uma onda progressiva. Uma onda estacionária se caracteriza pela disposição alternada de nós e ventres. A distância entre dois nós ou ventres consecutivos é igual a meio comprimento de onda ( $\lambda$ ) conforme a figura 24.



$$L = \lambda/2$$

Figura 24 Onda estacionária

Dependendo da frequência, uma mesma corda pode apresentar ondas estacionárias diferentes, conforme as figuras abaixo. Para que apareça a onda estacionária é preciso que a corda com extremidades fixas oscile com frequências definidas, denominadas de frequências naturais de vibração.

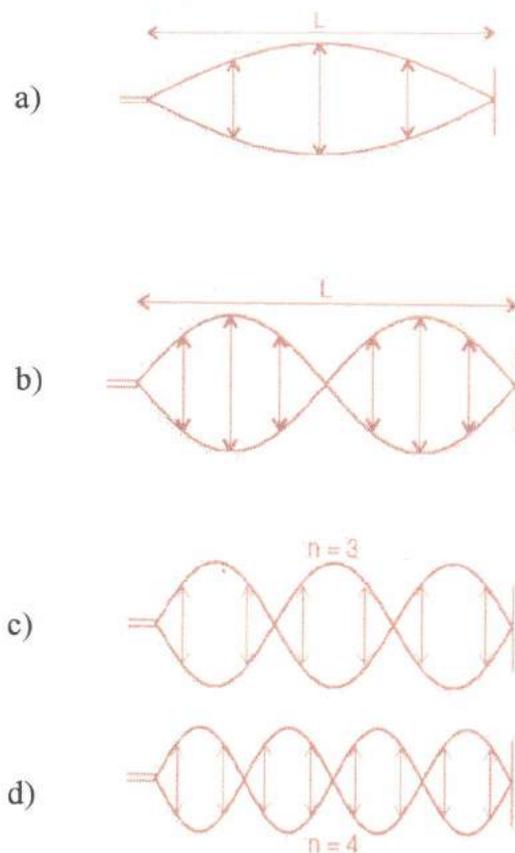


Figura 25 Harmônicos em uma corda vibrante

A frequência fundamental é também chamada de primeiro harmônico (letra a) e as outras múltiplas do primeiro, são chamados de segundos harmônicos(b), terceiros harmônicos (c) e assim sucessivamente.

Como já vimos que:

$$v = \lambda \cdot f \text{ então } f = v / \lambda$$

Na figura (a) podemos ver que o comprimento da corda é a metade do comprimento de onda ( $\lambda$ ), com isso a frequência do primeiro harmônico é:

$$F_1 = v / 2L$$

Para o segundo harmônico é só multiplicar por 2 a frequência do primeiro harmônico, o terceiro harmônico é só multiplicar por 3 a frequência do primeiro harmônico e assim sucessivamente.

$$F_2 \text{ (segundo harmônico)} = v / L$$

$$F_3 \text{ (terceiro harmônico)} = 3 \cdot v / 2L$$

A velocidade ( $v$ ) da onda em uma corda está relacionada com a densidade linear da corda ( $\mu$ ) e com a força que mantém a corda esticada, chamada de tração ( $T$ ).

A densidade linear da corda ( $\mu$ ) é uma característica particular de cada corda, definida como massa por unidade de comprimento. Quanto menor o “ $\mu$ ”, ou seja, quanto mais fina a corda, feita de um mesmo material, maior a velocidade da onda.

A tração ( $T$ ) mantém a corda esticada e quanto mais esticada estiver a corda, maior é a velocidade com que a onda se propaga.

A velocidade ( $v$ ) de uma onda que se propaga em uma corda pode ser determinada da seguinte forma:

$$v = \sqrt{T/\mu}$$

Onde  $T$  é a tração e  $\mu$  é a densidade linear da corda.

O processo de afinação de uma corda de violão nada mais é do que esticar ou afrouxar a corda, rodando a cravelha, aumentando ou diminuindo a tração na corda, até que ela atinja a frequência desejada.

### SUGESTÃO 08:

**OBJETIVO:** O aluno será capaz de visualizar uma onda estacionária.

**MATERIAL:** Uma corda de mais ou menos 2 metros.

**PROCEDIMENTOS:**

- i) Amarre uma das extremidades da corda em algum ponto.
- ii) Inicie uma oscilação lenta na outra extremidade e vá, gradativamente, aumentando a frequência, até que se estabeleça, na corda, algo semelhante ao que mostra a figura 26.

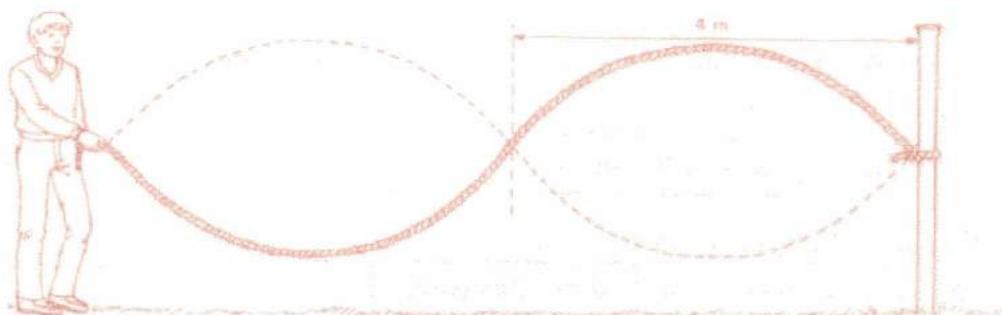


Figura 26 Sugestão para visualizar uma onda estacionária

- iii) O que aconteceria com a corda se conseguíssemos aumentar cada vez mais a frequência de oscilação?

Os harmônicos de uma corda vibrante são responsáveis pelo timbre de um instrumento musical de corda, onde as amplitudes destes harmônicos serão diferentes, dando formas de ondas particulares para cada instrumento, com isso os timbres são diferentes. Por exemplo: quando uma pessoa toca um violão, a corda vibrará nas suas diversas frequências naturais (harmônicos), transmitindo essas vibrações para o ar, produzindo o som, conforme a figura 27, outra pessoa toca a mesma nota em um violino ou em uma harpa, e os sons produzidos são diferenciados pelas formas das ondas que cada instrumento produziu.

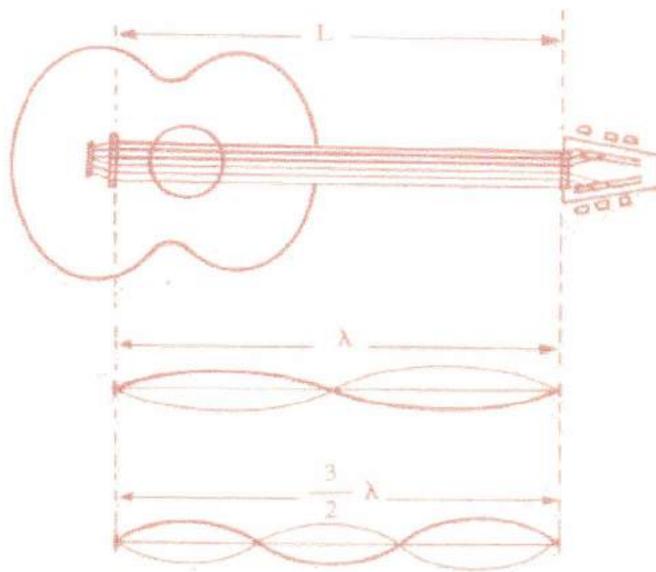


Figura 27 Harmônicos em umas das cordas de um violão

Da mesma forma que nos instrumentos de corda, os harmônicos caracterizam o timbre de um instrumento de sopro.

A situação é parecida com a da corda; porém no caso da corda, admitimos que as extremidades se comportavam como **nós** (eram **fixas**), nos tubos vamos admitir que um “**nó**” corresponde à parte tampada (parte fechada) e um “**ventre**” corresponde à parte aberta, conforme a figura 28, ou ainda podemos ter as duas extremidades abertas (dois ventres), são os chamados tubos abertos.

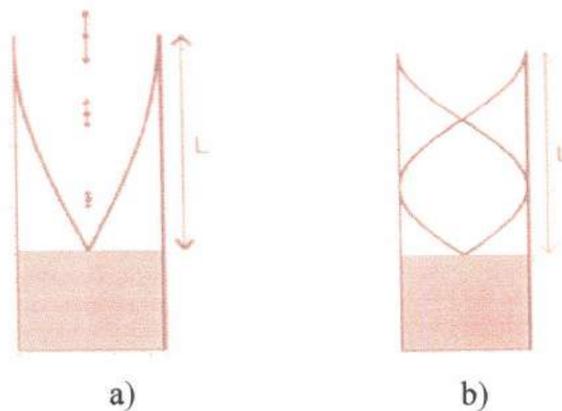


Figura 28 Ondas estacionárias em tubos sonoros

Neste caso o primeiro harmônico ou frequência fundamental é como nas cordas, em que o comprimento  $L$  da corda era importante, agora é o comprimento  $L$  do tubo que é importante. Pela figura (a), a distância entre um nó e um ventre é igual a  $L$ , podemos lembrar que a distância entre dois nós ou dois ventres adjacentes é igual a  $\lambda/2$ , com isso:  $L = \lambda/4$ , e o primeiro harmônico para tubos sonoros é:  $F_1 = v / 4L$ , para o segundo harmônico é só multiplicar o primeiro por 2, para o terceiro é só multiplicar o primeiro por 3 e assim sucessivamente.

### vii) Som, ruído e poluição sonora.

As figuras mostram as formas de onda de alguns instrumentos musicais, bem como a voz de uma pessoa e o que chamamos de ruído.



Figura 29 Formas de ondas de alguns sons

É possível observar que apenas o DIAPASÃO possui uma onda senoidal, todas as outras possuem uma forma de onda mais complexa e o ruído mais ainda, não é a toa que hoje com o desenvolvimento tecnológico, onde máquinas, aparelhos sonoros, etc , nos levaram a mais um problema, que já e chamado de **poluição sonora**.

A intensidade de uma onda é a relação entre quantidade de energia que ela transporta por unidade de tempo que atinge uma dada superfície em sua propagação. No SI a unidade é ( $W/m^2$ ), porém é comum usar para o som uma outra escala, denominada de nível de intensidade sonora, cuja unidade é o decibel (dB).

O limite inferior da percepção humana é 0 dB, a cada 10dB de aumento no nível corresponde a uma intensidade 10 vezes maior, a cada 20dB corresponde a uma intensidade 100vezes maior, 30dB corresponde a 1000dB e assim por diante. A exposição constante a sons de intensidade acima de 90 dB pode a longo prazo, causar danos ao aparelho auditivo, sem a pessoa sentir dor ou sequer perceber que está ficando surda. Na tabela abaixo aparece algumas fontes e o nível de intensidade correspondente.

Fonte do som	nível de intensidade (dB)
respiração normal	10
roçar de folhas	20
biblioteca	40
rádio em volume moderado	50
conversação normal	60
tráfego urbano	70
fábricas em geral	80
metrô	100
concerto de rock	120
decolagem de jato	150

FÍSICA PARA O 2º GRAU, ELETRICIDADE E ONDAS, LUIS ALBERTO GUIMARANS e MARCELO FONTE BOA Editora Harbra, 1998.

Uma simples consulta aos dados da tabela acima mostra como são prejudiciais grande parte dos sons tão comuns em nossa vida diária. Frequentemente, nem percebemos que estamos submetidos de modo contínuo a níveis sonoros acima dos toleráveis.

#### SUGESTÃO 09:

**OBJETIVOS:** Observar a dependência entre a altura do som e o comprimento da coluna de ar vibrante em tubos sonoros.

**MATERIAL:** 7 tubos de ensaio iguais e água.

**PROCEDIMENTOS:**

i) Montar os tubos conforme a figura 30 e enchê-los com quantidades diferentes de líquido.

4) Soprar cada tubo e anotar o observado.

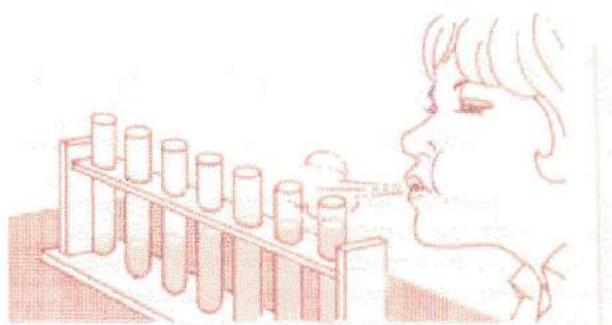


Figura 30 Sugestão para produzir sons em tubos com diferentes quantidades de água

#### SUGESTÃO 10:

**OBJETIVO:** Observar a ressonância em tubos sonoros e calcular a velocidade do som no ar.

**MATERIAL:** Uma garrafa plástica, um pedaço de mangueira, um diapasão ( $f \sim 400$  Hz), um tubo de  $\pm 40$  cm com uma das extremidades fechada (de forma que possa conectar uma mangueira, conforme a figura).

**PROCEDIMENTOS:**

i) Prenda a mangueira no tubo e na garrafa.

ii) Coloque água no tubo, deixando-o quase cheio. e a garrafa com pouca quantidade de água.

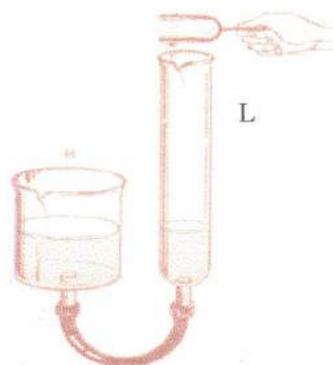
iii) Bote o diapasão para vibrar próximo a extremidade aberta do tubo conforme a figura 31 e anote o observado.

iv) Repita o item anterior, porém com pequenas retiradas de água, que pode ser conseguida abaixando a garrafa plástica ,até que um som de maior intensidade possa ser ouvido. Anote a coluna de ar (l) e explique o que aconteceu.

v) Continue a experiência para quantidades de água ainda menores . O que observou? Explique.

vi) Através da experiência, calcule a velocidade do som no ar.

Figura 31 Ressonância em tubos sonoros



*LEITURA COMPLEMENTAR: 3 - AS FACES DA FÍSICA., WILSON CARRON e, OSVALDO GUIMARÃES. Editora Moderna,1997.*

## VI – ONDAS ELETROMAGNÉTICAS (Luz)

**i) Objetivos:** O aluno compreenderá as principais características de uma onda eletromagnética, como a sua velocidade, suas propriedades e utilizações, a fim de que obtenha informações que contribuam para a sua formação científica, útil para sua vida cotidiana.

### ii) Introdução:

Há muitos anos a Luz é motivo de estudo para muitos pesquisadores.

Algumas perguntas como:

- Por que vemos?
- O que é luz?
- Com que velocidade a luz caminha?

- Por que a luz se apresenta em várias cores?

Desafiavam pensadores de todas as épocas e ainda constituem um campo de pesquisa para o final deste século.

No início (até meados do século XII) a luz era considerada como de natureza material e corpuscular, com o avanço das pesquisas, observou-se que a luz sofria reflexão, refração, interferência e difração como uma onda, e então a teoria ondulatória foi aceita como a melhor forma de explicar não só a luz como todas as outras ondas eletromagnéticas.

No final do século XIX, James Clerk Maxwell formulou várias leis, hoje conhecidas como equações de Maxwell, de fundamental importância para a óptica e para o eletromagnetismo. Anos mais tarde foi verificado por Hertz que um circuito emitia uma onda eletromagnética e outro recebia aquela onda inicialmente emitida, o que podemos chamar de uma *primeira transmissão de "rádio"*.

Como uma onda eletromagnética estava representada por variações dos campos elétrico e magnético, onde um campo elétrico variável gerava um campo magnético e um campo magnético variável gerava um campo elétrico, Maxwell observou que os dois campos estariam tão ligados que não poderia mais considerá-los separadamente, criou-se então a idéia de **campo eletromagnético**.

Observou-se também que o campo eletromagnético, gerado por uma carga oscilante passava a ter uma existência autônoma, isto é, não mais dependia da fonte que o produziu, iria se produzindo continuamente, se autogerando (ver figura 32), mesmo quando a carga que o originou deixava de se mover. Essa propriedade tão importante do campo eletromagnético é exatamente a característica da onda, com isso podemos chamá-las de **"ondas eletromagnéticas"**.

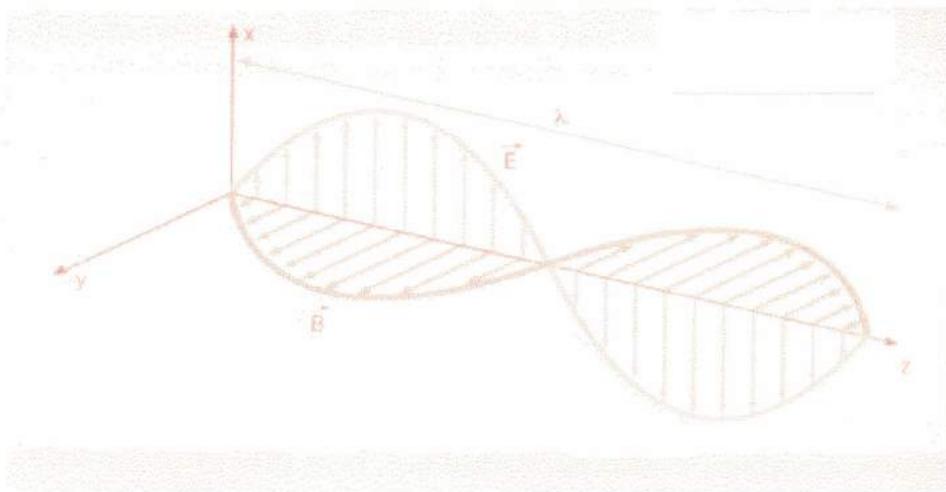


Figura 32 Onda eletromagnética

A figura 32 mostra que os campos elétricos (E) e magnéticos (B) são perpendiculares entre si e que estão sempre variando no tempo, conforme cada senoide correspondente a cada campo.

Uma antena transmissora é uma barra metálica, dentro da qual os elétrons (cargas) podem se mover para frente e para trás, através de uma tensão alternada fornecida por um circuito elétrico oscilante, que faz vibrar esses elétrons, formando uma onda eletromagnética.

Uma antena receptora como as que possuímos em nossas casas, recebe aquelas ondas (anteriormente) transmitidas, fazendo com que os elétrons livres **vibrem com a mesma frequência daqueles elétrons que deram origem a onda.**

Para ampliar a área atingida pelas ondas emitidas, instalam-se entre a estação e o televisor vários retransmissores, que captam essas ondas, reforçam suas potências e as retransmitem (ver figura 33).

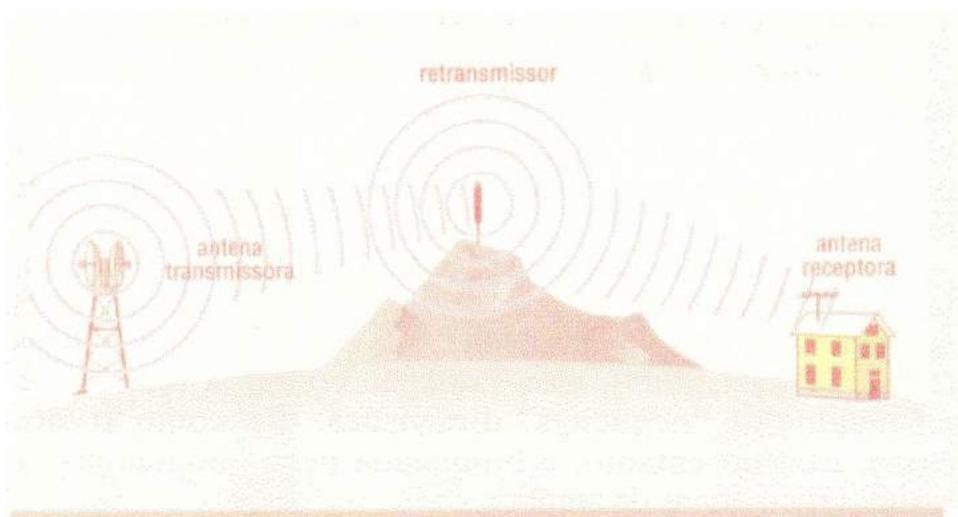


Figura 33 Ampliação da área atingida por uma onda eletromagnética

### iii) Definição de ondas eletromagnéticas.

Recapitulemos rapidamente o que é campo elétrico (E) e o que é campo magnético (B). A lei de Coulomb descreve forças entre objetos eletricamente carregados quando eles estão “parados”. Uma carga sozinha apenas modifica as propriedades do espaço, criando um campo elétrico no local que age sobre outros objetos carregados, exercendo sobre eles forças que dependem de suas cargas. Quando as cargas estão em movimento, também modificam as propriedades do espaço, porém de modo diferente, agora haverá um campo magnético no local, capaz de agir sobre outras cargas em movimento, exercendo sobre elas outras forças, chamadas de forças magnéticas.

#### iv) Propriedades de uma onda eletromagnética.

a) É constituída por um campo elétrico e por um campo magnético, que oscilam com a mesma frequência com que os elétrons da fonte oscilaram ao produzi-la.

b) São ondas transversais, pois os campos elétricos e magnético oscilam perpendicularmente à direção de propagação (ver figura).

c) Ao contrário das ondas mecânica, que necessitam de um meio para se propagar, os campos elétricos e magnéticos se geram naturalmente por recíproca indução, com isso, uma onda eletromagnética se propaga mesmo no vácuo.

d) A velocidade ( $v$ ) de qualquer onda eletromagnética é sempre a mesma, dependendo somente do meio onde se propagará., no vácuo:

$$v = c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$$

É uma velocidade altíssima e **não há velocidade maior que "c"**. Quando assistimos a um jogo da copa do mundo ou acompanhamos uma olimpíada pela TV, sendo realizados em outro país ou continente, o sinal transmitido vem a uma velocidade tão grande que o tempo que ele leva para chegar até as nossa antenas é muito pequeno, graças a essa altíssima velocidade às transmissões podem ser **"ao vivo"**, isto é ,o jogo ou a olimpíada está acontecendo praticamente junto com o recebimento das "ondas" pelas nossas antenas de TV.

e) Da mesma forma que fazemos para ondas periódicas mecânicas , devemos fazer para ondas eletromagnéticas senoidais, isto é:

#### *Trabalhar com comprimento de onda ( $\lambda$ ) e com frequência ( $f$ ).*

Como  $v = \lambda \cdot f$  e  $v$  é a mesma para qualquer onda eletromagnética ,a frequência ( $f$ ) estará sempre relacionada como o comprimento de onda ( $\lambda$ ). Por exemplo , uma onda que possui um( $\lambda$ ) muito pequeno, pela relação deverá possuir um ( $f$ ) muito grande, isso é que diferencia uma onda eletromagnética da outra, como veremos mais adiante.

g) Como ocorre com as outras ondas, as ondas eletromagnéticas se refletem, se refratam, se difratam e interferem.

## v) O Espectro eletromagnético

Já citamos anteriormente que existem vários tipos de ondas eletromagnéticas, que todas se propagam com a mesma velocidade. ( $v = c$  no vácuo) e que diferem pela frequência ( $f$ ) ou comprimento de onda ( $\lambda$ ).

Antes de apresentarmos todos os tipos de ondas eletromagnéticas que formam o chamado espectro eletromagnético, vamos discutir algumas informações:

1º) Uma onda eletromagnética qualquer possui uma velocidade ( $v$ ) e obedece a equação da onda, já discutida anteriormente:  $v = \lambda \cdot f$

2º) Como  $v$  é a mesma para qualquer tipo de onda eletromagnética, então o que diferencia uma onda eletromagnética da outra é justamente sua frequência ( $f$ ) e seu comprimento de onda ( $\lambda$ ).

3º) Quando  $\lambda$  é muito pequeno,  $f$  é muito grande, pois devemos obedecer a equação da onda. Esse tipo de onda, por possuir  $\lambda$  pequeno, possui maior energia e penetra com facilidade em nosso corpo e em outros objetos. São exemplos, os raios X e os raios gama.

4º) Quando  $\lambda$  é muito grande,  $f$  é muito pequeno pelo mesmo motivo anterior. Esse tipo de onda ao contrário da anterior, não possui a característica de penetrabilidade, por outro lado conseguem contornar com facilidade obstáculos nas suas trajetórias. São exemplos as ondas de rádio.

A figura 34 mostra o conjunto de todas as ondas eletromagnéticas ou espectro eletromagnético com comprimentos de ondas( $\lambda$ ) e freqüências (f).

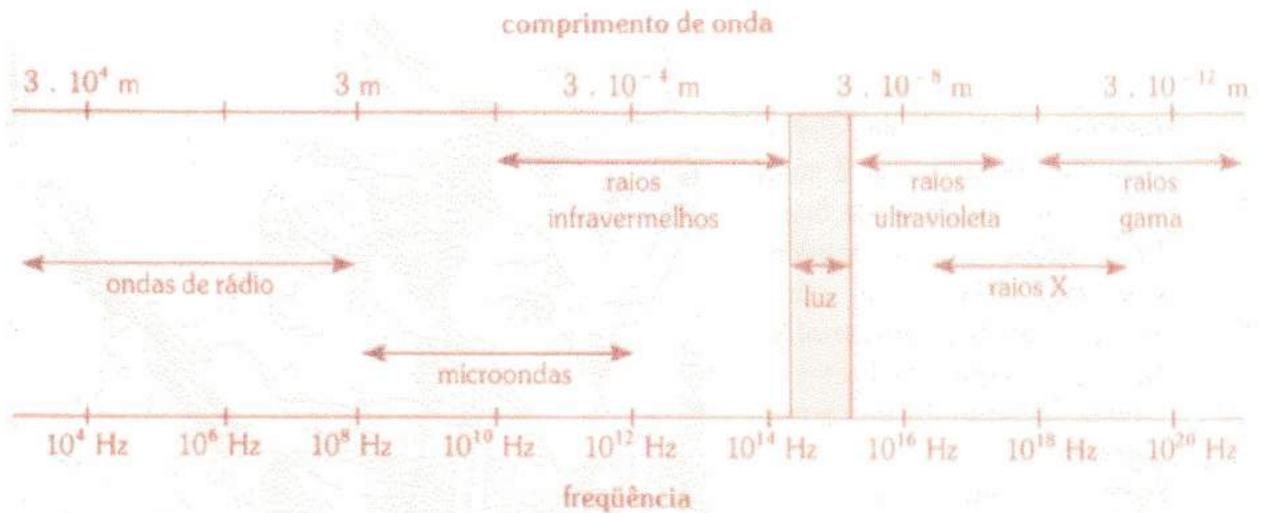


Figura 34 Espectro eletromagnético

Todas as ondas eletromagnéticas são emitidas por cargas aceleradas (oscilantes), no entanto, o modo específico como as ondas são geradas diferem-se sensivelmente, conforme a região do espectro. Podemos dizer que o dispositivo de emissão deve ter dimensões proporcionais ao comprimento de onda ( $\lambda$ ) que se quer produzir. São exemplos: as ondas de rádio possuem grandes comprimentos de onda e são geradas por dispositivos eletrônicos e **antenas de transmissão**, já as ondas de raios X e ultravioleta tem dimensões muito pequenas e tem origem no **interior de átomos e moléculas**.

#### a) Ondas de Rádio

Ocupam a faixa inferior das freqüências do espectro e possuem comprimentos de ondas muito longos, com isso contornam com facilidade os obstáculos, devido a difração, isto é, obstáculos menores que o comprimento da onda transmitido. As ondas de rádio com comprimento variando entre 10 m e 10 km podem ser transmitidas a milhares de quilômetros, pois refletem nas camadas ionizadas da atmosfera (Ionosfera), conforme a figura 35.

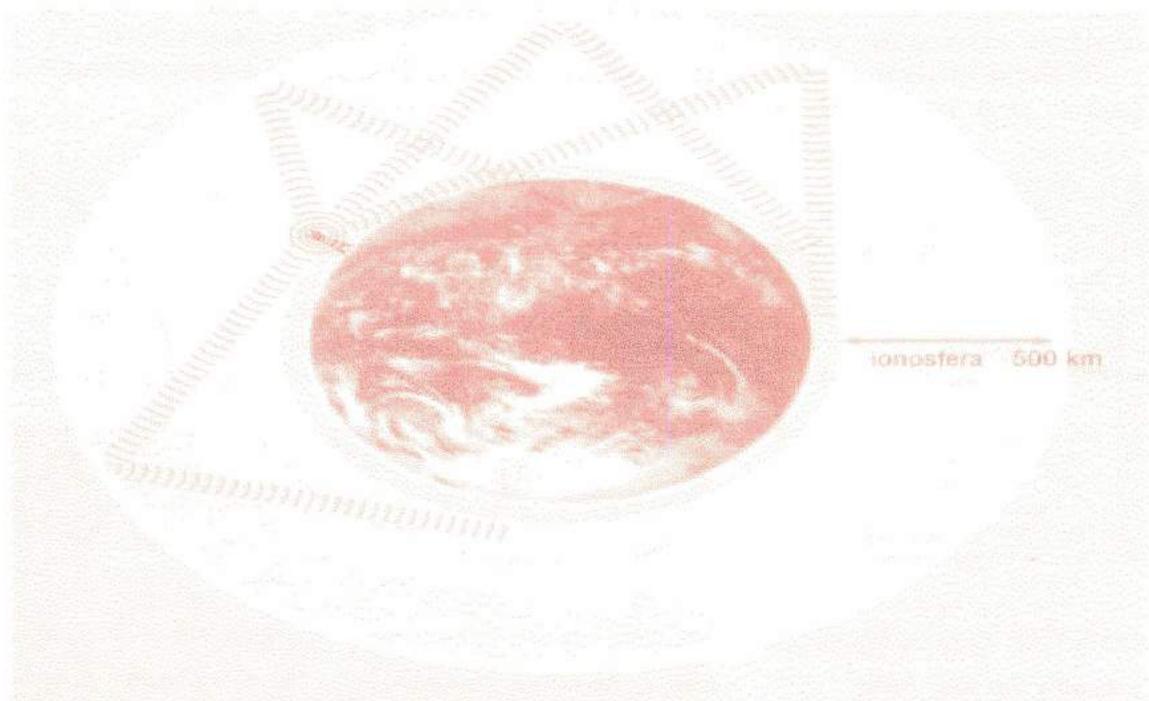


Figura 35 As ondas de radio refletem na ionosfera

As ondas de televisão, por possuírem comprimento de onda em torno de 1m, são facilmente bloqueadas por obstáculos de pequenas dimensões, por essa razão só podem ser captadas por antenas que “vêm” a antena transmissora diretamente, sem obstáculos.

#### **b) Microondas**

Possuem comprimento de onda entre 1 mm e 10 cm, com isso conseguem atravessar a ionosfera e são usadas na comunicação com os satélites. Podemos também utilizar as microondas para aquecer , onde as moléculas de água contidas nos alimento vibram em ressonância com o campo elétrico da onda eletromagnética, provocando um aumento de sua temperatura. Podemos facilmente verificar que somente os alimentos (por possuírem moléculas de água) aquecem, enquanto a louça apresenta a temperatura bem mais baixa.

O radar emite microondas que são refletidas por aviões, navios e outros objetos de grande porte. O intervalo de tempo que ocorre entre a emissão e a recepção da onda refletida permite determinar a distância ao objeto e assim localizar a sua posição.

### **c) Radiação Infravermelha**

Ela é emitida por corpos quentes, inclusive o corpo humano, cuja temperatura normal é 37° C. A energia emitida por uma lâmpada é constituída na sua maior parte por radiação infravermelha, que pode ser sentida como calor ao colocarmos a mão próximo a ela, pois possuem frequências que são absorvidas pelo organismo humano e fazem também com que sintamos calor quando sentados perto de uma fogueira. Podemos dizer que a lâmpada é um dispositivo ainda muito ineficiente, pois apenas uma pequena parte da energia elétrica absorvida por ela se converte em luz.

Como nossos olhos são cegos às ondas infravermelhas, conforme o espectro mostrado anteriormente, a sua utilização normalmente requer uma coloração arbitrária para que possa ser interpretada, por exemplo, uma fotografia em infravermelho com uma película fotográfica especial (filme) pode ser feita, pois as radiações infravermelhas emitidas ou refletidas pelos corpos em quantidades diferentes, impressionam o filme proporcionalmente à essas quantidades de radiação, dando origem a uma imagem.

### **d) Radiação visível**

Conforme a faixa visível do espectro das ondas eletromagnéticas, onde o comprimento de onda que está entre  $7 \cdot 10^{-7}$  m e  $4 \cdot 10^{-7}$  m pode ser detectado pelos nossos olhos e então enviados ao cérebro. Ondas eletromagnéticas com comprimentos fora da faixa mencionada acima podem passar a todo momento por nós, mas não podemos vê-las.

Enquanto que nas ondas sonoras, as diferentes frequências estão relacionadas à altura do som (agudo ou grave), nas ondas luminosas também as diferentes frequências (f) estão relacionadas as **cores**.

A tabela abaixo mostra as cores que aparecem na faixa do visível do espectro eletromagnético de acordo com a frequência ( $f$ ) e comprimento de onda ( $\lambda$ ).

$f(10^{14}\text{Hz})$		$\lambda(10^{-7}\text{m})$
6,7	VIOLETA	4,5
6,3	AZUL	4,8
5,6	VERDE	5,4
5,2	AMARELO	5,8
5,0	ALARANJADO	6,0
4,8	VERMELHO	6,3

FÍSICA PARA O 2º GRAU, ELETRICIDADE E ONDAS., LUIS ALBERTO GUIMARÃES e MARCELO FONTE BOA, Editora Harbra, 1998.

Conforme a tabela acima, a frequência  $5,2 \cdot 10^{14}$  Hz que corresponde ao comprimento de onda  $5,8 \cdot 10^{-7}$  m está relacionada a uma cor amarela, lembre-se que estamos mencionando ondas eletromagnéticas ( $v=c=\lambda f$ ), não esquecendo também que a luz branca, tão presente em nosso dia-a-dia, é a mistura de todas as cores.

SUGESTÃO 11:

OBJETIVOS:

O aluno observará a separação das ondas, de acordo com seus comprimentos de onda contidos na luz branca, que é o mesmo princípio do arco-íris, tão comum no seu dia-a-dia

MATERIAL:

Uma lanterna ou outra fonte de luz branca, um prisma de vidro e uma folha de papel.

## PROCEDIMENTOS:

i) Fazer uma pequena fenda no papel.

ii) Fazer incidir em um prisma de vidro, um fino feixe de luz branca, já após ter passado pela fenda, conforme a figura 36, e verá do outro lado a separação de todos os comprimentos de onda contidas na luz branca, que é o mesmo princípio do arco-íris, só que no arco-íris ao invés de um prisma, onde a luz é refratada há a presença de gotículas de água na atmosfera, normalmente após uma chuva e com a presença da luz branca (Sol).

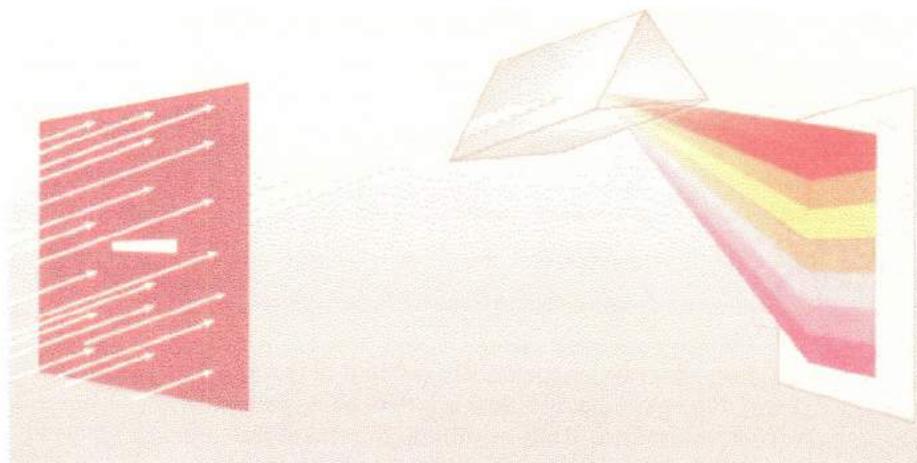


Figura 36 Espectro da luz branca

### **di) Refração da luz:**

É fácil explicar pelo fenômeno da refração, já estudado anteriormente, em que uma onda ao passar de um meio para outro, mantém sua frequência constante, porém mudam a sua velocidade ( $v$ ) e o seu comprimento de onda ( $\lambda$ ) no novo meio. Com a utilização da equação fundamental da onda ( $v = f \cdot \lambda$ ) e a lei de Snell-Descartes ( $n_1 \cdot \sin\theta_1 = n_2 \cdot \sin\theta_2$ ), onde  $n_i$  é o índice de refração, dado pela relação:  $n_i = c/v_i$ , onde  $c$  é a velocidade da luz no vácuo e  $v_i$  é a velocidade da luz no meio; é possível verificar que cada cor, com seu respectivo comprimento de onda e frequência, sofrerá desvios diferentes ao passar através do prisma.

As propriedades da refração da luz são utilizadas por alguns instrumentos como: câmera fotográfica, projetor de cinema, luneta, lentes de correção visual, fibra óptica, microscópio, etc. ,não houve um maior desenvolvimento desse assunto neste trabalho, deixamos para o estudo da óptica geométrica.

Um outro exemplo de refração é o de um objeto imerso na água , que para um observador externo, está a uma profundidade menor que a real.

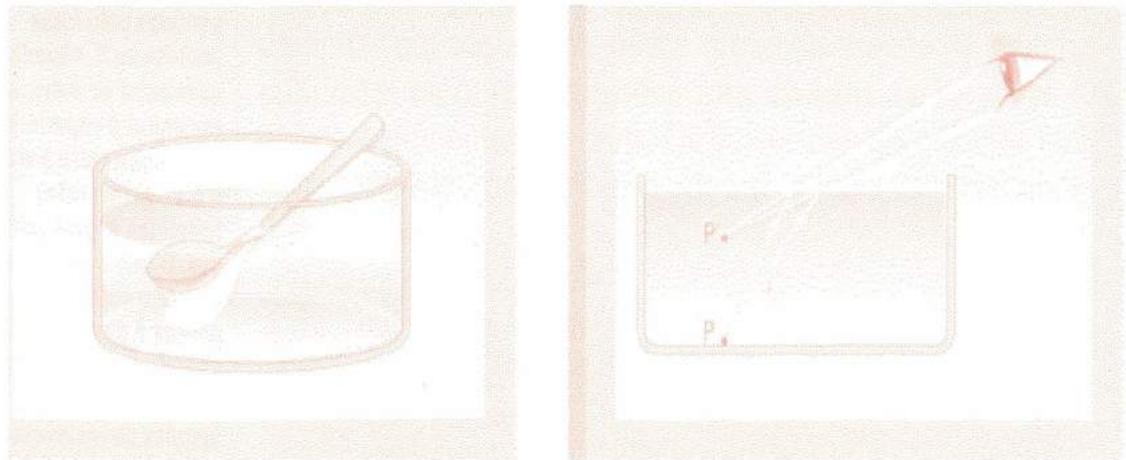


Figura 37 Refração da luz

Os raios luminosos que partem da colher imersa na água sofrem desvios ao passar para o ar, conforme a figura 37.

#### SUGESTÃO 12:

**OBJETIVO:** O aluno observará o fenômeno da refração de ondas eletromagnéticas (neste caso a luz), tão comum no seu dia-a-dia, como já mencionado acima.

**MATERIAL:** Um copo de vidro, uma colher e água.

**PROCEDIMENTOS:**

- i) Coloque a colher no copo contendo água e tente observar que a colher apresentará a ilusão de que está quebrada ou dobrada. Explique.
- ii) Uma pessoa que observa um peixe no aquário ou um objeto dentro de uma piscina está certo da posição exata do que está vendo? Explique.

## di) Reflexão da luz

Já mencionado anteriormente, a reflexão vale para todas as ondas mecânicas ou eletromagnética.

SUGESTÃO 13:

**OBJETIVOS:** observar o ângulo de incidência( $i$ ) e o ângulo de reflexão( $r$ ) e compará-los.

**MATERIAL:** papel cartolina, espelho (ou outra superfície refletora), luz branca (ou laser).

**PROCEDIMENTOS:**

- i) Colocar o papel cartolina perpendicular a superfície refletora.
- ii) Incidir um feixe de luz (branca ou laser) sobre a superfície, formando um ângulo ( $i$ ) com a normal (perpendicular à superfície), de forma que os feixes tanto incidentes quanto refletidos apareçam no papel, conforme a figura 38, para que possam ser analisados.
- iii) Que conclusão você tirou?

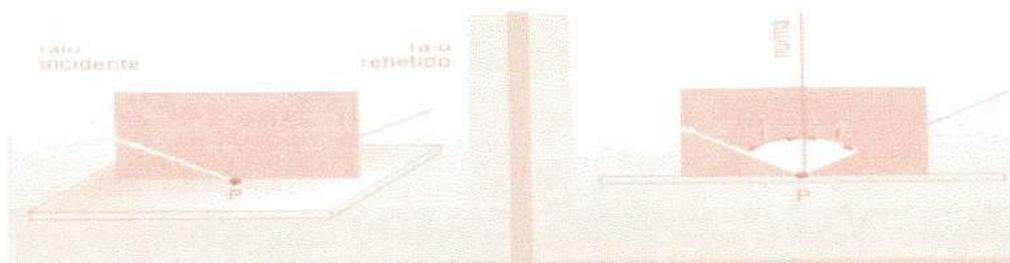


Figura 38 Sugestão experimental para observação de reflexões da luz

### **diii) As cores dos objetos**

A cor não é uma característica própria dos objetos, está relacionada a reflexão, a refração e a absorção da luz. Depende ainda da luz que o ilumina, se a luz branca ilumina um morango ele retirará todas as cores contidas na luz branca exceto o vermelho que irá refletir. Já o objeto preto absorve todas as cores e não reflete nenhuma. Se uma luz vermelha iluminar vários objetos, somente cores vermelhas serão refletidas, com mais ou menos quantidade e o objeto que absorver quase toda a luz vermelha aparecerá praticamente preto, tudo isso devido a luz vermelha ter somente uma cor e não várias juntas como a luz branca.

### **dív) Difração da luz**

A difração está relacionada com o comprimento da onda ( $\lambda$ ) e as dimensões dos anteparos e fendas que estão na trajetória da onda, como já mencionado anteriormente.

Quando o  $\lambda$  é muito menor que o anteparo ou a fenda, não ocorre a difração. Já citamos para ondas sonoras, ondas de rádio e televisão. Para a luz a fenda deve ser muito estreita, não muito maior que o comprimento de onda da luz incidente sobre ela.

A difração dá um limite a possíveis resoluções (distinguir 2 pontos muito próximos um do outro) de instrumentos ópticos. O observador deve se preocupar com a difração, pois os comprimentos de onda ( $\lambda$ ) utilizados pelos instrumentos ópticos devem ser sempre menores do que aquilo que se quer observar, caso contrário ocorrerá a difração e as imagens observadas estarão sobrepostas e pouco nítidas.

### **e) Raio X**

É um tipo de onda eletromagnética em que o seu comprimento de onda ( $\lambda$ ) é muito pequeno, entre  $10^{-8}$  m e  $10^{-12}$  m, com isso sua frequência é altíssima entre  $3 \cdot 10^{16}$  e  $3 \cdot 10^{18}$ , o que faz do raio X uma onda com grande poder de penetrar na matéria.

São produzidos por desaceleração de elétrons, que ao colidirem com o alvo metálico dentro de um tubo a vácuo, emitem esse tipo de radiação, conforme a figura 39.

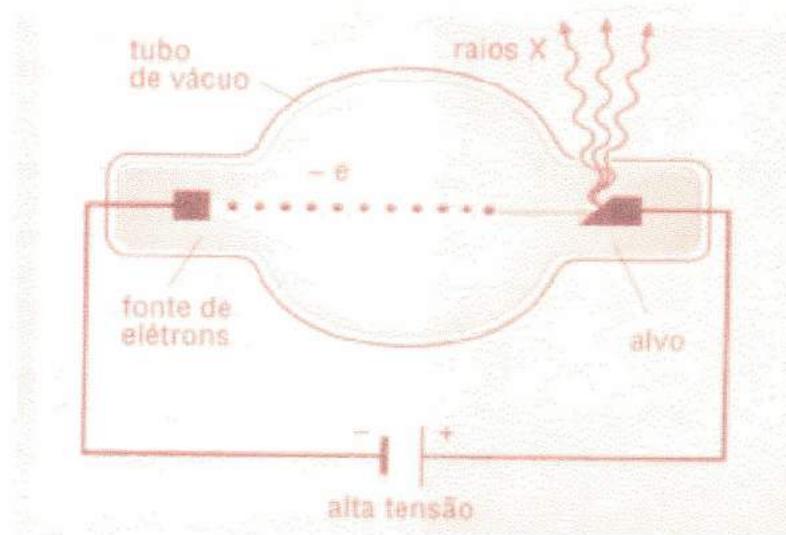


Figura 39 Produção de raio X

É muito usado em observações de lugares não aparentes, como o interior de estruturas metálicas a procura de defeitos internos e na medicina como a já conhecida radiografia, onde os raios X atravessam a carne como se ela fosse transparente, sendo absorvidas pelos ossos e deixam uma sombra na chapa fotográfica. Normalmente, a imagem de uma fotografia é um negativo e as sombras (ossos) aparecem como áreas claras, conforme a figura 40.



Figura 40 Radiografia

Os raios X têm ainda a capacidade de ionizar átomos, que podem com isso provocar danos às células, tornando-as células doentes (cancerígenas), com isso as radiografias só devem ser feitas quando muito necessárias.

### **f) Raios Gama**

Com comprimentos de ondas( $\lambda$ ) menores que  $10^{-12}$  m, são ondas ainda mais penetrantes que o raio X, para absorvê-las são necessárias várias camadas de chumbo e são extremamente perigosas aos seres vivos, pela sua grande capacidade de ionizar átomos.

São utilizados em pesquisas científicas, na esterilização de instrumentos cirúrgicos e na produção de energia elétrica, como a central de Angra 1 e Angra 2 onde as radiações emitida pelos núcleos de certos elementos radiativos são usadas para o fornecimento de energia elétrica para nossa utilização.

### **g) Rádio e Televisão**

Normalmente, estamos ouvindo um rádio em casa, no trabalho, no carro, ou assistindo um filme pela televisão, onde as informações são transmitidas por ondas eletromagnéticas. Essas transmissões estão a uma velocidade altíssima, graças a isso podemos recebe-las praticamente junto com as transmissões. São também exemplos os telefones celulares, os rádios para comunicações dos aviões, etc.

Para que as ondas eletromagnética carreguem informações é preciso mudar algumas características dessas ondas, o que chamamos de **modular** a onda, e então transformá-la em um sinal, caso contrário as ondas eletromagnéticas passariam poucas informações. As transmissões em código Morse por apresentarem uma modulação muito simples, onde somente usa-se um " **liga e desliga**" do emissor associado a um código , pouca informação é passada, ou seja, a onda não carrega informações de sons e imagens.

Para transmitir melhor as informações, com o auxílio de ondas eletromagnéticas, é necessário melhorar a sua modulação. Na **modulação de amplitude**, faz-se a amplitude de uma onda variar de acordo com o sinal que se quer transmitir e mantém-se a frequência constante, na **modulação de frequência**, a amplitude da onda permanece constante, mas se faz variar a sua frequência, de acordo com o sinal desejado; com isso sons e imagens podem ser transmitidos em ondas eletromagnéticas.

Uma filmadora transforma a imagem de uma cena em um sinal elétrico, que é então usado para modular um onda eletromagnética a ser transmitida. Um televisor recebe essa onda através de sua antena, ele a decodifica e extrai o sinal elétrico anteriormente transformado. A imagem captada pela filmadora é reconstituída agora sobre a tela por meio de feixes de elétrons que cria uma seqüência de pontos de diferentes luminosidades, conforme a intensidade do sinal elétrico.

## VII) RADIAÇÃO E MATÉRIA

Vivemos em um mundo com muitas radiações eletromagnéticas, não só de origem terrestre, como também vindas do espaço, provenientes do sol e das estrelas.

Dentre as de origem terrestre já mencionamos as ondas eletromagnéticas produzidas pelas estações de rádio, TV, microondas de comunicação, raio X, substância radioativas e outras. Essas radiações de frequências tão diferentes e de efeitos mais variados sobre o organismo humano têm algo em comum são produzidas por **cargas elétricas aceleradas**.

Um modelo de como seria o átomo, proposto por Rutherford e sua equipe, dizia que o átomo era formado pelo núcleo e que os elétrons girariam em órbitas ao redor do núcleo, neste caso os elétrons estando acelerados (movimento curvilíneo é um movimento acelerado) deveriam emitir o tempo todo radiação, o que levaria o elétron a perder energia continuamente, ficando cada vez mais próximo do núcleo, produzindo rapidamente o colapso do átomo. Porém as experiências mostravam que átomo era estável e o colapso não ocorria. Como então explicar o átomo?

Em 1913 Niels Bohr, aperfeiçoa o modelo de Rutherford com duas hipótese capazes de explicar o átomo de hidrogênio (o mais simples).

A primeira hipótese sugeria que existissem apenas algumas órbitas permitidas para os elétrons de um átomo, cada uma correspondendo a um valor diferente de energia, quanto mais afastado do núcleo, maior a energia do elétron., hoje denominado de estados quânticos.

A segunda hipótese dizia que o átomo não emitia radiação quando o elétron estivesse em qualquer das órbitas permitidas, por tanto não perderia energia. A emissão de radiação só ocorria quando o elétron efetuava uma transição entre duas órbitas, ou seja, salta de uma órbita de maior energia para outra de menor energia, conforme figura 41.

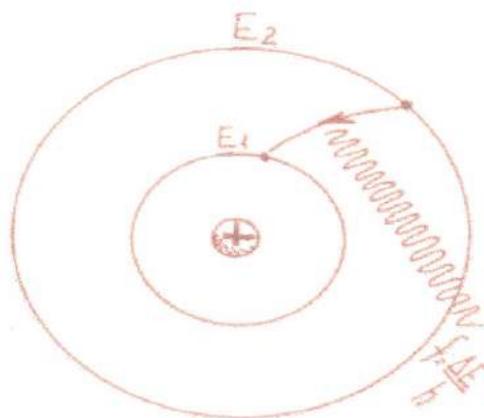


Figura 41 Salto de um elétron de uma órbita de maior para uma de menor energia

A emissão de radiação não seria mais contínua e sim quantizada. Ao saltar de uma órbita de energia E2 para outra de energia menor E1, o elétron emitiria uma onda eletromagnética (radiação), cuja frequência estaria relacionada com a variação de sua energia. As idéias de Bohr apresentam excelentes resultados para átomos de poucos elétrons, tais como hidrogênio e o hélio, porém apresentava dificuldades na análise de emissões por átomos mais complexos.

Uma idéia mais geral só veio mais tarde, com De Broglie, onde não só a radiação, mas também a matéria poderia ter características ondulatórias. Dentro dessa visão, o elétron passou a ser visto não apenas com propriedades corpusculares, mas que possuía também características ondulatórias, com isso veio a dar origem a moderna mecânica quântica, onde não só os átomos simples, mas também os átomos complexos puderam ser explicados. O espectro de emissão de um elemento indica as frequências das ondas eletromagnéticas que ele emite. Todos os átomos possuem espectros particulares e definidos, são como suas impressões digitais.

*LEITURA COMPLEMENTAR: 6 - IMAGENS DA FÍSICA., UGO AMALDI* Editora Scipione, 1995.

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 01(pulso em uma corda)	referência 2
Figura 02(pulso, transporte de energia)	referência 2
Figura 03 ( pedra que cai em um lago)	referência 3
Figura 04(onda periódica)	referência 1
Figura 05(onda com direção de vibração transversal)	referência 3
Figura 06 (onda com direção de vibração longitudinal)	referência 3
Figura 07 (plano perpendicular à superfície)	referência 3
Figura 08(reflexão de uma onda)	referência 3
Figura 09(refração de uma onda)	referência 3
Figura 10 (refração de uma onda na corda)	referência 1
Figura 11(pirex com água e uma lâmpada)	referência 2
Figura 12(produção de ondas planas)	referência 2
Figura 13 (difração de ondas)	referência 2
Figura 15 (interferência construtiva)	referência 3
Figura 16(interferência destrutiva)	referência 3
Figura 17 (pulso em uma corda ,sugestão experimental)	referência 1
Figura 18 (polarização de uma onda em uma corda)	referência 3
Figura 19 (ondas sonoras atingindo um ouvido humano)	referência 1
Figura 20 (faixas de frequências emitidas e absorvidas por animais)	referência 6
Figura 21 (reflexão de ondas sonoras)	referência 3
Figura 22 (difração de ondas sonoras)	referência 3
Figura 23 (onda estacionária com “nós” e “ventres”)	referência 2
Figura 24 (onda estacionária)	referência 2
Figura 25 (harmônicos em uma corda vibrante)	referência 2
Figura 26 (sugestão para visualizar uma onda estacionária)	referência 1
Figura 27(harmônicos em umas das cordas de um violão)	referência 5
Figura 28(ondas estacionárias em tubos sonoros)	referência 2
Figura 29(formas de ondas de alguns sons)	referência 2

Figura 30 (sugestão para produzir sons em tubos com diferentes quantidades de água)	referência 1
Figura 31 (ressonância em tubos sonoros)	referência 1
Figura 32(onda eletromagnética)	referência 6
Figura 33 (ampliação da área atingida por uma onda eletromagnética)	referência 6
Figura 34 (espectro eletromagnético)	referência 2
Figura 35 (as ondas de radio refletem na ionosfera)	referência 6
Figura 36 (espectro da luz branca)	referência 6
Figura 37(refração da luz)	referência 6
Figura 38 (sugestão experimental para observação de reflexões da luz)	referência 3
Figura 39(produção de raio X)	referência 6
Figura 40 (radiografia)	referência 6
Figura 41(salto de um elétron de uma órbita de maior para uma de menor energia)	referência 2

## BIBLIOGRAFIA

- 1 - **EDSON, F. O., ROBERTERLLA, J. L. C. E AVELINO., A. .F.** FÍSICA, ELETRICIDADE E ONDAS, Volume 3 – Editora Ática, 1988.
- 2 - **GUIMARÃES, LUIS ALBERTO e FONTE BOA, MARCELO.** FÍSICA PARA O 2º GRAU, ELETRICIDADE E ONDAS. Editora Harbra, 1998.
- 3 - **CARRON, WILSON e GUIMARÃES, OSVALDO.** AS FACES DA FÍSICA. Editora Moderna, 1997.
- 4 - **RAMALHO, NICOLAU e TOLEDO.** OS FUNDAMENTOS DA FÍSICA. Editora Moderna, 1988.
- 5 - **GREFF.** FÍSICA 2. Editora EDUSP, 1991.
- 6 - **AMALDI, UGO.** IMAGENS DA FÍSICA. Editora Scipione, 1995.
- 7 - **MARTORANO, J. V, COUTINHO, MARILENE S. e BARROS, SUSANA DE SOUSA** OFICINA DE ACÚSTICA, PAPES/LADIF II, Instituto de Física/UFRJ, 1997.
- 8 - **SILVA, PAULO MAURÍCIO e FONTINHA, S. R.** QUÍMICA/ FÍSICA SEUS FUNDAMENTOS E SUAS APLICAÇÕES volume 4 ,Companhia Editora Nacional., 1977.
- 9 - **FRANCO, SÉRGIO ROBERTO KIELING.** O CONSTRUTIVISMO E A EDUCAÇÃO, Medição editora, 1995.