



CURSINHO POPULAR
CAROLINA
DE JESUS

Física - Aula 2

Acústica

Beatriz Maturano

989203843

Bruno Akasaki

963892121

São Paulo, 2021

1 Introdução

Em nosso dia a dia somos expostos a uma quantidade enorme de sons a todo momento, sejam audíveis ou inaudíveis. O ramo da Física que estuda os sons, ou mais precisamente ondas sonoras, como vamos ver mais adiante, é chamado de **acústica**.

Objetivo dessa aula é entender como os sons são gerados, os diversos tipos de fenômenos que ocorrem em sua propagação e outros tipos de curiosidades.

2 Representação

As ondas são perturbações que se propagam, transportando energia mas sem transportar matéria. Abaixo vemos a representação de uma onda: os pontos mais altos são chamados de **crista**, e os pontos mais baixos são os **vales**. O tamanho do centro até a crista ou até o vale é chamado de **amplitude**. O **comprimento da onda** é o tamanho de uma onda completa, ou seja, uma crista e um vale.

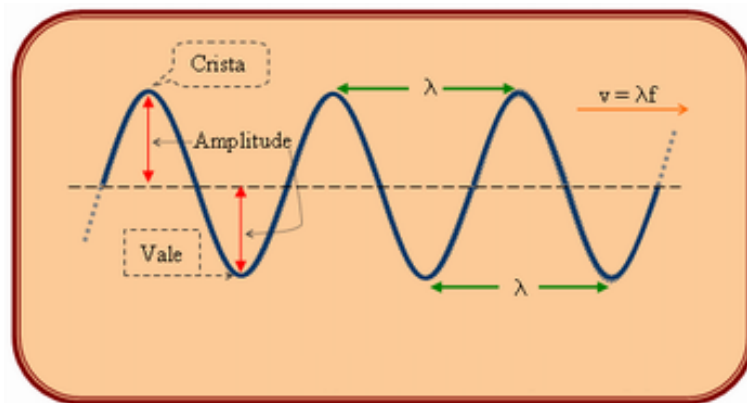


Figura 1: Representação de uma onda transversal.

2.1 Natureza das Ondas

As ondas podem ser classificadas em dois tipos: mecânicas ou eletromagnéticas.

- **Ondas eletromagnéticas:** Não precisam de um meio material para se propagar, podendo se propagar no vácuo
 - Exemplos: Luz, ondas de rádio e raio-x.

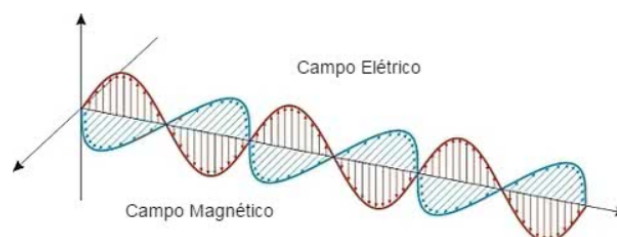


Figura 2: Representação de uma onda eletromagnética.

- **Ondas mecânicas:** São ondas que precisam de um meio para se propagar.
 - Exemplos: ondas em uma corda, o som (que se propaga pelo ar) e ondas do mar (que se propagam pela água).

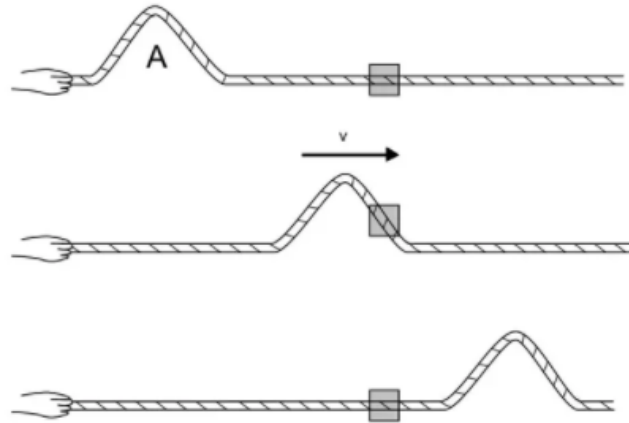


Figura 3: Onda mecânica se propagando em uma corda.

2.2 Propagação das Ondas

As ondas podem ser classificadas quanto a forma que suas vibrações ocorrem em relação a sua direção de propagação, como:

- **Ondas longitudinais:** Os pontos perturbados pelo pulso vibram em uma direção paralela à direção de propagação do pulso.
 - Exemplo: Mola
- **Ondas transversais:** Os pontos perturbados oscilam em uma direção perpendicular à propagação do pulso.
 - Exemplo: Oscilação em uma corda.

3 Ondas sonoras

O som nada mais é que uma sensação auditiva que nossos ouvidos são capazes de detectar. Nossos ouvidos captam vibrações que são propagadas pelo ar. As vibrações são propagadas através de uma **onda sonora**.

3.1 Características

A **acústica** é a parte da física que se concentra nas ondas mecânicas, tem como foco o estudo de fenômenos como a **reflexão**, **difração** e **interferência**. Esses estudos aplicam-se no controle de ruídos, na arquitetura, nas construções, nas vibrações de máquinas e equipamentos.

A onda sonora é caracterizada pela **frequência** (f) e pelo **comprimento de onda** (λ):

- **Período** (T): é o menor intervalo de tempo no qual um movimento periódico se repete. Ou seja, tempo para uma oscilação.

- De acordo com o Sistema Internacional de Unidades (SI), a unidade de medida para o período é segundos (s).
- **Frequência** (f): é o número de repetições do movimento periódico na unidade de tempo.
 - De acordo com o SI, a unidade de medida para o período é **Hertz** (Hz). Ou seja, é o número de repetições em 1 segundo.
- **Comprimento** (λ): tamanho de uma onda, a distância entre uma crista e outra.
 - De acordo com o SI, a unidade de medida para o comprimento de onda é metros.

Tempo	Número de repetições	
T	1	Portanto: $T \cdot f = 1 \Rightarrow f = \frac{1}{T}$
1	f	

Figura 4: Assim, em um intervalo de tempo igual ao período T , o movimento se repete uma vez. Uma unidade de tempo, o fenômeno se repete f vezes. Podemos lembrar da relação entre frequência e período por meio de uma regra de três.

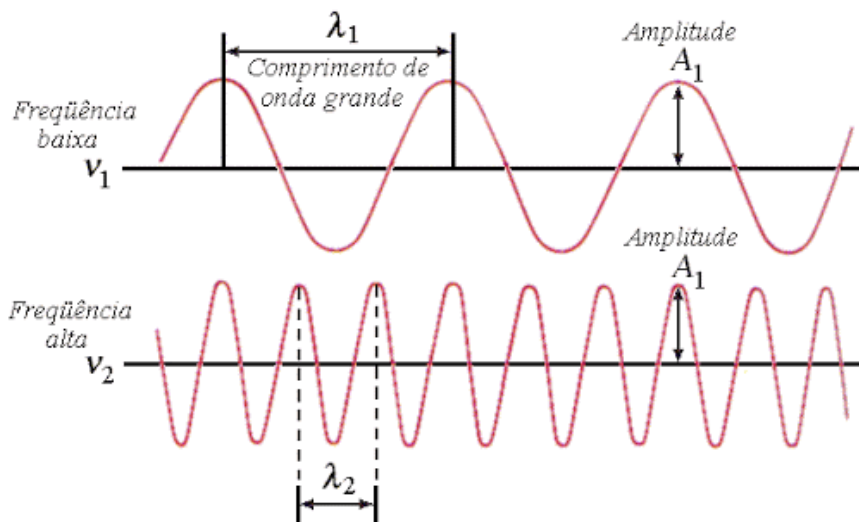


Figura 5: Quanto maior a frequência menor é o comprimento da onda; quanto menor a frequência maior o comprimento da onda.

3.2 Velocidade de ondas

A velocidade de propagação das ondas estão relacionadas com a sua frequência (f) e a seu comprimento de onda (λ). Pela seguinte expressão:

$$v = \lambda f \quad (1)$$

3.3 Qualidades

O som tem qualidades, que são caracterizadores:

- **Altura:** permite diferenciar um som **agudo** de um som **grave**, e depende somente da frequência da onda.



Figura 6: Em nosso cotidiano, costumamos usar altura como sinônimo para volume. Em física, altura está relacionada com a frequência da onda sonora. Quanto menor a frequência, mais **grave** será o som e mais **baixo** será sua altura. Quanto maior a frequência, mais **agudo** será o som e mais **alto** será sua altura.

- **Intensidade:** permite diferenciar o som **fraco** de um som **forte**, é o que a gente costuma chamar de volume do som, está relacionada com a amplitude da onda. Existe um valor mínimo para a intensidade seja audível, o que chamamos de **limiar de audição**. Diversos cientistas observaram experimentalmente que quando aumentamos a intensidade sonora, o ouvido humano percebe um som mais forte, porém não há uma proporção direta.

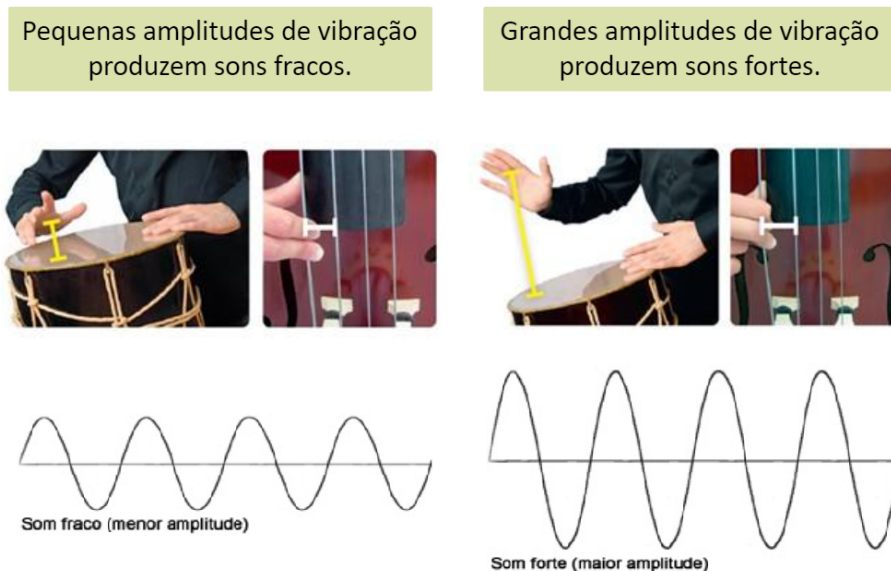


Figura 7: O **volume** é entendido em física com a força do som ou sua **intensidade**. Quanto maior a intensidade, ou seja, quanto **maior a amplitude** da onda, **mais forte** será o som. Quanto menor a intensidade, ou seja, quanto **menor a amplitude** da onda, **mais fraco** será o som.

- **Timbre:** permite diferenciar sons que têm a mesma altura e mesma intensidade e são emitidos por fontes diferentes.

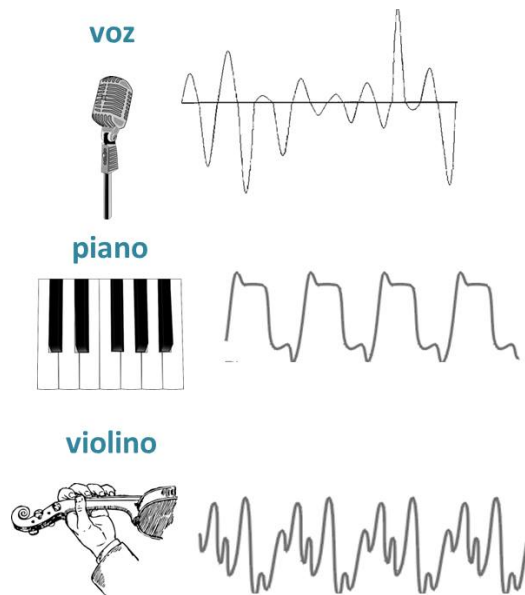


Figura 8: Quando a mesma nota é tocada em diferentes instrumentos, nós conseguimos diferenciar os seus respectivos sons. Isso está relacionado ao **timbre** que cada instrumento possui.

3.4 Espectro sonoro e suas frequências

Como vimos, as ondas sonoras dão origem aos sons do nosso dia a dia, mas não são todos que conseguimos escutar. O ouvido humano é capaz de reconhecer vibrações com frequência entre 20 Hz e 20.000 Hz, conforme a Figura 9. Ondas sonoras com frequências menores que 20 Hz são denominadas **infrassom**, e ondas sonoras com frequências maiores que 20.000 Hz são denominadas **ultrassom**.

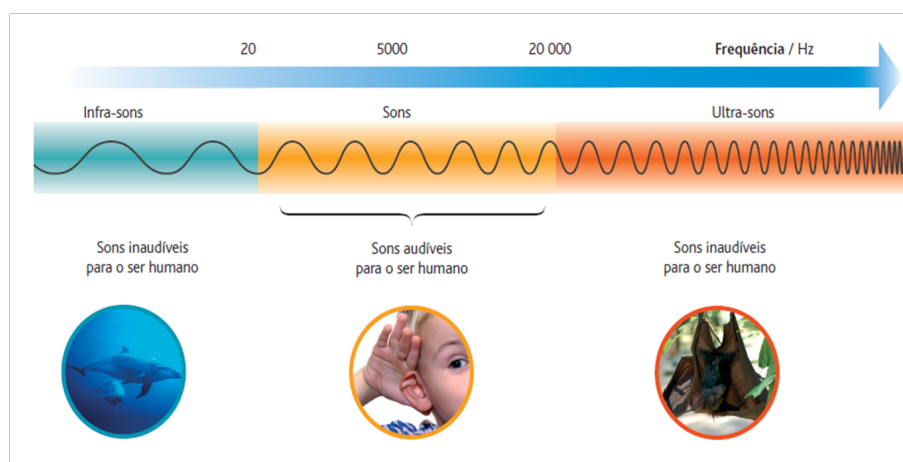


Figura 9: O ouvido humano é capaz de reconhecer vibrações com frequência entre 20 Hz e 20.000 Hz. Alguns animais conseguem ouvir no espectro do infrassom, como os golfinhos. Já os morcegos conseguem captar sons no espectro do ultrassom.

4 Fenômenos ondulatórios

Existem alguns **fenômenos ondulatórios** que são importantes de serem estudados e que ocorrem a todo momento em nossas vidas.

4.1 Interferência

Acontece quando duas ondas se encontram e se superpõem uma a outra, pode existir dois tipos:

- **Interferência construtiva:** quando as ondas são “iguais”, quando elas se encontram e os vales e cristas ficam no mesmo lugar, assim a amplitude final é a soma da amplitude de cada uma das ondas.

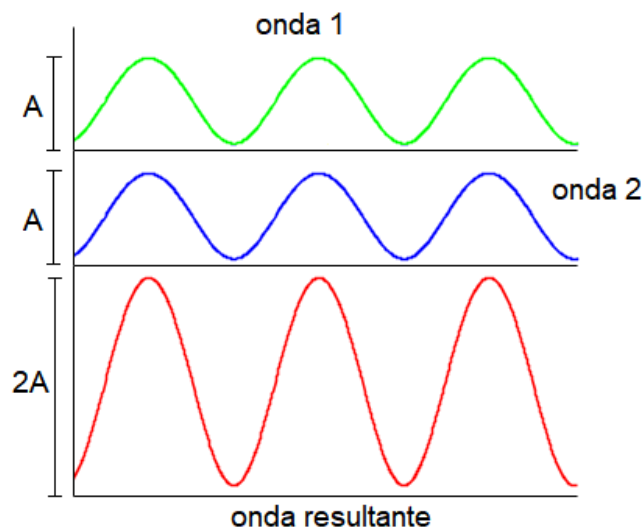


Figura 10: Interferências construtivas resultam em ondas com amplitudes maiores, ou seja, ondas mais fortes (com volume maior). Podemos perceber esse tipo de fenômeno em um coral, até mesmo em estádios de futebol durante os cantos.

- **Interferência destrutiva:** quando o vale de uma se encontra com a crista da outra, assim a onda se destrói.

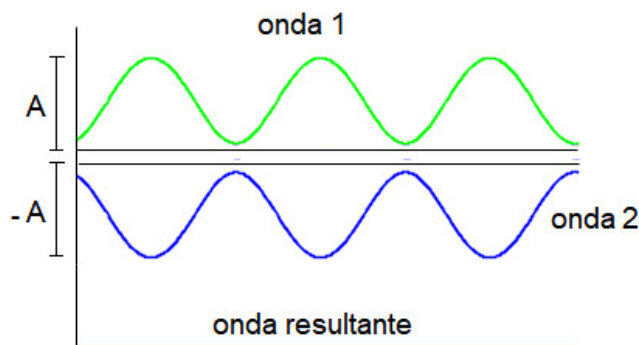


Figura 11: As interferências destrutivas resultam em ondas com amplitudes menores, ou seja, ondas mais fracas (com menor volume).

4.2 Reflexão das ondas sonoras

A **reflexão** acontece quando a onda “bate e volta”, ela atinge um obstáculo e é refletida mudando a direção.

Quando as ondas sonoras refletem, podem ocorrer três tipos de fenômenos:

- **Reverberação:** quando a onda volta quando a onda original ainda existe, ou seja, a gente escuta os dois sons muito próximos e causa um reforço daquele som que foi emitido e uma sensação de prolongamento do mesmo.
- **Eco:** quando a onda volta depois que a onda original foi extinta, ou seja, quando a gente escuta o som voltando depois que não se ouve mais o som original.

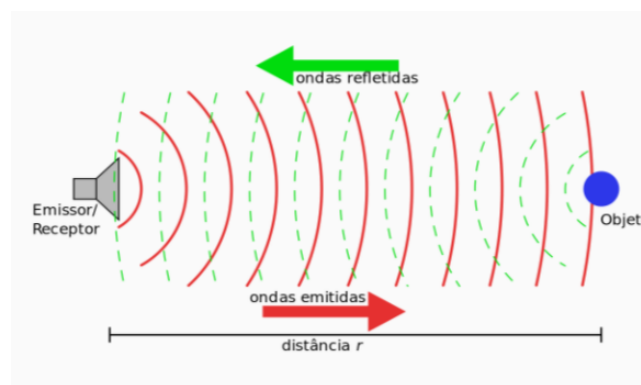


Figura 12: Representação de uma onda sendo refletida.

4.3 Refração das ondas sonoras

Acontece quando o som muda o meio que está sendo propagado, por exemplo, quando a onda sonora está se propagando no ar e começa a se propagar na água, essa mudança altera a velocidade e o comprimento da onda.

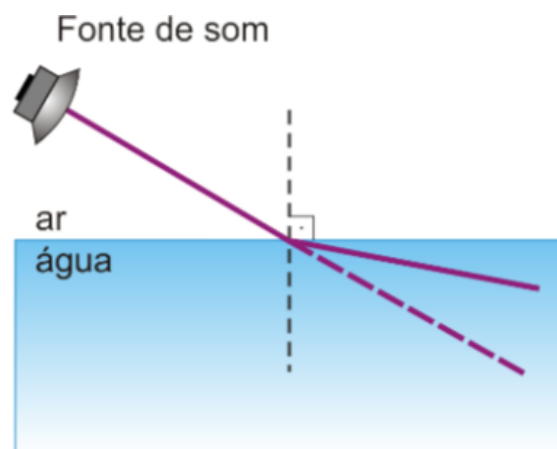


Figura 13: Quando a onda muda seu meio de propagação. O exemplo da figura mostra o som saindo do ar e entrando na água.

4.4 Difração

Acontece quando a onda contorna um obstáculo que está no caminho dela ou quando passa por um orifício.

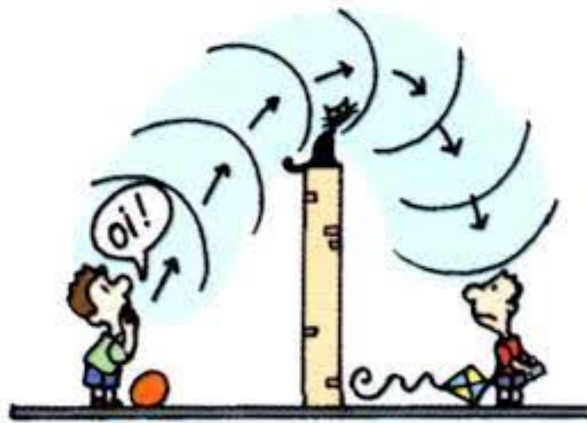


Figura 14: Exemplificação do fenômeno de difração de uma onda sonora.

4.5 Efeito Doppler

É caracterizado pela mudança da frequência ou do comprimento de onda emitida por uma fonte que se movimenta em relação a um observador, ou seja, acontece quando existe uma aproximação ou um afastamento entre quem observa e quem emite o som. Como no mesmo meio a velocidade sonora se mantém igual, o que pode diferenciar o som com o aumento da distância é a frequência e o comprimento.

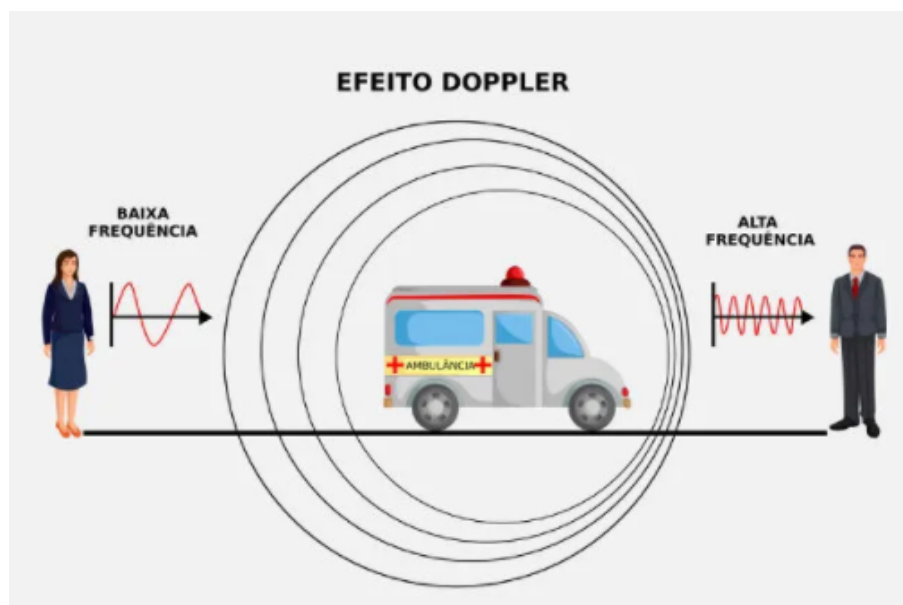


Figura 15: Quando a fonte se afasta: menor frequência e maior comprimento de onda. Quando a fonte se aproxima: maior frequência e menor o comprimento de onda.

5 Exercícios

Questão 1 (ENEM - 2016)

As notas musicais podem ser agrupadas de modo a formar um conjunto. Esse conjunto pode formar uma escala musical. Dentre as diversas escalas existentes, a mais difundida é a escala diatônica, que utiliza as notas denominadas dó, ré, mi, fá, sol, lá e si. Essas notas estão organizadas em ordem crescente de alturas, sendo a nota dó a mais baixa e a nota si a mais alta.

Considerando uma mesma oitava, a nota si é a que tem menor

- A) amplitude.
- B) frequência.
- C) velocidade.
- D) intensidade.
- E) comprimento de onda.

Questão 2 (ENEM - 2016)

O morcego emite pulsos de curta duração de ondas ultrassônicas, os quais voltam na forma de ecos após atingirem objetos no ambiente, trazendo informações a respeito das suas dimensões, suas localizações e dos seus possíveis movimentos. Isso se dá em razão da sensibilidade do morcego em detectar o tempo gasto para os ecos voltarem, bem como das pequenas variações nas frequências e nas intensidades dos pulsos ultrassônicos. Essas características lhe permitem caçar pequenas presas mesmo quando estão em movimento em relação a si. Considere uma situação unidimensional em que uma mariposa se afasta, em movimento retilíneo e uniforme de uma morcego em repouso.

A distância e velocidade da mariposa, na situação descrita, seriam detectadas pelo sistema de um morcego por quais alterações nas características dos pulsos ultrassônicos?

- A) Intensidade diminuída, o tempo de retorno aumentado e a frequência percebida diminuída.
- B) Intensidade aumentada, o tempo de retorno diminuído e a frequência percebida diminuída.
- C) Intensidade diminuída, o tempo de retorno diminuído e a frequência percebida aumentada.
- D) Intensidade diminuída, o tempo de retorno aumentado e a frequência percebida aumentada.
- E) Intensidade aumentada, o tempo de retorno aumentado e a frequência percebida aumentada.

Questão 3 (ENEM - 2013)

Visando reduzir a poluição sonora de uma cidade, a Câmara de Vereadores aprovou uma lei que impõe o limite máximo de 40 dB (decibéis) para o nível sonoro permitido após as 22 horas.

Ao aprovar a referida lei, os vereadores estão limitando qual característica da onda?

- A) A altura da onda sonora.
- B) A amplitude da onda sonora.
- C) A frequência da onda sonora.
- D) A velocidade da onda sonora.
- E) O timbre da onda sonora.

Questão 4 (ENEM - 2012)

Para afinar um violão, um músico necessita de uma nota para referência, por exemplo, a nota Lá em um piano. Dessa forma, ele ajusta as cordas do violão até que ambos os instrumentos toquem a mesma nota. Mesmo ouvindo a mesma nota, é possível diferenciar o som emitido pelo piano e pelo violão.

Essa diferenciação é possível, porque

- A) a ressonância do som emitido pelo piano é maior.
- B) a potência do som emitido pelo piano é maior.
- C) a intensidade do som emitido por cada instrumento é diferente.
- D) o timbre do som produzido por cada instrumento é diferente.
- E) a amplitude do som emitido por cada instrumento é diferente.

Questão 5 (ENEM - 2014)

Quando adolescente, as nossas tardes, após aulas, consistiam em tomar às mãos o violão e o dicionário de acorde de Almir Chediak e desafiar o nosso amigo Hamilton a descobrir, apenas ouvindo o acorde, quais notas eram escolhidas. Sempre perdíamos a aposta, ele possui ouvido absoluto. O ouvido absoluto é uma característica perceptual de poucos indivíduos capazes de identificar notas isoladas sem outras referências, isto é, sem precisar relacioná-las com outras notas de uma mesma melodia.

No contexto apresentado, a propriedade física das ondas que permite essa distinção entre as notas é a

- A) frequência.
- B) intensidade.
- C) forma de onda.

- D) amplitude da onda.
- E) velocidade de propagação.

Questão 6 (ENEM - 2021)

Alguns modelos mais modernos de fones de ouvido têm um recurso, denominado "cancelador de ruídos ativo", constituído de um circuito eletrônico que gera um sinal sonoro semelhante ao sinal externo (ruído), exceto pela sua fase oposta.

Qual fenômeno físico é responsável pela diminuição do ruído nesses fones de ouvido?

- A) Difração.
- B) Reflexão.
- C) Refração.
- D) Interferência.
- E) Efeito Doppler.

Questão 7 (ENEM - 2018)

Alguns modelos mais modernos de fones de ouvido contam com uma fonte de energia elétrica para poderem funcionar. Esses novos fones têm um recurso, denominado "Cancelador de Ruídos Ativo", constituído de um circuito eletrônico que gera um sinal sonoro semelhante ao sinal externo de frequência fixa. No entanto, para que o cancelamento seja realizado, o sinal sonoro produzido pelo circuito precisa apresentar simultaneamente características específicas bem determinadas.

Quais são as características do sinal gerado pelo circuito desse tipo de fone de ouvido?

- A) Sinal com mesma amplitude, mesma frequência e diferença de fase igual a 90° em relação ao sinal externo.
- B) Sinal com mesma amplitude, mesma frequência e diferença de fase igual a 180° em relação ao sinal externo.
- C) Sinal com mesma amplitude, mesma frequência e diferença de fase igual a 45° em relação ao sinal externo.
- D) Sinal de amplitude maior, mesma frequência e diferença de fase igual a 90° em relação ao sinal externo.
- E) Sinal com mesma amplitude, mesma frequência e mesma fase do sinal externo.

Questão 8 (ENEM - 2014)

Ao assistir a uma apresentação musical, um músico que estava na plateia percebeu que conseguia ouvir quase perfeitamente o som da banda, perdendo um pouco da nitidez na notas mais agudas. Ele verificou que havia muitas pessoas bem mais altas à sua frente, bloqueando a visão direta do palco e o acesso aos alto-falantes. Sabes-se que a velocidade do som no ar é 340 m/s e que a região de frequências das notas emitidas é de, aproximadamente, 20 Hz a 4.000 Hz.

Qual fenômeno ondulatório é o principal responsável para que o músico percebesse essa diferenciação do som?

- A) Difração.
- B) Reflexão.
- C) Refração.
- D) Atenuação.
- E) Interferência.

5.1 Questão 9 (ENEM - 2021)

Os fones de ouvido tradicionais transmitem a música diretamente para os nossos ouvidos. Já os modelos dotados de tecnologia redutora de ruído — Cancelamento de Ruído (CR) — além de transmitirem música, também reduzem todo ruído inconsistente à nossa volta, como o barulho de turbinas de avião e aspiradores de pó. Os fones de ouvido CR não reduzem realmente barulhos irregulares como discursos e choros de bebês. Mesmo assim, a supressão do ronco das turbinas do avião contribui para reduzir a “fadiga de ruído”, um cansaço persistente provocado pela exposição a um barulho alto por horas a fio. Esses aparelhos também permitem que nós ouçamos músicas ou assistamos a vídeos no trem ou no avião a um volume muito menor (e mais seguro).

Disponível em: <http://tecnologia.uol.com.br>. Acesso em 21 abr. 2015 (adaptado).

A tecnologia redutora de ruído CR utilizada na produção de fones de ouvido baseia-se em qual fenômeno ondulatório?

- A) Absorção.
- B) Interferência.
- C) Polarização.
- D) Reflexão.
- E) Difração.

Questão 10 (ENEM - 2015)

Ao ouvir uma flauta e um piano emitindo a mesma nota musical, consegue-se diferenciar esses instrumentos um do outro. Essa diferenciação se deve principalmente ao(à)

- A) intensidade sonora do som de cada instrumento musical.
- B) potência sonora do som emitido pelos diferentes instrumentos musicais.
- C) diferente velocidade de propagação do som emitido por cada instrumento musical.
- D) timbre do som, que faz com que os formatos das ondas de cada instrumento sejam diferentes.
- E) altura do som, que possui diferentes frequências para diferentes instrumentos musicais.

6 Gabarito Comentado

1 - E

As notas são organizadas de acordo com sua altura, sabemos que a altura tem a ver com a frequência do som, então a nota dó tem a menor frequência enquanto a nota si tem a maior frequência. Sabemos também que a frequência é inversamente proporcional ao comprimento de onda, isso quer dizer que quanto maior a frequência menor o comprimento de onda e quanto menor a frequência maior o comprimento de onda. Dito isso, a alternativa correta é a letra E.

2 - A

Como as ondas são captadas pelo morcego devido à reflexão na mariposa que se afasta, estas possuem intensidade de onda menor em relação às ondas emitidas. Devido ao movimento de afastamento da mariposa em relação ao morcego, as ondas refletidas percorrem distâncias cada vez maiores, aumentando o tempo de retorno. Também devido ao afastamento, as superfícies de onda sucessivas que sofrem reflexão na mariposa possuem comprimento de onda maior que a onda incidente e conseqüentemente têm sua frequência diminuída.

3 - B

A lei limita o que chamamos popularmente de volume, na física esse volume é chamado de intensidade e a intensidade de um som varia de acordo com a amplitude da onda, então para se ter um volume mais baixo é preciso ter uma amplitude de onda menor.

4 - D

A qualidade que permite diferenciar sons de mesma intensidade e mesma frequência emitido por fontes diferentes é o timbre, a forma que as ondas têm.

5 - A

A qualidade que permite diferenciar sons emitidos pela mesma fonte é a altura; sabemos que a altura está relacionada com a frequência da onda sonora, então o que permite diferenciar notas no mesmo instrumento é a frequência de cada uma das notas.

6 - D

Esse é um caso de aplicação da interferência destrutiva. O circuito elétrico do fone produz ondas com fase oposta ao ruído externo e quando eles se encontram a onda é destruída e assim temos o "cancelador de ruído".

7 - B

É o mesmo caso de uma interferência destrutiva. Para as ondas poderem se anular completamente e ter o resultado esperado, elas precisam ter a mesma amplitude, estar na mesma frequência com uma diferença de fase de 180° .

8 - A

As ondas precisam contornar as cabeças das pessoas mais altas até chegar no ouvido do músico na plateia, o fenômeno responsável por isso é a difração.

9 - B Mais um exercício que aborda o fenômeno da interferência! Como já vimos, é preciso acontecer uma interferência destrutiva para os canceladores de ruído funcionarem corretamente.

10 - D

O que diferencia as ondas de instrumentos diferentes são seus formatos, e a forma da onda sonora é o que chamamos de timbre.