



série
conhecimento

A Física e os Sons que (Não) Estão à Nossa Volta

Volume 2

Danila Ribeiro Gomes
Paulo Ricardo da Silva Simão
Mayara Romagnha Brandenburg
Lara Braga de Oliveira
Ana Karine Vieira Costa

44

cead^{UFV}



Campus Universitário, s/n. - Viçosa/MG.
CEP: 36570-900 - Telefone: (31) 3612 1251
e-mail: serie.conhecimento@ufv.br

A **Série Conhecimento** é uma publicação seriada e on-line, editada pela Coordenadoria de Educação Aberta e a Distância, por tempo indeterminado e de forma independente, tratando de assuntos e temas variados, com o objetivo de constituir material de apoio a disciplinas do ensino médio, dos cursos técnicos, dos cursos de graduação e dos programas de pós-graduação lato sensu e stricto sensu, nas modalidades presencial e a distância, da Universidade Federal de Viçosa (UFV).

Conselho Editorial: Donizete Aparecido Batista; Eduardo França Castro; Esther Giacomini Silva; Francisco de Assis de Carvalho Pinto; João Paulo Viana Leite; Renata Cassia Campos; Vinicius Catão De Assis Souza

Autores:  Danila Ribeiro Gomes, Paulo Ricardo da Silva Simão, Mayara Romagnha Brandenburg,  Lara Braga de Oliveira e  Ana Karine Vieira Costa

Identidade Visual e diagramação: Antônio dos Santos e Maianna Medeiros

Coordenação Editorial: Pedro Eni Lourenço Rodrigues

Ilustração da Capa: [GarryKillian on Freepik](#)

Ficha catalográfica elaborada pela Seção de Catalogação e Classificação da Biblioteca Central da Universidade Federal de Viçosa – Campus Viçosa

F537
2025
A Física e os sons que (não) estão à nossa volta [recurso eletrônico]: volume 2 / Danila Ribeiro Gomes ... [et al]. - Viçosa, MG: UFV, CEAD, 2024.
1 livro eletrônico (74 p.): il. color. -- (Conhecimento; ISSN 2179-1732; n. 44)
Disponível em: <https://serieconhecimento.cead.ufv.br>
Inclui bibliografia.
1. Física – Estudo e ensino. 2. Ondas sonoras. 3. Educação inclusiva. I. Gomes, Danila Ribeiro, 1981-. II. Simão, Paulo Ricardo da Silva, 1999-. III. Brandenburg, Mayara Romagnha, 1997-. IV. Oliveira, Lara Braga de, 1999-. V. Costa, Ana Karine Vieira, 2000-. VI. Universidade Federal de Viçosa. Coordenadoria de Ensino Aberto e à Distância.

CDD 22. ed. 530.071

Bibliotecário responsável: Euzébio Luiz Pinto CRB-6/3317

Responsabilidade legal pelo conteúdo, direitos autorais e incentivo à reprodução

Todo o conteúdo dos textos submetidos e publicados na Série Conhecimento é de inteira responsabilidade de seus autores, não cabendo à Série responder por qualquer implicação legal.

Como todo o conteúdo publicado pela Revista é de acesso público e gratuito, tendo como finalidades o debate e a divulgação ampla do conhecimento, é permitida e incentivada sua reprodução com fins exclusivamente educacionais, culturais, científicos e não-comerciais, desde que citados seus autores com a referência bibliográfica completa da publicação na Série Conhecimento.



Este obra está licenciado com uma Licença
[Creative Commons Atribuição Não Comercial Compartilha Igual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

Prefácio

O presente *e-book* é um dos produtos do projeto de pesquisa em ensino “Observatório Remoto Ciências, Linguagens e Diversidade: subsídios inclusivos para processos de ensino e aprendizagem contextualizados de Física e Matemática com uso de TDICs”, financiado pelo Programa de Apoio ao Ensino da Fundação Arthur Bernardes, sob o Edital de Seleção Nº 010/2020/PRE/UFV. Ele teve como alguns de seus objetivos: (i) oferecer subsídio para estudantes, ex-estudantes e público externo da UFV na forma de materiais didáticos digitais de Física, valorizando linguagens e culturas diversas mediante a articulação entre a linguagem científica, as diversas linguagens oriundas dos saberes populares, a linguagem da divulgação científica, e outras que incorporam culturas diversas e seu diálogo com as ciências; (ii) incentivar a inclusão digital, mediante participação dinâmica, individual e coletiva, do público-alvo na construção do conhecimento e da aprendizagem, de forma interdisciplinar e articulada com diferentes Tecnologias Digitais da Informação e Comunicação (TDICs); (iii) incentivar e promover, nas ações e nos produtos do projeto, a inserção e adequação de elementos de acesso por pessoas com deficiência, especialmente pessoas Surdas que se comunicam por meio de língua de sinais, envolvendo, inclusive, a posterior elaboração dos produtos em Libras.

O projeto nasce a partir de demandas de estudantes do curso de Licenciatura em Educação do Campo – Ciências da Natureza da Universidade Federal de Viçosa (Licena), sob uma perspectiva de trabalho colaborativo entre docente e estudantes, para uso no componente curricular “Ciências da Natureza – a Física e suas tecnologias para a Educação do Campo II”, em futuras consultas de docentes formados e em formação inicial, e em ações futuras de formação docente continuada. Ele começou a ser elaborado durante os Períodos Especiais Remotos (PER), oferecidos pela Universidade Federal de Viçosa (UFV) em 2020 e 2021 por ocasião da pandemia de covid-19.

A Licena atende uma expressiva gama de diversidade de sujeitos: pessoas que atuam em escolas do Campo e com educação popular, pessoas que trabalham no Campo, quilombolas, pessoas pertencentes a comunidades atingidas por rompimento de barragens, membros de organizações do Campo, povos classificados como indígenas, ribeirinhos, geraizeiros, assentados da Reforma Agrária, dentre outros.

O projeto concebeu o sistema educacional como um sistema social marcado pela complexidade de relações dinâmicas entre sujeitos diversos. Numa perspectiva investigativa que intentou minimizar perdas na complexidade desse sistema, entendemos que os sujeitos protagonistas não podem ser tomados separados da rede de relações da qual fazem parte (Vygotsky et al., 1988; Leontiev 1988; Engeström, 2002). Por isso, nos sujeitos que constituem o público-alvo da Licena é que foi inspirada a construção deste *e-book*. Sua concretização foi realizada com três representantes desses sujeitos e mais uma estudante dos cursos de Física da UFV, que fizeram parte da equipe autora.

As ações e os produtos do projeto foram voltados à contribuição de uma reparação histórica da desigualdade social que persiste em relação a estudantes no que tange à educação

científica. Com isso em mente, amparando-se na proposta freiriana de educação problematizadora (Freire, 1987), o projeto do *e-book* pretendeu, a partir de situações-problema e temas geradores identificados na experiência formativa na Licença em componentes curriculares de Física, oferecer a estudantes aporte para estudo da Física com orientação inclusiva, tendo como foco instrumental a mobilização das TDICs.

Para tanto, a estrutura do *e-book* foi construída por meio de quadros, distribuídos em 18 unidades. O primeiro é a “Situação-Problema”, que buscou contribuir para a reflexão crítica sobre uma situação-problema eleita para conduzir o tema da Ondulatória e Acústica: as implicações da ausência de audição em pessoas Surdas que vivem em uma sociedade majoritariamente ouvinte. Esse quadro é desdobrado em várias perguntas geradoras que problematizam aspectos de inclusão social ao longo do estudo dos tópicos de conteúdos de Física. Elas foram elaboradas para serem propostas no início das unidades, uma para cada unidade, e para suas respostas serem retomadas e ressignificadas no fim de cada unidade. Semelhantemente foram planejadas as perguntas do quadro “Como se *Justifísica*”, que se referem a fenômenos físicos relacionados ao funcionamento de um artefato muito presente nas culturas camponesas, o violão. Esses fenômenos são explicados pelas leis e pelos conceitos físicos estudados, as quais são retomadas em todas as unidades. Assim, o *e-book* foi desenvolvido de forma mediada por perguntas geradoras de dois tipos: (i) sobre fenômenos físicos cotidianos (do Campo e outros âmbitos) e como explicá-los pela Física; e (ii) sobre situações-problema de exclusão de pessoas Surdas na sociedade majoritariamente ouvinte e no âmbito da educação científica, e como promover sua inclusão nesses dois contextos.

Os quadros “Universos Diversos” e “Histórias e Trajetórias” apresentam os tópicos de conteúdo de Física focando sua relação, respectivamente, com fenômenos culturais e com experiências vividas por pessoas de diversas culturas e em diferentes épocas. O quadro “Experimentando” apresenta sugestões de experimentos de Física que relacionam os tópicos de conteúdo de Física em questão. Por fim, o quadro “Alerta Fake News” apresenta exemplos de fenômenos reais explicados pela Física de forma questionável. Assim, este *e-book* não pretendeu atender somente um conjunto específico de sujeitos, mas se propõe a, tanto quanto possível, primar pela representatividade, tendo buscado contemplar uma gama de diversidades culturais, buscando incorporar a inclusão de pessoas Surdas, enquanto temática problematizadora (sobre pessoas Surdas) e enquanto público-alvo (linguagem didática semiótica pensada para atender pessoas Surdas).

À medida que o *e-book* foi sendo construído, foi também constantemente reelaborado mediante ajustes e incorporações a partir de sugestões do grupo de estudantes do componente curricular. Essas sugestões foram constantemente discutidas em sessões de *brainstorming* com integrantes da equipe autora, guiadas por duas questões: quais seriam os conteúdos básicos de Física para pessoas camponesas?; que elementos de educação inclusiva sobre e para pessoas Surdas deveriam ser contemplados?

Quanto à primeira questão, a contínua retroalimentação ocasionou um significativo ajuste: o material didático, inicialmente planejado com um formato de apostilas para tópicos de conteúdo curricular, foi se tornando mais extenso. Foi então que passou a ter formato de *e-book* e contemplar uma tríade do ensino de Física: conceitos teóricos, experimentos e fórmulas matemáticas. À medida que o *e-book* foi sendo ampliado, retroalimentava continuamente as atividades desenvolvidas no componente curricular e, ao mesmo tempo, foi se concretizando como produto dessas atividades.

Quanto à segunda questão, ao longo do processo concordamos que o *e-book* deveria contemplar dois aspectos. O primeiro é a educação inclusiva sobre pessoas Surdas, com o fim de preparar docentes para ensinarem Ondulatória e Acústica para pessoas Surdas. O segundo é a educação inclusiva para pessoas Surdas, isto é, o material teria que ser compreendido por pessoas Surdas. Isso implica apresentação do material em Libras, que se pretende como foco em momento futuro, e também a elementos semióticos e de linguagem, em tanta consonância quanto possível com a Pedagogia Visual (Campello, 2008), que toma o signo visual como base dos processos de ensino-aprendizagem. Devido sua extensão, o material foi dividido em três volumes. O presente tomo, primeiro dos três, com seis unidades, apresenta o contexto e as questões da “Situação-Problema” e do quadro “Como se *Justifísica*”, e contempla um estudo do: conceito físico de onda; Movimento Harmônico Simples; sistema fonador humano; fenômeno da ressonância ondulatória; e Princípio de Huygens.

O volume 2, também em seis unidades, compreende estudos: da classificação e estrutura das ondas; da Equação Geral da Ondulatória; do fenômeno da refração ondulatória; e do sistema auditivo humano e das qualidades sonoras e suas implicações no fenômeno psicossocial da identidade e nas manifestações socioculturais artísticas. O volume 3, com sete unidades, abrange estudos dos fenômenos físicos: da difração ondulatória; da interferência ondulatória; do efeito Doppler-Fizeau; da reflexão ondulatória na forma de eco e reverberação, contemplando o fenômeno biológico e sociocultural da ecolocalização; do funcionamento dos instrumentos musicais artificiais de corda e de tubo. Por fim, o terceiro volume conclui a obra com derradeiras reflexões acerca da situação-problema apresentada no volume 1.

Finalmente, todos os volumes apresentam três recursos: o “Conceituário Ilustrado de Física”, que apresenta conceitos físicos historicamente elaborados, adotados e apresentados no volume em questão; um quadro-resumo para as “Unidades de Medida no Sistema Internacional de Unidades (S.I.)” de todas as grandezas físicas dimensionais apresentadas nos três volumes; e um quadro-resumo com um “Formulário” contendo todas as fórmulas físicas contempladas nos três volumes. Assim, entregamos este fruto de um árduo trabalho de colaboração entre docente e discentes, com votos de que, tal qual sementes de esperança, contribua para disseminação da educação científica como elemento mediador da inclusão na sociedade.

Danila Ribeiro Gomes

Este é o primeiro volume desta obra, para acessar os outros volumes, basta clicar sobre as capas abaixo.



Equipe autora

Danila Ribeiro Gomes é graduada em Licenciatura em Matemática pelo Centro Universitário Adventista de São Paulo (UNASP) e em Licenciatura em Física pela Universidade de São Paulo (USP), especialista em Didática do Ensino Superior pela Universidade Paulista (Unip), e mestra em ciências na área de concentração Ensino de Física pela USP. Atualmente é professora da Universidade Federal de Viçosa (UFV), atuando no curso de Licenciatura em Educação do Campo – Ciências da Natureza, com disciplinas de Física, Matemática, Libras e Estágio Curricular Supervisionado. Atualmente é doutoranda do Programa Interunidades em Ensino de Ciências da USP e estagiária de pesquisa na Université Laval, Canadá.

Lara Braga de Oliveira é técnica em Controle Ambiental pelo Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (Cefet-MG) e graduada em Bacharelado e Licenciatura em Física e mestra em Física pela UFV. Atualmente é doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Física da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Mayara Romagnha Brandenburg é técnica em agropecuária pela Escola Família Agrícola (EFA) de Chapadinha e graduada em Licenciatura em Educação do Campo – Ciências da Natureza pela UFV.

Paulo Ricardo da Silva Simão é técnico em agropecuária pela EFA Margarida Alves e graduado em Licenciatura em Educação do Campo – Ciências da Natureza pela UFV.

Ana Karine Vieira Costa é técnica em agropecuária pela EFA Araçuaí e graduada em Licenciatura em Educação do Campo – Ciências da Natureza da UFV. Atualmente é mestranda do Programa Interunidades em Ensino de Ciências da USP.

Agradecimento

Ao coletivo da Licena e demais pessoas que apoiaram esta iniciativa e contribuíram pacientemente com ela e com a ampliação das ações de educação inclusiva.

À Pró-Reitoria de Ensino da Universidade Federal de Viçosa e à Fundação Arthur Bernardes, que apoiou a realização do projeto de pesquisa em ensino “Observatório Remoto Ciências, Linguagens e Diversidade: subsídios inclusivos para processos de ensino e aprendizagem contextualizados de Física e Matemática com uso de TDICs” mediante subsídio correspondente ao edital de seleção Nº 010/2020/PRE/UFV para atuação no Programa de Apoio ao Ensino da Fundação Arthur Bernardes – FUNARBEN.

À Universidade de São Paulo, ao Grupo de Pesquisa em Educação em Ciências e Complexidade - ECCo, ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq e à Université Laval, que respaldaram o período de estágio de pesquisa durante o qual foi concluído o processo editorial desta obra.

Sumário

Retomando...	7
SITUAÇÃO-PROBLEMA	7
COMO SE JUSTIFÍCA: Investigando o violão	8
7. Como a física classifica as ondas.	10
EXPERIENCIANDO: Som da linha	11
EXPERIENCIANDO: Telefone com fio	12
EXPERIENCIANDO: Mola vibrante	13
COMO SE JUSTIFÍCA: Diversidade das ondas	15
8. Estrutura das ondas	19
9. Velocidade das ondas: a equação geral da ondulatória ...	23
COMO SE JUSTIFÍCA: Matematizando a rapidez da propagação das ondas	25
UNIVERSOS DIVERSOS: Velocidade "do som" e aviões supersônicos	26
10. O fenômeno da refração	28
COMO SE JUSTIFÍCA: Matematizando a refração	28
UNIVERSOS DIVERSOS: Ciência e canto	31
11. As ondas sonoras e o sistema auditivo humano.	33
ALERTA FAKE NEWS: Repelente ultrassônico de mosquitos	35
UNIVERSOS DIVERSOS: Aparelho auditivo e implante coclear	38
12. O som e suas qualidades	41
EXPERIENCIANDO: Caixa de som	42
COMO SE JUSTIFÍCA: Matematizando o poder das ondas sonoras I	43
UNIVERSOS DIVERSOS: Som e emoção	43
COMO SE JUSTIFÍCA: Matematizando o poder das ondas sonoras II	45
HISTÓRIAS E TRAJETÓRIAS: Alexander Graham Bell	47
UNIVERSOS DIVERSOS: Som e Destruição: a erupção do vulcão Krakatoa	49
HISTÓRIAS E TRAJETÓRIAS: Paulo Simão	51
UNIVERSOS DIVERSOS: Matemática e música	52
UNIVERSOS DIVERSOS: Diversidade e voz	54

UNIVERSOS DIVERSOS: Corpo e canto	55
UNIVERSOS DIVERSOS: Culturas Surdas e arte	57
Conceituário ilustrado de Física	60
Unidades de medida no Sistema Internacional de Unidades (SI)	67
Formulário	68
Referências	70

Retomando...

Retomamos a seguir os quadros **SITUAÇÃO-PROBLEMA** e **COMO SE JUSTIFÍCA** – **Investigando o violão**, cujas questões são revisitadas ao longo dos três volumes, no fim de cada uma das unidades. No presente volume, vamos focar as questões 7 a 12.



SITUAÇÃO-PROBLEMA

Os sons e as imagens estão presentes na vida em inúmeras situações corriqueiras que envolvem a sobrevivência e o bem viver. Por constituírem uma diversidade minoritária, e pela falta de informação a respeito de particularidades dessas pessoas em sua interação com o mundo, pessoas Surdas e pessoas cegas são negligenciadas em muitas dessas situações. Ao mesmo tempo, pessoas cegas não surdas manifestam maior acurácia auditiva que pessoas não cegas e não surdas. No âmbito dos processos de ensino-aprendizagem de Física voltados também a essas pessoas, o estudo das ondas e do som impõe desafios particulares.

Para contribuir com superações dessa situação-problema contínua vivenciada por essas pessoas, é preciso ampliar a consciência sobre o que a habilidade de ouvir representa na vida e na sobrevivência das pessoas cegas, Surdas não cegas e ouvintes não cegas. Trata-se da realização de uma tarefa de natureza essencialmente social. Para orientar sua execução, propomos as seguintes questões de reflexão para serem retomadas sob as perspectivas física, biológica e social ao longo deste volume:

1. O que a habilidade de ouvir representa na vida e sobrevivência das pessoas ouvintes não cegas, das pessoas ouvintes cegas e das pessoas Surdas não cegas?
2. Que memórias sensoriais pessoas Surdas não cegas e pessoas ouvintes cegas podem formar do conceito físico de onda?
3. Que memórias sensoriais pessoas Surdas não cegas e pessoas ouvintes cegas podem formar da caracterização física das ondas?
4. Na língua portuguesa, é comum as pessoas Surdas serem chamadas de surdas-mudas. Elas são realmente mudas?
5. Quais são as condições necessárias para que os sons “existam”?
6. Que memórias sensoriais pessoas Surdas não cegas e pessoas ouvintes cegas podem formar da base física para estudo das ondas?
7. A quais tipos de onda pessoas Surdas não cegas e pessoas ouvintes cegas não têm acesso sensorial?
8. A quais características das ondas sonoras pessoas Surdas não cegas não têm acesso?
9. Que memórias sensoriais pessoas Surdas não cegas e pessoas ouvintes cegas podem formar da velocidade das ondas sonoras?
10. Que memórias sensoriais pessoas Surdas não cegas e pessoas ouvintes cegas podem formar das ondas sonoras quando se propagam na água?
11. Quais características da condição física das pessoas Surdas as impedem de ouvir?

12. Que memórias sensoriais dos sons pessoas Surdas não cegas podem formar?
13. Como pessoas Surdas não cegas podem compreender que pessoas ouvintes ouvem através das paredes?
14. Que memórias sensoriais pessoas Surdas podem formar das interferências sonoras?
15. Várias práticas sociais envolvem emoção associada a sons. Um exemplo disso é a música e as corridas de Fórmula 1. Como pessoas Surdas podem entender esse tipo de experiência que não vivenciam auditivamente?
16. Como pessoas cegas com audição muito desenvolvida se relacionam com o som em processos de localização e locomoção?
17. Que memórias sensoriais pessoas Surdas não cegas podem formar da produção de som por instrumentos de corda?
18. Que memórias sensoriais pessoas Surdas não cegas podem formar da produção de som por instrumentos de sopro?
19. O que a habilidade de ouvir e a ausência dessa habilidade representam na vida e sobrevivência, respectivamente, das pessoas ouvintes e das pessoas Surdas? Que princípios gerais e iniciativas específicas podem ser adotadas para superar a situação-problema em torno dessa questão?



COMO SE JUSTIFICA: Investigando o violão



Fonte: <https://segredosdomundo.r7.com/como-aprender-tocar-violao>

A figura acima ilustra a estrutura e as partes de um violão. A partir dela e do manuseio de um violão, vamos discutir e elaborar hipóteses para responder as seguintes questões:

1. Como podemos descrever socialmente as funções de um violão pensando em pessoas ouvintes? E em pessoas Surdas?
2. Onde e como começa a produção de som no violão?
3. Como as cordas do violão se comportam ao serem vibradas?

4. Como pessoas Surdas não cegas podem comparar a produção de som que ocorre nas pregas vocais com aquela que ocorre no violão?
5. Por que a caixa do violão é oca?
6. Como as ondas se propagam no entorno das cordas do violão?
7. Por que a caixa acústica do violão tem formato em oito?
8. Desenhe ou descreva uma memória sensorial que represente a resposta à questão anterior.
9. O que acontece com as cordas do violão quando são vibradas?
10. Se o violão fosse tocado dentro d'água, haveria diferenças no som produzido? Se sim, quais?
11. O que é produzido no violão são ondas sonoras ou som?
12. Qual a diferença entre os sons produzidos pelas cordas mais grossas e mais finas do violão?
13. Por que uma pessoa ouvinte consegue ouvir os sons produzidos no violão em um ambiente mesmo estando em outro separado do primeiro por uma parede?
14. O que acontece com a percepção do som por uma pessoa ouvinte enquanto cordas idênticas de dois violões próximos são vibradas simultaneamente e enquanto a pessoa se desloca em relação a eles?
15. Imagine uma pessoa sentada tocando violão num parque enquanto duas outras pessoas ouvintes estão por perto: uma está sentada e a outra passa correndo. A pessoa ouvinte sentada e aquela que está correndo ouvem de forma diferente o som produzido no violão? Se sim, qual a diferença?
16. A experiência de tocar violão é melhor em sala pequena ou grande? Por quê?
17. Por que o violão têm cordas com espessuras diferentes e braço com trastes?
18. Quais as semelhanças e diferenças entre as ondas sonoras produzidas em um violão e uma flauta?
19. Selecione uma unidade desta obra para elaborar uma estratégia de ensino-aprendizagem inclusiva para pessoas Surdas. Que critérios devem ser observados no planejamento?

Para justificar mais, sugerimos:

- ACORDES EM CORDAS. **Vibração das cordas de um violão.** [S. l.: s. n.], 2015. 1 vídeo (2 min). Disponível em: <https://youtu.be/5ICHZjnxgTs>. Acesso em: 22 out. 2023.
- MANUAL DO MUNDO. **Como enxergar o som (série de experiências em slow motion).** [S. l.: s. n.], 2013. 1 vídeo (4 min). Disponível em: <https://youtu.be/wD-F48ZTIHMA>. Acesso em: 22 out. 2023.
- MARCELO GUIMA. **Afinando o violão com o diapasão – Dica de ouro!** [S. l.: s. n.], 2017. 1 vídeo (6 min). Disponível em: <https://youtu.be/A-3n1JBueFY>. Acesso em: 22 out. 2023.
- ZACZÉSKI, Monichy; BECKERT, Carlos H.; BARROS, Thales G.; FERREIRA, Ana L.; FREITAS, Thiago C. Violão: aspectos acústicos, estruturais e históricos. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 40, nº 1, 2018. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/rbef/v35n2/27.pdf>. Acesso em: 22 out. 2023.

Como a física classifica as ondas

Na foto ao lado, o cantor e compositor fluminense Tim Maia produz ondas nas cordas do violão e, conseqüentemente, ondas sonoras. Pensemos nas diferenças e semelhanças entre esses dois tipos de onda. Ao mesmo tempo, a palavra “onda” admite diversas conotações na Língua Portuguesa, inclusive para expressões populares e metáforas. Um dos diversos usos possíveis para a palavra pode ser conferido na letra da música “Como uma onda”, composta por Lulu Santos e Nelson Mota. Vamos conferir a interpretação de Tim Maia no instante 44:56 do vídeo a seguir.

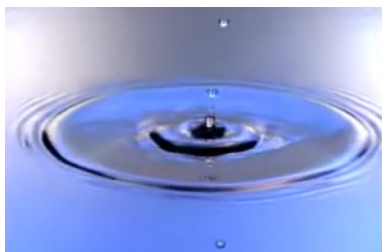


Fonte: <https://rollingstone.com.br/artigo/tim-maia-deliciosas-preciosidades-e-obscuridades-do-mestre/>

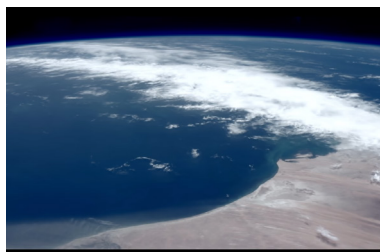


Tim Maia no Bem Brasil da TV Cultura, de Tim Maia, disponível em: https://youtu.be/kX-3v_wK-Dc?t=2696.

Os vídeos a seguir representam exemplos de diversos tipos de ondas:



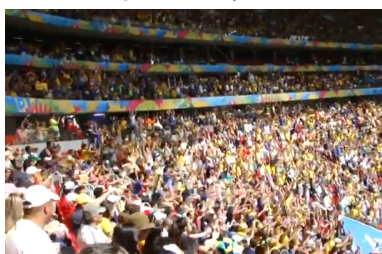
Propagação de onda na água: Ondas que se propagam num lago quando sua superfície é tocada, disponível em: <https://bit.ly/3ukRji9>



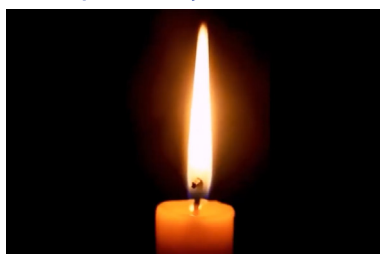
A Terra vista do espaço: Ondas captadas e transmitidas por satélites artificiais, disponível em: <https://bit.ly/3G4o92W>



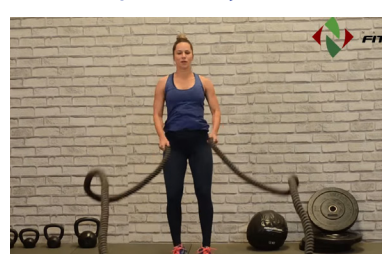
Você acha que sabe tocar berimbau até ver esses feras aí! Ondas produzidas na corda de berimbaus, disponível em: <https://bit.ly/40E4Zuh>



Ôla no Estádio: “Ola” realizada pelas pessoas que compõem as torcidas em arquibancadas de estádios de futebol, disponível em: <https://bit.ly/3MVMZpk>



A chama da vela para meditação na luz: ondas luminosas, como aquelas emitidas pela chama de uma vela, disponível em: <https://bit.ly/46z9FTG>



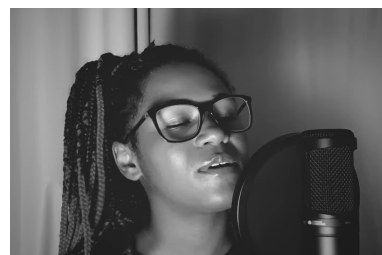
Top 5 exercícios para fazer com a corda naval: ondas produzidas em uma corda de crossfit, disponível em: <https://bit.ly/3Zip61S>



Atividade musical com mola maluca: ondas produzidas em “molas malucas”, disponível em: <https://bit.ly/3QOTA6q>



Máquina de olas artificiais: ondas na superfície da água, disponível em: <https://bit.ly/3SODLzf>



Me deixa só: ondas sonoras produzidas na fonação humana durante uma fala ou um canto, disponível em: <https://bit.ly/400Jirm>

Por serem tão diversas, as ondas demandam classificação para efeito de estudo. Na Física, elas são classificadas segundo sua natureza, direção de vibração e direção de propagação. Para começar o estudo sobre essa classificação, vamos realizar os dois experimentos, a seguir.



EXPERIENCIANDO: Som da linha

Materiais:



Fontes: Tyler Lastovich no Pexels; hermaion no Pexels; ardbcnn no Pixabay.

Procedimentos:

1. Baixe em um celular um aplicativo para medição de frequência sonora e acesse-o;
2. Amarre uma das extremidades de uma linha de costura em um talher de metal;
3. Segure a linha de modo que o talher fique suspenso e, se você é ouvinte, encoste a outra extremidade em sua orelha;
4. Bata no talher com outro talher também de metal;
5. Verifique a medição de frequência feita pelo aplicativo e, se você é ouvinte, também observe auditivamente.

Qual foi o resultado? Que hipóteses você pode elaborar para explicar o fenômeno observado?



EXPERIENCIANDO: Telefone com fio

Materiais:



Fontes: Tyler Lastovich no Pexels; hermaion no Pexels; ds_30 no Pixabay.

Procedimentos:

1. Baixe em um celular um aplicativo para medição de frequência sonora e acesse-o;
2. Com a agulha, fure o fundo de dois copos descartáveis;
3. Passe cerca de 2 m de linha de costura pelos furos, posicionando os copos de modo que seus fundos fiquem um voltado para o outro;
4. Faça nós na linha para prendê-la;
5. Segure um dos copos e peça para uma pessoa segurar o outro;
6. Afastem-se entre si, distendendo o fio e posicionando o celular na boca do copo;
7. Mantendo a linha tensionada, peça para a pessoa na outra extremidade falar com a boca dentro do outro copo;
8. Verifique a medição de frequência feita pelo aplicativo e, se você é não cego, observe visualmente a linha, e se você é ouvinte, observe auditivamente;
9. Alternem a execução do procedimento 7.

O que vocês observaram? Que hipóteses vocês podem elaborar para explicar o papel da linha e dos copos no aparato?

Obs.: Os materiais podem ser substituídos por latas de conserva, barbante e um instrumento para furar as latas.

Segundo a natureza das ondas, a Física utiliza duas categorias de classificação: mecânicas ou eletromagnéticas. As **ondas mecânicas**¹ necessitam de um meio material para se propagar, como as ondas causadas ao se agitar a superfície de um lago. As **ondas eletromagnéticas** podem se propagar em meios materiais e em espaços onde não existe matéria (**vácuo**), como as radiações no espaço sideral.

Retome as respostas elaboradas nos quadros **EXPERIENCIANDO** anteriores. Quais foram as conclusões?

1. Os termos em negrito e cor rosa se referem a conceitos físicos adotados que você pode consultar no Conceituário Ilustrado de Física, no fim do volume.

Segundo a direção de propagação, as ondas mecânicas podem ser unidimensionais, bidimensionais ou tridimensionais. As **ondas unidimensionais** se propagam em uma única direção, como num berimbau. As **ondas bidimensionais** se propagam em duas direções, como quando um pingo de chuva cai na superfície de um lago. Por fim, as **ondas tridimensionais** se propagam em três direções, como a luz. As ondas eletromagnéticas são todas classificadas como tridimensionais².

Vamos realizar mais um experimento.



EXPERIENCIANDO: Mola vibrante

Materiais:



Procedimentos:

1. Em uma superfície plana horizontal, como uma mesa ou o chão, distenda uma mola *slinky*, conhecida também como mola maluca;
2. Peça para uma pessoa segurar uma extremidade da mola;
3. Vibre a mola pela outra extremidade, de forma sinuosa e observe auditivamente se você for ouvinte, e visualmente se você é uma pessoa não cega;
4. Agora vibre a mola puxando ou empurrando algumas espiras e observe auditivamente, e, se você é uma pessoa não cega, observe também visualmente.

Quais foram os resultados? Que hipóteses você pode elaborar para explicar os fenômenos observados?

O vídeo a seguir registra o experimento com essa mola.



Tema 07: O que são ondas | Mola Slink: ondas transversais e longitudinais de Física Universitária, disponível em: https://youtu.be/zYdho_gcCRE

Segundo a direção de vibração, as ondas podem ser transversais, longitudinais ou mistas. As ondas eletromagnéticas são todas classificadas como transversais³.

As **ondas transversais** vibram em uma direção perpendicular à direção de propagação, como ondas em uma corda num exercício de crossfit registrado na foto à direita. As **ondas longitudinais** vibram na mesma direção de propagação, como quando vibramos uma “mola maluca”, conforme a foto a seguir.

2. No e-book sobre Eletromagnetismo aprofundaremos esse assunto.

3. No e-book sobre Eletromagnetismo aprofundaremos esse assunto

As partes da mola que estão comprimidas são as regiões de **compressão**, e as partes onde a mola está distendida são as **regiões de rarefação**. Por fim, as **ondas mistas** constituem sobreposição de ondas transversais e longitudinais, como é possível notar em um barco ancorado no mar, que oscila para cima e para baixo, para frente e para trás.

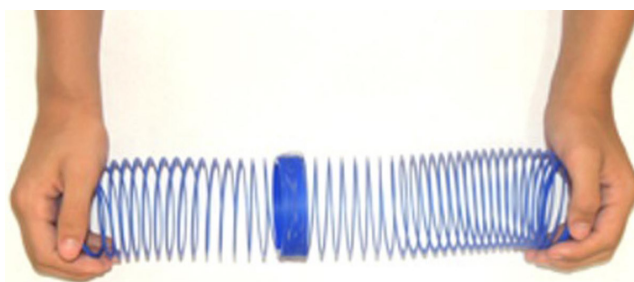
Os *GIFs* a seguir apresentam esses três tipos de onda (as imagens registram instantes das animações)⁴.

O primeiro *GIF* ilustra o comportamento de uma onda longitudinal, em que as frentes de onda são verticais e os pontos representam corpos materiais acumulando-se nas regiões de compressão e dispersos nas regiões de rarefação; há também três pontos em cor vermelha, evidenciando visualmente o movimento de oscilação para a esquerda e para a direita. O segundo *GIF* ilustra o comportamento de uma onda transversal, mostrando visualmente pontos oscilando para cima e para baixo e pulsos na direção horizontal. Por fim, o terceiro *GIF* representa ondas mistas na superfície da água, cujas partículas são representadas por pontos; dois pontos estão destacados na cor amarela, mostrando visualmente o movimento de oscilação simultâneo para a esquerda e para a direita, e para cima e para baixo; devido a essa composição de movimento, os dois pontos descrevem trajetória circular no sentido horário. Reavalie as hipóteses levantadas no quadro **EXPERIENCIANDO** anterior. O que você concluiu?

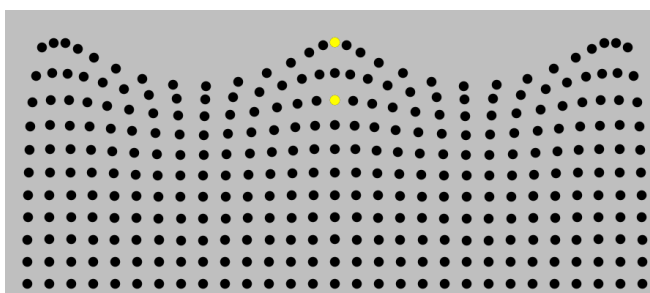
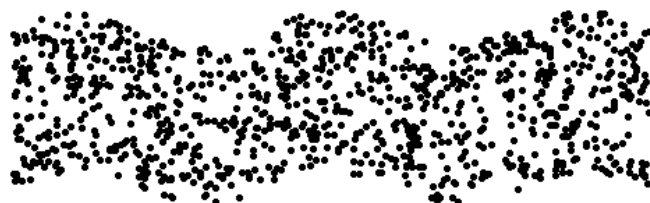
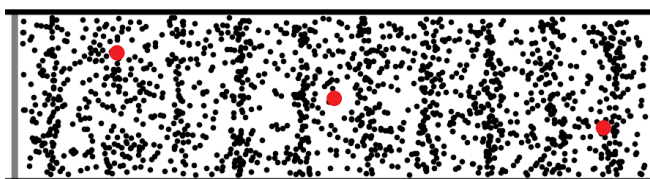
Como notamos, cotidianamente ao nosso redor existem vários exemplos de onda. Que tal aplicar a classificação de ondas nesses exemplos? Para tanto, vamos desenvolver a seguinte atividade, se possível, em grupo.



Fonte: Leon Ardho no Pexels



Fonte: Revista Brasileira de Ensino de Física.



Fonte: <https://profrenatocaseiro.wordpress.com/2015/09/17/ondas-mecanicas/>

4. **Estudo de ondas (em construção)** de Prof. Renato Casemiro, disponível em: <https://profrenatocaseiro.wordpress.com/2015/09/17/ondas-mecanicas/>



COMO SE JUSTIFICA: Diversidade das ondas

Tente classificar todos os exemplos de onda que verificamos até aqui, nos três grupos (segundo a natureza, direção de vibração e direção de propagação). Em seguida, discuta e elabore respostas para as seguintes questões.

1. É possível encontrar exemplos das ondas classificadas abaixo? Se sim, onde?




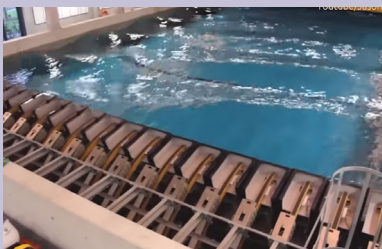
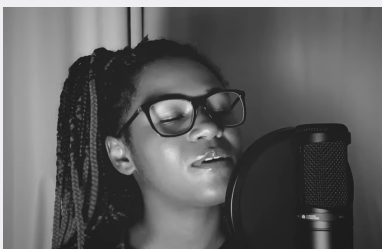
- mecânicas, transversais e bidimensionais?
- mecânicas, transversais e tridimensionais?
- mecânicas, longitudinais e bidimensionais?
- mecânicas, mistas e unidimensionais?
- mecânicas, mistas e tridimensionais?

	Natureza	Propagação	Vibração
 Fonte: Youtube			
 Fonte: Youtube			
 Fonte: Youtube			
 Fonte: Youtube			

(Continua)

A Física e os sons que (não) estão à nossa volta

Série Conhecimento - Ed. nº 44 (Vol 02). 2024

	Natureza	Propagação	Vibração
 <p>Fonte: Youtube</p>			
 <p>Fonte: Youtube</p>			
 <p>Fonte: Youtube</p>			
 <p>Fonte: Youtube</p>			
 <p>Fonte: Youtube</p>			

E quanto ao som? Ele foi representado na última foto do quadro anterior. Você identificou suas três classificações quando se propaga em meio fluido (o ar)? E em meio sólido, como seria? Será que, em termos físicos, há diferença entre o som do garoto cantando e aquele do estrondo ouvido por pessoas ouvintes durante a colisão cuja notícia foi apresentada no início do volume 1? Vamos estudar isso.

O fenômeno observado no quadro **EXPERIENCIANDO** anterior revela que a onda sonora tem capacidade de se propagar em meios físicos. Mais que isso, o meio material é uma condição necessária para a onda sonora se propagar, por isso, ela é uma onda mecâni-

ca, capaz de gerar sensações auditivas conhecidas como **som**. Em meio fluido (líquidos ou gases), como o ar atmosférico, as vibrações produzidas pela fonte sonora transmitem energia, por choque, às partículas de ar. É o caso do estrondo da colisão ou da sirene do caminhão do Corpo de Bombeiros no contexto hipotético da notícia apresentada no início do volume 1. As partículas de ar transmitem a vibração para as partículas adiante e assim sucessivamente. A movimentação desse pulso de energia se manifesta em uma sucessão de compressões e rarefações, por isso a onda sonora é classificada como longitudinal. Todo esse processo ocorre nas três direções, de forma que ela é classificada também como tridimensional.

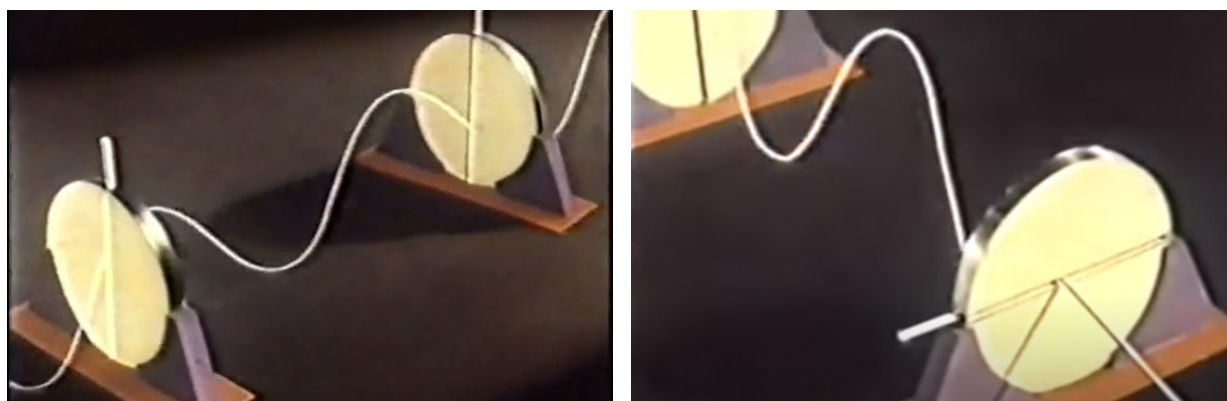
Em síntese, a onda sonora necessita de partículas (matéria) para se propagar em todas as direções, vibrando na mesma direção de sua propagação. Assim, ela é uma onda mecânica, tridimensional e longitudinal.

Ao longo deste volume, vamos estudar diversos fenômenos ondulatórios que acontecem com as ondas transversais e longitudinais. Há um fenômeno que ocorre apenas com ondas transversais, chamado **polarização**. Vamos conferir entre os instantes 1:33 e 2:42 do vídeo a seguir.



Поляризация света, 1981, de Тимур Гаранин: Архив научно-популярных фильмов, disponível em: <https://youtu.be/XKQtunqWhQU>

No experimento realizado no vídeo, ondas transversais são produzidas em uma corda presa por uma das extremidades em um anteparo. A corda é posta a oscilar verticalmente através da fenda de um aparato, disposta também verticalmente, isto é, na mesma direção de vibração da corda; nesse momento, a corda continua oscilando na mesma direção. Em um segundo momento, outro aparato com fenda é disposto paralelamente ao primeiro, com a fenda na orientação vertical, e o fenômeno se repete. Esse instante é registrado na foto a seguir à esquerda.



Fontes: Adaptado de Тимур Гаранин: Архив научно-популярных фильмов. Reprodução: Youtube

A foto à direita registra um instante em que o aparato mais distante da fonte da vibração é rotacionado de modo que sua fenda fica na direção horizontal. A vibração na corda é repetida, e, ao passar por esse aparato, a corda não oscila mais. Nesse caso, suas ondas foram polarizadas pelo segundo aparato com a fenda perpendicular à direção de vibração das ondas.

A presença de ondas no mundo físico é marcada por uma grande diversidade, cujos exemplos são classificados pela Física. Essa classificação é feita segundo três critérios: natureza, direção de propagação e direção de vibração.

Quanto à natureza, o critério diz respeito à necessidade ou não de meio material para propagação. Aqui é importante chamar atenção para a novidade do conceito físico de onda eletromagnética. Tendo como parâmetro um encadeamento lógico de conteúdos científicos, para se discorrer em profundidade acerca de ondas eletromagnéticas, é necessário o estudo sobre Eletromagnetismo, o que fugiria dos objetivos deste volume. Por essa escolha de abordagem, associamos essa classificação apenas à ideia de que não há necessidade de interação com matéria para uma onda eletromagnética se propagar. A luz, inacessível apenas para pessoas cegas, é um exemplo disso, mas todos os outros exemplos são invisíveis para qualquer pessoa. Estamos falando de radiações como raio-X, radiação ultravioleta, ondas de transmissão de rádio, *wi-fi*, etc. Assim, no que tange à formação de memórias visuais para compreensão do conceito físico de onda eletromagnética, a limitação da invisibilidade acomete a todas as pessoas.

O critério de direção de propagação diz respeito às dimensões espaciais do mundo físico tangíveis pelos sentidos. Elas são em número de três e são associadas à ideia de comprimento, largura e profundidade. Essa abstração é concretamente identificada pela visão e também pelo tato. É possível a pessoas cegas, portanto, associar essa classificação a diversos exemplos acessíveis por outros sentidos que não a visão: para ondas unidimensionais, as cordas de um violão produzindo som; para ondas bidimensionais, ondas produzidas na superfície da água; para ondas tridimensionais, a onda sonora, captada por pessoas cegas ouvintes em qualquer direção.

O critério de direção de vibração se refere à comparação entre a direção em que o pulso oscila e a direção em que o pulso se propaga no meio. Esse critério exige uma atenção especial para pessoas cegas. A percepção das características de ondas transversais e longitudinais está predominantemente associada à observação visual dos exemplos estudados nesta unidade e à formação de memórias visuais das características das ondas, tanto as transversais quanto as longitudinais. A esse respeito convém mobilizar como referencial as memórias formadas por meio do experimento proposto no fim da unidade anterior, já que as ondas na superfície da água se tratam de ondas mistas e, logo, transversais e longitudinais ao mesmo tempo.

Retome a questão 7 do **COMO SE JUSTIFÍCA – Investigando o violão** e do quadro **SITUAÇÃO-PROBLEMA**. Como você alteraria suas respostas com base na classificação das ondas que estudamos nesta unidade?

Estrutura das ondas

Fonte: GIFs de Física



Vamos começar o estudo desta unidade assistindo ao vídeo a seguir. Gravado com uma câmera acoplada dentro da caixa acústica de um violão enquanto era tocado, o vídeo mostra cordas de violão sendo vibradas e a estrutura da onda que nelas se propagam, que possuem cristas.



Ondas mecânicas em cordas, de *GIFs de Física*, disponível em: <https://youtu.be/MF48-RWQYkY>

Quando se fala em crista da onda, é comum a associação com as cristas das ondas do mar, que arrebatam permitindo a prática do surfe. A surfista fluminense Maya Gabeira bateu o recorde mundial de maior onda surfada por uma mulher. Vamos conferir a proeza da surfista em um vídeo disponibilizado na matéria a seguir.

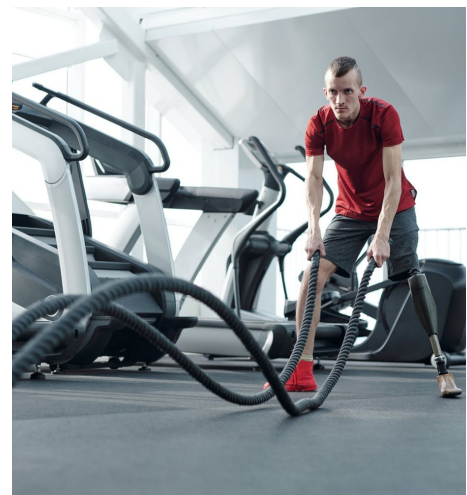


Maya Gabeira bate o próprio recorde mundial de maior onda já surfada por uma mulher: 22,4 m, disponível em: <https://bit.ly/40WnzzN>

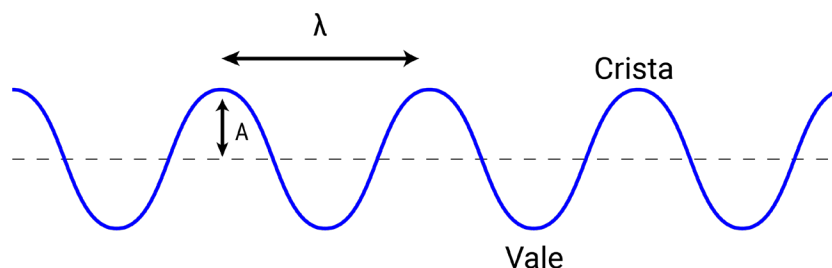
As ondas na superfície da água são consideradas mistas, mas representando-as em corte, num plano perpendicular à direção de propagação, é possível realizar o estudo da estrutura de ondas transversais, cujos elementos incluem a crista. Na sequência, vamos estudar essa estrutura, começando com a foto a seguir.

Na foto aparece um rapaz realizando exercício de crossfit, oscilando uma corda disposta ao chão. O rapaz vibra a corda na direção vertical, perpendicular ao chão. Formam-se, então, pulsos sinuosos simétricos, com pontos mais altos e pontos mais baixos.

A figura a seguir esquematiza esses elementos.



Fonte: ShotPot no Pexels



Fonte: Adaptado de The LibreTexts libraries, disponível em: <https://bit.ly/4i142Ew>

Na figura, uma linha tracejada horizontal se encontra no meio da onda transversal, paralela à sua direção de propagação. Essa linha tracejada representa um eixo de simetria, demarcando que a oscilação ocorre em torno de uma posição de equilíbrio.

Os pontos mais altos da onda são chamados **crista** e os mais baixos, **vale**. A crista e o vale em uma onda transversal são considerados, respectivamente, os correspondentes às regiões de compressão e rarefação de uma onda longitudinal.

É chamada **elongação** a posição de um ponto ou corpo em relação a uma posição de equilíbrio. No caso das ondas, corresponde à distância entre pontos da onda e o eixo de equilíbrio. A elongação máxima de uma onda é chamada de **amplitude** (que representamos pelo símbolo A), grandeza escalar que indica o deslocamento máximo da oscilação. A **amplitude de ondas transversais** equivale, em módulo, à distância das cristas e dos vales em relação à posição de equilíbrio. Em linguagem mais simples, pode-se associar esse conceito físico a uma ideia de “altura” da onda.

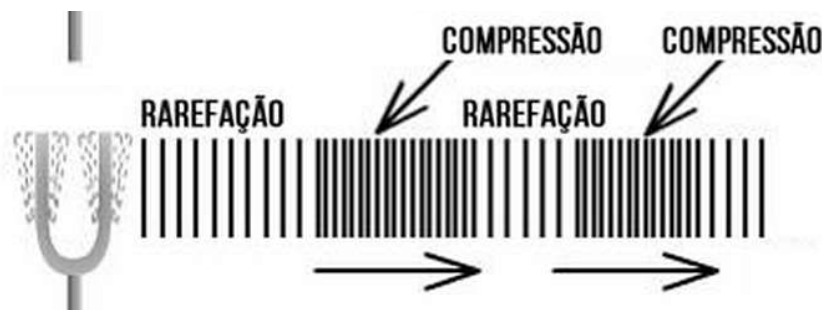
O **comprimento de onda** é uma grandeza escalar que expressa o módulo do deslocamento de cada oscilação completa de uma onda. Em outras palavras, aponta onde começa e termina uma (única) oscilação. O **comprimento de onda de ondas transversais**⁵ é a distância entre duas cristas consecutivas ou dois vales consecutivos; representamos essa grandeza física pelo símbolo λ (letra grega chamada lambda), medida em metro (símbolo m). Assim, na onda transversal, uma (única) onda completa compreende uma oscilação a partir de um ponto, passando pelo ponto de equilíbrio e voltando para a mesma altura original, o que compreende uma crista e um vale.

Agora vamos estudar a estrutura de ondas longitudinais, como as ondas sonoras emitidas na colisão cuja notícia foi apresentada no início do volume 1. Vamos começar com um dos GIFs da página de rede a seguir, em que é representado um diapasão emitindo ondas sonoras.



Ondas/Imagens&Animações, de Site do Setor de Física do Colégio Técnico da UFMG, disponível em: http://www.coltec.ufmg.br/fisica/?page_id=3018

A figura a seguir representa instantes semelhantes aos da animação.

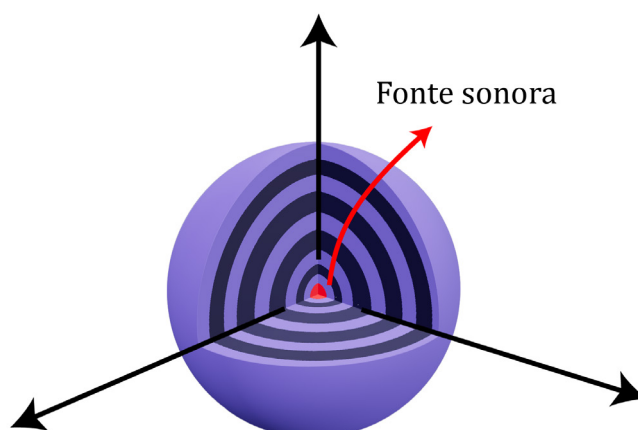


Fonte: Uso de ondas mecânicas em ensaios não destrutivos na aviação : o tap test e o ensaio de emissão acústica, disponível em: <http://repositorio.unitau.br/jspui/bitstream/20.500.11874/346/1/TTEM018-16.pdf>

Na animação, os pontos representam partículas de fluido (ar) que vibram com as ondas sonoras. Conforme as frentes de onda se propagam da esquerda para a direita, a partir da vibração do diapasão, formam-se as regiões de compressão e rarefação, próprias de ondas longitudinais. Nas regiões de compressão, as frentes de onda comprimem o ar à sua frente no sentido da propagação, de modo que as partículas de ar ficam mais próximas umas das outras em relação ao momento anterior à perturbação que causou as ondas. Isso implica aumento de **pressão** do ar naquela região. Ao contrário, na região oposta, ocorre rarefação. Nessa região, as moléculas de ar ficam mais afastadas que na situação anterior à perturbação, ocasionando diminuição de pressão. Mas é preciso ter em mente que essa animação é uma representação bidimensional de um fenômeno tridimensional.

5. Note que “comprimento de onda” é uma expressão que representa uma grandeza física, e se refere a toda e qualquer onda. Assim, é possível expressar “comprimento de onda de uma onda qualquer”, assim como quando dizemos “frequência de uma onda qualquer”.

A figura a seguir é uma representação da onda sonora, considerando seu caráter tridimensional.



Na figura, as frentes de onda são representadas tridimensionalmente na forma de superfícies esféricas concêntricas, com um corte nas esferas, como se fosse uma cebola de que foi retirada uma fatia. No centro da "cebola" se encontra a fonte sonora. As camadas da "cebola" são superfícies esféricas, que, no modelo para a onda sonora, são chamadas de **superfícies de onda**. Na figura, essas superfícies aparecem separadas com linhas azuis e pretas, como se a "cebola" tivesse camadas pretas e camadas azuis alternadas. As regiões azuis representam regiões de rarefação e as regiões pretas, de compressão.

Vamos assistir a outra animação bidimensional da onda sonora no vídeo a seguir, em que linhas verticais representam frentes de onda de ondas longitudinais.



Amplitude de uma onda longitudinal, de Rodrigo Claudino Diogo, disponível em: <https://youtu.be/CZ2x67FyHhY>

A figura a seguir é o registro de um instante da animação.

Amplitude de uma onda Longitudinal



Fonte: Rodrigo Claudino Diogo; Reprodução: Youtube.

Na figura, linhas verticais azuis representam frentes de onda. Na extrema esquerda da figura há uma linha vertical cinza. Um vetor horizontal preto vai da linha cinza até o ponto "-A", à esquerda. Um vetor horizontal verde vai da linha vertical cinza até o ponto "+A", à direita. A linha cinza demarca uma posição de equilíbrio da oscilação, onde ocorre a inversão da oscilação para a esquerda e para a direita. O vetor verde, com sentido para +A, tem o mesmo sentido da propagação da onda, para a direita, representando o sentido em que ocorre a compressão. O vetor preto, com sentido oposto, para a esquerda, representa o sentido em que ocorre a rarefação. Os vetores preto e verde representam a variação de amplitude de ondas longitudinais.

A **amplitude de ondas longitudinais** é uma grandeza escalar que equivale à distância entre o ponto de compressão máxima e a posição de equilíbrio. Isso equivale à distância entre o ponto de máxima rarefação e a posição de equilíbrio. Trata-se de uma medida de comprimento, assim como a amplitude de ondas transversais, por isso, o módulo da amplitude é medido em metro (símbolo m).

A distância entre dois pontos consecutivos de máxima compressão, ou dois pontos consecutivos de máxima rarefação constitui a grandeza escalar chamada de **comprimento de onda de ondas longitudinais** (que representamos pelo símbolo λ , letra grega chamada *lambda*), medida em metro (símbolo m).

Segundo o modelo estudado na Física, como qualquer outra onda, as ondas sonoras possuem amplitude, comprimento de onda, regiões de compressão e regiões de rarefação. Essas características estão visualmente explícitas nas duas últimas animações a que assistimos. Assim, para pessoas surdas não cegas, a associação dessas representações ao conceito físico de onda é mediada pela visão tanto quanto para pessoas ouvintes não cegas. É interessante notar que a formação do conceito físico de onda sonora por meio do modelo estudado não exige uma associação necessária ao som, aqui entendido como conceito distinto do conceito físico de onda sonora. Desse modo, a formação de memória sobre esse conceito físico por pessoas surdas pode ser mediada por outros exemplos de onda e recursos essencialmente visuais. Quanto ao conceito de som, o estudo será feito mais adiante.

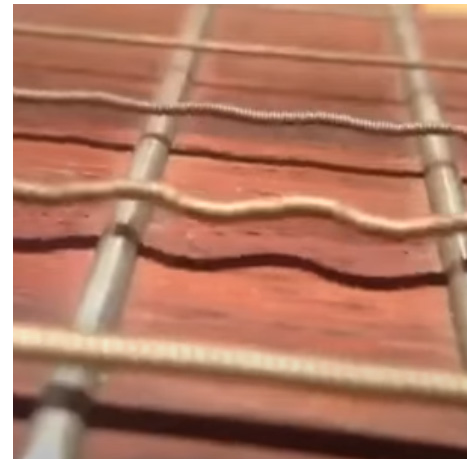
Retome a questão 8 do quadro **COMO SE JUSTIFÍCA – Investigando o violão** e do do quadro **SITUAÇÃO-PROBLEMA**. Analise suas respostas com base nas descrições feitas ao longo desta unidade sobre a estrutura física das ondas. Quais foram as convergências e divergências?

Velocidade das ondas: a equação geral da ondulatória

A figura ao lado é uma captura de tela do vídeo a seguir. Vamos assistir.



Cordas do Violão Vibrando vistas bem de perto, de Violão Samba e Choro - Como Tocar Violão - Aulas de Violão, disponível em: <https://youtu.be/B31hwbwCA1c>.



Fonte: Violão Samba e Choro. Reprodução: Youtube

Quando acessado em velocidade baixa, o vídeo permite a pessoas não cegas acompanhar com os olhos a rapidez com que as cristas e vales das ondas realizam seu deslocamento.

Como já estudamos, ao longo de seu deslocamento as ondas transportam energia, e o fazem com certa frequência de oscilação e velocidade. Mas como esses dois conceitos físicos se distinguem? O que dizer da velocidade de propagação das ondas sonoras causadas na colisão cuja notícia foi apresenta da no início do volume 1?

Para estudar esse aspecto das ondas, vamos iniciar esta unidade assistindo novamente ao vídeo a seguir, que mostra ondas sendo produzidas na superfície da água contida em um tanque, a partir do funcionamento de uma máquina que empurra a água repetitivamente. A intenção agora é contar a frequência das ondas produzidas e estimar a velocidade de sua propagação. Vamos tentar?



Máquina de olas artificiales, de **Eltiempo.es**, disponível em: <https://youtu.be/6U26qmJ3oos>

É importante notar que velocidade de propagação de uma onda e sua frequência são conceitos físicos diferentes. Enquanto a frequência indica a quantidade de oscilações que ocorre periodicamente, a velocidade de propagação indica o deslocamento percorrido pelo pulso em certo período de tempo. Então, para calcular a frequência, é preciso marcar um intervalo de tempo e contar o número de perturbações feitas pela máquina geradora de ondas.

E para estimar a velocidade de propagação das frentes de onda? Na ausência de um referencial numérico para medida da distância percorrida pelas ondas, podemos utilizar como padrão o comprimento do tanque de água. Então podemos contar o tempo gasto por uma frente de onda para percorrer o comprimento do tanque, e estabelecer um razão entre os dois valores.

Para orientar a discussão física, vamos assistir novamente ao vídeo a seguir.



Tema 07 – O que são ondas | Experimentos – O que são ondas? de Física Universitária, disponível em: <https://youtu.be/yGqfRB4EWeg>

No **EXPERIENCIANDO – Taça sonora** quando a frequência da fonte de ondas foi aumen-

tada, ocorreu uma diminuição no comprimento de onda das ondas que se formaram na superfície da água. Quando a frequência foi reduzida, o comprimento de onda aumentou. Além disso, mesmo havendo alteração na frequência da fonte de ondas, é evidenciado visualmente que sua velocidade de propagação permaneceu a mesma.

De fato, esse fenômeno ocorre porque a alteração dessas duas variáveis ocorre num experimento em que o meio de propagação não é alterado. Em função disso, a velocidade das ondas não é alterada. Em síntese, no experimento do vídeo, a velocidade das ondas é constante, mas sua frequência e comprimento de onda, não: se frequência aumenta, comprimento de onda diminui, e se frequência diminui, comprimento de onda aumenta.

A velocidade de propagação das ondas depende do meio onde ocorre a propagação, isto é, suas características físicas, como densidade e elasticidade. No caso das ondas sonoras, para uma mesma densidade, a velocidade aumenta com o aumento do módulo de elasticidade. E para um módulo de elasticidade constante, a velocidade diminui com o aumento da densidade.

As ondas sonoras podem ser propagar em diferentes meios materiais. Exemplos: o ar, num show musical; o metal, nos trilhos de trem, que propagam ondas sonoras quando o trem se desloca; a água, na qual se propagam os sons emitidos por golfinhos. A tabela a seguir informa valores de velocidade das ondas sonoras em diferentes meios. Dentre eles, está o ar atmosférico, meio onde se propagam as ondas sonoras que propiciam às pessoas ouvintes a sensação auditiva que chamamos de som.

Meio	Velocidade
Aço	5941
Água (0 °C)	1402
Água (20 °C)	1482
Alumínio	6420
Ar (0 °C)	331
Ar (20 °C)	343
Granito	6000
Hélio	695
Hidrogênio	1284

Fonte: Adaptado de HALLIDAY (2009)

A densidade da água é aproximadamente mil vezes maior que a do ar. Mas, como seu módulo de elasticidade é mais que mil vezes maior que a do ar, a menor compressibilidade da água em relação ao ar excede o efeito da densidade, de modo que a velocidade de propagação na água é maior do que no ar.

É importante notar que a velocidade das ondas sonoras em um meio fluido da mesma natureza, mas com temperaturas diferentes, implica em alteração na velocidade de propagação, pois a densidade dos fluidos varia com a temperatura. Por isso, a velocidade das ondas sonoras no ar mais quente é maior do que no ar mais frio. A mesma relação ocorre com a água.

Portanto, supondo o meio de propagação homogêneo, as ondas periódicas se propagam com constância de velocidade, representada pelo símbolo \vec{v} , uma grandeza vetorial cujo módulo é medido em metro por segundo (símbolo m/s).

Agora vamos verificar como a Matemática expressa essa relação.



COMO SE JUSTIFICA: Matematicizando a rapidez da propagação das ondas

Como possivelmente já estudado em momento anterior, a fórmula (1) é a expressão do módulo do conceito físico de velocidade média. A fórmula (2), como já estudado no volume 1, expressa o período de uma onda em função de sua frequência de oscilação.

Velocidade média:

$$v: \text{velocidade média (m/s)} \leftarrow v_m = \frac{\Delta x}{\Delta t} \rightarrow \begin{array}{l} \Delta x: \text{deslocamento (m)} \\ \Delta t: \text{intervalo de tempo (s)} \end{array} \quad \textcircled{1}$$

Período:

$$\Delta t: \text{intervalo de tempo (s)} \leftarrow T = \frac{1}{f} \rightarrow \begin{array}{l} n: \text{número de oscilações} \\ f: \text{frequência de oscilação} \\ \text{de uma onda (Hz)} \end{array} \quad \textcircled{2}$$

A partir dessas fórmulas, deduza matematicamente a:

Equação Geral da Ondulatória:

$$v: \text{velocidade (m/s)} \leftarrow v = \lambda \cdot f \rightarrow \begin{array}{l} f: \text{frequência (Hz)} \\ \lambda: \text{comprimento de onda (m)} \end{array} \quad \textcircled{3}$$

Agora, voltemos ao vídeo intitulado “Máquina de olas artificiales”, assistido anteriormente. Ele mostra uma máquina induzindo a produção de ondas artificiais na superfície da água contida em um tanque, de modo que observa-se visualmente que a máquina produz ondas em uma das extremidades e estas se propagam até a outra extremidade.

Suponhamos que essa máquina produz ondas com um comprimento de onda de 1,5m em uma frequência de 2 Hz. Com base nesses dados, buscaremos encontrar a velocidade de propagação das ondas geradas pela máquina no tanque de água. Para isso, usaremos a fórmula da Equação Geral da Ondulatória, conforme mostrado a seguir.

$$v = \lambda \cdot f \Rightarrow v = 1,5 \cdot 2 \Rightarrow v = 3,0 \text{ m/s}$$

Assim, as ondas produzidas pela máquina no tanque se propagam como uma velocidade igual a 3 m/s.

Para justificar mais, sugerimos:

- HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; JEARL, Walker. **Fundamentos de Física: gravitação, ondas e termodinâmica**. 28ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

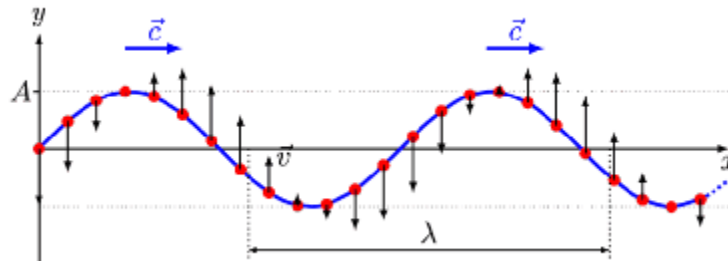
A Equação Geral da Ondulatória nos mostra matematicamente o que os experimentos mostraram empiricamente: para uma mesma velocidade de propagação – isto é, quando o meio de propagação não muda –, quanto maior a frequência, menor o comprimento de onda, e quanto menor a frequência, maior o comprimento de onda. Na próxima unidade, vamos estudar o que acontece quando muda o meio e, portanto, a velocidade de propagação da onda.

Vamos acessar o *GIF* a seguir, em que uma onda transversal é representada em um plano cartesiano.



Física II (UFMG) Ondas, de Tutor Brasil, disponível em: <https://www.tutorbrasil.com.br/forum/viewtopic.php?t=79092>

A figura a seguir registra um instante do *GIF*.



Fonte: <https://www.tutorbrasil.com.br/forum/viewtopic.php?t=79092>.

No *GIF* é representada uma onda transversal com uma linha sinuosa azul, começando na origem de um referencial cartesiano. A onda se propaga para a direita com velocidade que estamos representando pelo vetor \vec{c} . Ao longo da linha, há pontos vermelhos que sobem e descem. Desses pontos saem vetores verticais pretos \vec{v} , cujo tamanho aumenta quando se aproximam do eixo das abscissas e diminui quando dele se afastam. Esse vetor representa a velocidade de vibração vertical de pontos da onda. O eixo das ordenadas demarca a amplitude da onda. Como você identificaria na animação os conceitos físicos de pulso, frequência e velocidade?



UNIVERSOS DIVERSOS:

Velocidade "do som" e aviões supersônicos

A respeito da velocidade das ondas sonoras, perguntamos: que sensação auditiva pessoas ouvintes teriam a partir de uma fonte de ondas sonoras se deslocando com uma velocidade superior à velocidade dessas ondas? Essa situação é verificada com aviões supersônicos, como este na foto ao lado.



Fonte: <https://olhardigital.com.br/2020/10/09/ciencia-espaco/cientistas-calculam-a-velocidade-maxima-do-som/>

A seguir, vamos assistir a alguns registros do voo de aviões supersônicos.



Rompendo a barreira do som, de Tiago Bento disponível em: <https://youtu.be/HHSTiGwkAtQ>



Estrondo sônico da explosão do vulcão, de Jesus Chacim, disponível em: https://youtu.be/BUJUTM3b_54

Aviões supersônicos, como os caças militares, são aeronaves capazes de voar mais rápido que as ondas sonoras no ar atmosférico. Desenvolvidos na segunda metade

do século XX, a princípio, eles foram usados para fins de pesquisa e militares. Quando esses aviões e quaisquer objetos ultrapassam o valor da velocidade das ondas sonoras no ar, diz-se que eles **rompem a barreira do som**. Quando isso acontece, causam dois fenômenos. O primeiro consiste na formação de uma nuvem de vapor de água condensado do ar, que se expande (por quê?) muito rapidamente na região atrás da camada de ar comprimido pela aeronave. Essa camada de ar comprimido dá origem às **ondas de choque**. Elas consistem em uma perturbação de ar comprimido que se desloca atrás da aeronave em forma de cone. Essa perturbação é percebida por observadores na Terra como uma “pancada seca”, o chamado **estrondo sônico**. Agora, vamos refletir sobre a questão a seguir.

A experiência auditiva com o estrondo sônico não é comum, dado que os campos de aviação militar não se localizam em qualquer parte. Um exemplo mais popular do fenômeno pode ser percebido com o estalar de um chicote! Por quê?

Para viajar mais nesse universo, sugerimos:

- **Caça da FAV em voo rasante destrói fachada de vidro do STF.** G1. Disponível em: <https://bit.ly/416Apvw>.
- **DEMPSEY, Michael. Os novos jatos que prometem reviver os voos supersônicos comerciais.** BBC, 21 de outubro de 2021. Disponível em: <https://bit.ly/30tscKm>.
- **Filmagem surpreendente da erupção de um vulcão na Papua Nova Guiné.** No enigma. 6 de setembro de 2014. Disponível em: <https://bit.ly/4g59F2H>.
- **HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; JEARL, Walker. Fundamentos de Física: gravitação, ondas e termodinâmica.** 28ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009.
- **Rompendo a barreira do som.** Tiago Bento. Vídeo. Disponível em: <https://bit.ly/49bwLCM>.

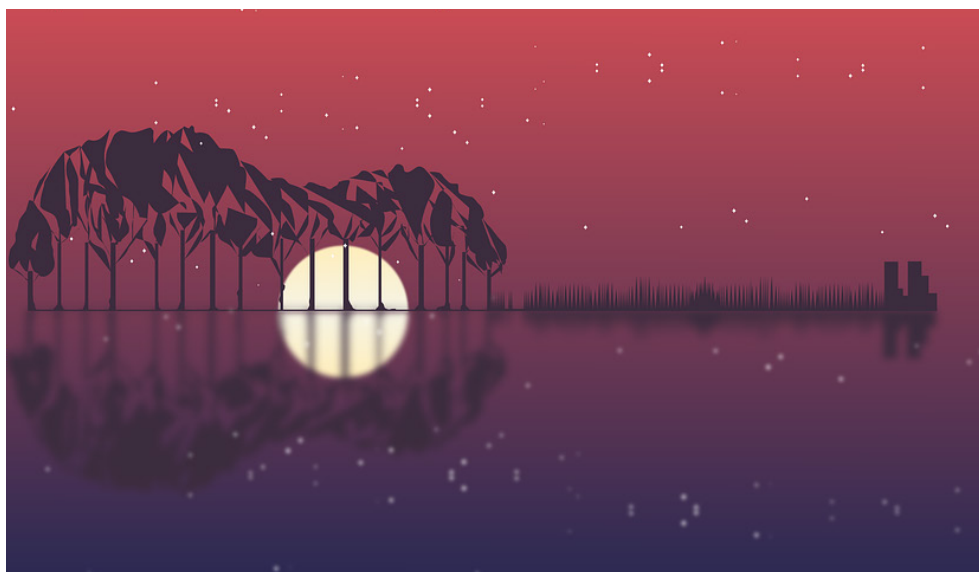
O que você tem a dizer agora sobre as respostas elaboradas no **COMO SE JUSTIFÍCA – Matematizando a refração** anterior?

Quando se fala em velocidade das ondas sonoras, geralmente a referência é feita à velocidade de propagação das ondas (e não à velocidade de vibração). Assim, a partir dos modelos para onda longitudinal discutidos na unidade anterior, é possível para pessoas não cegas formarem uma memória visual da “rapidez” de propagação de uma onda. Para apropriação da Equação Geral da Ondulatória, é necessário que o conceito físico de velocidade de propagação das ondas esteja bem distinto do conceito físico de frequência. Essa distinção também é evidenciada visualmente nos dois primeiros vídeos e no *GIF* acessado nesta unidade.

No entanto, esses conceitos são mediados por recursos essencialmente visuais, de modo que as limitações para pessoas cegas são semelhantes àsquelas discutidas na unidade 6 do volume 1. Sendo aqui, é fundamental a simulação tátil dos fenômenos observados visualmente, à semelhança das possibilidades apontadas nas unidades 2 e 6 do volume 1.

Retome a questão 9 do quadro **COMO SE JUSTIFÍCA – Investigando o violão** e do do quadro **SITUAÇÃO-PROBLEMA**. Analise suas respostas com base na caracterização feita nesta unidade acerca dos conceitos físicos de frequência e velocidade de propagação das ondas produzidas nas cordas do violão quando são vibradas. O que você mudaria nas suas respostas?

O fenômeno da refração



Fonte: pokina no Pixabay

Na figura acima, a lua e a vegetação formam, com seu reflexo por um espelho d'água, a imagem de um violão, de tal modo que sua metade de cima parece estar fora d'água e sua metade de baixo, dentro. Inspirados nessa arte, vamos imaginar como pessoas ouvintes perceberiam o som associado a ondas sonoras produzidas por um violão debaixo d'água. Ou, se pensarmos nas ondas sonoras produzidas na colisão cuja notícia foi apresentada no início do volume 1, como seria o som percebido por uma pessoa ouvinte que estivesse hipoteticamente dentro da água, em uma piscina, por exemplo. Que diferenças há nessas situações? Vamos iniciar essa discussão assistindo ao videoclipe do grupo musical dinamarquês Between Music, que toca – e canta (!) – debaixo d'água.



Between music: acquasonic – trailer, de **Between Music**, disponível em: <https://youtu.be/-uYdEsNao-A>.

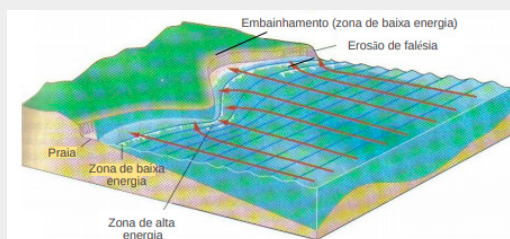
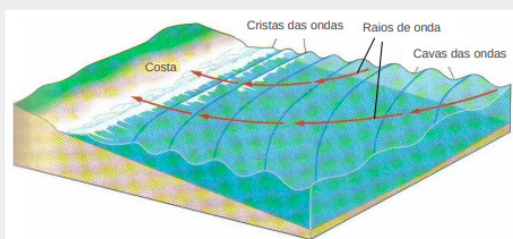
As ondas sonoras produzidas pelo grupo propiciam a pessoas ouvintes sensações auditivas que poderiam ser classificadas como incomuns, misteriosas, encantadoras, sombrias... O espetáculo que o grupo produz inspira a seguinte pergunta: como as ondas sonoras se propagam em outro meio material que não o ar?

Vamos começar este estudo, realizando a atividade seguinte, se possível, em grupo.



COMO SE JUSTIFÍCA: Matematizando a refração

Pense nas ondas do mar representadas nas figuras a seguir. Elas ilustram o fenômeno em que as frentes de onda do mar chegam à praia em direções aproximadamente perpendiculares à praia.



Fontes: <https://surfguru.com.br/conteudo/a-influencia-das-aguas-rasas-nas-ondas-que-chegam-a-uma-praia-2017-01-19-15329.html>; Modificado de SEGAR (1998, apud SOPRANI, 2010)

Agora relembre uma das expressões que estudamos:

Equação geral da ondulatória:

$$v: \text{velocidade (m/s)} \leftarrow \boxed{v = \lambda \cdot f} \rightarrow f: \text{frequência (Hz)}$$

$\lambda: \text{comprimento de onda (m)}$

Há uma relação entre essa expressão matemática e o fenômeno citado. Reflita a respeito e tente elaborar hipóteses para responder as questões a seguir:

1. Por que as ondas chegam perpendicularmente à costa, se, antes, as frentes de onda se propagavam em outra direção?
2. Nesse fenômeno, o que acontece com as grandezas que compõem a Equação Geral da Ondulatória?

Para justificar mais, sugerimos:

- SOPRANI, Marcela Aparecida. **Estudo das transformações das ondas na baía do Espírito Santo por meio do modelo REFDIF**. 2010. 67 p. Monografia (Graduação em Bacharel em Oceanografia) – Centro de Ciências Humanas e Naturais, Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória, 2010.
- A influência das águas rasas nas ondas que chegam a uma praia. Meio ambiente. **Surfguru**. 19 de janeiro de 2017. Disponível em: <https://surfguru.com.br/conteudo/a-influencia-das-aguas-rasas-nas-ondas-que-chegam-a-uma-praia-2017-01-19-15329.html>.

No vídeo a seguir, vamos verificar o que acontece quando o meio de propagação de uma onda é alterado.



Tema 13 – Fenômenos Associados a Propagação Ondulatória | Experimentos – Cuba de ondas: refração, de Física Universitária, disponível em: <https://youtu.be/CMd2KnrQwQI>

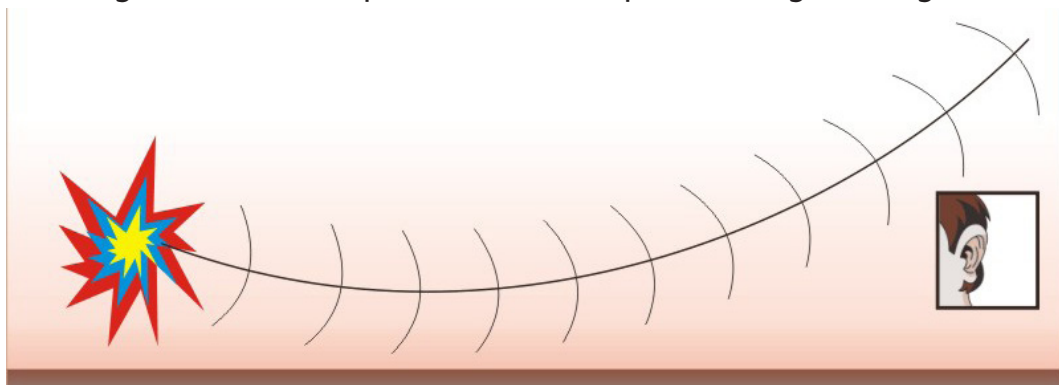
Nesse vídeo, não foi alterada a frequência das ondas, mas, sim, sua velocidade, pois o meio mudou: na região onde não havia a placa de acrílico, o meio era mais profundo, e sobre a placa de acrílico, o meio era mais raso. Foram, então, evidenciadas três alterações:

- Ocorreu um desvio na direção de propagação das ondas quando passaram a se propagar na região mais rasa;
- Ocorreu uma diminuição do comprimento de onda das ondas que se propagaram na região mais rasa;
- Na região mais rasa as ondas se propagaram com menor velocidade.

Como a Equação Geral da Ondulatória expressa essas duas últimas alterações?

Esse é o fenômeno da refração ondulatória. Ele diz respeito à mudança que ocorre na direção de propagação, no comprimento de onda e na velocidade de propagação de uma onda quando ela muda de meio onde se propaga. Quanto à frequência, como depende da fonte geradora da vibração, ela se mantém inalterada.

Um exemplo do fenômeno da refração sonora pode ser pensado em uma situação de transmissão de ondas sonoras num ambiente onde haja diferentes camadas do ar atmosférico, com um gradiente de temperatura, como expresso na figura a seguir.

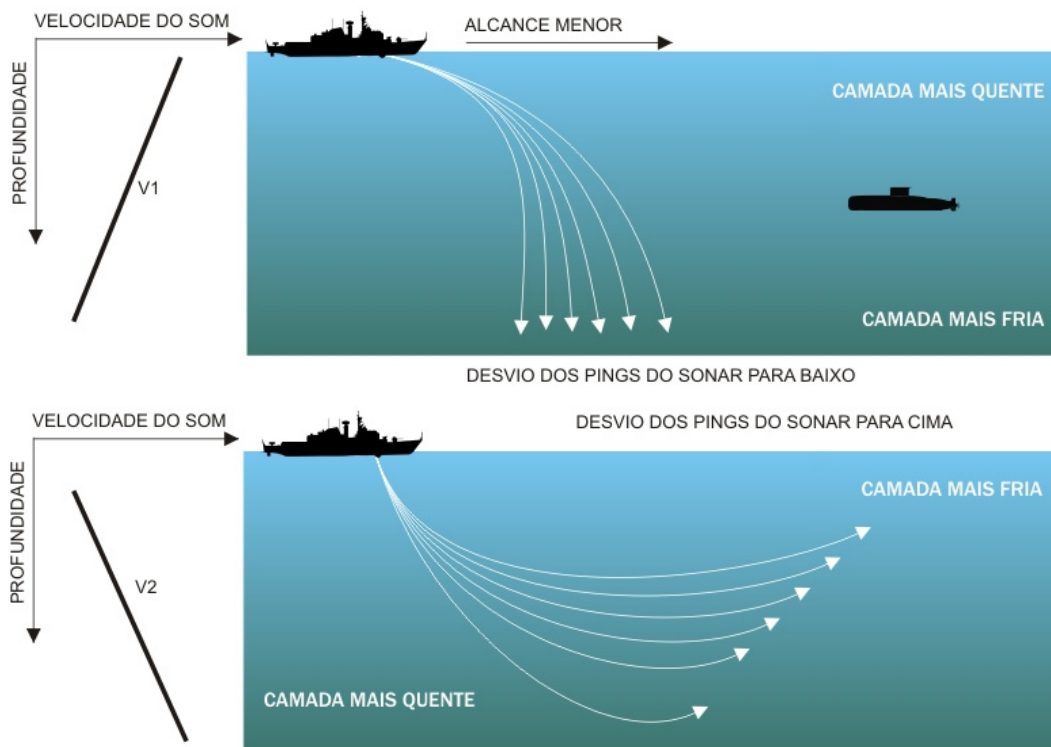


Fonte: <https://osfundamentosdafisica.blogspot.com/2012/02/leituras-do-blog.html>

A figura esquematiza uma situação que poderia representar as ondas sonoras do estrondo da colisão cuja notícia foi apresentada no início do volume 1: as ondas sonoras da colisão sendo emitidas a partir da esquerda, e se propagando para a direita, através do ar atmosférico. Se pensarmos que a batida ocorreu em um dia quente, podemos afirmar que as camadas de ar mais próximas do solo pavimentado estavam mais quentes do que as camadas mais superiores. Desse modo, forma-se um gradiente de temperaturas dessas camadas, e logo, meios diferentes para a propagação das ondas sonoras.

Com isso, também podemos concluir que as ondas sonoras emitidas a partir da colisão sofreram refração, de modo que sua velocidade de propagação e seu comprimento de onda foram se tornando menores com a diminuição da altura e maiores com o aumento da altura. Conseqüentemente, ocorre um desvio das ondas sonoras para cima, como mostra a figura acima.

O desvio que ocorre em fenômenos de refração de ondas sonoras ocasiona a ocorrência de **sombra sonora**, região não atingida pelas ondas. Se o elemento receptor se encontrar nessa região, não captará as ondas. A sombra sonora é conveniente, por exemplo, para submarinos em que haja intenção de não serem localizados a partir de ondas sonoras emitidas por navios. As figuras a seguir ilustram o fenômeno.



Fonte: <https://www.naval.com.br/blog/2018/01/17/como-funciona-o-sonar-ativo/>

O que você tem a dizer agora sobre as respostas elaboradas no **COMO SE JUSTIFÍCA – Matematizando** a refração anterior?



UNIVERSOS DIVERSOS: Ciência e canto



Fonte: Guto Fernandes; Reprodução: Youtube.

Vamos assistir ao vídeo a seguir, que registra uma solução encontrada para o limite humano de produção de sons muito agudos.



King's College Choir announces major change, de KingsCollegeChoir, disponível em: <https://youtu.be/ukDAfF0-8q8>

No vídeo, o coro da King's College, universidade da Inglaterra, um corista inala gás hélio durante o canto, e passa a entoar notas musicais mais agudas. Vamos discutir:

No vídeo do coro da King's College, o sacerdote conta que foi proposta pelo Departamento de Química da universidade uma solução para a necessidade de vozes agudas masculinas no coral. Sabendo que o ar atmosférico é composto em 78% por gás nitrogênio e que o gás hélio é sete vezes mais denso que o nitrogênio, como se pode explicar o efeito propiciado pelo gás hélio?

Para viajar mais nesse universo, sugerimos:

- **Beatboxing with Sulfur Hexafluoride** (Deep Voice Gas) w/ Nick Uhas. 80Fitz. Vídeo. Disponível em: https://youtu.be/NJ1I4_v0hFM.
- **Helium Beatbox w/ 80Fitz.** 80Fitz. Vídeo. Disponível em: https://youtu.be/CFW_DNWQ0VM.
- GUILHERME, Adriano Pereira. **Por que nossa voz muda ao inalarmos Hélio?** A Física na escola. v. 18, nº 1, 2020. Disponível em: <https://www1.fisica.org.br/fne/phocadownload/Vol18-Num1/FnE-18-1-200205.pdf>.

Para os modelos de onda longitudinal discutidos na unidade 9, é possível para pessoas não cegas formarem uma memória visual da velocidade de propagação de uma onda. Isso pode ser atestado nos recursos visuais presentes nos dois primeiros vídeos e no *GIF* estudado naquela unidade.

A mesma afirmação pode ser feita para os conceitos físicos de comprimento de onda e direção de propagação. Assim, as características de uma onda que se alteram com o meio de propagação (direção, velocidade de propagação e comprimento de onda) são passíveis de formação de memória visual para pessoas não cegas.

Semelhantemente à unidade 9, na pergunta feita acima, a formação de uma memória do comportamento da onda sonora se propagando na água não exige uma associação ao som, sendo, portanto, acessível para pessoas surdas. No entanto, essa memória está associada a características do som. Adiantamos, aqui, que falar em características do som da perspectiva conceitual não implica necessariamente em sensação auditiva, mas esta é uma discussão que será feita adiante.

Retome a questão 10 do quadro **COMO SE JUSTIFÍCA – Investigando o violão** e do do quadro **SITUAÇÃO-PROBLEMA**. Como você alteraria suas respostas com base no estudo que fizemos nesta unidade acerca do fenômeno da refração sonora?

As ondas sonoras e o sistema auditivo humano

A figura ao lado é uma foto de um bebê mexendo nas cordas de um violão. Se esse bebê é ouvinte, podemos supor que ele está descobrindo o violão enquanto um objeto associado à sensação de barulho. Se o bebê é surdo, não há essa associação imediata. Com isso em mente, vamos começar o estudo da audição em pessoas ouvintes assistindo aos vídeos seguintes, que explicam como funciona a audição humana, com animações do aparelho auditivo humano.



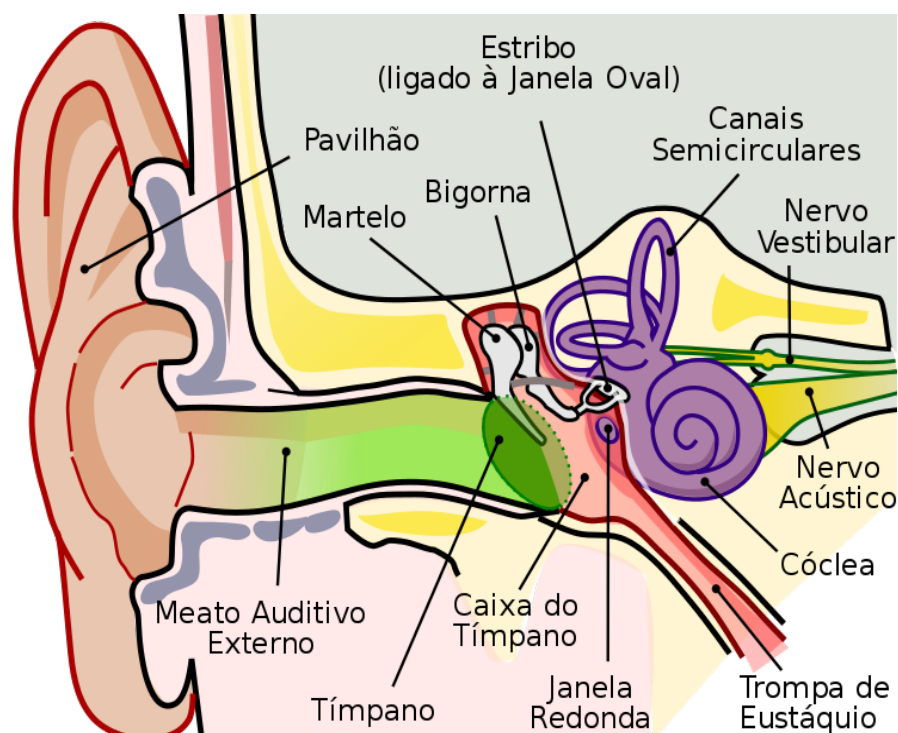
Fonte: Анастасия Триббианино Рехелс.



Vídeo sobre como a audição funciona, de MED-EL, disponível em: <https://youtu.be/FLUwYCHFVas>



Journey of Sound to the Brain, de Wikipédia: a enciclopédia livre, disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/C%C3%A9lulas_ciliadas



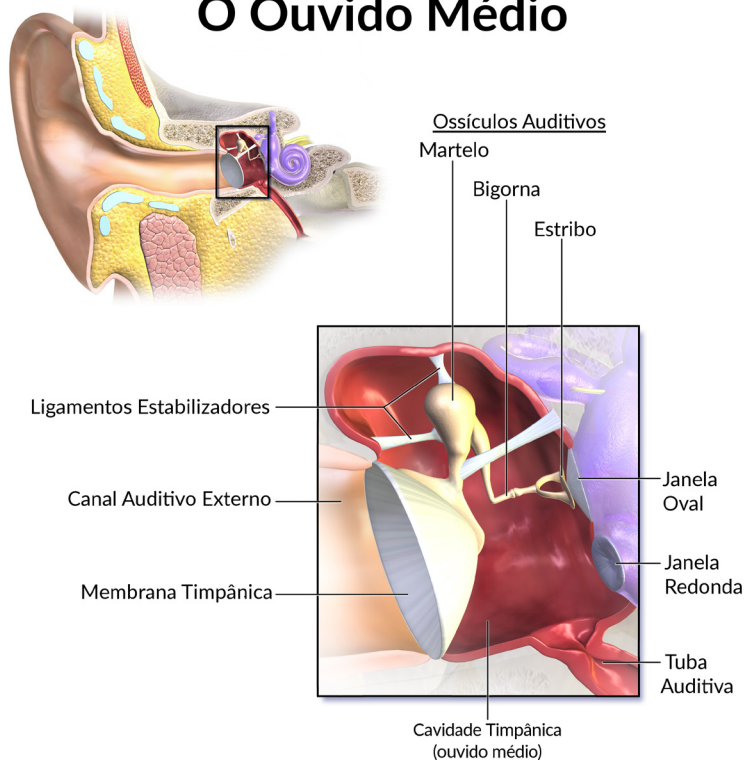
Fonte: <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=10370839>

A figura ao lado ilustra a anatomia da orelha humana, que é dividida em orelha externa, média e interna.

Quando as ondas sonoras chegam às orelhas humanas, na orelha externa, as frentes de onda atravessam o canal auditivo, onde existe fluido, o ar atmosférico. Então, o ar dentro do canal auditivo entra em ressonância com as ondas sonoras. A partir daí, ocorre uma sequência de fenômenos nas pessoas ouvintes, que permitem a audição.

O ar vibrante que atravessa o canal auditivo se dirige para a orelha média, onde causa a vibração de uma fina membrana de tecido conjuntivo que encontra na entrada da orelha média, chamada tímpano.

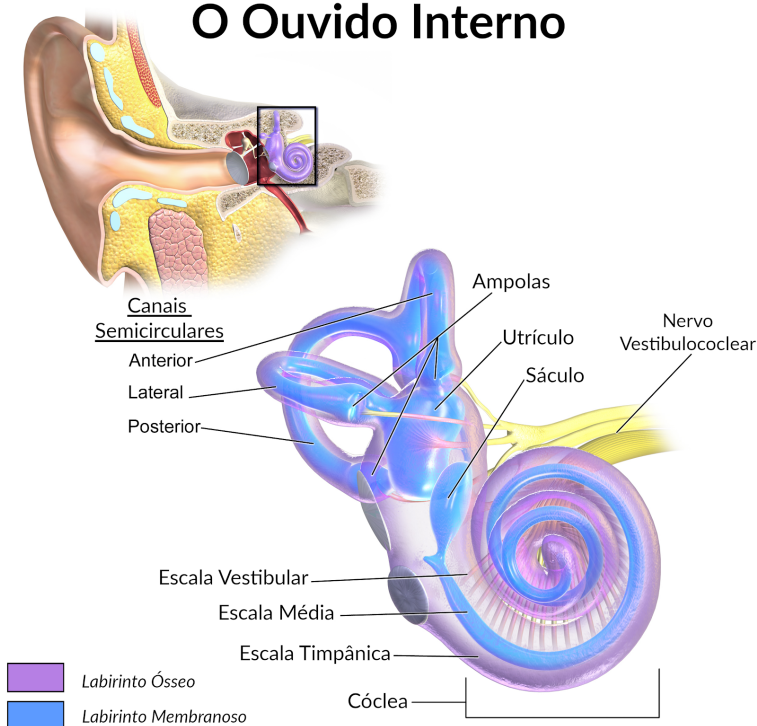
O Ouvido Médio



Fonte: <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=69369531>.

Atrás dela se encontra a cavidade timpânica, que contém os três menores ossos do corpo humano: o martelo, a bigorna e o estribo. Essa cavidade é preenchida por ar que chega pela tuba auditiva, oriundo da nasofaringe. Quando o tímpano vibra, transmite a vibração para os ossículos, amplificando as vibrações. Ao passar pelos ossículos, as vibrações seguem para a orelha interna, onde são transmitidas a um líquido presente na cóclea, que possui células ciliadas ligadas. As vibrações causam deformações nessas células, que, devido suas propriedades físicas, ressoam em diferentes frequências entre 20 Hz e 20 kHz, cada vez menores quanto mais internamente.

O Ouvido Interno



Fonte: <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=69369559>.

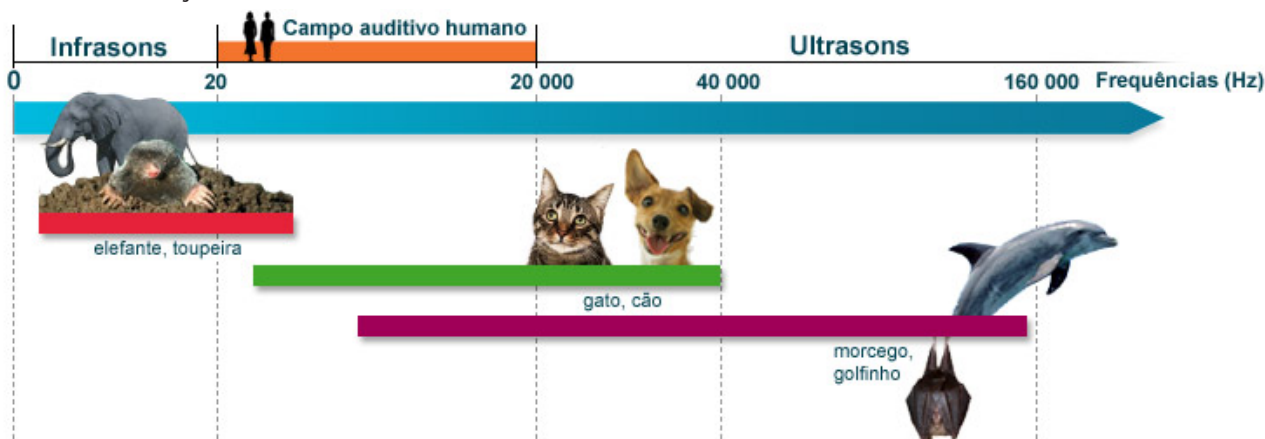
A figura ao lado ilustra a orelha interna. As células ciliadas são ligadas a terminações de neurônios do nervo auditivo. Nessa ligação ocorre conversão da energia de vibração em impulsos elétricos, isto é, o nervo auditivo responde ao estímulo gerando impulsos elétricos, que são conduzidos ao centro de audição do córtex cerebral. Lá ocorre a interpretação da sensação auditiva ou som. Quanto maior a ocorrência de disparos de neurônios e a quantidade de neurônios ativos, maior será a intensidade sonora interpretada. Assim, o cérebro é responsável pelo processamento neurológico de altura sonora, intensidade sonora e timbre. Essas são as chamadas qualidades do som. Vamos estudá-las adiante.

O vídeo a seguir disponibiliza a pessoas ouvintes um teste que determina a faixa de frequência audível.



Teste seus ouvidos! Frequency test., de Premier Shop, disponível em: <https://youtu.be/gf2JkPNuiCU>

O sistema auditivo de pessoas ouvintes é capaz de perceber frequências entre 20 e 20.000 Hz. Dentro desse intervalo, chamado **espectro** audível para o ser humano ouvinte, é possível ouvir qualquer som. Sons com frequência abaixo de 20 Hz são chamados **infrassons**. Eles são ouvidos por alguns animais, como baleias, hipopótamos, rinocerontes, elefantes, girafas e pombos-correio. Sons com frequência acima de 20.000 Hz são chamados de **ultrassons**. Eles são ouvidos por animais como cães, morcegos e golfinhos. Um exemplo da aplicação de ultrassons são os apitos usados para adestramento de cães. A figura a seguir sintetiza o espectro sonoro localizando a faixa de frequência audível pelo ser humano ouvinte em relação aos infrassons e ultrassons.



Fonte: Rémy Pujol. Disponível em: <http://www.cochlea.org/po/som/campo-auditivo-humano>



ALERTA FAKE NEWS:

Repelente ultrassônico de mosquitos

O mercado oferece dispositivos eletrônicos ultrassônicos supostamente repelentes de insetos. As empresas fabricantes desses dispositivos prometem, por meio das ondas ultrassônicas que os aparelhos emitem, afastar ratos, mosquitos, formigas, aranhas, baratas, traças, etc. Segundo o site de uma empresa revendedora:

“O repelente eletrônico ultrassônico funciona emitindo ondas ultrassônicas “reais” (acima de 20 kHz) e altas frequências sonoras (inferior a 20 kHz) capazes de repelir insetos [...]”;

“esses sons ultrassônicos afetam o sistema nervoso dos animais, os perturbando e os incentivando a abandonar o local, sem matá-los”;

“a frequência ultrassônica emitida é inaudível não só para humanos, mas também para os animais de estimação (exceto animais de estimação roedores, como hamsters)”.

Por outro lado, de acordo com o canal sobre tecnologia Tilt:

“A ideia por trás dos repelentes ultrassônicos parece ótima e sustentável: um apa-



relho que emite ondas sonoras capazes de afugentar insetos sem a necessidade de inseticidas, sem gerar odores e sem incomodar as pessoas. Mas a ciência diz que não só isso não acontece, como pode piorar a situação.”

Segundo a física biomolecular Natasha Mezzacappo,

"Em tese os mosquitos seriam repelidos por sons que imitam predadores, como morcegos e libélulas, ou pelo som das asas dos mosquitos machos, pois, após o acasalamento, as fêmeas se afastariam desse tipo de som”.

Em sua dissertação de mestrado, o pesquisador Isaías Cabrini estudou aparelhos para afastar mosquitos *Aedes aegypti* e *Aedes albopictus*. Além de mostrar a ineficácia de aparelhos, seu estudo apontou que essas espécies tentavam picar mais enquanto os aparelhos estavam ligados!

Segundo a assessoria de imprensa do Inmetro, a certificação de determinado aparelho atesta que ele atende aos requisitos mínimos de segurança elétrica. Isto é, não se trata de um certificado de eficácia do produto.

Outro problema foi apontado pela pesquisadora Flávia Virgínio:

"Esses repelentes supostamente emitem um som acima de 20 kHz, acima do limite audível pelas pessoas. Não é o que ocorre, por exemplo, com animais de estimação, como cães e gatos, que são sensíveis a um espectro sonoro mais amplo do que os humanos. Esses aparelhos, portanto, podem incomodá-los e estressá-los”.

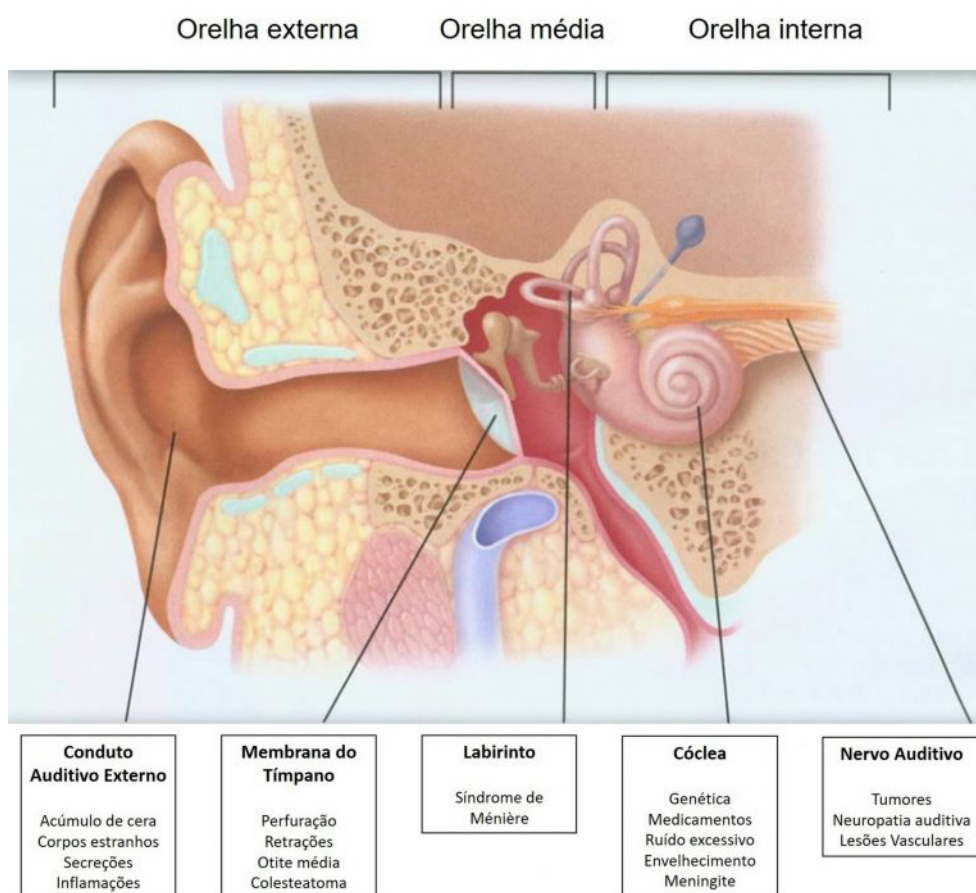
Diante desses contrapontos à propaganda desses aparelhos, podemos nos perguntar:

1. Como é possível equilibrar uma postura crítico-científica diante da liberdade de expressão presente na divulgação desse tipo de aparelho?
2. Que ações eficazes podem ser tomadas para repelir insetos? Como é possível ter certeza de sua eficácia?

Para investigar mais este tema, sugerimos:

- CABRINI, Isaías. **Avaliação de repelentes eletrônicos e estudos quanto a eficiência de transposição de telas, utilizando-se *Aedes aegypti* (Linnaeus, 762) e *Aedes albopictus* (Skuse, 1854) (Diptera: Culicidae).** 2005. 119 p. Dissertação (Mestrado em Parasitologia) – Universidade de Campinas. Campinas, 2005. Disponível em: <https://repositorio.unicamp.br/acervo/detalhe/359697>.
- LARA, Rodrigo. **Repelente ultrassônico não afasta mosquitos e pode fazer eles picarem mais.** Tilt. 17 de janeiro de 2020. Disponível em: <https://www.uol.com.br/tilt/noticias/redacao/2020/01/17/repelente-ultrassonico-nao-afasta-mosquitos-e-pode-fazer-eles-picarem-mais.htm>.
- **Los repelentes de mosquitos que realmente funcionan.** El futuro es apasionante de vodafone. Vídeo. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=kiPqoocYmY>.
- **Repelente eletrônico funciona?** Leroy Merlin. Disponível em: <https://www.leyroymerlin.com.br/dicas/repelente-eletronico-funciona>.

A figura a seguir sintetiza os tipos de surdez: condutiva, sensorineural ou mista.



Fonte: Dr. Lúcio Moreira. Disponível em: <https://portalotorrino.com.br/tipos-graus-de-surdez/>.

A surdez condutiva tem origem na orelha externa ou média, podendo ser causada por acúmulo de cera, corpos estranhos, secreções, inflamações, perfuração do tímpano, otite média e colesteatoma (um tumor benigno). A surdez sensorineural tem localização na orelha interna, sendo causada por síndrome de Ménière (relacionada a episódios de zumbido e vertigens), medicamentos, ruídos, envelhecimento, meningite, tumores e lesões vasculares.

Existem várias causas ambientais e hereditárias da surdez. Entre as causas ambientais mais frequentes estão doenças como rubéola e meningite, além de falta de oxigênio no parto. Na surdez hereditária ocorre mutação genômica. A identificação de algumas mutações em um indivíduo com surdez indica que outros indivíduos da mesma família biológica podem ter surdez. A surdez hereditária pode ser síndrômica, quando ocorrem outros sinais e sintomas, ou não síndrômica.

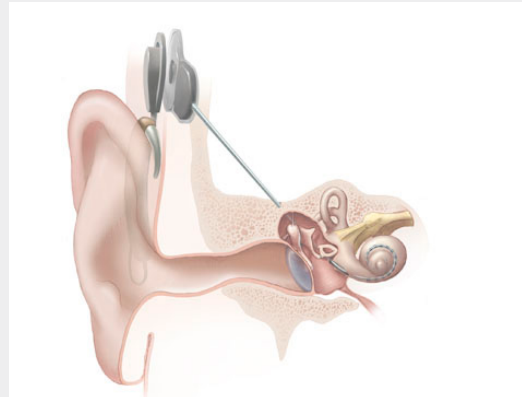
No Brasil, desde 2010 é obrigatória em todos os hospitais e todas as maternidades a realização da Triagem Auditiva Neonatal Universal (TANU), conhecida como “teste da orelhinha”. Trata-se de um teste de Emissões Otoacústicas Evocadas Transientes (EOAT), em que são liberadas ondas sonoras dentro da cóclea de bebês recém nascidos, e verifica-se se ocorrem respostas ao estímulo sonoro. Essas respostas são captadas por um microfone acoplado a uma sonda colocada no conduto auditivo externo, indicando ou não perdas auditivas congênitas. O teste é realizado em até 48 horas após o nascimento ocorrido em hospital ou maternidade, ou até o terceiro mês, para bebês nascidos fora desses ambientes.



UNIVERSOS DIVERSOS: Aparelho auditivo e implante coclear



Fonte: <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=181643>



Fonte: https://pt.wikipedia.org/wiki/Implante_coclear

Vamos aprender um pouco sobre aparelho auditivo e implante coclear com os irmãos surdos Tainá e Andrei Borges, no vídeo a seguir.



Aparelho auditivo e implante coclear, de **Visurdo**, disponível em: <https://youtu.be/G6WhUJJoyj0>

O **aparelho auditivo** é um dispositivo utilizado por pessoas com surdez classificada como moderada e que possui a função de amplificar as ondas sonoras. É composto por um microfone, um amplificador e um receptor. O microfone capta a energia das ondas sonoras do ambiente e a converte em energia elétrica. Essa energia é enviada para o amplificador na forma de sinais elétricos, que lá sofrem aumento da potência. Após esse processo, esses sinais são conduzidos ao receptor, onde ocorre reconversão para energia de onda sonora. Conduzida para a orelha interna, essa energia na forma de impulsos elétricos é capaz de estimular o nervo auditivo, que, responde ao estímulo gerando mais impulsos elétricos. Estes são conduzidos ao centro de audição do córtex cerebral, onde ocorre a interpretação do estímulo como sendo o som. Devido aos avanços tecnológicos, atualmente é possível encontrar diversos modelos de aparelhos capazes de realizar uma excelente amplificação, com poucos ruídos e maior conforto, atendendo a necessidade do sujeito. No processo de uso do aparelho auditivo, é de grande importância o acompanhamento fonoaudiológico para uma melhor adaptação.

O **implante coclear**, utilizado por pessoas com surdez classificada como severa a profunda, desempenha a função da orelha interna. Ele estimula diretamente o nervo auditivo por meio de eletrodos implantados no interior da cóclea. É composto por uma unidade externa, que fica localizada no exterior da cabeça da pessoa surda, e uma unidade interna, inserida cirurgicamente no interior. A unidade externa é constituída por um microfone, um processador de fala e uma antena transmissora. O microfone capta a energia das ondas sonoras e a transmite ao processador de fala. Esse processador tem a função de analisar, selecionar e codificar os sons em impulsos elétricos, que são enviados para uma antena transmissora, fixada magneticamente junto à antena da unidade interna. O sinal é transmitido em radiofrequência de uma

unidade para a outra. A unidade interna possui um feixe de eletrodos dentro da cóclea que é conectado a um receptor, implantado por baixo da pele atrás da orelha, junto à antena e ao ímã. Sua função é converter a energia recebida em impulsos elétricos e os conduzir para os eletrodos, de modo que estimulem o nervo auditivo. Os riscos inerentes à cirurgia não são frequentes, mas podem ocorrer. No processo, são essenciais avaliações médicas, fonoaudiológicas e psicológicas, além de cuidados por parte do usuário.

Tanto entre pessoas surdas quanto ouvintes, há divergências sobre o custo-benefício do uso de aparelho auditivo e implante coclear. Por isso, podemos nos perguntar:

Quais são os critérios a partir dos quais as pessoas Surdas e famílias de crianças Surdas podem balizar a decisão pelo aparelho auditivo ou implante coclear?

Para viajar mais nesse universo, sugerimos:

- Comunicare Aparelhos Auditivos. **Como funcionam os aparelhos auditivos.** Disponível em: <https://comunicareaparelhosauditivos.com/como-funcionam-os-aparelhos-auditivos/>.
- Comunicare Aparelhos Auditivos. **Tipos de aparelhos auditivos.** Disponível em: <https://comunicareaparelhosauditivos.com/tipos-de-aparelhos-auditivos/>.
- Grupo de Implante Coclear do Hospital das Clínicas da FMUSP. **Implante coclear.** Disponível em: <http://www.implantecoclear.org.br/?p=43>.

A surdez pode ter várias origens, de natureza ambiental ou hereditária. São várias as possibilidades que podem causar surdez em uma pessoa, desde a gravidez até a vida adulta. É importante atentar para o fato de que, entre pessoas surdas, existe grande diversidade: pessoas que nasceram surdas, pessoas que perderam a audição (ensurdecidas), oralizadas, não oralizadas, usuárias de língua de sinais, não oralizadas e não usuárias de língua de sinais, usuárias de aparelho auditivo, usuárias de implante coclear, pessoas surdocegas, descendentes de pessoas surdas, descendentes de pessoas ouvintes, dentre outros casos.

Entre todas essas pessoas há duas semelhanças que destacamos aqui: elas não têm nenhum acesso ou têm acesso parcial às informações oriundas das ondas sonoras; elas são representantes de um grupo minoritário da sociedade. A ausência de audição em uma sociedade que utiliza majoritariamente uma língua de modalidade oral-auditiva está associada socialmente à negligência dessas pessoas por parte das pessoas ouvintes em inúmeros momentos do cotidiano.

É interessante notar como prevalece na sociedade o uso de termos que generalizam algumas interações humanas, desconsiderando a diversidade das pessoas, especialmente verbos relacionados à visão e à audição. Quanto à audição, isso ocorre porque a comunicação entre pessoas ouvintes ocorre predominantemente por meio de uma língua de modalidade oral-auditiva, diferentemente das línguas de sinais, cuja modalidade tem natureza gestual-visual.

Estima-se que em cada 1000 crianças brasileiras nascidas, 4 apresentam perda auditiva. Esse número expressa o grupo minoritário composto por pessoas surdas na sociedade brasileira. Para praticar a inclusão social dessas pessoas, é preciso atentar para esse fato,

pois inúmeras informações implicadas na vida e na sobrevivência das pessoas envolve comunicação mediada majoritariamente pelo sentido da audição. Um exemplo é a situação hipotética relativa à colisão cuja notícia foi apresentada no início do volume 1, à qual o pedestre surdo ficou alheio por algum momento.

É preciso que a sociedade, majoritariamente ouvinte e oralizadora, avance no sentido de propiciar mais participação a essa parcela da população – que, em geral, está espalhada. Para tanto, faz-se necessário compreender como essas pessoas pensam, como naturalmente se comunicam e, sobretudo, respeitar e valorizar sua diversidade. O que podemos dizer a respeito da responsabilidade de profissionais da Educação nesse sentido? Para nos inspirar a refletir sobre essa pergunta, vamos assistir ao vídeo a seguir.



Surdos em um mundo ouvinte, de **Visurdo**, disponível em: <https://youtu.be/Z7Uk6IClkYM>

No volume 1, estudamos como a produção de “som” começa no violão, com a vibração das cordas. Na presente unidade estudamos como a energia ali aplicada desencadeia o processo biológico da audição em pessoas ouvintes. O termo “som” foi aqui marcado entre aspas, pois, no estudo da Acústica, a distinção entre som e onda sonora deve estar bem marcada. Com isso em mente, retome a questão 11 do quadro **COMO SE JUSTIFÍCA – Investigando o violão** e do do quadro **SITUAÇÃO-PROBLEMA**. Como você alteraria suas respostas com base no estudo que fizemos nesta unidade sobre a física do processo de audição humana?

O som e suas qualidades

A figura ao lado mostra diferentes violões de diferentes tamanhos. Suas diferenças causam diferenças nas ondas sonoras produzidas e, logo, nos sons a elas associadas. Essas diferenças dizem respeito às qualidades físicas do som.

Uma dessas qualidades diz respeito a uma prática comum envolvida na relação entre pessoas ouvintes e pessoas surdas, o grito. É comum pessoas ouvintes associarem gritos à surdez, como indicam as figuras a seguir.



Fonte: Nothing Ahead no Pexels.



Fontes: <https://bit.ly/4eLbQal>



Fontes: <https://bit.ly/41817nl>

A figura acima à esquerda expressa o costume de algumas pessoas ouvintes falarem com pessoas surdas elevando o volume da voz. Nesse contexto é que se apresenta a campanha educativa expressa na figura acima à direita, cujo título é “Não precisa gritar! O surdo ouve com os olhos”. De uma perspectiva inclusiva de respeito pela diversidade expressa por pessoas surdas e valorização da mesma, como podemos analisar criticamente o conteúdo das duas figuras?

Além desse uso, de modo geral, o grito é uma expressão de desespero, angústia ou susto, ocorrendo em situações dramáticas, como aquela da situação hipotética relativa à colisão cuja notícia foi apresentada no início do volume 1. A letra da canção “Grito de alerta”, composta pelo carioca Gonzaguinha, expressa o grito como um clamor à paz em um relacionamento afetivo. O vídeo a seguir é um registro de uma interpretação feita pela cantora baiana Maria Bethânia.



Maria Bethânia – Grito de Alerta / Show Band 1997 de Canal Recordando, disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=allrJtHSagE>

O grito é um fenômeno sonoro com certas características estudadas no âmbito da Ondulatória e da Acústica. Para começar esse estudo, vamos realizar o experimento do quadro a seguir.



EXPERIENCIANDO: Caixa de som

Materiais:



Fontes: Annekroiss no Pixabay; Tyler Lastovich no Pexels

Procedimentos:

1. Conecte uma caixa de som a um celular ou computador;
2. Acesse um arquivo de áudio;
3. Toque na caixa de som, em frente à saída das ondas sonoras;
4. Aumente e diminua o volume alternadamente, e observe tatilmente.

Quais foram os resultados? Que hipóteses você pode elaborar para explicar o fenômeno ocorrido?

Trata-se da qualidade matemática das ondas sonoras que caracteriza o som a elas associado como som forte ou som fraco. O **som forte** é o som com **volume alto**, que ocorre num grito, num choro de bebê ou num estrondo, como o da colisão cuja notícia foi apresentada no início do volume 1. O **som fraco**, ou de **volume baixo**, ocorre em situações como de um cochicho, uma goteira ou quando alguém coça a pele. A cada intervalo de tempo, as ondas sonoras que causam sons fortes, ou de volume alto, transportam grande quantidade de energia. De igual forma, ondas sonoras que causam sons fracos, ou de volume baixo, transportam pequena quantidade de energia por intervalo de tempo.

A **intensidade sonora** (que representamos pelo símbolo I) é uma grandeza escalar que aponta para essas relações, expressando matematicamente a distribuição da quantidade de **energia** transportada por intervalo de tempo, isto é, **potência** (que representamos pelo símbolo Pot), por **área** de superfície (que representamos pelo símbolo S). Como potência se mede em watt (símbolo W) e área, em metro quadrado (símbolo m^2), a medida de intensidade sonora é feita em watt por metro quadrado (símbolo W/m^2).



COMO SE JUSTIFÍCA: Matematizando o poder das ondas sonoras I

A expressão matemática do conceito físico de intensidade sonora é dado a seguir.

Fórmula de intensidade sonora:

$$I: \text{intensidade sonora (W/m}^2\text{)} \leftarrow I = \frac{\text{Pot}}{S} \rightarrow \begin{array}{l} \text{Pot: potência (W)} \\ \text{S: área (m}^2\text{)} \end{array}$$

A organização de um evento musical envolve alguns cuidados, dentre eles, garantir que o som emitido pelos alto-falantes seja audível para todas as pessoas ouvintes presentes, porém sem exceder o nível de desconforto. Nesse caso é preciso calcular a intensidade sonora gerada pelo alto-falante e certificar-se de que está dentro dos limites aceitáveis.

Em um determinado show sertanejo, o alto-falante tem uma potência de saída de 100 watts, e foi posicionado a uma distância de 5 metros da área onde o público estará. Com base nesses dados, e considerando que a energia seja irradiada uniformemente em todas as direções, iremos calcular a intensidade sonora das ondas sonoras emitidas pelos alto-falantes em uma área de dispersão equivalente a 25 metros quadrados.

A partir do enunciado, temos os seguintes dados:

$$\begin{array}{l} \text{Pot} = 100 \text{ W} \\ \text{S} = 25 \text{ m}^2 \end{array}$$

Substituindo esses valores na fórmula temos a seguinte equação:

$$I = \frac{100}{25} \Rightarrow I = 4 \text{ W/m}^2$$

Portanto, a intensidade sonora gerada pelo alto-falante a uma distância de 5 metros é de 4 W/m^2 .

A menor intensidade sonora percebida auditivamente por pessoas ouvintes, denominada **intensidade sonora mínima** ou **limiar de audibilidade**, é da ordem de 10^{-12} W/m^2 . O som da respiração ou de um cochicho, por exemplo, têm intensidade próxima desse valor.

Após este estudo, como você responderia novamente as perguntas do quadro **EXPERIENCIANDO** anterior?



UNIVERSOS DIVERSOS: Som e emoção

A série "O grito", do pintor norueguês Edvard Munch, é constituída por quatro pinturas em que é representada uma figura andrógina sobre uma ponte na Noruega, durante o pôr-do-sol. A figura aparece com as mãos postadas uma de cada lado do rosto e com a boca aberta, como se estivesse a gritar. Um dos quadros da série é, até o presente momento, a mais cara pintura arrematada em leilão, por 119,9 milhões de dólares em 2012. Sobre sua inspiração para compor a obra, o pintor declarou:



Fonte: <https://www.culturagenial.com/quadro-o-grito-de-edvard-munch/>

"Uma noite, eu estava caminhando por um trajeto, a cidade estava de um lado e o fiorde abaixo. Eu me sentia cansado e doente. Parei e olhei para o fiorde - o sol estava se pondo e as nuvens ficando vermelhas como o sangue. Senti um grito passando pela natureza; pareceu-me ter ouvido o grito. Eu pintei este quadro, pintei as nuvens como sangue real. A cor gritou. Isso se tornou O Grito."

Considerado uma das obras mais importantes do Expressionismo, O Grito é ícone cultural ao lado da famosa Mona Lisa, de Leonardo da Vinci. Na cultura popular, não raramente a obra aparece como ícone de ansiedade, medo e desespero. Hoje em dia, com a disseminação dos aparelhos celulares e da internet, a obra está espalhada pelo mundo na forma de emojis, capas de revistas, cartazes de filmes e memes, como mostram as imagens a seguir.



Fontes: Reprodução: Internet; Reprodução: Época (2001); Reprodução: Scream 2; O Grito, Reprodução: Roberto Andreoli; Frangito - O Grito do Frango de Borracha, Reprodução: @licencapoetica ; Divulgação/ Rede Marista de Colégios / Estádio.

No primeiro vídeo a seguir, a fonoaudióloga Anna Alice Almeida faz uma apresentação sobre a relação entre voz e emoção. No intervalo entre os instantes 48:47 e 50:53 do vídeo, ela discorre sobre um banco de voz alemão, em que a entonação oral de frases que expressam diferentes sentimentos é caracterizada segundo a altura sonora, intensidade sonora e duração da fala. No segundo vídeo, a psicóloga Ivana Freitas define o grito como um mecanismo de defesa que causa diversas consequências para o ser humano. Vamos conferir.




Voz e emoção perspectivas e atualidades, de **SBFa Sociedade Brasileira de Fonoaudiologia**, disponível em: <https://youtu.be/uemj7tYQUS0?t=2927>





Consequências do grito, de **Psicóloga Ivana Freitas**, disponível em: <https://youtu.be/-FOAY8N8n8>

E quanto às pessoas surdas? Elas também gritam? Os vídeos a seguir nos trazem perspectivas de pessoas surdas a respeito. No primeiro vídeo, a escritora Shirley Vilhalva declama a poesia "Grito surdo". No segundo vídeo, o poeta Edino Santos declama

uma poesia sobre a atribuição da mudez às pessoas surdas. No terceiro vídeo, ele discorre sobre o poema.

 **O Mudinho, de Literatura em Libras e sua tradução**, disponível em: <https://youtu.be/bl4-k4YqkCw>

 **O silêncio e a fúria – poetas do corpo**, de Trip TV, disponível em: <https://youtu.be/20dovmD3Y1A>

 **Grito Surdo – Shirley Vilhalva – 2016 – Legendado**, de Christiane Condi, disponível em: https://youtu.be/rFVo8e2xs_U

Esses ricos materiais que acessamos põem em discussão a significativa presença do grito na sociedade, como forma de expressão implicada na qualidade de vida. A esse respeito, podemos nos perguntar: Como as situações de conflitos pessoais e interpessoais em que o grito se faz presente podem ser entendidas e mediadas de modo a garantir o bem-estar?

Para viajar mais nesse universo, sugerimos:

- Por dentro da obra O Grito de Munch. Estação Arte. Vídeo. Disponível em: https://youtu.be/mXYsPQr8F_c.
- VASSOLER, Aline Mara de Oliveira; MEDEIROS, Beatriz Raposo de. Frequência fundamental e emoções: um estudo a partir da fala atuada em português brasileiro. Signum: estudos da linguagem. v. 16, nº 2, 2013. Disponível em: <http://www.uel.br/revistas/uel/index.php/signum/article/view/15707/14105>.
- STANSKA, Zuzanna. The mysterious road rom Edvard Munch’s The Scream. Daily Art Magazine, 4 de janeiro de 2021. Disponível em: <https://www.dailyartmagazine.com/the-mysterious-road-of-the-scream-by-edvard-munch/>.

Nas situações concretas em que se mede o poder energético de ondas sonoras, utiliza-se uma grandeza matematicamente mais viável. A **sonoridade** ou o **nível sonoro** (que representamos pelo símbolo β , letra grega chamada “beta”) é uma grandeza escalar que expressa a intensidade sonora em escala logarítmica, medida em decibel (símbolo *dB*).



COMO SE JUSTIFICA: Matematicando o poder das ondas sonoras II

A expressão matemática do conceito físico de sonoridade é apresentado a seguir.

Fórmula de sonoridade ou nível sonoro:

$$\beta: \text{sonoridade ou nível sonoro (dB)} \leftarrow \beta = 10 \log \frac{I}{I_0} \rightarrow \begin{array}{l} I: \text{intensidade sonora (W/m}^2\text{)} \\ I_0: \text{intensidade sonora mínima ou linear (W/m}^2\text{)} \end{array}$$

A partir da intensidade sonora encontrada no **COMO SE JUSTIFICA – Matematicando o poder das ondas sonoras I**, é possível calcularmos a sonoridade gerada pelo alto-

-falante. Para isso, consideremos o limiar de audibilidade na ordem de 10^{-12} W/m^2 e a intensidade sonora que calculamos anteriormente, de 4 W/m^2 .

Ao substituirmos os dados na fórmula da sonoridade, temos:

$$\beta = 10 \cdot \log\left(\frac{4}{10^{-12}}\right)$$

Primeiro calcularemos o valor dentro do logaritmo:

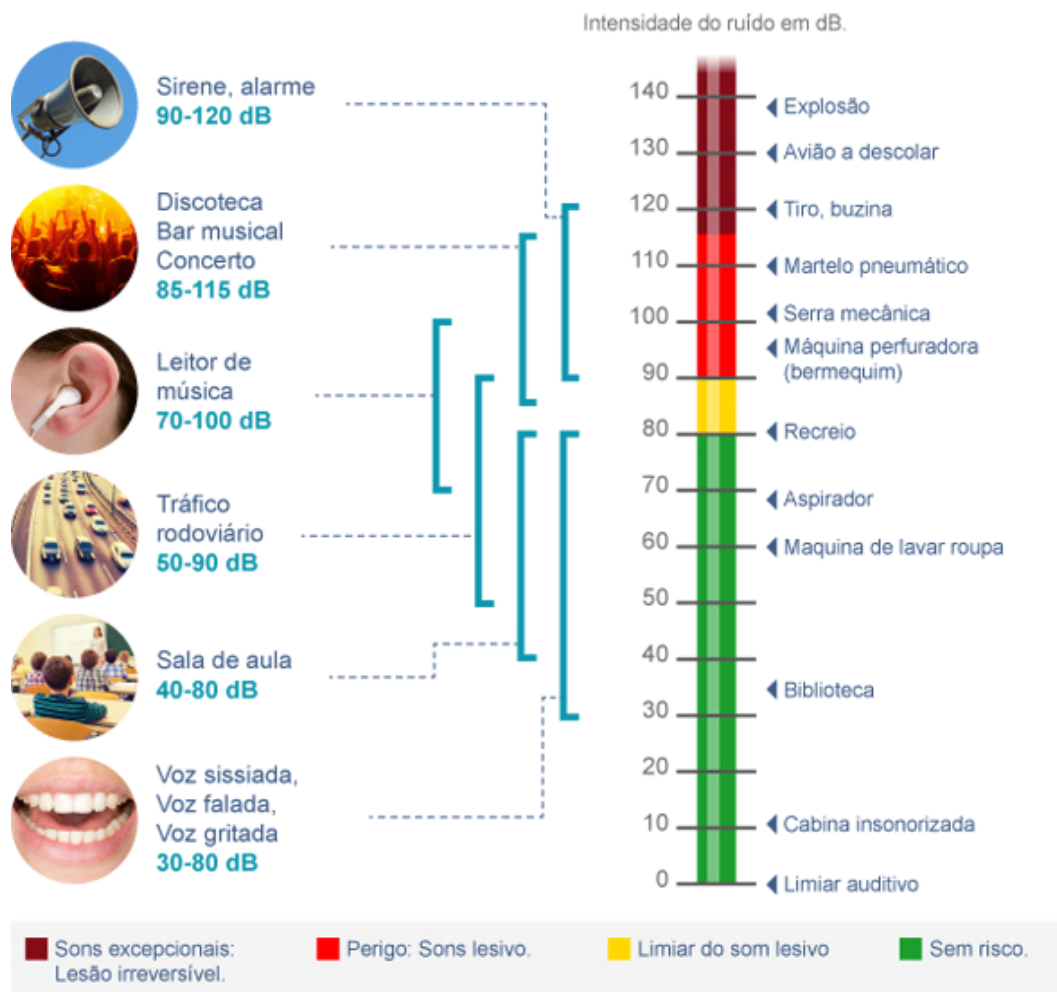
$$\frac{4}{10^{-12}} = 4 \cdot 10^{12}$$

Finalizando a resolução, temos:

$$\begin{aligned}\beta &= 10 \cdot \log(4 \cdot 10^{12}) \Rightarrow \beta = 10 \cdot (\log 4 + \log 10^{12}) \\ &\Rightarrow \beta \cong 10 \cdot (0,6 + 12) \Rightarrow \beta \cong 126 \text{ dB}\end{aligned}$$

Portanto, a sonoridade emitida pela caixa de som é de aproximadamente 126 dB.

O gráfico a seguir indica se as ondas sonoras emitidas por várias fontes são confortáveis para pessoas ouvintes. Quanto maior o nível sonoro maior será o desconforto e o risco para a audição de quem está exposto ao som.

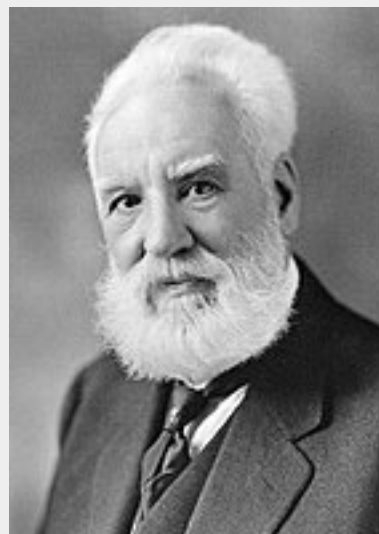


Fonte: <https://www.cochlea.org/pt/ruido>



HISTÓRIAS E TRAJETÓRIAS: Alexander Graham Bell

Alexander Graham Bell (Edimburgo, 1847 – Beinn Bheagh, 1922) foi um cientista, fonoaudiólogo e inventor britânico, conhecido por inventar o telefone. Bell teve sua história marcada pelo desenvolvimento do trabalho que seu pai fez com correção da fala de pessoas surdas, dentre elas, sua mãe. Ele teve uma escola para pessoas surdas, onde utilizava um método de pronúncia desenvolvido por seu pai, o “discurso visível”, que articulava lábios, língua e garganta para a produção do som.



Fonte: <https://central.bac-lac.gc.ca/item?id=c017335a>

Bell foi vice-presidente do Primeiro Congresso Internacional de Eugenia, ocorrido em Londres no ano de 1912. Defensor da eugenia, ele se dedicou a um processo de normalização das pessoas surdas. Casou-se com uma surda e aplicou nela seus métodos de oralização. Em sua homenagem, foi atribuído seu sobrenome à unidade de medida de sonoridade.

Vamos conhecer um pouco mais a trajetória de Graham Bell nos vídeos a seguir.



Alexander Graham Bell | Overview #49, de WR Kits, disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=Kz7D-Qwr7QQ>.



O encontro de Graham Bell e Dom Pedro II, de Conceito Ilustrado, disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=fzHGjii8TUg>.



Graham Bell e Dom Pedro II: Nascimento do Telefone, de IBEMRS, disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=L2H2LkVjEJg>



Alexander Graham Bell's Telephone Prototype | The Genius of Invention | Earth Lab, de BBC Earth Lab, disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=0ByHPDK_LYM

O século XIX, em que Graham Bell nasceu, foi marcado por diversos desenvolvimentos científicos e tecnológicos. Na Biologia, por exemplo, surgiram a Teoria da Evolução de Darwin, o Modelo Mendeliano de Herança e a Teoria Celular de Schleiden-Schwann-Virchow. Surgiu também o conceito de eugenia, introduzido por Francis Galton, inspirado na obra “A Origem das Espécies”, de seu primo Charles Darwin. Argumentos pretensamente científicos e médicos foram utilizados para fazer com que o conceito fosse propagado, mascarando seu aspecto essencialmente social e preconceituoso. Galton disseminava a ideia de que era possível favorecer o nascimento de seres humanos com características consideradas “melhores”: pessoas brancas, sem deficiência, heterossexuais, mais resistentes, mais inteligentes, dentre outras.

A morte de Graham Bell se deu quatro anos após o fim da Primeira Guerra Mundial (1914 - 1918), a qual deixou milhões de mortos e abalou a economia europeia, gerando grande desemprego e instabilidade política. Na Guerra foram usados, pela primeira vez, diversos armamentos, gases asfixiantes, canhões, tanques, aviões e submarinos, que demandaram muito conhecimento científico para serem construídos. Suas consequências foram cruciais para a Segunda Guerra (1939 - 1945), por ocasião da qual o discurso de eugenia foi utilizado por Hitler e seu partido nazista, para promover genocídio em função do estabelecimento do domínio ariano. Depois disso, a palavra “eugenia” tornou-se socialmente estigmatizada, mas seus pressupostos ainda hoje influenciam muitas pessoas, que perpetuam diversos tipos de preconceitos. Nos Estados Unidos, o conceito de eugenia influenciou fortemente a cultura do país e foi a base para as leis de antimiscigenação criadas em 1863, que duraram até por volta de 1970. No estado do Alabama, por exemplo, o casamento inter-racial só foi permitido no ano de 2000.

Para conhecer mais essa trajetória, sugerimos:

- BEZERRA, Juliana. **Consequências da Primeira Guerra Mundial**. Disponível em: <https://www.todamateria.com.br/consequencias-da-primeira-guerra-mundial/>.
- DAIWAN, Pietra. **Raça pura: Uma história da eugenia no Brasil e no mundo**. São Paulo: Contexto, 2007.
- MACÍAS, Beatriz Pascual. **Legalização de casamento entre brancos e negros nos EUA completa 50 anos**. Notícias Uol. 2017. Disponível em: <https://noticias.uol.com.br/ultimas-noticias/efe/2017/06/12/legalizacao-de-casamento-entre-brancos-e-negros-nos-eua-completa-50-anos.html>.
- TEIXEIRA, I.; SILVA, E. **História da eugenia e ensino de genética**. História da Ciência e Ensino: construindo interfaces, 15, 2017, p. 63-80.

A sonoridade é utilizada na classificação de sons, indicando conforto, tolerância e prejuízos de perda auditiva que determinados níveis de intensidade sonora podem causar em pessoas ouvintes. A razão disso pode ser compreendida a partir do vídeo a seguir.

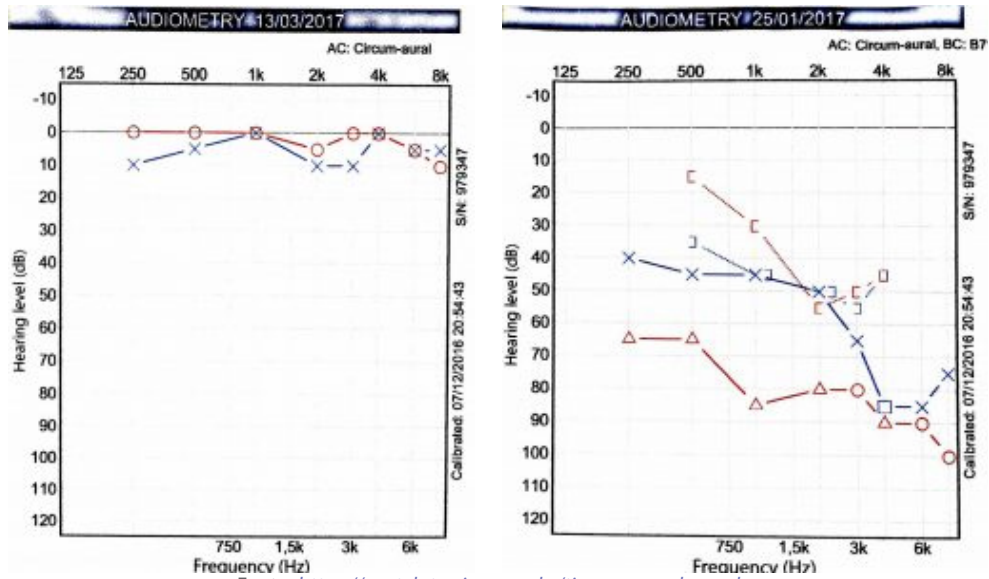


Exposition por, de rp34510, disponível em: https://youtu.be/vGFShkIQ_Kc.

O vídeo é uma animação retratando o prejuízo que ondas sonoras com sonoridade alta podem causar às células ciliadas presentes na cóclea, ocasionando sua destruição e, conseqüentemente, perda auditiva.

Os graus de perda auditiva são identificados por profissionais otorrinolaringologistas como diacusia, uma patologia caracterizada por distúrbio de audição causada por sons. Eles são identificados por diferentes métodos: teste geral de triagem, teste de Rinn ou teste de diapasão, audiometria e teste do oscilador ósseo.

As imagens a seguir mostram o resultado de exames de audiometria com audição considerada normal (à esquerda) e com diacusia leve à profunda.



Fonte: <https://portalotorrino.com.br/tipos-graus-de-surdez>

Tomando-se a sonoridade como critério quantitativo, as perdas auditivas são divididas em graus. A surdez leve ocorre na faixa de sonoridade entre 26 a 40 decibéis, que corresponde a sons como o de gotejamento de uma torneira; com esse grau de perda auditiva, é difícil distinguir sons como o tique-taque de um relógio e das consoantes f, s, p, t e k. Na surdez moderada, a audição ocorre entre 41 e 70 decibéis, que compreende sons como o de motor de um aspirador de pó e o choro de crianças; nesse grau de surdez, é difícil conversar sem uso de aparelho auditivo. Na surdez severa, é possível ouvir na faixa de 71 a 90 decibéis, que ocorre em latidos de cachorro ou o máximo volume do toque de telefone; nessa faixa, não é possível ouvir o som em uma conversação em volume natural. Por fim, na surdez profunda, não se ouve absolutamente nada ou se ouve acima de 91 decibéis; este valor de sonoridade compreende **barulhos** como de furadeira, serra elétrica, motocicletas e sirenes. Por fim, acima de 130 decibéis estão os níveis insuportáveis de sonoridade, que causam dor, como o barulho de turbinas de aeronave e fogos de artifício a 1 metro de distância.



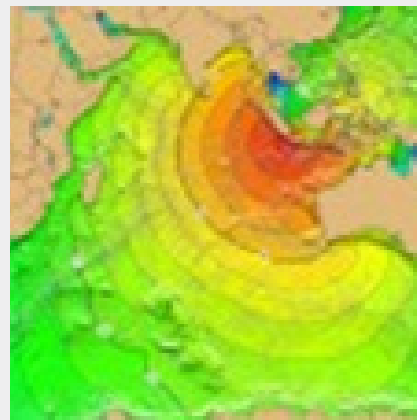
UNIVERSOS DIVERSOS: Som e Destruição: a erupção do vulcão Krakatoa



Fonte: <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=26994234>

O maior índice registrado de sonoridade, 180 dB, ocorreu com uma erupção do vulcão Krakatoa, Indonésia, em 27 de agosto de 1883.

Há relatos de que o som foi ouvido num raio de 5 mil quilômetros; isso corresponde a uma distância entre o extremo sul do Rio Grande do Sul e o extremo norte do Amapá! Fora desse raio, a onda reverberou⁶, isto é, refletiu-se pelo planeta por vários dias, conforme detectado por instrumentos de estações climáticas. A figura à direita informa o tempo de chegadas das ondas devidas à intensa perturbação causada pela erupção do vulcão, sendo que: a cor vermelha indica tempo de chegada de 1 a 4 horas; a cor amarela, de 5 a 6 horas; e a cor verde, de 7 a 14 horas.



Fonte: https://www.ngdc.noaa.gov/hazard/tsu_travel_time_events.shtml.

O resultado foi catastrófico: marinheiros que estavam a 64 km do vulcão tiveram seus tímpanos rompidos e gerou-se um tsunami de mais de 30 m de altura, que destruiu 156 vilas. Estima-se que 36 mil pessoas morreram. O *podcast* a seguir conta um pouco dessa história.



A erupção que o mundo inteiro sentiu – Ouça 11 minutos, de BBC News Brasil, disponível em: <https://youtu.be/ygUZsmKSX8o>.

Esse desastre foi a maior evidência já registrada do poder de destruição de ondas sonoras. Um pouco abaixo da sonoridade registrada na erupção do vulcão, mas ainda pertencentes à faixa de níveis insuportáveis para pessoas ouvintes, estão barulhos de diversos equipamentos, como turbinas de aeronaves, britadeiras, etc. Nesse contexto, podemos pensar em muitos ofícios em que as pessoas estão submetidas a riscos à sua saúde. A esse respeito, podemos nos perguntar: é possível equilibrar a saúde humana e a necessidade de atuação em ofícios com presença contínua de altos valores de sonoridade?

Para viajar mais nesse universo, sugerimos:

BLUME, Juliana. **Conheça o com mais alto já registrado no mundo todo**, de 1883. Hypescience, 2018. Disponível em: <https://hypescience.com/o-som-mais-alto-do-mundo-criou-ondas-de-choque-10-mil-vezes-mais-potentes-que-uma-bomba-de-hidrogenio/>.

Krakatoa, o inferno de Java: a erupção há 137 anos que foi sentida no planeta inteiro. BBC News, 24 de janeiro de 2020. Disponível em: <https://www.bbc.com/portuguese/geral-50308295>.

MEIRA, Tatiane Costa; FERRITA, Silvia; CAVALCANTE, Franciana; CORREA, Maria Juliana Moura. **Exposição ao ruído ocupacional**: reflexões a partir do campo da saúde do trabalhador. InterfacEHS Revista de Saúde, Meio Ambiente e Sustentabilidade. v. 7, nº 3, 2012. Disponível em: <https://repositorio.ufba.br/ri/bitstream/ri/18883/1/Overview.pdf>.

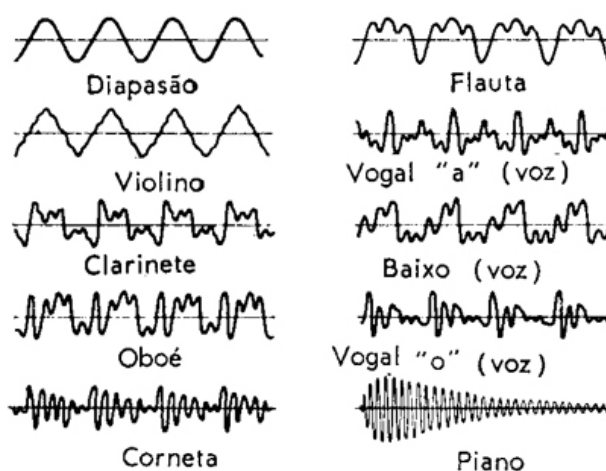
6. Um estudo mais profundo do fenômeno da reverberação é feito no volume 3.

Além da intensidade, o cérebro também é capaz de fazer uma diferenciação de outra característica do som: o **timbre**. Ele é a qualidade do som por meio da qual conseguimos distinguir sua fonte, de modo que é possível perceber qual instrumento emitiu uma mesma nota musical (som com a mesma frequência). Essa qualidade permite a pessoas ouvintes fazer a distinção de dois sons de mesma intensidade e frequência, bem como reconhecer alguém conhecido falando apenas ouvindo sua voz. Algumas pessoas ainda têm habilidade de imitar o timbre de outras pessoas, como mostra o vídeo a seguir.



Imitando 25 vozes de cantores!, de Gustavo Machado, disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=4WsaZnyeyVc>.

As senoides de sons de diferentes timbres se distinguem pelo formato da curva, como expressa a figura a seguir.



Fonte: <https://fonologia.org/fonetica-acustica-o-som/>



HISTÓRIAS E TRAJETÓRIAS: Paulo Simão

Quando adolescentes, ainda cursando o Ensino Fundamental, colegas e eu tínhamos o costume de brincar tapando os olhos para descobrirmos quem era a pessoa que estava atrás. Nessa brincadeira, nós chegávamos perto das pessoas conhecidas, mesmo sem fazer barulho algum. De tanto brincar, acabamos nos acostumando com o toque, o cheiro, a temperatura, de modo que rapidamente já sabíamos quem era. A partir dessa lembrança, podemos fazer uma relação sobre as pessoas cegas. Por não terem o sentido da visão, essas pessoas desenvolvem muito mais os outros sentidos, geralmente, o da audição.



Fonte: Acervo pessoal.

Por isso, um mínimo detalhe sonoro, que pode passar despercebido para pessoas não cegas, é percebido com maior facilidade por pessoas cegas, já que sua audição é mais apurada pelo uso mais atento. Da mesma forma, as pessoas surdas desenvolvem mais o sentido da visão, e são atentas a aspectos e detalhes visuais não notados

por ouvintes. De fato, nas Culturas Surdas há grande destaque a elementos visuais. Exemplo disso é a presença das expressões faciais e corporais na estrutura das mais diversas línguas de sinais que existem no planeta.⁷

A **altura sonora** é uma qualidade do som relacionada com a frequência da onda sonora. Ela permite a classificação de um som como agudo ou grave. Vamos diferenciá-los.

Consideram-se **sons agudos** aqueles que possuem alta frequência e, por isso, são chamados de **sons altos**. São exemplos de sons agudos: miado de gato; zumbido de mosquito; buzina de carro; voz de crianças pequenas; estalar de dedos. Quando a voz de uma pessoa é aguda, costuma-se dizer que ela tem voz fina. Na música, essa voz é classificada como **soprano**, no gênero feminino, e **tenor**, no gênero masculino.

Já **sons graves** apresentam baixa frequência e, por isso, são chamados de **sons baixos**. São exemplos de sons graves: mugido de vaca; coaxo de sapo; som de bumbo; estalar de ossos; colisão de carros. Quando a voz de uma pessoa é grave, costuma-se dizer que ela tem voz grossa. Na música, essa voz é classificada como **contralto**, para o gênero feminino, e **baixo**, para o gênero masculino.

Entre sopranos e contraltos são classificadas as **mezzo sopranos**, e entre os tenores e baixos, estão os barítonos. Todas essas diferenças compõem a **tessitura vocal** de profissionais do canto, demarcada pelas notas musicais que alcançam com suas pregas vocais.



UNIVERSOS DIVERSOS: Matemática e música



Fonte: <https://www.descomplicandoamusica.com/partitura-clave-de-sol/>

O espectro audível pelo ser humano ouvinte inclui as **notas musicais**, sons percebidos por pessoas ouvintes a partir de ondas sonoras que se propagam com determinada frequência. O conceito se refere também aos sinais gráficos associados a esses sons. Eles são escritos em **pentagramas**, para organizar a linguagem musical, representando as variações do som musical.

A seguir, os vídeos do projeto educacional “Aprendendo o Dó Ré Mi” explicam como funciona a escrita e leitura das notas musicais por meio do pentagrama. Vamos conferir.



Aula #01 – O pentagrama (teoria musical para iniciantes), de **Aprendendo o Dó Ré Mi**, disponível em: <https://youtu.be/FXNDA4RJNlc>;

7. Relato do mineiro Paulo Ricardo da Silva Simão (Manhumirim, 1999), estudante do curso de licenciatura em Educação do Campo – Ciências da Natureza da Universidade Federal de Viçosa, egresso de Escola Família Agrícola.



Partitura para iniciantes | Asa branca #01 – As notas, de Aprendendo o Dó Ré Mi, disponível em: <https://youtu.be/Eh2hvo8U-xw>

As notas musicais são agrupadas em **oitavas**, isto é, em seqüências em que a frequência de uma nota tem a metade da frequência da nota subsequente. As notas são conhecidas por nomes que vão de dó a si e por letras seguidas de números que correspondem às oitavas. O dó em primeira oitava é o C1, e tem a menor frequência de dó possível de ser ouvida pelas pessoas ouvintes.

Considerando a afinação em lá com frequência de 440 Hz, a tabela a seguir reúne valores de frequência, período e comprimento de onda das notas musicais na mesma oitava desse lá.

Nº da Nota	Nota	Nota e oitava	Frequência (Hz)	Período (S)	Comprimento
48	Dó	C3	261,625519	0,003822	1,314856
49	Dó#	C#3	277,182648	0,003608	1,241059
50	Ré	D3	293,664734	0,003405	1,171404
51	Ré#	D#3	311,126984	0,003214	1,105658
52	Mi	E3	329,627533	0,003034	1,043602
53	Fá	F3	349,228241	0,002863	0,985029
54	Fá#	F#3	369,994385	0,002703	0,929744
55	Sol	G3	391,995392	0,002551	0,877561
56	Sol#	G#3	415,304688	0,002408	0,828308
57	Lá	A3	440	0,002273	0,781818
58	Lá#	A#3	466,163788	0,002145	0,737938
59	Si	B3	493,883301	0,002025	0,696521

Fonte: Adaptado de <http://www2.eca.usp.br/prof/iazzetta/tutor/acustica/introducao/tabela1.html>

Observando os dados da tabela, podemos nos perguntar:

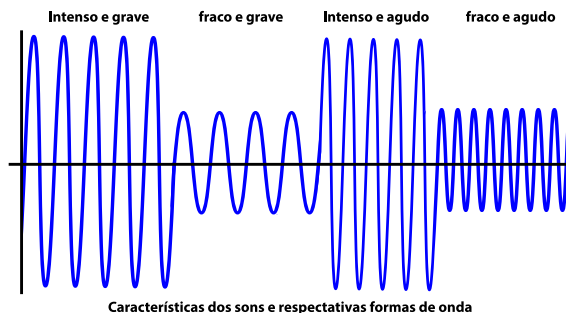
1. Qual a relação entre a matemática e a música?
2. Por que as notas Mi e Si não aparecem com o símbolo #, como as demais notas?

Para viajar mais nesse universo, sugerimos:

- PIRES, Rogerio Fernando; FRANCO, Kathila Fletcher Camargos; MORAES, Juliana Dias de. **Professora, a aula é de música ou matemática?**. 2020. Disponível em: <https://desafioonline.ufms.br/index.php/pedmat/article/view/9624/7315>.

No que tange às características das ondas, a intensidade sonora se relaciona à amplitude das ondas sonoras: quanto maior a amplitude da onda sonora, maior a intensidade sonora, e quanto menor a amplitude, menor a intensidade do som. Assim, as senoides que representam sons fortes como um grito têm altura menor que as senoides que representam sons fracos como um sussurro. A figura a seguir expressa essa relação simultaneamente à relação entre altura e frequência/comprimento de onda. Na figura aparecem, no mesmo referencial cartesiano, quatro senoides representando sons: forte e grave, fraco e grave, forte e agudo e fraco e agudo.

Como notamos, os sons que existem no mundo podem ser classificados, segundo a frequência, como sons agudos e graves. No que tange ao aparelho fonador humano, do conjunto das características e articulações anatômicas que estudamos no volume 1, surge a gama de alturas sonoras que podem ser emitidas pelo ser humano por meio de suas pregas vocais, um instrumento musical natural.



Características dos sons e respectivas formas de onda

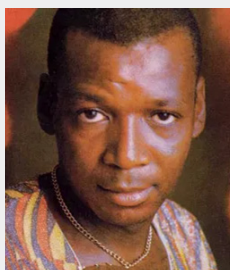
Fonte: <https://www.bpiropo.com.br/cf20050815.htm>

Essa capacidade humana permite que diferentes vozes brilhem na música e se relaciona com diversos aspectos sociais e culturais implicados em nosso bem viver.

Ao mesmo tempo, é comum pessoas que desconhecem características das Culturas Surdas terem certo estranhamento ao perceberem que pessoas Surdas desenvolvem certas atividades na sociedade. Dentre elas, está a produção de música e dança. Vamos explorar esse universo nos quadros a seguir.



UNIVERSOS DIVERSOS: Diversidade e voz



Fontes: <https://www.letras.mus.br/noriel-vilela>; <https://bit.ly/410paCB>; <https://bit.ly/3uGznlk>; <https://bit.ly/3SV0lo5>; <https://www.vagalume.com.br/georgia-brown>.

Os tons baixos do baixo fluminense Noriel Vilela e da contralto fluminense Cassia Eller, os tons altos do **contratenor** paulista Edson Cordeiro e da soprano baiana Gal Costa, e a **voz absoluta** da ítalo-brasileira Georgia Brown revelam a gama de diferentes alturas sonoras com que o ser humano faz arte com a própria voz. Nos vídeos a seguir, vamos conferir alguns registros dessas identidades vocais.



Noriel Vilela – Extensão Vocal (A1-F4), de Análise vocal, disponível em: <https://youtu.be/EzBz8pS45Kk>;



Edson Cordeiro & Cássia Eller – A Rainha Da Noite / I Cant Get No (Satisfaction) (Clípe Oficial), de Edson Cordeiro Oficial, disponível em: https://youtu.be/x4h4l_MyO94;



Gal Costa – Meu nome é Gal, de Ricardo P, disponível em: https://youtu.be/8KHtYIL7_-Q;



Super humanos – (Super Voz) Georgia Brown (espanhol), de Georgia Brown, disponível em: <https://youtu.be/4x7Dk1J5Vbw>

Agora vamos assistir à entrevista a seguir:



Com Timbre Feminino, Anderson Silva diz: Voz é parte da minha personalidade, de **Globo Mais Você**, disponível em: <https://glo.bo/1igpyB0>.

Essas pessoas têm/tiveram destaque por conta da altura da voz. Noriel Vilela teve uma carreira marcante apesar de curta, Cássia Eller fez muito sucesso com sua marcante voz grave, Edson Cordeiro ganhou prêmios com sua voz aguda e Georgia Brown é recordista do Guinness Book por alcançar notas muito agudas. Ao mesmo tempo, o lutador de artes marciais paulista Anderson Silva sofre *bullying* em função de sua voz aguda. Diante dessas reações sociais à tessitura vocal dessas pessoas, podemos nos perguntar:

1. Sob uma perspectiva de valorização da diversidade, como podemos avaliar a classificação do intervalo de 150 a 250 Hz como escala feminina e a suposta disparidade entre voz e gênero?
2. Como podemos analisar de uma perspectiva crítico-reflexiva as seguintes frases encontradas na matéria sobre Anderson Silva?:
 - a) "O campeão de UFC Anderson Silva tem sua potência vocal bem diferente da força!";
 - b) "Ele chega deste jeitinho, parece muito mais negociador, muito mais alegre, afável, de bem com a vida, é um sinal de esperteza vocal. Eu tenho certeza que, com esta voz, ele ganhou muita gente no papo.";
 - c) "Eu gosto da minha voz, acho que faz parte da minha personalidade.";
 - d) "É um pouco difícil mostrar liderança se você tem a voz baixa, mas tem a postura e vários outros fatores que ajudam a voz."

Para viajar mais nesse universo, sugerimos:

- DELAZZERI, Paola Menegat. **A voz no blues: identidade, questões de gênero e racialização**. Orfeu, v. 3, nº 2, dezembro de 2018, p. 73-95. Disponível em: <https://revistas.udesc.br/index.php/orfeu/article/view/1059652525530403022018072>.
- DORNELAS, Rodrigo; GUEDES-GRANZOTTI, Raphaela Barroso; SOUZA, Alberto Silva; JESUS, Ane Kesly Batista de; SILVA, Kelly da. **Qualidade de vida e voz: a autopercepção vocal de pessoas transgênero**. Audiology Communication Research, 25, e2196, 2020. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/acr/v25/2317-6431-acr-25-e2196.pdf>.
- **Faça o TESTE e descubra o seu tipo de voz!**. Descomplicando a Música. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=lw9iRtbsohA>.



UNIVERSOS DIVERSOS: Corpo e canto

Conhecido como "o anjo de Roma", Alessandro Moreschi foi um cantor lírico italiano, considerado o último castrato da História. Se você é ouvinte, acesse os áudios a seguir, raros registros de um castrato cantando.



Ave Maria de Gounod/Bach, cantada por **Alessandro Moreschi**, disponível em: <https://bit.ly/3CRQI5b>



Hostias Et Preces de **Eugenio Terziani**, cantada por **Alessandro Moreschi**, disponível em: <https://bit.ly/4gc8kqW>

Os *castrati* (em italiano, plural de castrato) eram cantores com extensão vocal correspondente a soprano, *mezzo* soprano e contralto, consideradas extensões vocais femininas. Essa tessitura vocal se deve ao fato dos *castrati* terem sido submetidos à extirpação dos testículos com a intenção de impedir a liberação de hormônios sexuais que provocam o crescimento esperado da laringe. Essa prática era feita na Idade Média para manutenção da voz infantil, tendo existido em coros desde o início do Império Bizantino até o início do século XIII. Três séculos depois, os *castrati* reaparecem na península itálica, devido à exigência de vozes agudas nos coros das igrejas católicas.



Fonte: <https://curtlink.com/jyW>.

No século XVI, em sua bula papal, o papa Sisto V permitiu o recrutamento dos *castrati* para o coro da Basílica de São Pedro, no Vaticano. Muitos *castrati* eram crianças órfãs, abandonadas ou filhas de famílias pobres, assim como Alessandro Moreschi, que sofreu a cirurgia aos setes anos, para cura de uma hérnia inguinal. Em Nápoles, na Itália, a castração era feita em barbearias. Em 1870, essa prática foi proibida definitivamente na Itália, último país onde ainda era realizada, e em 1902 foi proibida a utilização dos *castrati* nos coros das igrejas.

Como podemos avaliar a necessidade culturalmente imposta pelo e para o ser humano em termos de superação de seus limites a partir de cirurgias?

Para viajar mais nesse universo, sugerimos:

- AUGUSTIN, Kristina. **Os Castrati: visão holística da prática da castração na música**. Música e Linguagem – Revista do curso de Música da Universidade Federal do Espírito Santo. V. 1. Nº 1, 2012. Disponível em: <https://periodicos.ufes.br/musicaelinguagem/article/view/3601>.
- FRANCESCONI, Luiza Helena Kraemer. **Ópera e gênero: personagens em travesseiro em uma nova perspectiva**. 2018. 122 p. Dissertação (Mestrado em Música) – Instituto de Artes, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho. São Paulo, 2018. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/server/api/core/bitstreams/2ce381ed-7870-4dfe-981b-3b4c7c792e30/content>.
- MIRANDA, Sérgio Anderson de Moura. **Giovanni Battista Francesco Fasciotti: sobre o castrato que influenciou a prática vocal carioca no Brasil Joanino**. 2018. 308 p. Tese (Doutorado em Música) – Escola de Música, Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/AAGS-B57JV6>.



UNIVERSOS DIVERSOS: Culturas Surdas e arte





Fontes: Joseph Karl Stieler (1820); LancasterOline (2017); Juliana Reis (2020); Páginas de Amor (2014).

O compositor alemão Ludwig van Beethoven (Bonn, 1770 – Viena, 1827) compôs algumas de suas maiores obras após ter expressiva perda auditiva. A cantora estadunidense Mandy Harvey, ensurdecida, mostra ao mundo como é possível, com uso de tecnologia, uma pessoa ensurdecida cantar. O brasileiro Maycon Calasancio, que ficava perto das caixas de som nas festas para sentir o ritmo das músicas quando criança, tornou-se o primeiro professor surdo de balé de Brasília. Por fim, a companhia de dança China Disabled People's Performing Arts Troupe, formada por pessoas com perdas auditivas e visuais, é referência mundial na arte performática e inclusiva. Vamos conferir esses potenciais nos vídeos a seguir.

-  **Sinfonia nº 9 em ré menor op. 125 – Beethoven, de Orquestra Sinfônica TNCS**, disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=CauD2KdZBN4>;
-  **Mandy Harvey: Deaf Singer With Original 'TRY' Gets Simon's GOLDEN BUZZER | America's Got Talent 2017**, de Talent Recap, disponível em: https://youtu.be/m9_rtzO3JfY;
-  **Dança em silêncio**, de Maycon Calasancio, disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=jZ-B1bRf-E8>;
-  **Thiên Thu Quan Âm (Thousand hand Guan Yin)**, de Wanderer0816, disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=7vs-H7xLnrs>.

O dançarino surdo Eli Lys, o *designer* gráfico Gabriel Isaac e o professor surdo Fábio de Sá discorrem sobre a relação de pessoas surdas com a música e a dança nos vídeos a seguir.

-  **Música faz parte da cultura surda? - Música em Libras**, de Isflocos, disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=sg9tedyCYQI>;
-  **Explica musico para surdo. diferentes L1 e L2**, de Fábio de Sá – LIBRAS (DEAF), disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=KXPLSRGYiRQ>;

Sobre esse tema, podemos nos perguntar:

1. As pessoas Surdas desde bebês podem cantar?
2. Como entender a prática do canto e da dança por pessoas Surdas frente à ideia de que essas práticas são majoritariamente feitas por ouvintes?

Para viajar mais nesse universo, sugerimos:

- **Bailarino surdo cria grupo de dança em Libras.** tv brasil. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=efSFCRrU5Ho>;
- **Fabio de Sá convida LEO poesia em LIBRAS Tema: Carnaval.** Fábio de Sá – LIBRAS (DEAF). Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=XvpTrpIP10Y>;
- **Na China, artistas com deficiências inspiram o mundo.** ONU Brasil. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=rwMOJekbbeA>;
- **RIOS, Alan. Conheça Maycon Calasancio, primeiro professor surdo de balé de Brasília.** Correio Brasiliense. Disponível em: <https://encr.pw/LfAVn>;
- **Tai Lihua. Cultura surda.** Disponível em: <https://culturasurda.net/2014/06/06/tai-lihua/>.

Vamos refletir sobre o desafio imposto a profissionais da Educação no ensino das qualidades do som a pessoas surdas. Começamos analisando a qualidade sonora do timbre. Apesar das pessoas surdas não acessarem auditivamente as ondas sonoras, é possível associar o conceito de timbre à identidade da fonte sonora. As pessoas surdas sabem que as pessoas ouvintes, cegas ou não cegas, conseguem saber pelos sons, por exemplo, que alguém conhecido chegou a um ambiente.

No vídeo “Imitando 25 vozes de cantores!” a que assistimos, Gustavo Machado aparece imitando vozes de cantores e cantoras, mas, além disso, pessoas não cegas podem observar como o *youtuber* muda as expressões faciais e corporais enquanto faz as imitações. Por isso, assim como é possível para uma pessoa ouvinte reconhecer uma pessoa conhecida cuja voz foi imitada, é possível para pessoas surdas não cegas fazerem esse reconhecimento por outros aspectos sensoriais, como a visão e até mesmo o tato. Trata-se de formar uma ideia de identidade, uma marca que indica a origem de determinado fenômeno sensorial.

Quanto à qualidade da intensidade sonora, a ideia de potência sendo transferida em uma superfície é possível de ser formada com uma experiência tátil como aquela realizada no quadro **EXPERIENCIANDO** anterior. Essa experiência sensorial é possível de ser feita por pessoas surdas, uma vez que a sensação da pressão causada pelas ondas sonoras não depende de processamento auditivo. Assim, a associação entre intensidade sonora, volume do som e energia/pressão é imediata.

Ao contrário, a altura talvez seja a qualidade sonora de mais difícil compreensão por pessoas surdas, pois é mais difícil uma associação equivalente a sons agudos e sons graves por meio de outra via sensorial. No caso da altura sonora, há uma dificuldade adicional imposta pela língua portuguesa: o uso corriqueiro do adjetivo “alto” para se referir a volume. Um som alto, no linguajar cotidiano, refere-se a sons fortes, isto é, sons com volume alto. No linguajar da Física e da Música, um som alto significa som agudo. De fato, tanto para pessoas surdas quanto para pessoas ouvintes, é preciso distinguir esses dois usos.

Por isso, para ondas sonoras, convém enfatizar a associação feita pela Física entre três conceitos: frequência, comprimento de onda e altura. Assim, é preciso explicitar que som alto é sinônimo de som agudo, cujas ondas sonoras têm frequência maior e comprimento de onda menor que ondas sonoras de sons graves. Do contrário, som baixo é sinônimo de som grave, cujas ondas sonoras têm frequência menor e comprimento de onda maior que ondas sonoras de sons agudos.

Ainda em relação à altura sonora, pode-se fazer a associação a vozes consideradas majoritariamente femininas e masculinas, mas com as devidas considerações acerca da diversidade da voz humana, como discutido no quadro **UNIVERSOS DIVERSOS – Som e Identidade**.

Retome a questão 12 do quadro **COMO SE JUSTIFÍCA – Investigando o violão** e do do quadro **SITUAÇÃO-PROBLEMA**. Como você alteraria suas respostas com base no estudo que fizemos nesta unidade sobre as qualidades do som?

Continua no volume 3...

Conceituário ilustrado de Física

(o que estamos chamando de...)

Agudo (som): Som com frequência alta e comprimento de onda pequeno. Som alto.

Exemplo: O miado dos gatos é um som agudo.

Alto (som, relativamente à altura, na linguagem científica): Som com frequência alta e comprimento de onda pequeno. Som agudo.

Exemplo: O miado dos gatos é um som alto.

Alto (som, relativamente ao volume, na linguagem popular): Intenso (som). Forte (som).

Exemplo: O choro de um bebê é um som com volume alto.

Altura sonora: Qualidade do som que diferencia os sons entre agudos e graves, respectivamente, sons com alta frequência e comprimento de onda pequeno, e sons com baixa frequência e comprimento de onda grande.

Exemplo: O miado dos gatos tem uma altura sonora alta e o mugido das vacas, uma altura sonora baixa.

Amplificar (o som): Aumentar a amplitude da onda sonora, aumentando a intensidade do som, ou seja, seu volume.

Exemplo: Um megafone amplifica o som, aumentando sua intensidade.

Amplitude: Grandeza escalar que indica o deslocamento máximo da oscilação de uma onda em torno de um ponto de equilíbrio.

Unidade de medida no SI: metro (m).

Símbolo: A .

Exemplo: Em ondas longitudinais (figura 01), e em ondas transversais (figura 02) ocorre um deslocamento máximo da oscilação em torno da posição de equilíbrio, a amplitude.

Amplitude de uma onda Longitudinal



Figura 01

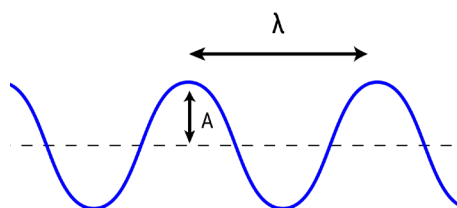


Figura 02

Amplitude de onda longitudinal:

Grandeza escalar que mede a distância entre o ponto de compressão máxima ou do ponto de rarefação mínima em relação à posição de equilíbrio.

Unidade de medida no SI: metro (m).

Símbolo: A .

Exemplo: Em uma onda longitudinal, as regiões de compressão e de rarefação oscilam em torno de uma posição de equilíbrio, efetuando um deslocamento máximo, a amplitude. (Figura 01)

Amplitude de onda transversal: Grandeza escalar que mede a distância entre as cristas ou vales em relação ao ponto de equilíbrio da onda.

Unidade de medida no SI: metro (m).

Símbolo: A .

Exemplo: Em uma onda transversal, as cristas e os vales oscilam em torno de uma posição de equilíbrio, efetuando um deslocamento máximo, a amplitude. (Figura 02).

Aparelho auditivo: Dispositivo eletrônico que possui a função de amplificar as ondas sonoras.

Exemplo: Algumas pessoas com surdez moderada utilizam aparelho auditivo.

Área: Grandeza escalar que mede a extensão de um espaço bidimensional ou uma superfície.

Unidade de medida no SI: metro quadrado (m^2).

Símbolo: S.

Exemplo: Placas fotovoltaicas captam energia solar em sua superfície para transformá-la em energia elétrica, em uma quantidade tanto maior quanto maior é a área de sua superfície coletora.

Avião supersônico: Aeronave capaz de voar mais rápido que as ondas sonoras no ar atmosférico.

Exemplo: O Concorde e o Tupolev Tu-144 foram os únicos aviões supersônicos projetados para uso civil como aviões de passageiros.

Baixo (som, relativamente à altura, na linguagem científica): Som com frequência baixa e comprimento de onda grande. Som grosso. Som grave.

Exemplo: O mugido das vacas é um som baixo.

Baixo (som, relativamente ao volume, na linguagem popular): Fraco (som). Intensidade baixa (som com).

Exemplo: O som de um cochicho tem volume baixo.

Baixo (voz): Voz masculina cuja tessitura vocal compreende sons graves.

Exemplo: O cantor paraibano Zé Ramalho tem voz de baixo.

Fonte: DIVULGAÇÃO



Barulho: Som indesejável, sem regularidade periódica nem harmonia. Ruído.

Exemplo: Barulhos com alta intensidade agredem os tímpanos e a paz interior.

Batimento: Resultado sonoro das interferências construtivas e destrutivas de duas ondas sonoras com frequências diferentes, mas muito próximas e menores que 15 Hz, em que elas ficam em fase e em oposição

de fase, de modo que ocorrem aumento e diminuição alternada na intensidade sonora do som devido à onda resultante.

Exemplo: Profissionais da música utilizam diapasão para afinar seus instrumentos musicais, prestando atenção até que não ouçam nenhum batimento, o que indica que a afinação foi alcançada.



Fonte: <https://img.freepik.com>

Biossonar: Sonar biológico que alguns animais possuem, como morcegos e golfinhos.

Exemplo: O morcego utiliza seu biossonar para realizar ecolocalização.

Castrato: Voz masculina cuja tessitura vocal compreende sons próprios de soprano, mezzo soprano ou contralto, devido à castração a que um homem foi submetido quando criança para preservar a voz aguda.

Exemplo: O cantor lírico italiano Alessandro Moreschi (1858-1922) é considerado o último castrato da História.



Fonte: Danny Dutch

Compressão (região de onda longitudinal): Efeito da aplicação de pressão positiva sobre um corpo, no sentido de aproximar as partes que o constituem, diminuindo seu volume. Contrário de rarefação.

Exemplo: Ao soprar para o interior de um tubo sonoro, geramos ondas de pressão que causam regiões de compressão e rarefação do ar em seu interior; na figura 01, que esquematiza uma onda longitudinal, as regiões de

compressão são representadas pelas regiões com maior concentração de linhas verticais azuis (que representam frente de ondas).

Comprimento de onda: Grandeza escalar que expressa o deslocamento de cada oscilação completa de uma onda.

Unidade de medida no SI: metro (m).

Símbolo: λ .

Exemplo: Em ondas longitudinais (figura 01) e em ondas transversais (figura 02) o deslocamento de cada ciclo de oscilação é representado pela grandeza comprimento de onda.

Comprimento de onda de ondas longitudinais: Grandeza escalar que mede a distância entre duas regiões de compressão consecutivas ou de duas regiões de rarefação consecutivas, equivalente à distância percorrida pela onda durante uma compressão completa ou uma rarefação completa.

Unidade de medida no SI: metro (m).

Símbolo: λ .

Exemplo: Na figura 01, que representa uma onda longitudinal, o comprimento de onda é a distância entre as duas regiões de compressão, regiões mais escuras, com frentes de onda mais próximas.

Comprimento de onda de ondas transversais: Grandeza escalar que mede a distância entre duas cristas consecutivas ou dois vales consecutivos, equivalente à distância percorrida pela onda em uma única oscilação completa.

Unidade de medida no SI: metro (m).

Símbolo: λ .

Exemplo: Na figura 02, que representa uma onda transversal, o comprimento de onda é representado pela letra grega λ (lâmbda), que indica a distância entre duas cristas consecutivas.

Contralto: Voz feminina cuja tessitura vocal compreende sons graves.

Exemplo: A cantora maranhense Alcione tem voz de contralto.

Contratenor: Voz masculina cuja tessitura vocal corresponde ao alcance da altura vocal de contralto e mezzo soprano.

Exemplo: O cantor paulista Edson Cordeiro tem voz de contratenor.



Fonte: <https://culturaiteroi.com.br/blog/municipal/2864>

Crista: Ponto de altura máxima de uma onda transversal.

Exemplo: Na figura 02, que representa uma onda transversal, aparecem duas cristas, os pontos mais altos da onda.

Elongação: Posição de um ponto ou corpo em relação a uma posição de equilíbrio.

Exemplo: Na figura 02, os dois pontos mais altos da onda são seus dois pontos de elongação máxima.

Energia: Grandeza física escalar relacionada à realização de trabalho.

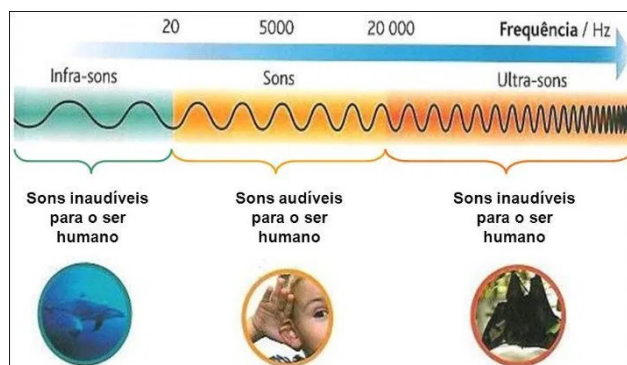
Unidade de medida no SI: joule (J).

Símbolo: E .

Exemplo: Um parque eólico é composto por moinhos movidos pela energia oriunda dos ventos.

Espectro: Intervalo de frequência ou comprimento de onda em que são indicados diferentes tipos de onda.

Exemplo: A figura abaixo representa o espectro sonoro em que os sons emitidos por baleias e golfinhos está fora da faixa audível pelo ser humano ouvinte.



Fonte: <https://musicaemercado.org/psicoacustica-como-a-percepcao-influencia-a-producao-musical/>

Estrondo sônico: Som intenso causado por ondas de choque.

Exemplo: Ao romper a barreira do som, os aviões militares do tipo caça causam estrondo sônico.

Forte (som): Intenso (som). Volume alto (som com).

Exemplo: O som do choro de um bebê é forte.

Fraco (som): Intensidade baixa (som com). Volume baixo (som com).

Exemplo: O som de um cochicho é fraco.

Grave (som): Som com frequência baixa e comprimento de onda grande. Som baixo.

Exemplo: O mugido das vacas é um som grave.

Implante coclear: Dispositivo eletrônico que transforma sons em estímulos elétricos, os quais são enviados diretamente ao nervo auditivo, utilizado por pessoas com perdas auditivas de grau severo a profundo.

Exemplo: Pessoas com surdez severa a profunda utilizam implante coclear.

Infrassom: Onda mecânica que possui frequência abaixo do espectro audível pelo ser humano ouvinte, ou seja, frequências menores que 20 Hz.

Exemplo: Quando elefantes abrem a boca, as pessoas acham que eles estão bocejando, mas, na verdade, eles podem estar emitindo infrassons.

Intensidade sonora: Grandeza escalar que mede a potência por unidade de área que a onda sonora transmite, tanto maior quanto maior a amplitude e tanto menor quanto menor a amplitude.

Unidade de medida no SI: watt por metro quadrado (W/m^2).

Símbolo: I .

Exemplo: Os sons produzidos por bateria têm intensidade sonora alta.



Fonte: <https://br.freepik.com/>

Intensidade sonora mínima: Menor intensidade sonora que pode ser percebida pelo ser humano ouvinte, com valor de $10^{-12} W/m^2$. Limiar de audibilidade.

Exemplo: O som da própria respiração que pessoas ouvintes podem ouvir durante a prática de yoga tem uma intensidade sonora próxima da intensidade sonora mínima.

Limiar de audibilidade: Menor intensidade sonora que pode ser percebida pelo ser humano ouvinte, com valor de $10^{-12} W/m^2$. Intensidade sonora mínima.

Exemplo: O som da própria respiração que pessoas ouvintes podem ouvir durante a prática de yoga tem uma intensidade sonora próxima do limiar de audibilidade.

Mezzo soprano: Voz feminina cuja tessitura vocal é intermediária entre soprano e contralto.

Exemplo: A cantora paraibana Elba Ramalho tem voz de mezzo soprano.

Nível sonoro: Grandeza escalar que expressa a intensidade sonora em escala logarítmica. Sonoridade.

Exemplo: Dentro de helicópteros utilizam-se fones de ouvido devido aos altos níveis sonoros que se têm que suportar quando o helicóptero está em funcionamento.

Nota musical: Som que se propaga com determinada frequência. Sinal gráfico escrito em pentagrama associado a esse som para organizar a linguagem musical, representando as variações do som musical.

Exemplo: As notas musicais e sua duração são expressas por sinais gráficos escritas no pentagrama.



Fonte: https://br.freepik.com

Oitava: Sequências em que a frequência da primeira nota do intervalo têm a metade ou o dobro da frequência da última nota.

Exemplo: Na figura 03, estão representadas duas oitavas de um teclado.



Figura 03

Onda bidimensional: Onda que se propaga em duas direções.

Exemplo: Quando cai num lago, uma gota d'água perturba aquele sistema, formando ondas bidimensionais com aspecto circular que se propagam em sua superfície.

Onda de choque: Onda provocada por móveis que se deslocam em um meio fluido a uma velocidade maior que a velocidade de propagação de ondas sonoras nesse meio, causando um aumento de sua pressão e densidade.

Exemplo: Ao se deslocar a uma velocidade maior que a velocidade da luz, um avião militar do tipo caça gera ondas de choque.

Onda eletromagnética: Onda constituída de campos elétricos e magnéticos oscilantes, que não precisa de meio material para se propagar.

Exemplo: A transmissão de internet via wi-fi ocorre por meio de ondas eletromagnéticas.

Onda longitudinal: Onda que se propaga na mesma direção de vibração.

Exemplo: Ao vibrarmos uma mola na direção de seu comprimento, geramos ondas longitudinais que se propagam através da mola.

Onda mecânica: Onda que precisa de meio material para se propagar.

Exemplo: A onda sonora é uma onda mecânica, pois precisa de matéria para se propagar.

Onda mista: Onda que é, simultaneamente, transversal e longitudinal.

Exemplo: Um barco ancorado revela ondas mistas, em que as oscilações ocorrem para cima e para baixo, ao mesmo tempo em que ocorrem no sentido de vai e vem na superfície da água.

Onda transversal: Onda que se propaga em direção perpendicular à direção de vibração.

Exemplo: Quando uma pessoa oscila periodicamente uma corda usada em exercícios físicos de crossfit, nela se propagam ondas transversais.

Onda tridimensional: Onda que se propaga em três direções.

Exemplo: As ondas eletromagnéticas, como a luz, são ondas tridimensionais.

Onda unidimensional: Onda que se propaga em uma única direção.

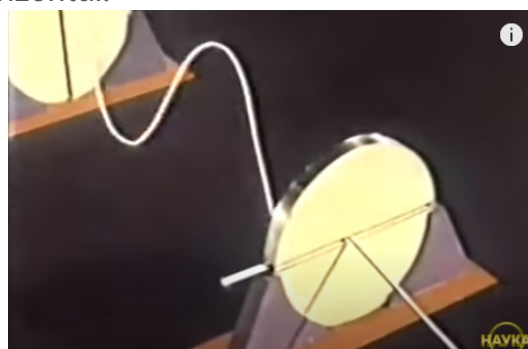
Exemplo: As ondas que se propagam nas cordas de um violão são unidimensionais.

Pentagrama: Pauta com cinco linhas básicas na qual são escritas as notas musicais.

Exemplo: As notas musicais e sua duração são expressas por sinais gráficos escritas no pentagrama.

Polarização ondulatória: Fenômeno ondulatório em que uma onda é orientada em uma única direção ou plano através da passagem em um determinado meio chamado polarizador.

Exemplo: Na figura abaixo, uma onda transversal com direção de vibração vertical sofre polarização por um aparato com fenda horizontal.



Fonte: <https://youtu.be/XKQtunqWhQU?t=150>.

Potência: Grandeza escalar que mede quantidade de energia por unidade de tempo.

Unidade de medida no SI: watt (W).

Símbolo: Pot.

Exemplo: A potência de um forno elétrico representa a quantidade de energia elétrica por

unidade de tempo que o aparelho é capaz de transformar em energia térmica.

Pressão: Grandeza vetorial que expressa a intensidade de força aplicada sobre uma superfície por unidade de área.

Unidade de medida no SI: Newton por metro ao quadrado (N/m^2); Pascal (Pa).

Símbolo: p .

Exemplo: Pessoas surdas podem sentir tatilmente as ondas sonoras, pois elas exercem pressão sobre as superfícies.



Fonte: <https://www.pexels.com/pt-br/foto/vendado-de-olhos-vendados-audicao-sentado-7859836/>

Rarefação (região de onda longitudinal):

Efeito da aplicação de pressão negativa sobre um corpo, no sentido de afastar as partes que o constituem, diminuindo seu volume. Contrário de compressão.

Exemplo: Ao soprar para o interior de um tubo sonoro, geramos ondas de pressão que causam regiões de compressão e rarefação do ar em seu interior; na figura 01, que esquetematiza uma onda longitudinal, as regiões de rarefação são representadas pela região com menor concentração de linhas verticais azuis (que representam frente de ondas).

Romper a barreira do som: Ultrapassar o valor da velocidade de propagação das ondas sonoras no ar.

Exemplo: Ao romper a barreira do som, os aviões militares do tipo caça causam estrondo sônico.

Som: Sensação auditiva causada por ondas sonoras.

Exemplo: Quando pessoas ouvintes ouvem um som, com um aparelho de celular, por exemplo, têm a sensação auditiva, interpre-

tada pelo sistema nervoso, das ondas sonoras que chegaram a suas orelhas.

Sombra sonora: Região não atingida por ondas difratadas devido ao desvio que sofrem.

Exemplo: A presença de um submarino não é identificada por um navio que emite ondas de sonar, pois estas sofrem difração desviando-se da sombra sonora onde o submarino se encontra.

Sonoridade: Grandeza escalar que expressa a intensidade sonora em escala logarítmica. Nível sonoro.

Unidade de medida no SI: decibel (dB).

Símbolo: β .

Exemplo: Dentro de helicópteros utilizam-se fones de ouvido devido às altas sonoridades que se têm que suportar quando o helicóptero está em funcionamento.

Soprano: Voz feminina cuja tessitura vocal compreende sons agudos.

Exemplo: A cantora mato-grossense Vanessa da Mata tem voz de soprano.

Superfície de onda: Frente de onda de ondas tridimensionais.

Exemplo: A figura 04 representa a tridimensionalidade de ondas sonoras, em que as cascas esféricas representam as superfícies de onda.

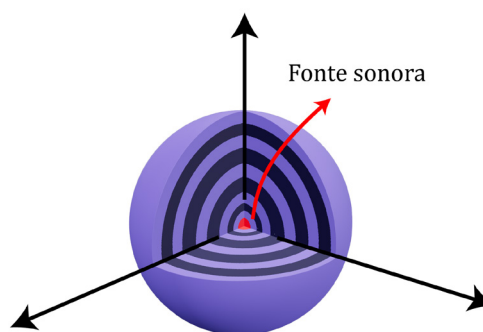


Figura 04

Tenor: Voz masculina cuja tessitura vocal compreende sons agudos.

Exemplo: O cantor paranaense Xororó tem voz de tenor.

Tessitura vocal: Conjunto de notas musicais que uma pessoa consegue emitir com

A Física e os sons que (não) estão à nossa volta

Série Conhecimento - Ed. nº 44 (Vol 02). 2024

qualidade sem esforço excessivo.

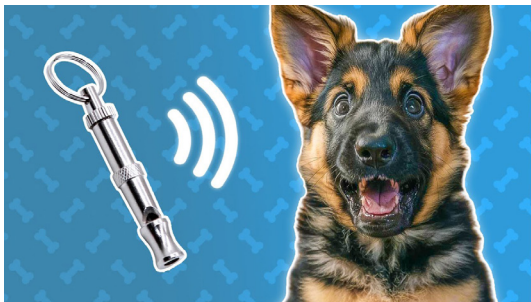
Exemplo: O piano é utilizado para verificar a tessitura de voz num teste de canto.

Timbre: Qualidade do som que permite identificar sua fonte.

Exemplo: Uma flauta de pan e uma flauta doce podem ser distinguidas ao emitirem a mesma nota musical devido a uma característica única de cada instrumento chamada timbre.

Ultrassom: Onda mecânica que possui frequência acima do espectro audível pelo ser humano ouvinte, ou seja, frequências maiores que 20 kHz.

Exemplo: Os apitos usados para adestrar cães emitem ultrassons.



Fonte: <https://youtu.be/nsmAh8V35Kg>

Vácuo: Ausência de matéria.

Exemplo: No espaço sideral, a matéria é tão rarefeita, que ele pode ser considerado preenchido por vácuo.

Vale (de onda transversal): Ponto de altura mínima de uma onda transversal.

Exemplo: Na figura 02, que representa uma onda transversal, aparecem dois vales, os pontos mais baixos da onda.

Volume (de som): Sensação auditiva relacionada à intensidade sonora.

Exemplo: As pessoas ouvintes variam o volume do rádio quando querem alterar a intensidade do som ouvido.

Voz absoluta: Habilidade de emitir sons que ultrapassam três oitavas. Pessoa que tem essa habilidade. [Não confundir com ouvido absoluto.]

Exemplo: A cantora ítalo-brasileira Georgia Brown é uma voz absoluta que atingiu 8 oitavas.





Fonte: <https://i1.sndcdn.com/artworks-000094317843-l2p7a-2-t500x500.jpg>



Unidades de medida no Sistema Internacional de Unidades (SI)

Grandeza	Símbolo	Tipo	Unidade de medida	Símbolo da unidade de medida
Amplitude	A	escalar	metro	m
Área	S	escalar	metro quadrado	m^2
Comprimento	l	escalar	metro	m
Comprimento de onda	λ	escalar	metro	m
Densidade	μ	escalar	quilograma por metro cúbico	kg/m^3
Frequência	f	escalar	hertz	Hz
Força	F	vetorial	newton	N
Impedância acústica	Z	escalar	pascal-segundo por metro ou quilograma por metro quadrado-segundo ou rayl	$Pa \cdot s/m$ ou $kg/m^2 \cdot s$ ou rayl
Intensidade sonora	I	escalar	watt por metro quadrado	W/m^2
Nível sonoro ou sonoridade	β	escalar	decibel	dB
Período, tempo, intervalo de tempo	T	escalar	segundo	s
Potência	Pot	escalar	watt	W
Velocidade	v	escalar	metro por segundo	m/s
Velocidade média	v_m	vetorial	metro por segundo	m/s

Formulário

Grandeza ou Fórmula	Fórmula	Instrumento de medida
Coeficiente de reflexão sonora	$R = \frac{(Z_1 - Z_2)^2}{(Z_1 + Z_2)^2}$	
Comprimento de onda	em cordas e em tubos abertos $\lambda_n = \frac{2l}{n}$	
	em tubos fechados $\lambda_{n-1} = \frac{4l}{2n - 1}$	
Efeito Doppler	$f_0 = \frac{f_F \cdot v_{som}}{v_{som} \pm v_F}$	
Equação Geral da Ondulatória	$v = \lambda f$	
Fórmula de Taylor	$v = \sqrt{F/\rho} \quad \mu = m/V$	
Frequência	$F = n/\Delta t \quad f = 1/T$	Frequencímetro 
	em cordas e em tubos abertos $f_n = n f_1 \quad f_n = n v / 2l$	
	em tubos fechados $f_{2n-1} = (2n - 1) \cdot f_1$ $f_n = (2n - 1) \cdot v / 4l$	
Impedância acústica	$Z = p/v \quad Z = p \cdot v$	Medidor de impedância acústica 
	Sendo: $p = F /S \quad \vec{F}_R = m \cdot \vec{a}$ $\vec{a} = \Delta \vec{v} / \Delta t \quad \Delta \vec{v} = \vec{v}_f - \vec{v}_i$ $\vec{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} (\Delta \vec{x} / \Delta t)$	

Fonte: <https://acesse.dev/fbz3A>.

Grandeza ou Fórmula	Fórmula	Instrumento de medida
Intensidade sonora	$I = Pot/S$ <p>Sendo:</p> $Pot = E/\Delta t$ $E = \vec{t} = \vec{F}_R \cdot \Delta \vec{x} $ $\Delta \vec{x} = \vec{x}_f - \vec{x}_i \quad \vec{F}_R = m \cdot \vec{a}$ $\vec{a} = \Delta \vec{v} / \Delta t \quad \Delta \vec{v} = \vec{v}_f - \vec{v}_i$ $\vec{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} (\Delta \vec{x} / \Delta t)$	
Nível sonoro ou sonoridade	$\beta = 10 \log \left(\frac{I}{I_0} \right)$	<p>Decibelímetro</p>  <p>Fonte: https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=1706777</p>
Período	$T = 1/f$	<p>Cronômetro</p> 
Sonoridade	V. Nível sonoro	
Velocidade média	$\vec{v}_m = \Delta \vec{x} / \Delta t$	

Referências

- ACERVO DIGITAL. **A Terra vista do espaço (HD): imagens do astronauta Jeff Williams da NASA**. [S.l.: s.n.], 2017. 1 vídeo (23 min). Disponível em: <https://youtu.be/jYZmWbDz-bxl>. Acesso em: 22 out. 2023.
- ANÁLISE VOCAL. **Noriel Vilela – Extensão Vocal (A1-F4)**. [S.l.: s.n.], 2014. 1 vídeo (10 min). Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=EzBz8pS45Kk>. Acesso em: 22 out. 2023.
- APRENDENDO O DÓ RÉ MI. **Aula #01 – o pentagrama (teoria musical para iniciantes)**. [S.l.: s.n.], 2020. 1 vídeo (3 min). Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=-FXNDA4RJNlc>. Acesso em: 22 out. 2023.
- APRENDENDO O DÓ RÉ MI. **Partitura para iniciantes | Asa Branca #01 – as notas**. [S.l.: s.n.], 2020. 1 vídeo (5 min). Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=Eh2h-vo8U-xw>. Acesso em: 22 out. 2023.
- AYURVIDA TERAPIAS NATURAIS. **A chama da vela para meditação na luz / The flame of a candle for light meditation**. [S.l.: s.n.], 2020. 1 vídeo (7 min). Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=gj0_fP3OFwg. Acesso em: 22 out. 2023.
- BBC EARTH LAB. **Alexander Graham Bell's telephone prototype | the genius of invention | Earth Lab**. [S.l.: s.n.], 2017. 1 vídeo (3 min). Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=0ByHPDK_LYM. Acesso em: 22 out. 2023.
- BBC NEWS BRASIL. **A erupção que o mundo inteiro sentiu – ouça 11 minutos**. [S.l.: s.n.], 2020. 1 vídeo (11 min). Disponível em: <https://youtu.be/ygUZsmKSX8o>. Acesso em: 22 out. 2023.
- BETWEEN MUSIC. **Between Music: AcquaSonic – trailer**. [S.l.: s.n.], 2016. 1 vídeo (2 min). Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=-uYdEsNao-A%E2%80%9D+width%3D%E2%80%9D628%E2%80%B3>. Acesso em: 22 out. 2023.
- CANAL RECORDANDO. **Maria Bethânia – grito de alerta / Show Band 1997**. [S.l.: s.n.], 2020. 1 vídeo (2 min). Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=allrJtHSa-gE>. Acesso em: 22 out. 2023.
- CAPOEIRA NOSSA VIDA. **Você acha que sabe tocar berimbau até ver esses feras aí!!!**. [S.l.: s.n.], 2017. 1 vídeo (5 min). Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=w8YSYjkcgXE>. Acesso em: 22 out. 2023.
- CARLA SCENO. **Me deixa só**. Viçosa-MG, [s.n.], 2020. 1 vídeo (2 min). Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=f3svt9Ygw1o>. Acesso em: 22 out. 2023.
- CÉLULAS ciliadas. Journey of Sound to the Brain. In: **Wikipédia: a enciclopédia livre**. São Francisco, CA: Fundação Wikimedia, 2022. Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/C%C3%A9lulas_ciliadas. Acesso em: 22 out. 2023.
- CHRISTIANE CONDI. **Grito Surdo – Shirley Vilhalva – 2016 – legendado**. [S.l.: s.n.], 2017. 1 vídeo (2 min). Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=rFVo8e2xs_U. Acesso em: 22 out. 2023.

- CONCEITO ILUSTRADO. **O encontro de Graham Bell e Dom Pedro II.** [S.l.: s.n.], 2019. 1 vídeo (2 min). Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=fzHGjii8TUg>. Acesso em: 22 out. 2023.
- DINES, Breno. **Maya Gabeira bate o próprio recorde mundial de maior onda já surfada por uma mulher: 22,4 m.** Rio de Janeiro: GE, 2020. Disponível em: <https://globoesporte.globo.com/radicais/surfe/noticia/maya-gabeira-bate-o-proprio-recorde-mundial-de-maior-onda-ja-surfada-por-uma-mulher-224m.ghtml>. Acesso em: 22 out. 2023.
- DIREÇÃO DA FACULDADE DE LETRAS. **O mudinho.** [S.l.: s.n.], 2018. 1 vídeo (2 min). Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=bl4-k4YqkCw>. Acesso em: 22 out. 2023.
- EDSON CORDEIRO OFICIAL. **Edson Cordeiro & Cássia Eller – a rainha da noite / I cant get no (satisfaction) (clipe oficial).** [S.l.: s.n.], 2018. 1 vídeo (2 min). Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=x4h4I_MyO94. Acesso em: 22 out. 2023.
- ELI LYS. **Surdo pode dançar?.** [S.l.: s.n.], 2019. 1 vídeo (16 min). Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=2ITZhTQ2Jjk>. Acesso em: 22 out. 2023.
- ELTIEMPO.ES. **Máquina de olas artificiales.** [S. l.: s. n.], 2016. 1 vídeo (47 s). Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=6U26qmJ3oos>. Acesso em: 22 out. 2023.
- FÁBIO DE SÁ - LIBRAS (DEAF). **Explica musico para surdo. diferentes L1 e L2.** [S.l.: s.n.], 2019. 1 vídeo (6 min). Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=KXPLSR-GYiRQ>. Acesso em: 22 out. 2023.
- FÁBIO DE SÁ – LIBRAS (DEAF). **Parte 2 – musico para surdo, temos tipos de música. Dança e som (ritmo) e cantar.** [S.l.: s.n.], 2019. 1 vídeo (7 min). Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=mlUvX0mzfco>. Acesso em: 22 out. 2023.
- FISICA UNIVERSITÁRIA. **Tema 07 – o que são ondas | experimentos – o que são ondas?.** [S.l.: s.n.], 2016. 1 vídeo (1 min). Disponível em: https://youtu.be/yGqfRB4EWeg?list=PL1Dg4Oxxk_RI2Ppb541vQyaUbqUuXtiuJ. Acesso em: 22 out. 2023.
- FISICA UNIVERSITÁRIA. **Tema 07 – o que são ondas | mola Slink: ondas transversais e longitudinais.** [S.l.: s.n.], 2016. 1 vídeo (2 min). Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=zYdho_gcCRE&list=PL1Dg4Oxxk_RI2Ppb541vQyaUbqUuXtiuJ&index=11. Acesso em: 22 out. 2023.
- FISICA UNIVERSITÁRIA. **Tema 13 – fenômenos associados a propagação ondulatória | experimentos – cuba de ondas: refração.** [S.l.: s.n.], 2016. 1 vídeo (2 min). Disponível em: https://youtu.be/CMD2KnrQwQI?list=PL1Dg4Oxxk_RI2Ppb541vQyaUbqUuXtiuJ. Acesso em: 22 out. 2023.
- GEORGIA BROWN. **Super humanos – (super voz) Georgia Brown (espanhol).** [S.l.: s.n.], 2013. 1 vídeo (10 min). Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=4x7Dk1J-5Vbw&list=RD4x7Dk1J5Vbw&start_radio=1. Acesso em: 22 out. 2023.
- GIFS DE FÍSICA. **Ondas mecânicas em cordas.** [S.l.: s.n.], 2020. 1 vídeo (59 s). Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=MF48-RWQYkY>. Acesso em: 22 out. 2023.

A Física e os sons que (não) estão à nossa volta

Série Conhecimento - Ed. nº 44 (Vol 02). 2024

- GLOBO MAIS VOCÊS. Com Timbre Feminino, Anderson Silva diz: Voz é parte da minha personalidade. **Globo Mais Você**, 5 jan. 2014. Disponível em: <http://gshow.globo.com/programas/mais-voce/O-programa/noticia/2013/08/com-timbre-feminino-anderson-silva-diz-voz-e-parte-da-minha-personalidade.html>. Acesso em: 22 out. 2023.
- GOUNOD, Charles; BACH, Johann Sebastian. **Ave Maria**. Intérprete: Alessandro Moreschi. In: **Wikipédia**: a enciclopédia livre. São Francisco, CA: Fundação Wikimedia, 2022. 1 áudio (3 min). Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Alessandro_Moreschi. Acesso em: 22 out. 2023.
- GUSTAVO MACHADO. **Imitando 25 vozes de cantores!**. [S.l.: s.n.], 2020. 1 vídeo (12 min). Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=4WsaZnyeyVc>. Acesso em: 22 out. 2023.
- IBEMRS. **Graham Bell e Dom Pedro II: nascimento do telefone**. [S.l.: s.n.], 2008. 1 vídeo (2 min). Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=L2H2LkVjEJg>. Acesso em: 22 out. 2023.
- ISFLOCOS. **Música faz parte da cultura surda? - Música em Libras**. [S.l.: s.n.], 2019. 1 vídeo (9 min). Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=sg9tedyCYQI>. Acesso em: 22 out. 2023.
- JESUS CHACIM. **Estrondo sónico da explosão do vulcão**. [S.l.: s.n.], 2014. 1 vídeo (1 min). Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=BUJUTM3b_54&feature=emb_logo. Acesso em: 22 out. 2023.
- KINGSCOLLEGECHOIR. **King's College Choir announces major change**. [S.l.: s.n.], 2014. 1 vídeo (1 min). Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=ukDAfF0-8q8>. Acesso em: 22 out. 2023.
- MAYCON CALASANCIO. **Dança em silêncio**. [S.l.: s.n.], 2020. 1 vídeo (1 min). Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=jZ-B1bRf-E8>. Acesso em: 22 out. 2023.
- MED EL. **Vídeo sobre como a audição funciona**. [S.l.: s.n.], 2018. 1 vídeo (3 min). Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=FLUwYCHFVas>. Acesso em: 22 out. 2023.
- MÚSICA E BRINCADEIRA. **Atividade musical com mola maluca**. [S.l.: s.n.], 2018. 1 vídeo (1 min). Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=llbpDUuAWj4>. Acesso em: 22 out. 2023.
- NATURAL FITNESS. **Top 5 exercícios para fazer com a corda naval | treino de crossfit | Natural Fitness**. [S.l.: s.n.], 2018. 1 vídeo (2 min). Disponível em: <https://youtu.be/FQoCO5A9pX0>. Acesso em: 22 out. 2023.
- ORQUESTRA SINFÔNICA TNCS. **Sinfonia nº 9 em ré menor op. 125 – Beethoven**. Teatro Nacional Claudio Santoro, [s.n.], 2020. 1 vídeo (72 min). Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=CauD2KdZBN4>. Acesso em: 22 out. 2023.
- PREMIER SHOP. **Teste seus ouvidos! Frequency test**. [S.l.: s.n.], 2016. 1 vídeo (2 min). Disponível em: <https://youtu.be/gf2JkPNuiCU>. Acesso em: 22 out. 2023.
- PROF. RENATO CASEMIRO. **Estudo de ondas (em construção)**. Disponível em: <https://profrenatocasemiro.wordpress.com/2015/09/17/ondas-mecanicas/>. Acesso em: 22 out. 2023.

- PSICÓLOGA IVANA FREITAS. **Consequências do grito**. [S.l.: s.n.], 2019. 1 vídeo (4 min). Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=-FOAAY8N8n8>. Acesso em: 22 out. 2023.
- REGINALDO SANTOS. **Propagação de onda na água**. [S.l.: s.n.], 2017. 1 vídeo (12 s). Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=dNWocvdlOh0>. Acesso em: 22 out. 2023.
- RICARDO P. **Gal Costa – Meu nome é Gal**. [S.l.: s.n.], 2012. 1 vídeo (3 min). Disponível em: https://youtu.be/8KHtYIL7_-Q. Acesso em: 22 out. 2023.
- RODRIGO CLAUDINO DIOGO. **Amplitude de uma onda longitudinal**. [S.l.: s.n.], 2007. 1 vídeo (1 min). Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=CZ2x67FyHhY>. Acesso em: 22 out. 2023.
- RP34510. **Exposition por**. [S.l.: s.n.], 2016. 1 vídeo (1 min). Disponível em: https://youtu.be/vGFShkIQ_Kc. Acesso em: 22 out. 2023.
- SBFA SOCIEDADE BRASILEIRA DE FONOAUDIOLOGIA. **Voz e emoção perspectivas e atualidades**. [S.l.: s.n.], 2020. 1 vídeo (62 min). Disponível em: <https://youtu.be/uemj7tY-QUS0?t=2927>. Acesso em: 22 out. 2023.
- TALENT RECAP. **Mandy Harvey: Deaf Singer With Original 'TRY' Gets Simon's GOLDEN BUZZER | America's Got Talent 2017**. [S.l.: s.n.], 2017. 1 vídeo (8 min). Disponível em: https://youtu.be/m9_rtzO3JfY. Acesso em: 22 out. 2023.
- TERZIANI, Eugenio. **Hostias et preces**. Intérprete: Alessandro Moreschi. In: **Wikipédia: a enciclopédia livre**. São Francisco, CA: Fundação Wikimedia, 2022. 1 áudio (2 min). Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Alessandro_Moreschi. Acesso em: 22 out. 2023.
- TIAGO BENTO. **Rompendo a barreira do som**. [S.l.: s.n.], 2018. 1 vídeo (1 min). Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=HHSTiGwkAtQ>. Acesso em: 22 out. 2023.
- TRIP TV. **O silêncio e a fúria - poetas do corpo**. [S.l.: s.n.], 2018. 1 vídeo (7 min). Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=20dovmD3Y1A>. Acesso em: 22 out. 2023.
- TUTOR BRASIL. **Física II (UFMG) Ondas**. Disponível em: <https://www.tutorbrasil.com.br/forum/viewtopic.php?t=79092>. Acesso em: 22 out. 2023.
- TV CULTURA ALTERNATIVA. **Ôla no Estádio Nacional Mané Garrincha no jogo França X Nigéria**. Estádio Nacional Mané Garrincha, [s.n.], 2014. 1 vídeo (38 s). Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=jrSdad_09_g. Acesso em: 22 out. 2023.
- TV CULTURA. **Bem Brasil - Tim Maia**. [S.l.: s.n.], 2012. 1 vídeo (80 min). Disponível em: https://youtu.be/kX-3v_wK-Dc?t=2696. Acesso em: 22 out. 2023.
- UFMG. Ondas/Imagens&Animações. **Site do setor de física do Colégio Técnico da UFMG**. Disponível em: http://www.coltec.ufmg.br/fisica/?page_id=3018. Acesso em: 22 out. 2023.
- VIOLÃO Samba e Choro - Como Tocar Violão - Aulas de Violão. **Cordas do violão vibrando vistas bem de perto**. [S.l.: s.n.], 2015. 1 vídeo (6 s). Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=B31hwbwCA1c>. Acesso em: 22 out. 2023.

VISURDO. **Aparelho auditivo e implante coclear**. [S.l.:s.n.], 2018. 1 vídeo (9 min). Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=G6WhUJJoyj0>. Acesso em: 22 out. 2023.

VISURDO. **Surdos em um mundo ouvinte**. [S.l.: s.n.], 2020. 1 vídeo (1 min). Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=Z7Uk6lCLkYM>. Acesso em: 22 out. 2023.

WANDERER0816. **Thiên Thu Quan Âm (Thousand hand Guan Yin)**. [S.l.: s.n.], 2011. 1 vídeo (5 min). Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=7vs-H7xLnrs>. Acesso em: 22 out. 2023.

WRKITS. **Alexander Graham Bell | overview #49**. [S.l.:s.n.], 2015. 1 vídeo (3 min). Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=Kz7D-Qwr7QQ>. Acesso em: 22 out. 2023.

ТИМУР ГАРАНИН: АРХИВ НАУЧНО-ПОПУЛЯРНЫХ ФИЛЬМОВ. **Поляризация света, 1981**. [S.l.: s.n.], 2016. 1 vídeo (18 min). Disponível em: <https://youtu.be/XKQtunqWhQU?t=93>. Acesso em: 22 out. 2023.

cead UFV