

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO RIO GRANDE DO
NORTE

JOÃO ALFREDO PRAXEDES DA PENHA

PROPOSTA DE ENSINO DE FÍSICA: ACÚSTICA COM AUXÍLIO DO AUDACITY

NATAL
2023

JOÃO ALFREDO PRAXEDES DA PENHA

PROPOSTA DE ENSINO DE FÍSICA: ACÚSTICA COM AUXÍLIO DO *AUDACITY*

Dissertação de mestrado apresentado ao programa de pós-graduação do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF) do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, na linha de Ensino de Física em cumprimento às exigências legais como requisito à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador: Prof. Melquisedec Lourenço da Silva, Dr.

NATAL

2023

Penha, João Alfredo Praxedes da.
P399p Proposta de ensino de física : acústica com auxílio do *Audacity* / João
Alfredo Praxedes da Peña. – 2023.
118 f. : il. color.

Dissertação (mestrado) – Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia do Rio Grande do Norte, Natal, 2023.
Orientador: Melquisedec Lourenço da Silva.

1. Física - Ensino. 2. Ensino audiovisual – *Audacity*. 3. Ondas sonoras.
4. Tecnologias na educação. I. Título.

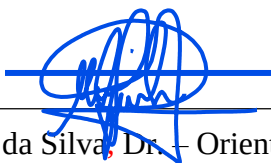
CDU 51:37

JOÃO ALFREDO PRAXEDES DA PENHA

PROPOSTA DE ENSINO DE FÍSICA: ACÚSTICA COM AUXÍLIO DO AUDACITY

Dissertação de mestrado apresentado ao programa de pós-graduação do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF) do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, na linha de Ensino de Física em cumprimento às exigências legais como requisito à obtenção do título de mestre em ensino de Física.

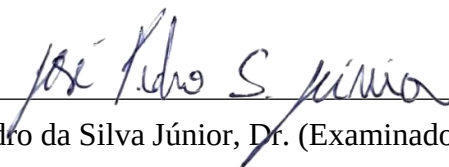
Trabalho de Conclusão de Curso, Dissertação aprovado (a) em 26/07/2023
pela seguinte Banca Examinadora:



Melquisedec Lourenço da Silva, Dr. – Orientador (Presidente da Banca)
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte



Paulo Cavalcante da Silva Filho, Dr. (Examinador Interno)
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte



José Pedro da Silva Júnior, Dr. (Examinador Externo)
Secretaria de Educação do Estado da Paraíba

Dedico esta obra ao meu filho Alexsandro Guilherme, que nasceu em meio a edificação da mesma, servindo-me naturalmente como fonte de força e inspiração para sua conclusão. Com todo amor que houver nessa vida, a meu filho.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – código de financiamento 001.

Embora aparentemente clichês nesses tipos de discursos, os agradecimentos externam sempre a parte mais importante de toda a essência do apoio que recebemos, de qualquer natureza, sobretudo moral e espiritual; família é sempre uma peça fundamental em nossas conquistas. Sendo assim, não poderia ficar sem prestigiar, com esse nobre espaço transcrito em palavras, a minha mãe, “Dona” Cícera, a qual, dentre muitas outras realizações em minha vida, foi fundamental com todo o apoio possível, moral e material e que, por vezes, ultrapassando seus próprios limites, fazendo valer a máxima de que “mãe é mãe”; o meu pai, “meu velho” ou simplesmente “Seu Joca”, que por tantas vezes me acompanhou nos caminhos distantes de casa em busca de tais conquistas, como outras universidades em que estuei, e que ele esteve lá, dando sempre a força necessária (e, por vezes, além do possível) para que eu pudesse ter um mínimo de conforto possível. A minha irmã, Juliana, que sempre acreditou em um suposto potencial duvidado até pela minha própria pessoa. Por vislumbrar a imagem de um grande vencedor, o que só trouxe estima e perseverança para que eu nunca desistisse. A minha nobre companheira Maria Eduarda, que sempre esteve ao meu lado, com todo o seu amor e carinho previstos em toda grande mulher, os seus “puxões de orelha”, a crença nas minhas conquistas, e por todo o apoio técnico: sem ela, a minha relação com o computador seria mais complicada (sem contar na produção da capa do produto e outras ilustrações).

Todavia, a maior força recebida durante a edificação desse trabalho fica a cargo de um ser que sequer entende o que isso significa (tendo em vista que ao menos aprendeu a ler); trata-se do meu filho, Alex, que teve seu nascimento exatamente em meio à produção deste trabalho, e que, de forma inexplicável, trouxe-me a força e a dedicação necessárias para a conclusão desta obra (a quem dedico com todo amor que houver nessa vida). Paralelamente à família, queria agradecer significativamente aos meus professores que contribuíram de todas as formas possíveis, até pacientemente. Gostaria de agradecer ao meu professor Melquisedec, o qual tive o imenso prazer de, além de ser seu aluno durante o curso, ser seu orientando neste trabalho, partilhando de todo o seu conhecimento, o que foi crucial para o desenvolvimento do mesmo, e de toda

uma paciência e empatia que só denota o grande profissional que é. E por fim, não menos importante, o grande apoio intelectual e moral do professor Tibério, uma grande referência profissional, pela sua didática em sala, seu intelecto, e, sobretudo, pela marcante frase de apoio, repetida por vezes ao se dirigir a minha pessoa: “Agora vai, Alfredo?”.

Ainda, como um agradecimento especial, gostaria de “presentear” esta obra ao professor Luís Jorge Negri, que me serviu como espelho e grande fonte de inspiração, ora em sala de aula, ora em desenvolvimentos frutíferos à Ciência.

Divinamente, quero agradecer a Deus por transformar cada novo segundo da minha vida em uma nova chance de mudar o meu destino, como ao escrever cada palavra responsável por formar esse manuscrito.

RESUMO

Haja vista o período pandêmico vivenciado – entre 2020 e 2022, o advento das tecnologias como ferramenta na educação foi de suma importância, uma vez que novas adaptações se fizeram necessárias ao ensino a distância, bem como aos mecanismos a serem utilizados na prática docente, de tal modo que seja também atrativo ao estudante; com o objetivo de somar às práticas de ensino novas ferramentas, o presente trabalho possui como tema de estudo o ensino de acústica – ramo de suma importância na Física – tendo como ferramenta auxiliar um programa computacional que facilite a didática do docente, como também a melhor compreensão por parte do estudante, uma vez ser de fácil execução e de boa interface. O programa computacional mencionado é o *Audacity*, ferramenta destinada ao profissional que trabalha com edição de áudios, mixagem e produções musicais, sendo adaptado ao ensino de Física no que tange o estudo das ondas sonoras. Para tanto, foi desenvolvida uma sequência didática que leva ao professor de Física técnicas de como fazer uso do *Audacity* no plano de suas aulas. Apresentada em um livro digital, a sequência didática consta de um compilado de aulas sobre o estudo do som, descrevendo ao final de cada aula uma prática experimental a ser desenvolvida pelo professor e sua turma de estudantes, sempre usando o *Audacity*, com o intuito de tornar a aula mais interativa e dinâmica. Com uma metodologia voltada para a prática experimental, o trabalho foi aplicado no período do primeiro bimestre de 2022 – entre fevereiro e junho – alcançando as expectativas desejadas, sobretudo por ter sido bem aproveitado dentro de um contexto de volta às aulas presenciais, no qual o uso de ferramentas tecnológicas na prática do ensino ficou mais evidente. Sua aplicação se deu no espaço físico da Escola Integral Estadual Prefeito Severino Pereira Gomes, no município de Baraúna, PB, nas turmas do segundo ano do ensino médio, levando como esperado o entendimento e a inovação na participação direta dos estudantes, que puderam experimentar uma nova metodologia acerca das aulas de acústica.

Palavras-chave: ensino audiovisual, tecnologia, ondas sonoras.

ABSTRACT

In view of the pandemic period experienced - between 2020 and 2022, the advent of technologies as a tool in education was of paramount importance, since new adaptations were necessary for distance learning, as well as the mechanisms to be used in teaching practice, from in such a way that it is also attractive to the student; with the aim of adding new tools to teaching practices, the present work has as its subject of study the teaching of Acoustics – a branch of great importance in Physics – having as an auxiliary tool a computer program that facilitates the teaching of the teacher, as well as a better understanding by the student, considering that it is easy to execute. and good interface. The computer program mentioned is Audacity, a tool intended for professionals who work with audio editing, mixing and musical production, being adapted to the teaching of Physics in terms of the study of sound waves. For that, a didactic sequence was developed that leads the Physics teacher to techniques on how to use Audacity in the plan of his classes. Presented in a digital book, the didactic sequence consists of a compilation of classes on the study of sound, describing at the end of each class an experimental practice to be developed by the teacher and his group of students, always using Audacity, with the aim of make the class more interactive and dynamic. With a methodology focused on experimental practice, the work was applied in the period of the first two months of 2022 – between February and June – reaching the desired expectations, mainly because it was well used within a context of back to face-to-face classes, in which the use of technological tools in teaching practice became more evident. Its application took place in the physical space of the Escola Integral Estadual Prefeito Severino Pereira Gomes, in the municipality of Baraúna, PB, in the second year of high school classes, leading, as expected, to understanding and innovation in the direct participation of students, who were able to experience a new methodology about acoustics classes.

Keywords: audiovisual teaching, technology, sound waves.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Gráfico para $y = f(x)$	26
Figura 2 - Gráfico para a função $y = x^2$	26
Figura 3 - Pulso de onda em uma corda	28
Figura 4 - Representação de uma onda periódica.....	30
Figura 5 - Exemplos de frequências sonoras conhecidas	31
Figura 6 - Velocidade do som em meios conhecidos	32
Figura 7 – Representação de um tubo de ar.....	33
Figura 8 - Gráficos do pulso de onda	34
Figura 9 - Tabela que representa o espectro sonoro audível	35
Figura 10 - Expansão do som a partir de uma fonte pontual	36
Figura 11 – Audiograma: Gráfico do limiar audível	37
Figura 12 - Nível sonoro x intensidade relativa	40
Figura 13 - Tabela de ruídos e seu nível sonoro relativo.....	41
Figura 14 - Interferência entre duas ondas mecânicas em um ponto B	42
Figura 15 - Interferência destrutiva: os pulsos estão fora de fase (defasados).....	43
Figura 16 - Interferência construtiva em vários pontos (amplitudes somadas).....	44
Figura 17 - Interferência destrutiva em vários pontos	44
Figura 18 - Efeito Doppler representado por uma fonte F e um receptor R.....	46
Figura 19 - Interface do Audacity.....	52
Figura 20 - Reprodução de ondas sonoras diferentes pelo Audacity	53
Figura 21 - Capa do livro "Audacity no ensino de Física"	54
Figura 22 - Representação ilustrativa de uma onda no Audacity	57
Figura 23 - Demonstração das vibrações reproduzidas com o uso do Audacity	58
Figura 24 – Decibelímetro utilizado em sala.....	59
Figura 25 - Ilustração do Audacity (demonstração do Timbre)	60
Figura 26 - Alunos da escola ECIPSPG reproduzindo as notas musicais no violão	61
Figura 27 - Escala gama representando as notas musicais de um piano	61
Figura 28 - Representação de ondas sonoras produzidas no copo com água e vazio.....	62
Figura 29 - Ondas idênticas e em fase apresentadas no Audacity	63
Figura 30 - Ondas defasadas apresentadas no Audacity(interferência destrutiva)	63
Figura 31 - Demonstração da interferência destrutiva.....	64
Figura 32 - Demonstração da interferência construtiva.....	64

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO.....	13
1. Objetivos.....	14
1.1 Objetivo geral	14
1.2 Específicos	14
1.3 Estrutura da dissertação	15
CAPÍTULO 2: REVISÃO DA LITERATURA	16
2.1 Tecnologias no ensino de Física	16
2.2 O Audacity no ensino de Física	17
2.3 A importância do livro didático para a aprendizagem.....	18
2.4 O livro digital no ensino de Física	19
CAPÍTULO 3: REFERENCIAL TEÓRICO.....	21
3.1 Contribuições da teoria de aprendizagem.....	22
3.2 O cognitivismo sob a ótica de Vygotsky e as adaptações às tecnologias	23
CAPÍTULO 4: FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	24
4.1 Breve explanação sobre ondulatória	25
4.2 Descrição matemática da propagação de ondas.....	27
4.3 Ondas periódicas.....	29
4.4 Acústica	31
4.5 O mecanismo da propagação do som	33
4.6 Pulso de onda sonora	33
4.7 Propriedades do som.....	34
4.8 Intensidade do som: níveis sonoros	36
4.9 O decibel	39
4.10 Fenômenos sonoros.....	42
4.10.1 Interferência.....	42

4.10.2 Efeito Doppler	45
4.10.3 Reflexão do som	49
CAPÍTULO 5: PRODUTO EDUCACIONAL.....	51
5.1 Apresentação do produto educacional	51
5.2 Conhecendo o Audacity	52
5.3 Organização do e-book	53
5.4 Justificativa	55
CAPÍTULO 6: PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	56
6.1 Qualidades do som apresentadas	57
6.2 O Timbre.....	59
6.3 Fenômenos ondulatórios	62
CAPÍTULO 7: CONSIDERAÇÕES FINAIS	65
REFERÊNCIAS	67
APÊNDICE A	69

CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO

O presente trabalho possui como tema de estudo o ensino de Acústica – ramo de suma importância na Física – tendo como ferramenta auxiliar um programa computacional que facilite a didática do docente, bem como a melhor compreensão por parte do estudante, haja vista ser de fácil execução e de boa interface.

A característica não dogmática do ensino permite ao professor inovar e buscar constantemente práticas e ferramentas que o auxiliem na melhor apreciação de suas aulas por parte do público discente. Com o avanço acelerado da tecnologia nas últimas décadas, essa busca por melhorias na qualidade de ensino se torna mais evidente e, conseqüentemente, mais necessária.

Nas aulas de Acústica, é comum que o professor faça uso de esquemas ilustrativos para demonstrar as características das ondas sonoras, utilizando-se de ilustrações projetadas ou simplesmente as desenhando manualmente no quadro. Tais práticas exigem tempo de aula, habilidade por vezes não fáceis, e disponibilidade de recursos como *datashow*, dentre outros. Ainda que se consiga realizar as essas práticas, tem-se ainda a necessidade de clareza em explicações sobre os efeitos observacionais dos fenômenos ondulatórios relacionados ao som, como efeito Doppler, eco, e as grandezas relacionadas a esse estudo, como altura, intensidade e timbre.

A fim de contribuir com esse viés didático, esse trabalho se propõe a oferecer uma metodologia eficaz acerca da prática de ensino dotada de métodos inovadores, como o uso de ferramentas contemporâneas que auxiliem a prática docente.

No que se refere aos objetivos, o já referido trabalho detém uma abordagem exploratória, uma vez que possui como finalidade proporcionar maior aproximação com o tema proposto (aulas com auxílio de ferramentas computacionais), explicitando-o a partir da construção de práticas derivadas de teses e hipóteses. Segundo Gil (2002), as pesquisas exploratórias têm como objetivo principal o aprimoramento de ideias ou a descoberta de proposições. Contudo, como observa Marandino (2003), as inovações na prática pedagógica ainda encontram resistência, uma vez que os professores ainda têm seu campo restrito a práticas tradicionais de ensino.

Quanto aos meios de investigação, esta dissertação adotou como método o levantamento bibliográfico desenvolvido com base em material já elaborado sobre a

temática da Acústica no ensino da Física. Teorias da aprendizagem também fundamentam de forma substancial essa dissertação.

No mais, a pesquisa bibliográfica, conforme Marconi e Lakatos (2003), propicia o exame de um tema sob um novo enfoque ou uma nova abordagem, chegando a conclusões dinâmicas e inovadoras; aqui, serão utilizados como fontes bibliográficas para referenciar o conteúdo técnico, livros e artigos científicos.

1. Objetivos

1.1 Objetivo geral

Este trabalho tem como objetivo propor uma sequência metodológica didática que, por meio de um livro em formato digital (*e-book*), leve ao público docente atributos inovadores úteis à prática de ensino – especificamente ao ensino de acústica – de tal modo que auxilie nas aulas de Física, facilitando o método observacional a ser trabalhado em sala. Tal sequência será desenvolvida a partir de um programa computacional utilizado na indústria de gravação e edição de áudios, que auxiliará nas aulas a serem ministradas.

1.2 Específicos

- a) Desenvolver um livro em formato digital que leve ao público - alvo novas práticas de ensino.
- b) Propor uma sequência didática de ensino que possibilite ao professor aperfeiçoar as suas aulas, bem como inovar no que diz respeito aos recursos tecnológicos usados.
- c) Identificar, mediante estudo literário sobre teorias de aprendizagem, possíveis vícios encontrados na prática de ensino tradicional.
- d) Oferecer aos professores novos métodos que os ajudem a inovar nas aulas de acústica.
- e) Apresentar um recurso computacional de reprodução e edição de áudio que auxilie os professores nas práticas experimentais concernentes à acústica.

1.3 Estrutura da dissertação

Composta em sete capítulos, essa dissertação se inicia na introdução, discorrendo sobre o uso de um livro digital (*e-book*), tendo como finalidade oferecer uma sequência didática que permita ao professor. Os capítulos seguintes compõem o arcabouço do trabalho proposto: o conteúdo do próprio livro digital. Uma sequência didática essencialmente fundamentada nos estudos relacionados à acústica e em como o professor pode aperfeiçoar suas aulas em suas práticas didáticas a partir de um novo recurso tecnológico – o *Audacity*. O capítulo 2 apresenta uma revisão da literatura, discorrendo sobre os principais livros utilizados na produção desta obra, sobretudo no que diz respeito à acústica no ensino de Física, não deixando de mencionar algumas obras que já propõem estudos sobre o uso de recursos tecnológicos em sala, bem como métodos inovadores.

Já o capítulo 3 abrange o referencial teórico, o qual se discorre sobre as teorias da aprendizagem abordadas na aplicação do livro digital. O referencial teórico é de suma importância, uma vez que fundamenta o produto educacional de forma fiel às teorias propostas. Por sua vez, a fundamentação teórica, contida no capítulo 4, aborda de forma mais técnica e específica o conteúdo previsto no produto educacional, tanto ao que compete ao meio científico quanto ao programa computacional utilizado como ferramenta proposta na sequência didática. É nesta seção que será explicado o conteúdo científico com mais propriedade, de modo a fundamentar de forma mais técnica o que está contido no produto educacional proposto. Partindo da perspectiva do capítulo anterior, o capítulo 5 traz a descrição detalhada do produto educacional, trazendo os parâmetros de sua estrutura, bem como as motivações que levaram ao seu desenvolvimento. Seguindo com o capítulo 6, este irá discorrer dando prosseguimento ao anterior, porém, trazendo os procedimentos metodológicos adotados; é nesse capítulo que será detalhada a aplicação do produto, bem como seus resultados, se foram ou não esperados e satisfatórios, e se corroboram as expectativas que motivaram a edificação desse projeto.

Finalmente, o capítulo 7 exhibe as considerações finais em que são expostos os aspectos positivos e negativos da produção e execução do trabalho, como também uma breve revisão sobre o mesmo.

CAPÍTULO 2: REVISÃO DA LITERATURA

2.1 *Tecnologias no ensino de Física*

É comum nos dias atuais o uso de recursos tecnológicos no ensino de Ciências, uma vez que o advento da tecnologia se torna cada vez mais evidente nas salas de aula, como também é cada vez mais comum perceber estudantes fazerem uso de dispositivos móveis como ferramenta auxiliar de ensino. No trabalho “Tecnologias digitais no ensino de Física: uso de celular na abordagem de conteúdos programáticos de velocidade”, escrito em coautoria, observa-se a necessidade da inserção da tecnologia articulada à vivência do estudante, denotando a importância do uso dos celulares por meio de aplicativos na aprendizagem concernente à Física (mais especificamente referente ao cálculo em sistemas que envolvam a grandeza velocidade). O referido artigo corrobora a importância do uso da tecnologia como aliada na aprendizagem mediante pesquisa qualitativa exploratória e descritiva, desenvolvida por professores do Instituto Federal do Espírito Santo, junto aos estudantes do Ensino Fundamental II, fundamentando-se na mediação pedagógica por Vygotsky e nos pressupostos da aprendizagem móvel da UNESCO (2014).

A ideia foi apresentar aos estudantes um aplicativo de celular denominado “Meu professor de Cálculo”, que os ajudou a desenvolver problemas que envolvam grandezas como tempo e distância, e assim inferir a velocidade de um móvel qualquer. Ainda segundo o próprio artigo, o uso das tecnologias móveis também contribuiu significativamente para a motivação e a interação dos alunos durante as aulas, e, como consequência, com a melhoria da aprendizagem nos conceitos científicos dos temas abordados.

Os resultados do trabalho supracitado foram satisfatórios, e enfatizam a ideia de que a tecnologia pode, de fato, ser uma boa aliada no desenvolvimento das aulas de Física por parte do professor, afirmando a tese de Bazilatto e Júnior (2012).

Partindo dessa perspectiva, essa dissertação teve como motivação justamente o uso de uma ferramenta tecnológica que possa auxiliar o professor em suas aulas de Física, mais especificamente no âmbito da acústica. O referido aparato tecnológico é um programa computacional de nome *Audacity*, que potencializa o entendimento dos fenômenos sonoros e as principais propriedades do som, conforme Moran (2012):

“Ensinar e aprender exigem hoje muito mais flexibilidade espaço-temporal, pessoal e de grupo, menos conteúdos fixos e processos mais abertos de pesquisa e comunicação” (MORAN, 2012).

Assim sendo, a inovação é fundamental para o desenvolvimento do processo educativo, possibilitando a criação de novas habilidades que destoem de paradigmas e métodos mais tradicionais. A seguir, uma sucinta descrição sobre o uso do *Audacity* no Ensino de Física.

2.2 O *Audacity* no ensino de Física

Conforme Ribeiro e Resende (2018), a utilização de ferramentas computacionais como recurso didático no ensino de Física permite a criação de propostas de atividades que se tornam potencialmente mais claras para o estudante; no caso do *Audacity*, programa computacional frequente na indústria de edição e mixagem de áudio, pode ser perfeitamente adaptado para melhor ilustrar conteúdos relacionados à disciplina de acústica.

“Com as tecnologias de informação e comunicação (TIC), surgem novas ferramentas que permitem auxiliar o professor e suas aulas sobre conceitos e fenômenos físicos, mas é preciso criar condições para que os alunos façam a transição do que é apresentado pelo programa e a realidade estudada.” (RIBEIRO e RESENDE, 2018, p.46).

Por se tratar de uma ferramenta destinada ao profissional da indústria de produção de áudios, como gravadoras e estúdios de rádio, exige-se do professor um estudo prévio para que possa produzir suas próprias aulas a partir do que se pretende trabalhar em sala. O *Audacity* é o recurso trabalhado no livro digital, objeto dessa dissertação, que propõe uma sequência didática destinada ao professor de Física, a partir do uso dessa ferramenta, para as aulas de acústica no Ensino Médio.

Como é possível inferir, o trabalho em questão evidencia a importância das tecnologias como instrumento de auxílio ao professor nas descrições, em suas aulas, de conceitos e fenômenos físicos a serem estudados, desde que se criem condições para que os alunos possam associar o que é apresentado com a natureza do que se é estudado. Destarte, os autores sugerem uma sequência de cinco atividades exploratórias acerca de fenômenos ondulatórios, que devem ser realizadas com o uso do *Audacity*, facilitando a

observação fenomenológica para os estudantes, uma vez que o mencionado programa facilita tais observações.

Fazendo uma simplória analogia com os trabalhos citados, o produto educacional proposto nesta dissertação se fundamenta nas ideias esclarecidas nessa revisão literária, buscando enfatizar o uso de uma ferramenta computacional que leve inovações para as aulas de acústica, bem como um maior aprofundamento no estudo das propriedades do som, através de atividades experimentais que possibilitem aos estudantes associá-las ao que é apresentado com o uso do *Audacity*. A proposta, no entanto, é apresentada em forma de uma sequência didática descrita em um livro digital contendo um “passo a passo” sobre o uso do programa *Audacity*, seguida de uma série de atividades experimentais - diferentes das apresentadas no artigo - descritas de maneira que some ao professor novas possibilidades de inovação em sua aula.

2.3 A importância do livro didático para a aprendizagem

A importância do livro didático no ensino, dentre outros fatores, dá-se pelo fato de compor um aglomerado de conjuntos educativos que norteiam os conhecimentos e habilidades exigidos ao público no qual o livro se destina. Sob a ótica do estudante, a importância do livro didático se dá pelo próprio conteúdo oferecido, norteando a aprendizagem e compartilhando ilustrações e esquemas que facilitam a assimilação na aprendizagem, através de fotos e explicações, conforme Frison (2009).

No que compete ao professor, o livro didático tem a sua contribuição para o planejamento de ensino, oferecendo procedimentos e caminhos para uma sequência lógica que leve à aprendizagem. Ainda segundo o autor:

“Ao analisar a importância atribuída ao livro didático pelos professores na preparação e desenvolvimento de suas aulas e quais suas contribuições na formação dos estudantes percebe-se que ele se constitui em um dos materiais didáticos e, como tal, passa a ser um recurso facilitador da aprendizagem e instrumento de apoio à prática pedagógica” (FRISON et. al, 2009, p.4).

Como se pode observar, é inegável a importância do livro didático para o ensino, uma vez que facilita o trabalho do docente, permitindo-o evitar lacunas no caminho da aprendizagem, bem como leva ao estudante recursos facilitadores no transcorrer da aprendizagem, Karylleila (2016).

A autora argumenta que o livro didático é, em muitos casos, a única ferramenta de ensino que tem a função de auxiliar o trabalho do professor e de orientar os estudantes em seu aprendizado, corroborando a importância desta peça fundamental no processo de aprendizagem. A seguir, observa-se uma tendência nos processos de aprendizagem, bastante útil e prática que, nos últimos anos, vem se tornando cada vez mais frequente no sistema educacional brasileiro, sobretudo no que diz respeito ao Ensino de Física: o livro digital.

2.4 O livro digital no ensino de Física

Ainda dentro da perspectiva do livro didático, é notável nos dias atuais o uso do livro digital (*e-book*) como ferramenta de ensino de fácil acesso, uma vez que, na maioria das vezes, o livro é disponibilizado de forma gratuita e pode ser compartilhado entre os próprios estudantes.

Essa digitalização da literatura passou a se tornar uma prática importante na popularização da leitura, sobretudo durante e após o mais recente período pandêmico que o mundo vivenciou, uma vez que o acesso às escolas e bibliotecas fora restrito e, por alguns momentos, fora proibido.

Segundo pesquisa publicada no artigo “A pandemia da COVID-19 e o seu impacto na indústria do livro no Brasil”, em 2019, 47% de uma amostra de leitores afirmou nunca ter ouvido falar de livro digital. “Esse percentual se mantém desde 2012, quando 45% da amostra nunca tinha ouvido falar em livros digitais, o que gera uma certa preocupação”, conforme Endo (2021). Todavia, no período pós-pandemia ficou evidente que a popularização do livro digital ganhou força, conforme explica o autor:

“Se ainda não existe um dado direto, pode-se inferir, com base no consumo de *ebooks*, que o processo de adoção do livro digital, devido à pandemia, pode ter acelerado. A pesquisa Conteúdo Digital do Setor Brasileiro, em sua edição de 2021, com ano base, 2020, indica que houve um crescimento de 81% na quantidade de unidades vendidas: de 4,74 milhões em 2019 para 8,57 milhões em 2020”. (ENDO, 2021).

Como se pode observar, é notável o alcance dos *e-books* entre os leitores, como também é notável a sua importância durante a pandemia, facilitando o acesso à leitura

em um momento histórico que, por circunstâncias naturais, levou a população a um distanciamento do livro físico. Ainda segundo Endo (2021):

A pandemia trouxe grandes mudanças nos hábitos da população: trabalho remoto, distanciamento social, períodos de *lockdown*, aulas online... A necessidade de adaptação se fez presente em diversas áreas e, em relação à leitura não foi diferente. Ao se ver perante o fechamento de livrarias e bibliotecas, o leitor teve de buscar alternativas e o consumo do livro digital passou a ser a alternativa mais natural. (ENDO, 2021).

Uma vez admitindo a evidência de que o livro digital é um novo conceito de leitura e que se consolidou nos últimos anos, torna-se necessário um entendimento mais técnico de como produzir e como trabalhar com esse tipo de ferramenta no Ensino de Física, haja vista ser a proposta desse trabalho. No que tange ao desenvolvimento de um livro digital, merece destaque o trabalho desenvolvido pelo professor Melquisedec, intitulado de “Guia básico de desenvolvimento de um livro digital em formato *E-Pub*. 2016. (Desenvolvimento de material didático ou instrucional – Manual do desenvolvedor)”, em que o autor enfatiza a importância do livro digital no cotidiano e, de forma técnica e didática, descreve e ensina os passos para a produção de um livro digital, orientando como o fazer, desde sua interface ao desenvolvimento de conteúdo.

Já na dissertação do professor Luiz Fabiano, o destaque se dá pela importância do uso dos recursos tecnológicos nas aulas de eletrodinâmica, por parte do discente, o que leva os estudantes a um campo de observação da realidade de forma mais clara.

É evidente que, na atual sociedade, trabalhar conceitos de eletrostática e eletrodinâmica, que envolvem abstração, a partir de aulas voltadas apenas para o uso de uma lousa, livros impressos e cadernos não despertam tanto interesse quanto uma aula onde se faz uso de recursos visuais tecnológicos, como animações computacionais e questionários digitais e interativos. (ARAUJO, 2017).

Como já evidenciado, nos mais diversos campos da Física o livro digital tem se mostrado de extrema importância no desenvolvimento da aprendizagem, uma vez que permite ao professor o poder de atuar fora dos limites tradicionais que outrora, por condições impostas pelo próprio avanço cronológico das Tecnologias de Informação e

Comunicação (TCI's), não possibilitava a exploração de recursos mais sofisticados e de melhores observações. No campo da Mecânica Clássica, por exemplo, o trabalho de Virginio (2017) expõe a importância do livro digital no ensino de sistemas referenciais não inerciais e as forças fictícias no Ensino Médio, levando ao aluno uma nova perspectiva sobre o entendimento da referida matéria. O autor assim descreve:

O processo de ensino-aprendizagem no ensino de ciências deve ter como objetivo a aproximação do aluno, de forma harmoniosa, da convivência com o meio e motivá-lo a participar de forma consciente da evolução tecnológica que acontece no ambiente que lhe rodeia. (VIRGINIO, 2017).

Com o intuito de corroborar a importância do livro digital no Ensino de Física, a ideia desse trabalho, assim como os supracitados, é possibilitar ao professor novos caminhos que sejam úteis ao aprimoramento de suas aulas por meio de recursos que levem ao estudante observações mais claras e interações com as situações descritas em aula. Em formato de um *e-book* intitulado de “*Audacity* no Ensino de Física”, voltado para a disciplina de acústica, a sequência didática proposta conta com a abordagem de um recurso computacional – *Audacity* – apresentado de forma exploratória em um tutorial que ajuda a familiarização com o conteúdo nele disposto, objetivando sugerir possibilidades inovadoras nas aulas com uso dessa ferramenta em atividades experimentais descritas. No capítulo 4, observa-se a apresentação do assunto abordado no livro digital mencionado, os fundamentos científicos e as propriedades físicas apresentadas.

CAPÍTULO 3: REFERENCIAL TEÓRICO

Como fundamentos deste trabalho, tem-se como referências teorias da aprendizagem voltadas para o método exploratório, com o objetivo de fundamentar a didática apresentada no produto educacional objeto dessa dissertação. Para tanto, a ideia defendida por Vygotsky de que a aprendizagem se dá pela relação social do indivíduo e a interação com o meio irá embasar o que será abordado neste capítulo.

3.1 Contribuições da teoria de aprendizagem

A importância das teorias de aprendizagem se deve ao fato de tornar possível a organização sistemática de uma determinada área de conhecimento. Partindo desta ótica, nota-se que várias dessas teorias tentam evidenciar os processos de aprendizagem de maneira cognitiva, oriundos da organização de informações do que é aprendido no ato de conhecer (MOREIRA, 1999). Na perspectiva de Vygotsky, “o construtivismo é a habilidade do indivíduo em ser capaz de interpretar o mundo, e não somente de responder a ele”; logo, infere-se que o indivíduo se desenvolve dentro de um contexto histórico-social no qual faz parte, levando-se em consideração os costumes e a cultura presentes em sua época como peças fundamentais no desenvolvimento de suas relações com a natureza e com a sociedade em que vive. Como argumenta Santos (2013), a teoria de Vygotsky afirma que a cultura se integra ao homem por meio de suas atividades, concluindo que a aprendizagem é um desenvolvimento sociocultural.

“A teoria histórico-cultural compreende o desenvolvimento humano como resultado da apropriação da cultura humana historicamente elaborada, por outras palavras considera que o homem é um ser histórico, resultante de suas relações sociais e culturais, que se desenvolve a partir das interações que faz com o meio a que pertence.” (SANTOS, 2013, p. 50).

Com base no rápido avanço tecnológico presente em nossa sociedade atual, os processos de aprendizagem e as metodologias de ensino acabaram por se adaptar ao contexto social atual, com adaptações necessárias ao recente período de isolamento social – meados de 2020 a 2022 – e com práticas que visam facilitar o processo cognitivo por meio da tecnologia. Frente a esse contexto, a tarefa de desenvolver competências e habilidades relacionadas ao uso de apropriação da informação são mecanismos que visam potencializar a construção do conhecimento, assim como fornecem ao indivíduo a capacidade de analisar de forma crítica suas necessidades informacionais, de acordo com seu contexto.

Segundo a teoria de Vygotsky, é reforçando o papel do educador como mediador, que, fazendo uso de mecanismos compatíveis a sua realidade, pode-se chegar ao aprendizado desejado.

3.2 O cognitivismo sob a ótica de Vygotsky e as adaptações às tecnologias

Como observado no tópico anterior, o desenvolvimento cognitivo do indivíduo se dá pelas relações entre o meio social em que este vive, tendo os fatores socioculturais como preponderantes ao seu aprendizado. No que concerne às metodologias de ensino mais atuais, que envolvem ferramentas de tecnologia e informação, (TCI's) é irrefragável a importância de adaptações feitas por parte do educador referentes a novos recursos que podem ser usados em sala. Ou seja, os produtos educacionais contemporâneos exigem, por parte do educador, sistemas elaborados que comportem conhecimentos organizados a fim de viabilizar a didática.

“Construir uma teoria pedagógica a partir da compreensão de nossa realidade histórica e social, a fim de tornar possível o papel mediador da educação no processo de transformação social. Não que a educação possa por si só produzir a democratização da sociedade, mas a mudança se faz de forma mediatizada, ou seja, por meio da transformação das consciências.” (ARANHA, 1996, p. 216).

Conforme Pozzatti (2010), no que tange ao uso das tecnologias como mecanismos de aprimoramento nas práticas pedagógicas, o cognitivismo se torna fundamental e inerente aos processos práticos de aprendizagem, uma vez que foge à psicologia e se liga aos aspectos sociais que cercam o estudante, como a engenharia e as TCI's. Uma vez aplicado, um produto educacional que comporte o uso de novas ferramentas computacionais será viável no processo de aprendizagem, desde que o educador consiga sistematizar e organizar suas ideias de modo que haja conexão entre o que é proposto e o recurso utilizado.

O epicentro da teoria de Vygotsky é a atividade como unidade de construção do desenvolvimento consciente. É o sistema de transformação do meio, com ajuda de instrumentos, que podem levar o aluno à construção de uma estrutura consciente do seu aprendizado. No trecho apresentado a seguir, extraído de um artigo publicado em 2010, é possível observar a importância das inovações oferecidas pela globalização tecnológica que se somam a novos métodos de ensino:

“Qualquer recurso digital pode ser reutilizado para dar suporte à aprendizagem, os quais são distribuídos pela rede. Esses objetos são

pequenos componentes reusáveis – vídeo, demonstrações, tutoriais, procedimentos, histórias e simulações – que servem para desenvolver o conhecimento.” (MUSSOI; POZZATTI; BEHAR, 2010, p. 123).

Destarte, deduz-se aqui que uso das tecnologias digitais se destaca, não podendo ter sua relevância ignorada, uma vez que passa a fazer cada vez mais parte do meio social em que o aluno está inserido – ignorar o uso dessas tecnologias seria como desvincular os processos de aprendizagem do meio social. As inovações metodológicas que enveredam para esse sentido acabam sendo indispensáveis, haja vista que o aprendizado não deve estar centrado exclusivamente no educador, mas sim em um desenvolvimento dinâmico com o meio.

CAPÍTULO 4: FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

É possível que as representações utilizadas hoje no estudo da ondulatória tenham sido desenvolvidas no estudo da natureza da luz. Segundo Pires (2011), Isaac Newton acreditava que a luz era matéria, defendendo assim a teoria corpuscular da luz. Newton acreditava que um raio de luz era constituído de minúsculas partículas materiais emitidas a partir de uma fonte luminosa.

“Um dos argumentos que ele usou para defender essa ideia foi que a luz se propaga em linha reta e se reflete no espelho como uma bola na parede. Outro argumento era que a luz, diferentemente do som, não dobra esquinas.” (PIRES, 2008, p. 264).

Como se sabe hoje, o som é um tipo de onda mecânica, o qual carece de um meio material e elástico para que ocorra sua propagação. Sendo assim, como se pode inferir, a distinção entre a natureza ondulatória e corpuscular da luz já era uma questão observada desde a época de Newton, o qual fez uso de analogias entre as diferentes formas de propagação da luz para defender a teoria corpuscular. A distinção entre as naturezas ondulatórias do som e da luz foi melhor evidenciada com a obra de Huygens, como explica Nussenzveig:

“A obra de Huygens já continha uma discussão dos efeitos de dupla refração, relacionados com a polarização da luz, que também foram discutidos por Newton e depois por Fresnel, levando à conclusão de que as ondas de luz são transversais, e não longitudinais como as do som.” (NUSSENZVEIG, 1998, p.7).

O estudo mais detalhado sobre ondulatória neste trabalho, como será observado, segue um viés voltado ao entendimento do som, especificamente, uma vez que se trata de uma obra que disserta sobre o ensino de acústica.

4.1 Breve explicação sobre ondulatória

A princípio, é válido entender que as ondas se constituem no mecanismo pelo qual a energia é transportada de uma região a outra do espaço, sem que ocorra o transporte de matéria (refere-se como ondas viajantes ou ondas progressivas).

Conforme Gaspar (2016), Galileu, ao estudar o período de oscilação de um pêndulo, concluiu que o tempo de uma oscilação completa é constante, não dependendo da sua amplitude ou peso, apenas do comprimento. Esse teria sido os primeiros estudos sobre ondulatória de forma matemática, o que culminou na construção dos primeiros relógios mecânicos de precisão.

Uma onda é uma perturbação, um distúrbio, que causa uma modificação nas propriedades físicas (variação de pressão, de densidade ou de temperatura, vibração, variação do campo eletromagnético etc.) que se propaga em algum meio (vácuo incluído, como no caso das perturbações de um campo eletromagnético). Segundo Nussenzveig (1998), um efeito caracteristicamente ondulatório é o efeito da interferência, que pode ser observado tanto na luz (ondas eletromagnéticas) como no som (ondas mecânicas). Logo, infere-se que uma onda é, em sua essência, uma perturbação causada em um meio qualquer, podendo ser caracterizada de duas formas quanto a sua natureza de propagação (mecânicas, eletromagnéticas e gravitacionais).

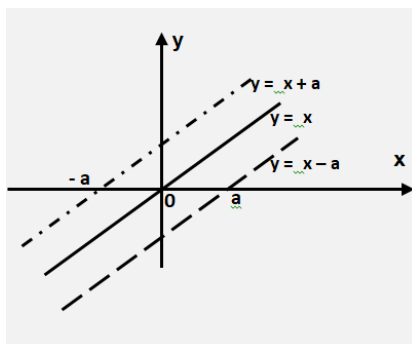
Objetivando bem entender a descrição matemática da propagação das ondas, observa-se inicialmente os seguintes problemas matemáticos:

- **Exemplo 1:**

Sendo $y = f(x)$, o significado de $y = f(x + a)$ e $y = f(x - a)$ sendo

a uma constante positiva, deve ser:

Figura 1 – Gráfico para $y = f(x)$



Fonte: Autoria própria (2022)

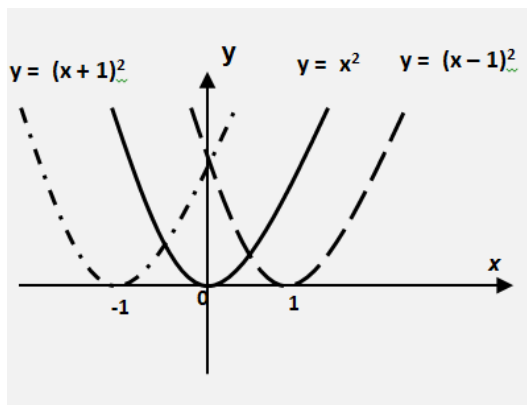
Na ilustração acima, obtém-se os gráficos de $y = x$, $y = x + a$ e $y = x - a$ onde ($a = \text{const.} > 0$).

Note que quando x é substituído por $x - a$, o gráfico correspondente desloca-se rigidamente para a direita; já a troca de x por $x + a$ implica em um deslocamento rígido do gráfico para a esquerda. Analogamente, a mesma ideia é válida para o exemplo a seguir:

- **Exemplo 2:**

Considera-se agora $y = x^2$. Observe na figura abaixo o efeito produzido quando se substitui x por $x + a$ e x por $x - a$. (Para melhor visualização, considera-se $a = 1$).

Figura 2 - Gráfico para a função $y = x^2$



Fonte: Autoria própria (2022)

Novamente observa-se que a mudança $x \rightarrow x \pm 1$ corresponde a um deslocamento rígido do gráfico, para a direita (–) ou para a esquerda (+).

A conclusão desses exemplos é simples, porém muito importante. Com $a > 0$:

- $f(x - a)$ Corresponde a um deslocamento rígido da curva $y = f(x)$ para a direita;
- $f(x + a)$ Corresponde a um deslocamento rígido da curva $y = f(x)$ para a esquerda.

Esse é um resultado simples, porém de grande importância para a descrição matemática da propagação das ondas. Uma observação pertinente é a de que se costuma representar as ondas sonoras em um plano bidimensional, mesmo se tratando de ondas tridimensionais, como será observado adiante.

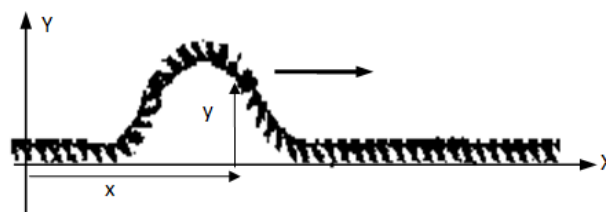
✓ **Obs.:** O *Audacity*, software utilizado no produto educacional, ilustra graficamente as ondas em um plano bidimensional.

4.2 Descrição matemática da propagação de ondas

Inicialmente, considera-se um pulso que se propaga em uma corda esticada¹ (Figura 3). A situação decorre em algum instante $t > 0$ após a geração do pulso (supondo ter ocorrido inicialmente no instante $t_0 = 0$). A ideia é como especificar a posição de todos os elementos da corda em cada instante t .

¹ Exemplos como a propagação em uma corda ou em molas e pêndulos, por serem visíveis, tornam a explicação menos complicada. É comum o uso desse mecanismo no estudo dos movimentos oscilatórios.

Figura 3 - Pulso de onda em uma corda



Fonte: Autoria própria (2022)

Considerando:

$$y = f(x) \quad (1)$$

Com y sendo o indicativo da coordenada vertical de um elemento da corda (a “altura” do pulso), x representando a coordenada horizontal correspondente ao elemento da corda considerado (o “comprimento” do pulso) e f a forma matemática que traduza o comportamento do pulso depois de decorrido certo intervalo de tempo, a equação (1) pode ser entendida como uma “fotografia” da corda no instante $t > 0$.

Como o pulso se propaga pela corda, a coordenada vertical y de um elemento x da corda dependerá do instante t considerado. Infere-se que a descrição da propagação deve ser feita por uma função do tipo:

$$y = f(x, t) \quad (2)$$

- A equação (2) é referida como “função de onda”.

“Embora a propagação de pulsos seja de natureza ondulatória, seu estudo não permite a abordagem de todas as características desse movimento. Para isso, é necessário considerar uma série contínua de pulsos.” (GASPAR, 2016, p. 16).

A situação esquematizada na figura 3 corresponde à propagação de um pulso para a direita com alguma velocidade v . Ressalva-se que v é indicativo da velocidade de

propagação do pulso na corda, ou seja, a velocidade de perturbação da onda (não se trata da velocidade de qualquer elemento da corda – esses não se propagam, apenas oscilam em torno de suas posições de equilíbrio).

Desprezando as perdas devido ao atrito interno, pode-se considerar que a onda se propaga sem alteração de sua forma. Assim, para um intervalo de tempo $\Delta t = t$, a onda considerada terá percorrido para a direita uma distância $a = v \cdot t$ (um deslocamento rígido, portanto).

Com base nos exemplos 1 e 2 considerados no tópico 4.1, infere-se o procedimento a ser seguido para a descrição matemática de uma onda viajante (no caso um pulso):

- Para um pulso que se propaga para a direita: $y = f(x - v \cdot t)$ (3)

- Para um pulso que se propaga para a esquerda: $y = f(x + v \cdot t)$ (4)

- Esses resultados podem ser generalizados da seguinte forma:

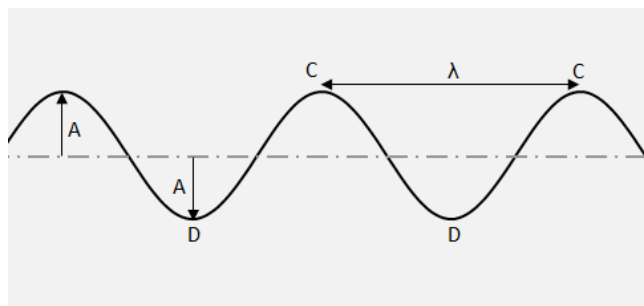
$$y = f(x \pm v \cdot t) \quad (5)$$

Essa função descreve o fenômeno físico da propagação em um meio sem deformação em uma dada direção, o que é referido como um pulso de onda ou uma onda viajante. E como acima observado, a quantidade y corresponde a uma perturbação, o que pode ser descrito como possivelmente uma variação de alguma propriedade do meio (pressão, densidade ou temperatura, uma vibração ou até mesmo uma variação do campo eletromagnético).

4.3 Ondas periódicas

Quando a fonte que produz o movimento oscilatório se desloca de maneira que o intervalo de tempo de repetição de sua oscilação seja sempre o mesmo, as ondas produzidas atestarão esse movimento repetitivo: denominam-se ondas periódicas.

As partículas do meio elástico onde se propagam as ondas periódicas oscilarão quando atingidas pelas ondas, realizando um movimento harmônico simples (Figura 4).

Figura 4 - Representação de uma onda periódica

Fonte: Autoria própria (2022)

Representa-se na figura acima duas características importantes de uma onda transversal: o comprimento de onda (λ) e a amplitude (A). Percebe-se assim como o movimento da fonte geradora das ondas é periódico e como é possível concluir que em qualquer ponto de observação passará o mesmo número de ondas em um mesmo intervalo de tempo: a frequência (f) será constante. É válido também destacar o seguinte:

- O comprimento de onda da onda representa o período espacial da onda, no sentido em que sua forma se repete após um percurso igual a λ .
- O tempo necessário para que duas cristas (ou dois vales) consecutivas passem por um mesmo ponto do meio, é o período temporal da onda – indicado por T .

Uma importante decorrência dessas equações é traduzida pela expressão:

$$v = \frac{\lambda}{T} = \lambda \cdot f \quad (6)$$

- Para um intervalo de tempo correspondente a um período T , a onda terá se deslocado de λ .
- Essa equação (6) é referida como equação fundamental da ondulatória.

A partir do próximo tópico, a análise descrita acerca da ondulatória diz respeito exclusivamente à acústica, valendo-se, conseqüentemente, das ondas mecânicas, embora sejam naturalmente observadas algumas analogias quanto a situações fenomenológicas

que envolvam ondas eletromagnéticas.

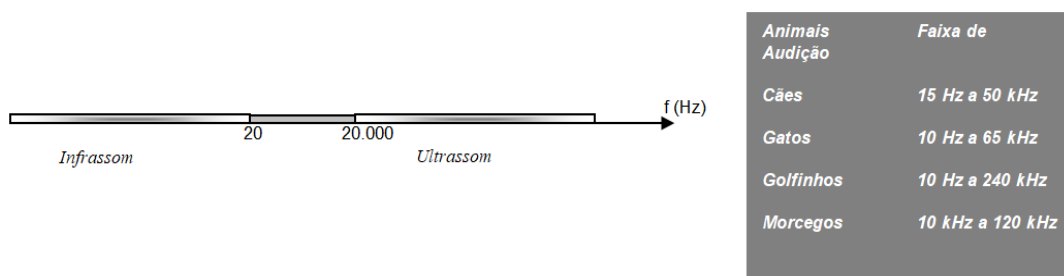
4.4 Acústica

Ondas mecânicas são perturbações produzidas em algum meio elástico – sólido ou líquido – não sendo fisicamente possível a propagação dessas perturbações no vácuo. Especificamente, o som é constituído de ondas desse tipo, podendo ser percebidas pelo sistema auditivo dos seres humanos ou de muito outros animais Villas Bôas (2018).

“A propagação de uma onda mecânica através de um meio material envolve o transporte de energia cinética e de energia potencial mecânica, e depende de dois fatores: a inércia e a elasticidade do meio.” (VILLAS BÔAS, Newton, p.212).

Dependentemente do valor da frequência de propagação dessas ondas, elas podem provocar a sensação auditiva nos seres humanos e, nesse caso, dizemos que a onda mecânica é uma onda sonora. A faixa de frequência correspondente às ondas sonoras pode estar situada entre 20 Hz e 20.000 Hz, aproximadamente. Ondas sonoras com frequência superior a vinte mil hertz ($f > 20000 \text{ Hz}$) são genericamente designadas como ultrassom; as ondas mecânicas com frequência abaixo do limite inferior ($f < 20 \text{ Hz}$) do espectro audível são, por sua vez, designadas como infrassom. Alguns animais (como os cães e gatos) podem perceber ultrassons (Figura 5).

Figura 5 - Exemplos de frequências sonoras conhecidas



Fonte: Autoria própria (2022)

- ✓ **Obs.:** “No espectro do som audível – 20 Hz a 20 000 Hz – encontram-se os *tweeters*, sons de alta frequência (sons agudos com frequência acima dos 4 000 Hz) – e os sons de baixa frequência, denominados *woofers* (sons graves, abaixo dos 500 Hz).” (VILLAS BÔAS, 2018).

A propagação das ondas mecânicas requer um meio material; esse tipo de onda não se propaga na completa ausência de matéria e a velocidade de propagação depende das propriedades (elasticidade e inércia) do meio. Observe a tabela seguinte:

Figura 6 - Velocidade do som em meios conhecidos

Meio	Velocidade (m / s)	Observação
Ar	331	A 0° C
Ar	343	A 20° C
Hélio	965	
Hidrogênio	1.284	
Água	1.402	A 0° C
Água	1.482	A 20° C
Água do mar	1.522	A 20° C; 3,5% de salinidade
Alumínio	6.420	
Aço	5.941	
Granito	6.000	

Fonte: Autoria própria (2022)

A experiência demonstra que, em geral, quanto maior a densidade do meio, maior é a velocidade de propagação do som. O valor de propagação do som no ar, a 15 °C, é de aproximadamente 340 m/s; em um meio mais denso, como a água, essa velocidade pode ultrapassar os 1500 m/s. É importante com isso perceber a influência das condições do meio (temperatura, densidade, pressão) na velocidade de propagação de uma onda mecânica. Na tabela acima (figura 6) estão fornecidos alguns valores típicos da velocidade do som em diferentes condições.

4.5 O mecanismo da propagação do som

A propagação do som (ondas sonoras com frequência na faixa de 20 a 20.000 Hz) em um meio fluido é um caso de particular interesse. Para ter uma melhor ideia do mecanismo dessa propagação, considera-se um tubo longo, cheio de ar, com uma placa móvel em uma extremidade (Figura 7).

Figura 7 – Representação de um tubo de ar



Fonte: Autoria própria (2022)

“Ondas sonoras são (...) longitudinais e tridimensionais, ou seja, a direção de vibração das partículas do meio material coincide com a direção de propagação, e a frente de onda é uma superfície esférica.” (YANAMOTO, p. 263).

Na situação descrita, é demonstrado um tubo longo de modo a não levar em conta a influência das ondas que sofrem reflexão na outra extremidade – que pode ser aberta ou fechada – uma análise desnecessária ao escopo deste trabalho. No entanto, leva-se em conta que com a placa móvel é possível produzir uma perturbação no meio, empurrando-a para dentro e a puxando para fora do tubo. Essa perturbação se propaga de forma longitudinal pelo meio. Como já mencionado, a velocidade de propagação da onda é dependente da elasticidade e inércia do meio. Logo, infere-se que o ar no tubo está, quando não perturbado, distribuído uniformemente (densidade constante).

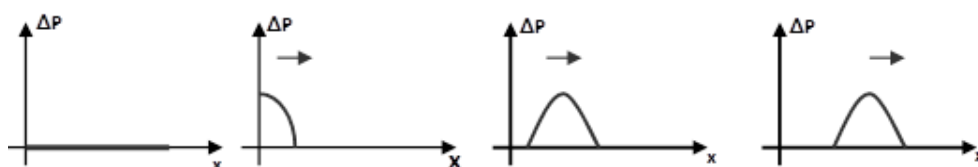
4.6 Pulso de onda sonora

Considerando ainda a situação acima (Figura 7), em que a placa móvel é empurrada uma vez, rapidamente e por uma pequena distância, para dentro do tubo, e deixada retornar à posição de equilíbrio. O que se percebe é que a placa comprimirá o ar próximo, provocando assim um aumento na pressão do ar nessa região. Esse aumento

de pressão é transmitido para a região seguinte. As moléculas de ar, por terem inércia, não modificam instantaneamente suas posições de equilíbrio, mas, após um pequeno intervalo de tempo, elas se movimentam pressionando as moléculas da região próxima seguinte e assim sucessivamente. Nesse processo simples (apenas um pequeno empurrão) a placa retorna à posição inicial e a pressão do ar, na região próxima à placa, reassume seu valor original não perturbado, o que se repete nas outras regiões. No ar confinado no tubo, então, alternar-se-ão regiões de compressão e rarefação. Pelo meio, propaga-se um pulso de pressão: uma onda sonora simples.

A analogia entre esse pulso de pressão e o pulso de deslocamento transversal em uma corda pode ser observada nos gráficos seguintes indicados na figura abaixo.

Figura 8 - Gráficos do pulso de onda



Fonte: Autoria própria (2022)

A generalização para o caso da propagação de ondas sonoras periódicas (o movimento periódico de vai-e-vem da placa) é imediata. O comportamento do ar no tubo é semelhante ao de uma mola na qual se representa uma onda longitudinal. A seguir, uma breve conjectura sobre as propriedades do som e suas grandezas relacionadas.

4.7 Propriedades do som

Conforme Gaspar (2018), as ondas sonoras possuem propriedades que dependem de suas características. Contudo, possuem também propriedades relacionadas à capacidade do nosso sistema auditivo, que costumam ser denominadas de propriedades fisiológicas. Tais propriedades são apresentadas a seguir.

- **Altura (frequência)**

É a percepção fisiológica associada à frequência dos sons. As ondas sonoras de frequência mais elevadas correspondem aos sons mais agudos; por sua vez, as ondas de frequência mais baixa correspondem aos sons mais graves. Sons percebidos como de mesma altura são ditos uníssonos. A tabela abaixo apresenta resumidamente o espectro de som audível.

Figura 9 - Tabela que representa o espectro sonoro audível

Infrassons	Sons	Ultrassons
$f < 20 \text{ Hz}$	$20 \text{ Hz} \leq f \leq 20\,000 \text{ Hz}$	$f > 20\,000 \text{ Hz}$
Som inaudível	Som audível	Som inaudível

Fonte: Autoria própria (2022)

- **Intensidade (amplitude)**

Os sons são ondas: portanto, transportam energia. E a energia transportada pelas ondas é função da amplitude do som, que independe de sua frequência. Sons de mesma frequência podem ser percebidos como mais fortes (mais intensos; os de maior amplitude: maior energia) ou mais fracos (menos intensos; os de menor amplitude: menor energia). Uma análise sobre o nível sonoro, relacionado com a energia transportada, será feita em um tópico à parte.

- **Timbre (forma de vibração)**

A sensibilidade do ouvido humano permite distinguir sons além de suas intensidades e alturas. Notas musicais emitidas por um violino ou por um piano ou pelas cordas vocais são percebidas de forma diferente. Essa percepção auditiva (fisiológica, não física: esses sons podem ter mesma altura e intensidade e ainda assim parecerão distintos) do tipo de vibração da fonte que emite o som é a qualidade que associamos ao timbre do som. O timbre corresponde à percepção dos vários modos de vibração da fonte emissora – a percepção dos harmônicos que se superpõem ao harmônico fundamental.

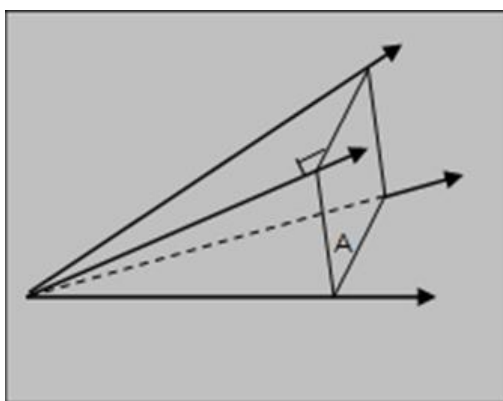
4.8 Intensidade do som: níveis sonoros

A intensidade do som é resultante da energia transportada pelas ondas sonoras, sendo então proporcional ao quadrado da amplitude das vibrações correspondentes. Como já visto, a passagem das ondas pelo meio podem ser descritas via ondas de pressão ou através das ondas de deslocamento. Os instrumentos destinados à medição da intensidade sonora são usualmente projetados para medir as amplitudes das ondas de pressão, pois as amplitudes de deslocamento dos sons mais fracos são muito pequenas, e assim difícil de mensurar.

- *Intensidade de uma onda (descrição matemática)*

Define-se a intensidade de uma onda como a potência média (energia transportada pela onda por unidade de tempo) por unidade de área. Na figura 10 está representada uma onda propagando-se no espaço (uma onda tridimensional) e uma superfície de área A traçada perpendicularmente à direção de propagação da onda.

Figura 10 - Expansão do som a partir de uma fonte pontual



Fonte: Autoria própria (2022)

Se em um intervalo de tempo Δt a energia que atravessa a área A é ΔW , a potência correspondente se dará da seguinte forma:

$$P = \Delta W / \Delta t \quad (7)$$

Sabendo que a intensidade sonora é a energia propagada por unidade de área, tem-se:

$$I = \frac{P}{A} \quad (8)$$

De modo que a intensidade da onda I terá como resultado a combinação das equações (7) e (8):

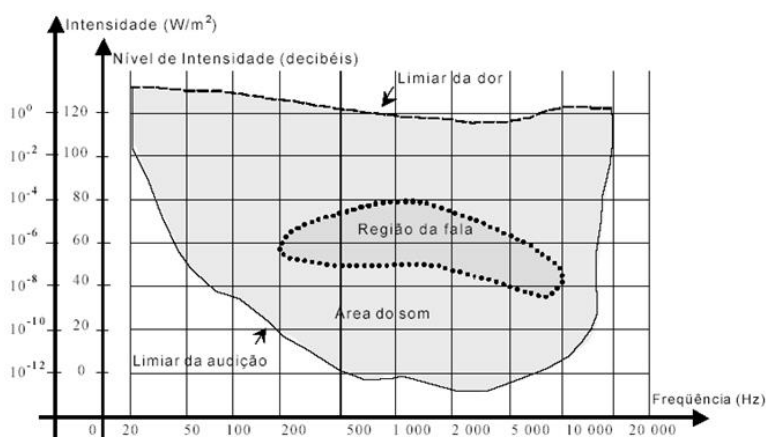
$$I = \frac{\Delta W}{A \cdot \Delta t} \quad (9)$$

Além das frequências, a intensidade das ondas é um fator muito importante para a percepção do som pelo ouvido humano. É o par (frequência, intensidade) que determina a possibilidade de que a onda sonora seja captada por nossos ouvidos. A cada frequência mínima ($f_{\min}$) de uma onda sonora corresponde uma intensidade mínima ($I_{\min}$) abaixo da qual o som não é audível. O conjunto desses valores ($f_{\min}$, $I_{\min}$) constitui o limiar de audição ou limiar de audibilidade para o ouvido humano.

O gráfico mostrado na figura 11, chamado de audiograma, representa a curva limiar de audibilidade para um ouvido humano normal. O mínimo dessa curva ocorre em torno da frequência de 2.000 Hz e corresponde a uma intensidade mínima da ordem de 10^{-12} W / m².

Como se infere, o nível sonoro está diretamente relacionado com a intensidade do som, como se comprovará no subtópico 4.4.5, onde será abordado o decibel.

Figura 11 – Audiograma: Gráfico do limiar audível



Fonte: DULL, METCALFE, BROOKS. *Modern Physics*

- O ouvido humano é efetivamente muito sensível. Em termos de variação de pressão, essa intensidade mínima corresponde a algo em torno de 10^{-9}

da pressão atmosférica. Se o ouvido humano fosse mais sensível ainda, seria ouvido comumente um “ruído de fundo”, pois as agitações (ondas) provocadas pelo movimento das moléculas de ar seriam detectadas facilmente.

Da mesma forma que existe o limiar (mínimo) de audibilidade, existem os pares (frequência, intensidade) que correspondem ao limite máximo de percepção normal: ou seja, existe para cada frequência ($f_{máx}$), uma intensidade máxima ($I_{máx}$) das ondas sonoras acima das quais a percepção vem acompanhada de dor. O conjunto desses pontos determina uma curva chamada de limiar da percepção dolorosa. A região entre estes dois limiares é designada como o intervalo de audibilidade para cada frequência da onda sonora.

A sensibilidade auditiva (e, portanto, o intervalo de audibilidade) varia de pessoa para pessoa - depende da frequência do som. Os audiogramas são uma representação gráfica dessas características relacionadas ao ouvido humano. O audiograma da figura 11 é padrão para uma pessoa de audição normal. Destaca-se a seguir algumas características da percepção auditiva que resultam do exame desse audiograma:

- Apenas para frequências entre 20 Hz e 20.000 Hz, o limiar de sensação auditiva (linha cheia no gráfico) é atingido: essa é a faixa dos sons audíveis. Abaixo de 20 Hz ou acima de 20.000 Hz, o limiar de sensação auditiva é muito alto, o que significa que os sons correspondentes são inaudíveis.
- O audiograma também nos mostra que o limiar de audição mais baixo é atingido entre as frequências 2.000 Hz e aproximadamente 3.000 Hz: nessa faixa o limiar de audição é mínimo, o que significa que a sensibilidade do ouvido é máxima.
- Sons muito graves (abaixo de 100 Hz) ou muito agudos (acima de 15.000 Hz) implicam em uma sensibilidade auditiva bastante pequena: limiar de sensação auditiva muito alto.

“No nosso dia a dia, confundimos altura com intensidade. Som alto quer dizer som de frequência alta e som intenso quer dizer som forte. Compare dois sons conhecidos, o miado do gato e o mugido do boi: a altura do miado é maior que a do mugido, mas a intensidade do miado é menor que a do mugido.” (YANAMOTO, p. 269).

Uma pertinente análise se faz a cerca do nível sonoro e sua relação com intensidade, propriedade do som já apresentada. Essa relação é muito importante, uma vez que diz muito sobre a capacidade auditiva do ser humano e como esse nível sonoro é medido, como abordado no próximo tópico.

4.9 O decibel

Outra importante característica relativa à sensibilidade do ouvido humano está na possibilidade de distinguir pequenas variações na intensidade do som para uma mesma frequência. Denomina-se diferencial de intensidade a variação mínima de intensidade, para uma mesma frequência, que o ouvido pode distinguir. Naturalmente que o diferencial de intensidade varia com a frequência e de pessoa para pessoa, mas para frequências entre **100 Hz** e **4.000 Hz** o seu valor é praticamente constante estando na faixa de 5% a 10%. A parte externa do aparelho auditivo (a orelha) tem a função de amplificar o som ao vertê-lo no canal do ouvido.

O registro do som pelo ouvido humano não se traduz por meio de quantidades físicas, mas sim por uma “sensação”, uma resposta a um estímulo fisiológico. O limite superior da sensibilidade auditiva humana declina com o envelhecimento. Os receptores celulares voltados para as frequências elevadas se tornam cada vez menos sensíveis, com o passar do tempo, até que não seja mais possível encontrar sons fortes o suficiente para estimulá-los. Estima-se que o ser humano vai perdendo parte de sua capacidade auditiva a cada dia desde o nascimento.

Segundo o psicofísico alemão, Gustav Theodor Fechner, todas as qualidades necessárias para medir a grandeza associada à percepção do som pelo ouvido humano levam ao estabelecimento de uma relação entre a variação da intensidade ΔI (estímulo) de uma onda sonora e a, assim designada, variação da sensação sonora - ou nível sonoro, ΔS (resposta). Essa relação tem a forma indicada abaixo:

$$\Delta S = k \cdot \log \frac{I}{I_0} \quad (10)$$

Nessa equação ΔS é a variação da sensação sonora produzida por uma onda de intensidade I , em comparação com uma intensidade padrão, I_0 fixada de modo arbitrário (considera-se $I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$). Note que para uma onda sonora de intensidade $I = I_0$ a equação (10) implica em que $\Delta S = 0$. Por essa razão a relação (10) pode ser entendida como definidora de uma escala (logarítmica) de unidades de sonoridade ou nível de som.

Usualmente, considera-se (por ser mais cômodo do ponto de vista matemático), usar $k = 10$ ($1 \text{ Bel} = 10 \text{ dB}$). A quantidade S é referida (e assim definida) como a sonoridade ou nível de som produzido por uma onda sonora de intensidade I .

Fazendo $k = 10$, define-se a unidade do nível de som da seguinte forma:

$$S = 10 \cdot \log \frac{I}{I_0} \quad (11)$$

Essa unidade é designada por decibel, símbolo **dB**, em homenagem a Alexandre Graham Bell. A seguir, a tabela que relaciona o nível de som à respectiva intensidade relativa:

Figura 12 - Nível sonoro x intensidade relativa

Nível de som (dB)	Intensidade relativa (I / I_0)
0	1
10	$10 = 10^1$
20	$100 = 10^2$
30	$1000 = 10^3$
40	$10000 = 10^4$
-----	-----
120	10^{12}

Fonte: Autoria própria (2022)

Decorre que sons de intensidade igual a $I_0 = 10^{-12} \text{ W / m}^2$ correspondem a 0 dB ; assim, segundo a tabela acima, sons de intensidade $I = 1 \text{ W / m}^2$ correspondem ao limiar da dor. Pode-se assim obter nessa escala o limite máximo de sonoridade suportado pelo ouvido humano da seguinte forma:

$$S = 10 \log \frac{1}{10^{-12}} = 10 \log 10^{12} = 120 \text{ dB} \quad (12)$$

Esses resultados mostram que cada acréscimo da intensidade sonora ***I*** por um fator multiplicativo igual a **10**, corresponde a adição de **10 dB** no nível de som. Segundo Kazuhito (2017), um ambiente com até **40 dB** é considerado calmo, com **60 dB** é barulhento e acima de **80 dB** já podem causar danos irreversíveis ao ouvido humano.

A tabela seguinte apresenta alguns valores do nível sonoro correspondente a determinado som emitido no cotidiano. Esses dados foram extraídos da Associação Portuguesa do Ambiente (APA):

Figura 13 - Tabela de ruídos e seu nível sonoro relativo

Nível sonoro em decibel (dB)	Danos ao ouvido humano	Fontes sonoras de referência
120 a 140	Doloroso	Decolagem de avião
100 a 120	Perigoso	Carro de Fórmula 1
80 a 100	Fatigante	Fones de ouvido no volume máximo
50 a 80	Incomodativo	Ambiente de festa
10 a 50	Repousante	Sala de estar

Fonte: Associação Portuguesa do Ambiente (2022)

Conforme se infere, a intensidade sonora se relaciona à energia emitida pela fonte, definida assim por grandezas físicas. Todavia, essa intensidade não é “confiável” para definir a intensidade sonora percebida pelo aparelho auditivo. Como descreve Gaspar:

“Nosso sistema auditivo reduz drasticamente intensidade sonora que detecta. Para determinada frequência, se a intensidade do som ouvido se torna dez vezes maior, nossa sensação auditiva é, média, duas vezes maior. Tal redução, que caracteriza nossa “sensação auditiva”, só pode

ser medida por meios indiretos, estatísticos, mais relacionados à Biofísica que à Física.” (GASPAR, 2018, p. 43).

4.10 Fenômenos sonoros

Ondas sonoras podem contornam obstáculos – fenômeno conhecido como difração – como podem se superpor, caracterizando a interferência. Difração e interferência são fenômenos característicos dos movimentos ondulatórios. Inicialmente, a análise aqui será feita sobre o fenômeno da interferência para as ondas mecânicas.

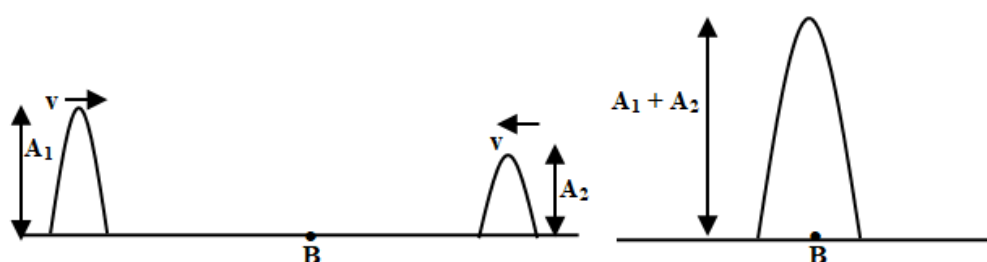
4.10.1 Interferência

Nas figuras abaixo estão indicados dois pulsos de onda que se deslocam, com mesma velocidade v , em algum meio material em sentidos opostos. Analisa-se aqui o que ocorre com a amplitude A_1 e A_2 dos dois pulsos de onda no instante em que se encontram (no ponto B).

Percebe-se que, exatamente no momento do encontro, ponto **B** do gráfico, ocorre um somatório das amplitudes.

Na figura 14 é apresentada a situação em que os pulsos estão equidistantes de um ponto B do meio onde se propagam. Os pulsos atingirão B no mesmo instante, cruzando um pelo outro: ocorre a interferência, uma superposição entre os dois pulsos. Nesse ponto se tem como resultado da interferência um pulso resultante de amplitude $A_1 + A_2$.

Figura 14 - Interferência entre duas ondas mecânicas em um ponto B



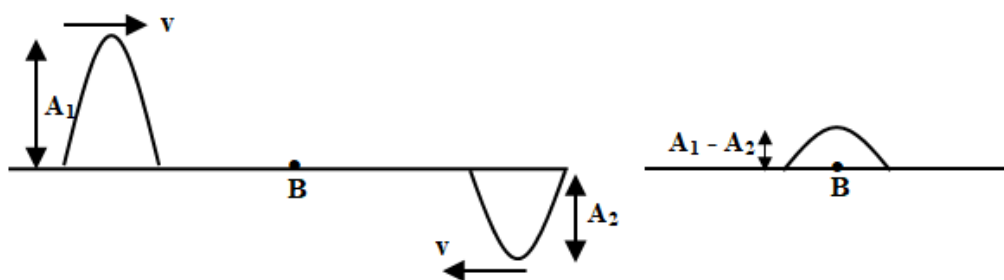
Fonte: Autoria própria (2022)

Essa interferência é do tipo “construtiva”: os pulsos estão em fase e assim há um reforço dos efeitos produzidos pelas ondas. O deslocamento que o ponto B sofre é

correspondente à soma dos deslocamentos que cada onda separadamente produziria nele. Após o cruzamento os pulsos prosseguem como se nada tivesse ocorrido.

Considera-se agora uma situação diferente indicada nas figuras seguintes: os pulsos são invertidos um em relação ao outro – diz que estão fora de fase, ou em “fases invertidas”. Nessa situação, ao se cruzarem em B, os pulsos interferirão de forma destrutiva: mais uma vez ocorre um deslocamento do ponto B, que é correspondente à soma dos deslocamentos que cada onda separadamente produziria nele, o que agora implica em um pulso resultante de amplitude $A_1 - A_2$ (figura 15). Após o cruzamento os pulsos prosseguem como se nada tivesse ocorrido.

Figura 15 - Interferência destrutiva: os pulsos estão fora de fase (defasados)

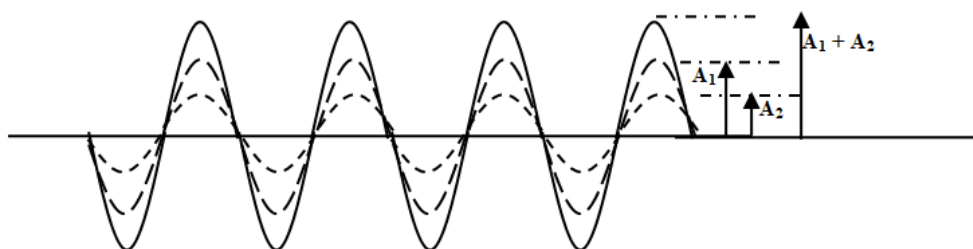


Fonte: Autoria própria (2022)

Essas considerações sobre a superposição de pulsos são básicas para o entendimento do fenômeno da interferência. Na figura abaixo são apresentadas duas ondas harmônicas de mesmo comprimento de onda e frequência (as ondas tracejadas na figura) que se propagam de modo tal que se superpõe em algum instante (por exemplo, ondas de mesma direção e sentidos opostos).

Essas considerações sobre a superposição de pulsos são básicas para o entendimento do fenômeno da interferência. Na figura 16 são apresentadas duas ondas harmônicas de mesmo comprimento e frequência (as ondas tracejadas na figura) que se propagam de modo tal que se superpõe em algum instante (por exemplo, ondas de mesma direção e sentidos opostos).

Figura 16 - Interferência construtiva em vários pontos (amplitudes somadas)

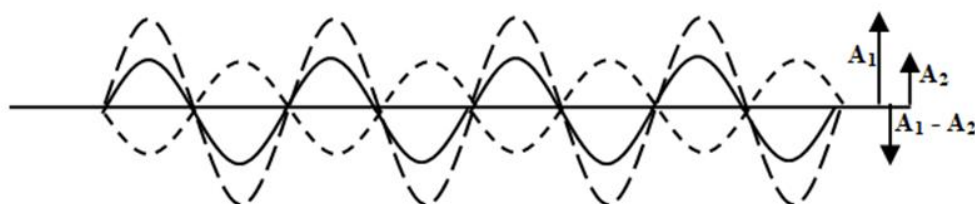


Fonte: Autoria própria (2022)

Assim, a ilustração acima mostra o instante em que as ondas se encontram de forma construtiva (interferência construtiva): o resultado da interferência é uma onda de mesma frequência e comprimento de onda, mas de amplitude $A_1 + A_2$ (linha cheia, na figura).

Por outro lado, essas ondas poderiam interferir de forma destrutiva (Figura 17). Na figura seguinte é ilustrado um instante em que duas ondas harmônicas de mesma frequência e comprimento de onda (linhas tracejadas, na figura) interferem estando fora de fase: a onda resultante (linha cheia, na figura) da interferência terá amplitude $A_1 - A_2$, mesma frequência e comprimento de onda.

Figura 17 - Interferência destrutiva em vários pontos



Fonte: Autoria própria (2022)

No caso particular em que $A_1 = A_2$, tem-se uma amplitude resultante nula nos pontos onde ocorre a interferência destrutiva. Isso significa que esses pontos não apresentarão qualquer vibração. Tais pontos não se movimentam e são chamados de nodos ou nós. A linha imaginária ligando os pontos nodais é chamada de linha nodal. Por outro lado, nos pontos onde ocorre a interferência construtiva resulta uma máxima amplitude: $2A$. Todos os outros pontos das ondas que interferem apresentarão amplitude resultante com valores entre 0 e $2A$.

As condições para interferência construtiva e interferência destrutiva: analisando as situações extremas correspondentes aos máximos e mínimos da amplitude resultante da interferência com ondas como as acima consideradas, pode-se concluir que, mesmo com ondas idênticas, a interferência poderá ser construtiva ou destrutiva: depende de como elas se superpõem. Ocorrerá a interferência construtiva quando as ondas se superpuserem em fase: (pico com pico, vale com vale). Ocorrerá interferência destrutiva quando as ondas se superpuserem fora de fase: (pico com vale ou vale com pico). De modo geral, considerando um período completo de oscilação do pulso como sendo igual a 2π , pode-se inferir as seguintes observações:

- No caso de ondas harmônicas, a interferência construtiva ocorrerá quando as ondas apresentarem uma diferença de fase igual a 0 ou 2π , ou 4π , ou 6π , ... , de modo geral: $2n\pi$, sendo n um número inteiro.
- Ainda para ondas harmônicas a interferência será destrutiva quando as ondas apresentarem uma diferença de fase igual a π , ou 3π , ou 5π , ... , de modo geral: $(2n+1)\pi$, com n inteiro.

Conclusão: a interferência resultante (o padrão de interferência, no caso de várias ondas) depende da diferença de fase entre as ondas que interferem: é a diferença de fase que determina a forma da onda resultante.

4.10.2 Efeito Doppler

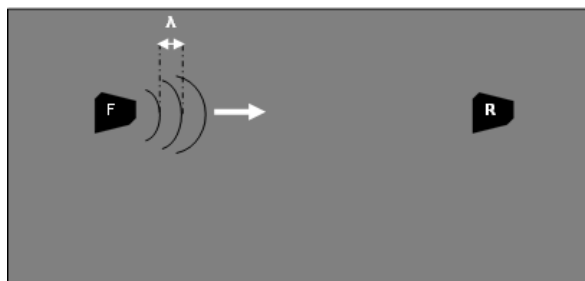
Uma situação corriqueira ocorre quando um observador (ouvinte) se aproxima de uma fonte sonora estacionária e percebe o som cada vez mais alto (agudo), tornando-se cada vez mais baixo (grave) quando dela se afasta. Esse é um importante fenômeno físico, tecnicamente conhecido como Efeito Doppler; a variação da frequência de ondas devido ao movimento relativo entre fonte e receptor.

“O Efeito Doppler, para ondas, é o fenômeno pelo qual um observador percebe uma frequência diferente da emitida por uma fonte, devido ao movimento relativo entre eles (fonte e observador)”. (YANAMOTO, p. 281).

Resumidamente, quando há movimento relativo entre uma fonte de ondas sonoras e um receptor, ocorre uma variação na qualidade do som percebido. Por exemplo, quando uma ambulância com a sirene ligada se aproxima, naturalmente o receptor perceberá um som mais alto (o som percebido tem frequência maior); analogamente a natural reciprocidade se mantém: quando a ambulância se afasta o som se torna mais baixo (o som percebido tem menor frequência).

Um modelo para análise desse fenômeno consiste em uma fonte (**F**) de ondas sonoras periódicas que se encontra em um meio homogêneo e transparente, e um receptor (**R**) situado no mesmo meio e a alguma distância da fonte, conforme representado a seguir:

Figura 18 - Efeito Doppler representado por uma fonte F e um receptor R



Fonte: Autoria própria (2022)

A frequência com que as ondas são emitidas (frequência da fonte) será denotada por f_F ; a frequência captada pelo receptor será indicada por f_R . A velocidade de propagação das ondas em relação ao meio (ar) será representada por v , conforme a equação (6) de modo que:

$$v = \lambda \cdot f \quad (13)$$

Como é usual, λ é indicativo do comprimento de onda (no caso, das ondas sonoras). Naturalmente, não havendo movimento relativo entre a fonte e o receptor, este captará as ondas emitidas registrando a mesma frequência f_F da fonte.

Como já mencionado, é importante recordar o significado de frequência: é a quantidade de ondas recebida pelo receptor por unidade de tempo. De modo geral, a frequência de um movimento periódico é dada pelo número de oscilações por unidade de tempo. Desse modo, não havendo movimento relativo entre a fonte e o receptor, o

número de ondas captado por este é igual ao número de ondas emitidas por aquele, no mesmo intervalo de tempo.

Há algumas situações relacionadas ao Efeito Doppler para o movimento relativo entre a fonte e o receptor que necessitam ser descritas, conforme o seguinte:

- **Situação 1:** fonte estacionária com o receptor se aproximando da fonte:

Como já observado, se o receptor estiver em repouso com relação à fonte, este deve perceber em um intervalo de tempo Δt , uma quantidade de ondas igual à $f_F \cdot \Delta t$. Caso o receptor se aproxime da fonte, ele irá perceber essas ondas e “mais algumas”: aquelas que ele encontrar (e que não encontraria, se estivesse em repouso) ao longo de seu deslocamento, Δs , no intervalo de tempo $\Delta t = \Delta s / v$.

Indicando por v_R a velocidade com que o receptor se desloca em relação a fonte, é possível concluir que a quantidade total de ondas captadas pelo receptor no intervalo de tempo Δt (ou seja, a frequência, f_R , medida pelo receptor) vale:

$$f_R = \frac{f_F \cdot \Delta t + v_R \cdot \Delta t / \lambda}{\Delta t} = f_F + \frac{v_R \cdot f_F}{v} \Rightarrow f_R = f_F \cdot \left(1 + \frac{v_R}{v}\right) \quad (14)$$

Esse resultado evidencia como a frequência percebida pelo receptor aumenta: quanto maior sua velocidade em relação à fonte, maior será a frequência medida; o raciocínio desenvolvido explicita qual a razão de haver aumento na frequência registrada pelo receptor quando este se aproxima da fonte.

A equação (14) é comumente reescrita na seguinte forma:

$$f_R = f_F \cdot \left(\frac{v + v_R}{v}\right) \quad (15)$$

- **Situação 2:** fonte estacionária com o receptor se afastando da fonte:

Analogamente, o mesmo raciocínio deve ser desenvolvido para comprovar que, se o receptor estiver se afastando da fonte com a mesma velocidade v_R , a frequência será menor, sendo determinada por:

$$f_R = f_F \cdot \left(\frac{v - v_R}{v}\right) \quad (16)$$

As expressões (15) e (16) podem ser combinadas em uma única expressão:

$$f_R = f_F \cdot \left(\frac{v \pm v_R}{v} \right) \quad (17)$$

- ✓ **Obs.:** é comum ter como convenção que o sinal (+) seja usado quando da aproximação e o sinal (-) quando do afastamento do receptor em relação à fonte.
- ✓ **Obs.:** é importante salientar que, fisicamente, não ocorre qualquer alteração nas ondas; as diferentes variações de frequência percebidas são devido à variação de frequência captadas pelo observados para diferentes intervalos de tempo (a depender de seu movimento).

- **Situação 3:** fonte em movimento e receptor estacionário.

O efeito Doppler decorre do movimento do receptor em relação a uma fonte estacionária, ou seja, não está associado a qualquer alteração física das ondas que se propagam pelo meio, mas sim é um efeito que ocorre devido apenas a um número diferente de ondas que o receptor capta, quando em movimento em relação à fonte.

Todavia, no caso em que a fonte está em movimento e o receptor em repouso (com relação ao meio) a situação é fisicamente distinta. Nesse caso, movimento da fonte modificará as características das ondas emitidas, pois mudará o seu comprimento de onda. Quando a fonte se desloca no sentido do movimento das ondas, em direção ao receptor, as frentes de onda se tornarão mais próximas umas das outras nesse sentido e mais afastadas em sentido oposto e, portanto, o comprimento de onda dessas ondas será diferente. Menores comprimentos de onda serão registrados pelo receptor.

Matematicamente, a situação é análoga às anteriores; em termos de frequência, obtém se:

$$f_R = f_F \cdot \left(\frac{v}{v \pm v_f} \right) \quad (18)$$

- ✓ **Obs.:** é importante fazer a ressalva de que a situação descrita acima considera a velocidade da fonte menor que a do som no meio de propagação. Caso a velocidade da fonte passe a ser maior que a das ondas emitidas, incide-se uma situação particular de “quebra da barreira do som”.

- **Situação 4:** fonte e receptor em movimento.

Considera-se agora o caso geral em que tanto a fonte quanto o receptor se movimentam pelo meio. De acordo com o entendimento anterior, torna-se um caso de generalização: o movimento da fonte altera a frequência recebida pelo receptor pelo fator multiplicativo $\left(\frac{v}{v \pm v_F}\right)$, enquanto que, devido ao movimento do receptor, o fator multiplicativo que fornece a frequência percebida é $\left(\frac{v \pm v_R}{v}\right)$. Assim, o caso de generalização vem a ser a reunião dos dois efeitos, tendo a frequência percebida pelo receptor determinada por:

$$f_R = f_F \cdot \left(\frac{v \pm v_R}{v \pm v_F}\right) \quad (19)$$

Esta expressão é completamente geral para o efeito Doppler em ondas sonoras. De acordo com as convenções anteriormente estabelecidas:

- Para o caso de aproximação, usa-se o sinal positivo (+) no numerador e o negativo (-) no denominador;
- Para o caso de afastamento, usa-se o sinal positivo (+) no denominador e o negativo (-) no numerador.

A reflexão do som é um fenômeno que culmina em outros dois efeitos sonoros: o eco e a reverberação, ambos analisados a seguir.

4.10.3 Reflexão do som

Assim como as ondas eletromagnéticas, as ondas sonoras, ao atingirem um obstáculo fixo, irão ser refletidas com sentido oposto ao de sua propagação; nesse caso, poderá resultar em uma inversão de fase. A velocidade de propagação é a mesma – em módulo,

mantendo-se a frequência e o comprimento de onda. A reflexão do som é um fenômeno que culmina em outros dois efeitos sonoros: o eco e a reverberação.

- **Eco:**

Quando uma onda atinge a superfície de separação de dois meios distintos ocorre o fenômeno da reflexão (além da refração e da absorção). De forma brevemente detalhada, considerando que um observador **O** emite um som que se propaga em direção a uma parede refletora situada a alguma distância **d** em relação a ele. Tendo como **v_s** a velocidade do som no ar, o tempo necessário para que o som atinja a parede é determinado por $t_1 = \frac{d}{v_s}$. Uma vez atingindo a parede, o som se refletirá de volta ao observador, percorrendo assim a mesma distância no mesmo intervalo de tempo **t₁**. Logo, o tempo total decorrido desde a emissão do som até a percepção de sua reflexão na parede é dado por:

$$\Delta t = \frac{2d}{v_s} \quad (20)$$

O ouvido humano se caracteriza fisiologicamente por apresentar certo tempo de permanência da sensação auditiva; quando uma onda chega ao aparelho auditivo, a sensação permanece por cerca de um décimo de segundo (0,1 s). É essa característica que explica o eco.

Conclui-se que, caso o obstáculo refletor esteja a uma distância maior o suficiente para que o som demore mais que 0,1 de intervalo de tempo entre o “caminho de ida e volta” (a distância entre a fonte e o obstáculo), o ouvinte irá perceber os dois sons (o som emitido e o som refletido), o denominado eco.

- ✓ **Obs.:** Considerando a velocidade de propagação do som no ar como sendo 340 m/s, valor geralmente aceitável em condições normais, a mínima distância que o obstáculo deve estar do ouvinte para que o eco seja percebido, conforme a equação (20), é de 17 m.

- Reverberação:

Se a parede refletora estiver a uma menor distância, o ouvido do observador não distinguirá entre o som emitido e o som captado por reflexão, pois o intervalo de tempo decorrido entre essas ondas será menor que o da permanência da sensação auditiva. No entanto, o ouvido do observador captará as ondas refletidas pela parede e seu cérebro as decodificarão como um reforço, ou mesmo um prolongamento do som emitido. Esse reforço sonoro percebido pelo o ouvinte é denominado reverberação.

CAPÍTULO 5: PRODUTO EDUCACIONAL

5.1 Apresentação do produto educacional

Trata-se de um livro em formato digital (*e-book*) que apresenta ao professor de Física uma ferramenta tecnológica inovadora à prática de ensino no cerne do conteúdo relacionado à acústica, ampliando assim o leque de possibilidades que possam dinamizar a aula. A ideia inicialmente partiu da notável necessidade de um instrumento que auxilie as aulas sobre o estudo do som, uma vez serem imprescindíveis algumas demonstrações práticas para melhor elucidação acerca do que é apresentado conceitualmente.

Para as aulas que envolvem a análise de alguns fenômenos ondulatórios, a prática experimental se apresenta como uma metodologia fundamental ao desenvolvimento do conteúdo, uma vez que a observação de situações fenomenológicas somada ao que é apresentado pelo professor tende a tornar o aprendizado mais produtivo. Sendo assim, este livro é destinado aos professores de Física, que poderão fazer uso da sequência didática apresentada, podendo interagir de modo mais dinâmico com seus alunos, proporcionando experiências observacionais mais claras e dinâmicas.

A partir dessa perspectiva, a mencionada sequência apresenta um conjunto de práticas experimentais relacionadas à acústica, descritas a partir de um programa computacional denominado “*Audacity*”, um software bastante utilizado no ramo da indústria de mídias sonoras, como estúdios de gravação, edição de áudios e emissoras de rádio. Por se tratar de um programa de fácil execução propicia ao usuário a reprodução bastante clara de uma gama de experimentos relacionados ao estudo do som.

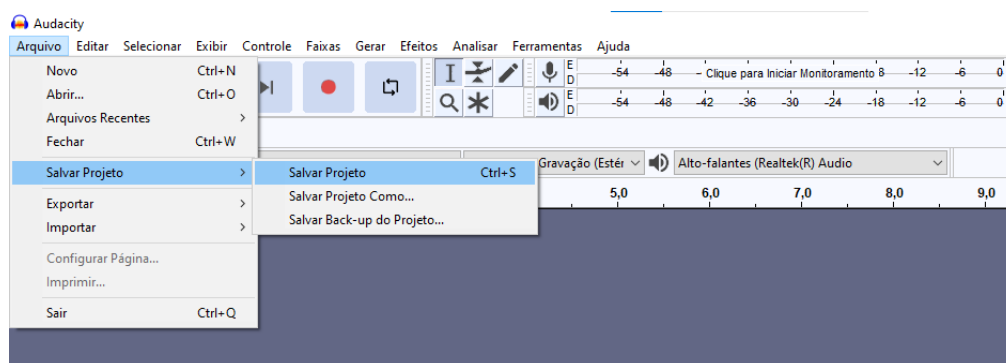
Contudo, o *e-book* apresenta um tutorial de como usar o programa computacional em uma série de aulas experimentais, como se vê no próximo tópico.

5.2 Conhecendo o Audacity

Com uma aplicabilidade vasta, o *Audacity* pode ser encontrado gratuitamente e de forma simples, estando disponível para download na internet, além de ser compatível com os sistemas operacionais mais comuns disponíveis para o público (*Windows 7, 8, XP, Linux e Mac*), como também para os sistemas que operam os *smartphones (IOS e Android)*, o que acaba facilitando também a aplicação por parte dos estudantes.

A sua interface (figura 19) é bastante intuitiva, semelhante a programas computacionais já conhecidos e bastante usados em produções de trabalhos, como o *Word*, por exemplo.

Figura 19 - Interface do Audacity



Fonte: Autoria própria (2022)

Sendo assim, o livro começa ensinando como adquirir o *Audacity*, por meio do link <https://audacity.br.uptodown.com/windows>, seguindo de um tutorial de como proceder com o software já em execução, detalhando suas aplicações e de que maneira pode ser usado no ensino de Física. O software conta ainda com uma boa gama de ferramentas que auxiliam as práticas experimentais apresentadas no próprio *e-book*, como a possibilidade de reprodução de um áudio externo, a gravação e a reprodução de sons de diferentes qualidades sonoras (timbre, intensidade, altura) correspondentes às grandezas

relacionadas ao som² – frequência, amplitude, fonte sonora – e ainda o arquivamento do projeto apresentado, podendo assim ser utilizado em momentos ulteriores.

Figura 20 - Reprodução de ondas sonoras diferentes pelo Audacity



Fonte: Autoria própria (2022)

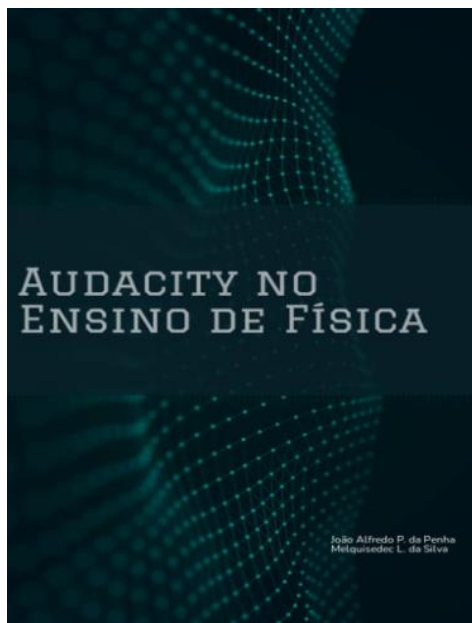
A exequibilidade do *Audacity* nas aulas de acústica se dá pelo fato de ser possível apresentar todas as propriedades da onda de forma ilustrativa (figura 20), seus diferentes comprimentos e amplitudes, e os efeitos práticos de suas reproduções, o que pode ser facilmente percebido experimentalmente em sala por parte dos estudantes, garantindo um aprendizado cognitivo e viabilizando a dinâmica da aula. A seguir é apresentada a forma como este trabalho foi dividido, seguindo uma sequência lógica acerca do conteúdo apresentado no livro digital e sua organização construtiva.

5.3 Organização do e-book

Divido em seis capítulos, o *e-book* intitulado “*Audacity* no ensino de Física” começa em seu primeiro capítulo introduzindo a abordagem principal do livro, levantando questões e trazendo parâmetros sobre o uso de ferramentas de amparo tecnológico cada vez mais comuns em sala de aula. Para o docente, a praticidade nas práticas experimentais é um ponto muito positivo que a introdução da tecnologia traz, desde aparelhos mais consolidados há algum tempo (projetores de tela, por exemplo), a recursos mais sofisticados, que envolvem o quadro estudantil em cenários de aulas mais bem elaboradas do ponto de vista observacional.

² A escolha dos valores para as diferentes grandezas pode ser feita de forma arbitrária pelo próprio professor

Figura 21 - Capa do livro "Audacity no ensino de Física"



Fonte: Autoria própria (2022)

Já no segundo capítulo é feita uma apresentação do *Audacity*, programa computacional utilizado na sequência didática apresentada nos capítulos que se seguem. Por se tratar de uma ferramenta pouco conhecida no meio acadêmico, é descrito um tutorial em formato de “passo a passo”, desde como adquirir o software, gratuitamente na internet, a como executá-lo, sendo ainda mais detalhado a cada experimento apresentado.

O livro segue com quatro capítulos – capítulo 3 ao capítulo 6 – onde é dedicada ao leitor uma sequência detalhada de quatro aulas descritas a partir do uso do *Audacity*, explanando o estudo do som desde a sua introdução sobre ondulatória, ainda no terceiro capítulo, encerrando com os fenômenos sonoros estudados nas aulas de acústica. Trata-se de uma sequência lógica de aulas, sendo suficiente para abordar todo o ensino de ondulatória relacionado à acústica - a nível de ensino médio - apresentada com um plano organizacional para cada aula, descrevendo o que será abordado e como deve ser aplicado os experimentos que envolvam o software mencionado - para cada aula há ao menos uma prática experimental descrita a partir do *Audacity*; os recursos didáticos a serem utilizados são descritos no plano de aula, assim como a metodologia e a descrição do experimento.

A fim de tornar o projeto mais produtivo, o *e-book* conta ainda com uma bateria de exercícios para fixação em cada aula programada, constando de gabarito ao final do livro. Os exercícios foram pensados de tal forma que possam ser resolvidos com o uso do software, simulando assim a situação proposta. As equações envolvidas em cada aula são enumeradas, bem como a lista de figuras, que é apresentada nas primeiras páginas, seguida do sumário, objetivando assim melhor organização e facilidade ao leitor; encerra-se com as referências que fundamentaram a obra, também organizadas, nesse último caso, em ordem alfabética.

5.4 Justificativa

Como já mencionado no capítulo 2, é irrefragável a importância do uso de recursos educacionais que sejam tanto inovadores quanto viáveis a uma melhor prática de ensino, sobretudo no que tange a prática experimental, uma vez ser imprescindível no campo das ciências. Sob essa ótica, esse trabalho visa dar importância a métodos de ensino que inovem em sala de aula, mas que sejam também úteis sob o aspecto observacional por parte dos estudantes. É possível que alguns professores ainda não tenham se familiarizado com novas ferramentas tecnológicas de ensino – vide capítulo 3 – que ganharam ainda mais importância nos últimos tempos com o período pandêmico que o mundo enfrentou (2020) e que levou a educação brasileira à exigência de uma modalidade de ensino remoto, requisitando certa adaptação.

Logo, a criação de sequências didáticas que possam acrescentar ao professor de Ciências novas tendências em sala de aula, colaborando com possibilidades de uso de novas metodologias de ensino, justifica a produção deste trabalho, que traz justamente o uso de uma ferramenta tecnológica para auxiliar o professor em suas aulas de Acústica. Esse trabalho objetiva viabilizar as aulas sobre o estudo do som apresentando um aparato tecnológico que ajude o docente a potencializar sua prática de ensino sobre os fenômenos sonoros. Trazendo uma sequência de experimentos que ilustram melhor as propriedades das ondas e suas relações com a Acústica, o livro “*Audacity* no ensino de Física”, em formato digital, entrega também ao estudante novas percepções acerca desse ramo da Física, corroborando assim a viabilidade de novos recursos que possibilitem um aperfeiçoamento na aprendizagem.

O livro é destinado aos professores de Física, mais especificamente para o ensino no nível médio, que poderão fazer uso da sequência didática experimental apresentada,

proporcionando experiências observacionais mais claras e dinâmicas, objetivo central do trabalho.

CAPÍTULO 6: PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Como já observado, o presente trabalho disserta sobre um livro digital intitulado “*Audacity* no ensino de Física”, de autoria própria e orientação do professor Melquisedec Lourenço, o qual é proposta uma sequência didática que visa auxiliar o professor de Física em suas aulas de acústica, tema abordado no estudo das ondas mecânicas. A ideia é apresentar um recurso tecnológico pouco conhecido no meio acadêmico, mas que tem bastante utilidade na indústria fonográfica, como produção e edição de músicas e vinhetas em rádios ou campanhas publicitárias. Tal ferramenta, conhecida como *Audacity*, torna-se viável na ilustração de experimentos voltados ao ensino de acústica, ao reproduzir dessa forma situações em que é possível compreender os fenômenos sonoros a serem estudados.

Sendo assim, a sua aplicação em sala de aula contou com a participação de alunos do curso de Licenciatura em Física da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) / campus Cuité/PB, que, em suas práticas de estágio, puderam participar e executar alguns procedimentos práticos abordados no *e-book*, podendo interagir com a turma³ e ter uma ideia da potencial importância da mencionada ferramenta nas aulas voltadas ao estudo do som.

O produto fora posto em execução, inicialmente, no mês de fevereiro de 2022, sendo executado continuamente durante as aulas de acústica. Comumente, o tema de ondulatória, no qual se insere o estudo das ondas sonoras, é visto próximo ao final do ano letivo das turmas da segunda série do ensino médio, uma vez já é exposto no cronograma da disciplina. Todavia, por se tratar de uma escola integral em que fora aplicado, o produto pode ser bem aproveitado nas aulas de prática experimental, disciplina presente no organograma das escolas integrais do estado da Paraíba (o que não impede de ser também aproveitado dentro das aulas da disciplina de Física).

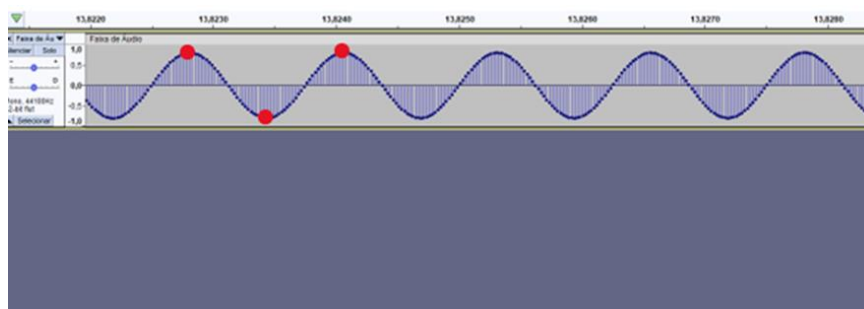
Sendo assim, já para uma primeira aula, foi apresentado o *Audacity* e as propriedades de uma onda; a apresentação foi feita exibindo em tela, na sala de aula, a interface do software e seu funcionamento. Os elementos de uma onda eram

³ Turma da 2ª série do ensino médio, na qual o produto foi aplicado.

apresentados conforme se exibia na tela, definindo-se assim a equação fundamental da ondulatória.

O prosseguimento da aula se deu com o estudo da relação entre as qualidades do som e os respectivos elementos de onda, sendo executada a reprodução dos sons correspondentes, tornando possível assim a análise entre cada elemento de onda, experimentalmente, com cada qualidade sonora apresentada.

Figura 22 - Representação ilustrativa de uma onda no Audacity



Fonte: Autoria própria (2022)

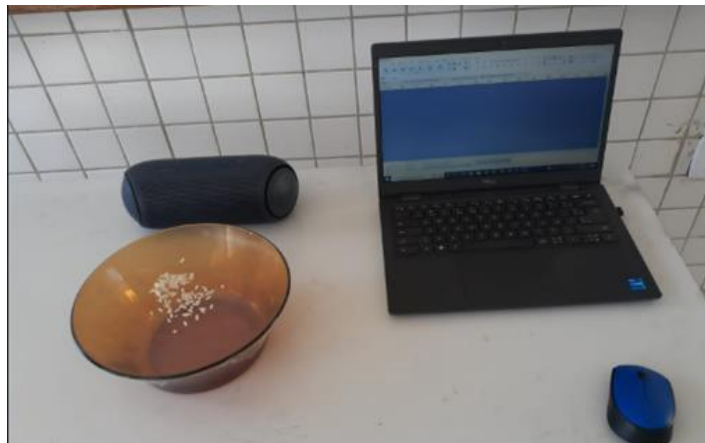
Os estudantes puderam notar o quão alto ou baixo estava o som (frequências diferentes), ou quão intenso ficava o som ao se variar a amplitude. Também foi feita uma experiência inicial em relação à frequência que os alunos podiam ouvir, a medida que o volume do som mudava, desde o limite do infrassom (20 Hz), até o limite do ultrassom (20 000 Hz), em que eles anotavam a frequência no exato momento em que deixavam de ouvir.

6.1 Qualidades do som apresentadas

Um dos primeiros procedimentos práticos apresentado foi a demonstração da energia sonora emitida por diferentes ondas (ondas com frequência e amplitude diferentes), em que os observadores presentes puderam perceber as diferentes vibrações de grãos de arroz colocados sobre uma fina película (Figura 23), a qual vibrava conforme eram alteradas as características da onda no *Audacity*. O referido procedimento foi executado por um dos estagiários, o aluno do curso de Licenciatura em Física da Universidade Federal de Campina Grande/PB, Weverton dos Santos Lima, que pode levantar

questionamentos aos alunos quanto às observações feitas e o que fora abordado durante a aula.

Figura 23 - Demonstração das vibrações reproduzidas com o uso do Audacity



Fonte: Autoria própria (2022)

Os alunos puderam observar as diferentes formas de vibração dos grãos, conforme as ondas eram modificadas arbitrariamente no software, e assim associaram às mudanças nas características das ondas exibidas em tela. A aplicação do produto foi realizada, a princípio, no ambiente da escola integral ECI Prefeito Severino Pereira Gomes, no município de Baraúna, interior da Paraíba, durante as aulas de acústica para a turma de 2ª série do nível médio (ensino integral). Durante as aulas, procedimentos como o citado acima, seguindo sempre a sequência didática proposta no livro, foram executados a fim de ser possível avaliar a exequibilidade do software *Audacity* para a prática de ensino. Seguindo roteiros de aula, a sequência didática foi executada em diferentes momentos, obedecendo ao organograma previsto dentro da disciplina.

Ainda demonstrando a intensidade sonora e já conduzindo ao estudo do nível sonoro, foram reproduzidas ondas com diferentes amplitudes, para que, seguindo a tabela fornecida na figura 13, possam ser identificados os níveis aceitáveis e o que já pode ser considerado como poluição sonora. Um decibelímetro (figura 24) também foi utilizado para que, ao se aplicar a equação (11) para a sensação sonora, os resultados possam ser comparados ao que se ouve e aos resultados apontados na tabela mencionada.

Figura 24 – Decibelímetro utilizado em sala



Fonte: Autoria própria (2022)

6.2 O Timbre

Outro procedimento apresentado com o auxílio do *Audacity* foi na abordagem sobre o estudo de uma das propriedades do som de grande relevância no ensino da ondulatória: o timbre.

Para a aplicação desse procedimento, foram necessárias caixas de som conectadas à televisão do laboratório de Física da instituição escolar – algumas caixas de som apresentam melhor qualidade que os alto-falantes da própria TV – e do computador o qual está instalado o software mencionado. Dessa forma, foi apresentado aos alunos trechos de uma mesma música, porém, tocados por instrumentos diferentes, comprovando as diferentes formas de propagação da onda, que culminam em percepções sonoras diferentes, mesmo se mantendo as demais características da onda. É importante ressaltar que o software *Audacity* pode ser encontrado gratuitamente, disponível para sistemas operacionais comuns a computadores e *smartphones* e *tablets*, sendo possível ao aluno o acesso e realização de projetos. Na figura abaixo, a música foi tocada por um violão, mostrando assim a frequência e amplitude da onda pelo *Audacity*.

Figura 25 - - Ilustração do Audacity (demonstração do Timbre)



Fonte: Autoria própria (2022)

Para a mesma aula, sobre as qualidades do som, foi feito um estudo sobre as frequências emitidas por um violão, apresentando a frequência correspondente a cada nota musical a partir de uma nota de referência, o “dó”, também seguindo a previsão do roteiro. Ainda durante a aula, foi aplicado em sala outro procedimento que diz respeito à relação entre as frequências de onda e às notas musicais. Conforme já analisado, cada nota musical representa uma fração da frequência emitida da primeira nota na escala, o dó (essa fração é conhecida como o intervalo de uma oitava abaixo). Assim, para a realização de tal procedimento, um dos estudantes (que também é estudante de música), reproduziu no violão as notas musicais referentes à escala gama – escala definida pelo monge italiano Guido de Arizzo, seguindo uma sequência de sete notas musicais (Dó, Ré, Mi, Fá, Sol, Lá, Si); como já observado, a escala gama tem uma nota como referência, o “dó”, e as notas seguintes representam uma fração de sua frequência. Portanto, é exatamente a sequência crescente das frequências de cada nota musical que se dá o termo “escala musical”, havendo entre elas intervalos acústicos bem definidos.

Na figura 26, um dos estudantes da turma do segundo ano do ensino médio, músico, reproduz as notas de acordo com o que é apresentado em tela pelo *Audacity*. Ao ser discutida a equação do intervalo entre dois sons, que representa o quociente entre as frequências percebidas, cada frequência encontrada pelos alunos foi reproduzida em sala, comparando-se assim com as frequências emitidas pelo violão, que também eram ilustradas pelo Audacity e apresentadas em tela.

Figura 26 - Alunos da escola ECIPSPG reproduzindo as notas musicais no violão



Fonte: Autoria própria (2022)

A Figura 27 apresenta a tabela utilizada pelos alunos para calcular a frequência emitida por cada nota tocada no violão, tendo a nota “dó” como a frequência de referência.

Figura 27 - Escala gama representando as notas musicais de um piano

Nota	Dó	Ré	Mi	Fá	Sol	Lá	Si	Dó
Frequência (Hz)	f	$\frac{9}{8} \cdot f$	$\frac{5}{4} \cdot f$	$\frac{4}{3} \cdot f$	$\frac{3}{2} \cdot f$	$\frac{5}{3} \cdot f$	$\frac{15}{8} \cdot f$	$2 \cdot f$

Fonte: Autoria própria (2022)

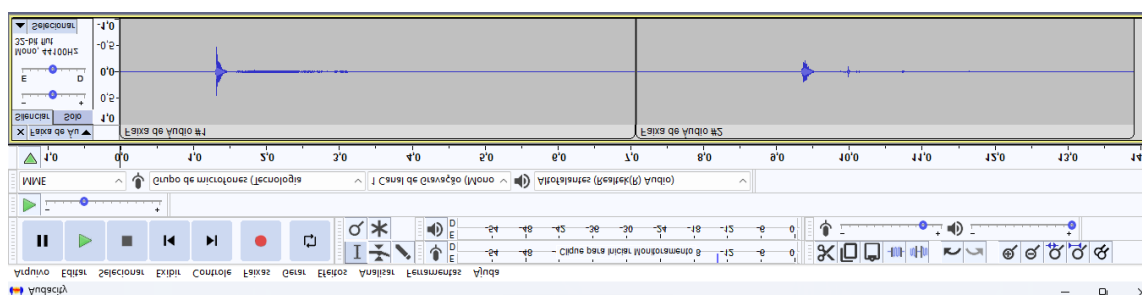
Assim, os valores reproduzidos experimentalmente, comparados aos valores encontrados, foram reproduzidos em sala, levando os alunos a uma percepção mais detalhada das frequências correspondentes às notas musicais.

O estudo dos fenômenos ondulatórios foi realizado em uma sequência de duas aulas, uma vez que o tempo de uma única aula não seria suficiente. De forma sucinta, a aplicação dos principais fenômenos relacionados ao som pode ser conferida no tópico seguinte.

6.3 Fenômenos ondulatórios

A fim de observar os efeitos da refração, foram utilizados dois copos de vidro contendo diferentes volumes de água. Com uma colher de metal, pode-se bater levemente em um dos copos, no copo que esteja vazio, por exemplo, e no outro copo que esteja com certa quantidade de água. É de fácil percepção que os copos emitirão sons diferentes ao serem tocados pela colher, corroborando assim as diferenças de velocidade de propagação no ar e na água, indicando o fenômeno da refração. Os sons emitidos por ambos os copos são captados pelo programa e apresentados em sala, como uma “fotografia” de cada momento de propagação do som. Ondas com diferentes velocidades, por se propagarem em meios diferentes, apresentam comprimentos de onda diferentes (Figura 27).

Figura 28 - Representação de ondas sonoras produzidas no copo com água e vazio



Fonte: Autoria própria (2022)

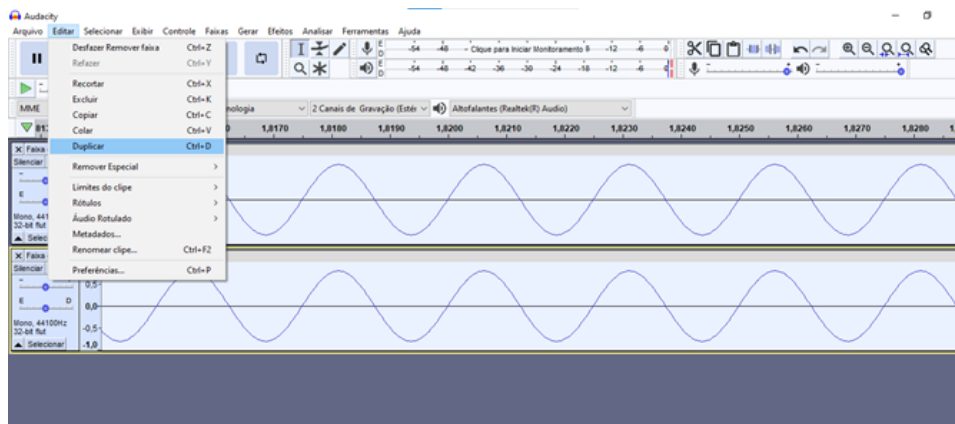
Um fato a ser observado nesse experimento é que, na refração, a frequência de onda se mantém constante, uma vez que a velocidade e o comprimento são as grandezas que variam.

O som não muda a altura com a mudança do meio, mas sim a percepção audível que é alterada por haver uma mudança na velocidade de propagação.

Já para o fenômeno da interferência (construtiva e destrutiva), foi aplicado em sala um experimento bastante fácil de observar tal efeito, uma vez que, em um mesmo momento, é possível perceber os dois fenômenos ocorrendo. Para tanto, com o Audacity em execução, foi apresentada uma onda com determinada frequência e amplitude, e reproduzida nas caixas de som próprias para computador (a tela do computador fora exibida no televisor para toda a sala). Posteriormente, a onda foi “duplicada” e no

software – o procedimento é descrito no livro - na barra de ferramentas, assim, duas ondas idênticas foram exibidas na tela e em fase (Figura 29).

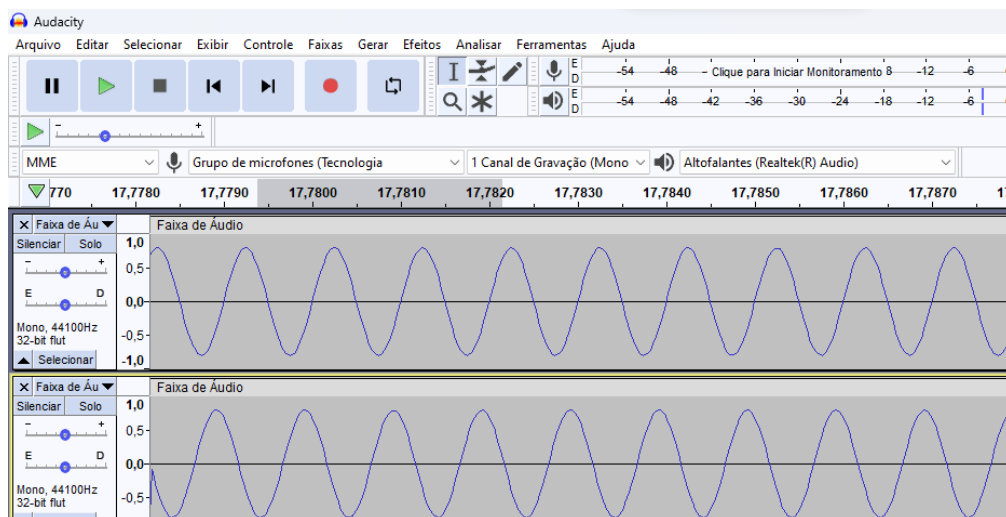
Figura 29 - Ondas idênticas e em fase apresentadas no Audacity



Fonte: Autoria própria (2022)

Uma vez reproduzidas as ondas, individualmente e de maneira simultânea, “exclui-se” um pulso de uma das ondas (procedimento também explicado no livro), deixando-as assim fora de fase (Figura 30).

Figura 30 - Ondas defasadas apresentadas no Audacity(interferência destrutiva)



Fonte: Autoria própria (2022)

Ao serem reproduzidas as ondas defasadas no *Audacity*, com o uso das caixas de som próprias para computador, foi posicionado um microfone de lapela em um ponto equidistante das mesmas (Figura 31), percebendo-se assim a interferência destrutiva, não sendo possível ouvir som algum.

Figura 31 - Demonstração da interferência destrutiva



Fonte: Autoria própria (2022)

Em seguida foi reproduzido o som referente às ondas defasadas e, ao deslizar o microfone lentamente de uma caixa à outra (Figura 32), foi observado o som aumentando à medida que o microfone se aproximava de uma das duas caixas (os pontos de máxima amplitude resultante), culminando assim na interferência construtiva. Tal experimento corroborou o somatório das amplitudes, fato estudado em sala.

Figura 32 - Demonstração da interferência construtiva



Fonte: Autoria própria (2022)

Esse procedimento foi muito relevante para a turma, uma vez que foi possível observar experimentalmente o efeito prático da superposição das ondas, ocorrido nas duas formas estudadas (construtiva e destrutiva); o *Audacity* se torna útil para tal experimento, haja vista a possibilidade de escolher a frequência emitida, como também por ser possível optar por qual caixa será reproduzido o som, ou se em ambas.

O prosseguimento do conteúdo se deu com a explicação do Efeito Doppler e a definição da sua equação geral. Como procedimento experimental, foi pesquisado em sala, via internet, as frequências real (emitida pela fonte) e aparente, percebida por um ouvinte a certa distância da fonte, que, nesse caso, era uma sirene de ambulância. Após a aplicação dos valores na equação (19), verificaram-se experimentalmente as frequências reproduzidas pelo *Audacity* – alguns alunos tiveram dificuldade em perceber a diferença, o que se explica por se tratar de valores de frequência próximos. O valor considerado para a velocidade do som no ar foi de 340 m/s, e também foi admitido que o ouvinte estivesse em repouso em relação ao mesmo sistema de referencia adotado em relação à fonte.

Outros procedimentos práticos foram executados em sala, a fim de ilustrar fenômenos mais simples, como o eco e a reverberação, mas que são importantes no estudo do som. Por fim, questões ao final de cada aula – algumas que envolviam o programa – foram resolvidas e detalhadas com ajuda do *Audacity*, que se mostrou uma ferramenta viável ao aprendizado envolvendo o tema proposto; os gabaritos referentes às questões mencionadas se encontram ao final do livro.

CAPÍTULO 7: CONSIDERAÇÕES FINAIS

De maneira objetiva, esta dissertação teve como abordagem central o detalhamento de um produto educacional produzido com a finalidade de oferecer ao professor de Física uma sequência didática que colabore com a inovação nas metodologias de ensino, apresentando novas ferramentas de cunho tecnológico que podem ser aproveitadas no ensino de Acústica.

A metodologia de referência foi explanada sob a luz de estudos bibliográficos, os quais foram fundamentais para fundamentar o arcabouço do conteúdo apresentado, contribuindo para o seguimento de uma ordem na apresentação e desenvolvimento do produto educacional, contendo explicações detalhadas sobre sua abordagem e aplicação.

Sendo assim, é válido afirmar que esta obra é voltada ao público docente, especificamente ao professor de Física, que irá tomar nota do programa computacional apresentado – *Audacity* - para que possa aprimorar suas aulas relacionadas ao estudo da propagação da energia mecânica na ondulatória e seus efeitos sonoros, tema imprescindível ao estudo de ciências no ensino médio.

Fundamentando-se na teoria de Vygotsky sobre o desenvolvimento cognitivo e suas relações com a experiência cotidiana, o presente trabalho também buscou abordar curiosidades experimentais envolvendo o recurso tecnológico apresentado, a fim de apontar a importância do advento da tecnologia em sala de aula para os estudantes do ensino de Física, discorrendo sobre teorias da aprendizagem que reproduzem a evolução da aprendizagem a partir interações com o meio social.

Diante do exposto, é possível perceber o advento de novos recursos tecnológicos que se incorporam cada vez mais à prática de ensino, uma vez visto conforme o que foi apresentado, a contribuição evidente de materiais que auxiliam não só o docente no seu processo didático, como também o estudante, materiais esses cada vez mais comuns ao desenvolvimento da aprendizagem. Logo, à medida que a prática de ensino se desenvolve, o aprimoramento da tecnologia vai se mostrando cada vez mais viável, o que só corrobora a sua presença como essencial.

Destarte, é inegável a presença e a importância da tecnologia na prática de ensino, cada vez mais, à medida que novas tendências surgem de modo a somar à sala de aula, desde meros equipamentos mais triviais, como calculadoras científicas, ao acesso a aplicativos e jogos que contribuem com o desenvolvimento da aprendizagem.

Finalmente, após uma descrição sobre o software apresentado e a sequência didática proposta, é de se esperar que o livro digital “*Audacity* no ensino de Física” contribua de forma significativa para as aulas de acústica, oferecendo ao professor de Física uma nova ferramenta de ensino, contemporânea, que satisfaça a sua didática bem como o aprendizado do quadro discente.

REFERÊNCIAS

- ANDRADE, Karylela do Santos; **Interdisciplinaridade e livro didático: interfaces (im)possíveis**. Disponível em: <https://periodicos.ufrn.br/gelne/article/view/10189>. Acesso em 12/08/2022
- ARANHA, M. L. de A. **História da educação**. 2. ed. São Paulo: Moderna, 1996.
- ARAÚJO, Luiz Fabiano Lucas. **Criação e uso de um e-book animado e interativo para ensino de eletricidade com ênfase no choque elétrico causado por “tensão de passo”** – 2017
- BAZILATTO, A. ; GIUBERTI JUNIOR, J. R. . **Comunicação, Afetividade e Tecnologias Educacionais no Processo de Ensino e Aprendizagem**. Coletânea de Artigos sobre Informática na Educação: construções em curso. 1ed.Serra - ES: CEAD/Ifes, 2012, v. 1, p. 99-114.
- ENDO, W. **A pandemia da COVID-19 e o seu impacto na indústria do livro no Brasil**. Revista Internacional de Folkcomunicação, v.19, 2021.
- FRISSE, Marli Dallagnol. **Livro didático como instrumento de apoio para construção de propostas de ensino de ciências naturais**. Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciência, Enpec, 2009.
- GASPAR, Alberto, **Compreendendo a Física, vol. 2**, ed. Ática, 2013
- GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2007.
- GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.
- MARCONI, A. De A.; LAKATOS, e. M. **Fundamentos de metodologia científica**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2003.
- MARANDINO, Marta. **Tendências teóricas e metodológicas no Ensino de Ciências**. Disponível em: <https://edisciplinas.usp.br> ; acesso em 17/08/2022
- MORAN, J. M. **Mudando a educação com metodologias ativas**. Disponível em https://moran.eca.usp.br/wp-content/uploads/2013/12/mudando_moran.pdf . Acesso em 15/08/2022
- MOREIRA, M.A. (1999). **Aprendizagem significativa**. Brasília: Editora da UnB.
- NUSSENZVEIG, Herch Moysés. **Curso de Física básica**, 1 ed. – São Paulo : Edgar Bluncher, 1998.
- OLIVEIRA, Souza Santos, A., Ernana Sales de Brito Souza, A., Bassul Areias, G., Petri Assunção, J. P., Alcina Martins Nobre, I. ., & Battestin Nunes, V. (2019). **Tecnologias digitais no ensino de Física: uso de celular na abordagem de conteúdos programáticos de velocidade**. Revista Eletrônica Debates Em Educação Científica E Tecnológica, 7(03), 208-228.

PIRES, Antônio S. T, **Evolução das ideias da Física**, 2. ed. São Paulo, 2011.

RIBEIRO, Tiago & Senra, CLARICE & Resende, M.. (2018). **Utilização do software Audacity como recurso didático no ensino de ondas**.

SANTOS, A. S. **Fundamentos da teoria histórico-cultural para a competência em informação no contexto escolar**. 2013. 89 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Faculdade de Filosofia e Ciências de Marília, 2013. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/93637>. Acesso em: 27 jan. 2023.

SILVA, M. L. ; GRACIANO, M. F. . **Guia básico de desenvolvimento de um livro digital em formato E-Pub** (Desenvolvimento de material didático ou instrucional - Manual do desenvolvedor) – 2016.

VILLAS BÔAS, Newton. **Tópicos de Física**, vol. 2. ed. Saraiva, 2018.

VIRGINIO, Rhodriggo Mendes. **Referencias não-inerciais e Foças fictícias: a proposição de um e book com abordagem para o ensino médio**. Instituto Federal de Educação Ciências e Tecnologias do Rio Grande do Norte (IFRN) – Natal: 2017.

YAMAMOTO, Kazuhito **Física para o ensino médio**, vol. 2: Termologia, Óptica e Ondulatória / Kazuhito Yamamoto, Luís Felipe Fuke – 4.ed. – São Paulo: Saraiva, 2016.

APÊNDICE A – Audacity no Ensino de Física***Audacity no ensino de Física***

João Alfredo Praxedes da Penha

Produto educacional apresentado em dissertação de mestrado do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN) no curso de Mestrado Nacional Profissional de Ensino em Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de mestre em Ensino de Física.

Agradecimento: O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – código de financiamento 001.

Orientador:

Melquisedec Lourenço da Silva, DSc

Natal, RN

Janeiro de 2022



AUDACITY NO ENSINO DE FÍSICA

João Alfredo P. da Penha
Melquisedec L. da Silva

RESUMO

O material apresentado a seguir trata de um trabalho em formato de livro digital (*e-Book*), intitulado “Uma proposta de ensino de Física: acústica com auxílio do *Audacity*”.

Por se tratar de uma proposta de ensino, o público destinado especialmente ao uso da obra é o profissional em ensino de Física, que irá ter acesso a uma nova metodologia a ser praticada em sala com auxílio de uma ferramenta computacional – o software “*Audacity*” – usada amplamente em indústrias de mídias sonoras, como produtoras musicais e emissoras de rádio.

É irrefragável o advento da tecnologia como mecanismo de ensino nos últimos anos, sendo objeto imprescindível de aperfeiçoamento, facilitação e aplicabilidade prática durante a execução de aulas, desde o uso de acessórios mais simplórios, como projetores de tela, ao uso de equipamentos mais sofisticados, como recursos laboratoriais e programas computacionais livres que auxiliam determinadas elucidações de temas por vezes mais complexos.

Destarte, este trabalho tem como objetivo levar ao professor de Física uma proposta de ensino em que o mesmo faça uso de uma ferramenta computacional de simples manuseio, voltada para as aulas de acústica, a fim de elucidar grandezas físicas e fenômenos ondulatórios relacionados ao tema.

O “*Audacity*” é um software livre que tem como finalidade a edição digital de áudio, sendo extremamente útil à demonstração de efeitos sonoros, bem como os elementos de uma onda, inovando nas aulas de Física com a inclusão de práticas experimentais que envolvam o referido tema; de fácil acesso e disponível para diversas plataformas operacionais (Windows, Linux, Mac...), esta ferramenta poderá compor a metodologia de ensino por parte do docente, em suas aulas de acústica, que poderá atribuir ao programa, de maneira sofisticada, práticas experimentais por vezes de difícil conjectura quando não utilizada uma ferramenta capaz de ilustrar aquilo ora proposto em aula.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: Ícone do <i>Audacity</i>	10
FIGURA 2: Gerando um tom no <i>Audacity</i>	11
FIGURA 3: Salvando um projeto no <i>Audacity</i>	12
FIGURA 4: Barra de ferramentas do <i>Audacity</i>	12
FIGURA 5: Itens em vermelho representando os elementos de uma onda	15
FIGURA 6: Destaque para a parte hachurada representando a amplitude da onda	16
FIGURA 7: Onda com frequência de 800 Hz e 400 Hz	17
FIGURA 8: Experimento da propagação da onda sonora	22
FIGURA 9: Elementos de onda em vermelho	23
FIGURA 10: Tabela do espectro sonoro audível	24
FIGURA 11: Ondas sonoras com frequências variáveis	26
FIGURA 12: Tabela da escala “gama” musical	29
FIGURA 13: Escolha arbitrária da amplitude pelo <i>Audacity</i>	30
FIGURA 14: Escala de ruídos	30
FIGURA 15: Reprodução de uma música tocada apenas pelo violão	36
FIGURA 16: Reprodução de uma música tocada apenas pelo violino	42
FIGURA 17: Tabela de ruído sonoro	43
FIGURA 18: Interferência construtiva e destrutiva	45
FIGURA 19: Duplicando uma onda no <i>Audacity</i> , gerando uma interferência	46
FIGURA 20: Defasagem de ondas, gerando uma interferência destrutiva	47
FIGURA 21: Interferência construtiva sendo apresentada em sala	
FIGURA 22: Interferência destrutiva sendo apresentada em sala	48

	9
Capítulo 1 – Introdução	
Capítulo 2 – Apresentação do Audacity	10
Breve tutorial sobre o Audacity	
Acesso ao Audacity	
Apresentando o Audacity	11
Capítulo 3 – Introdução à acústica	13
Aula 1	
Introdução à acústica	15
Procedimento prático 1	18
Questões	20
Capítulo 4 – Qualidades do som	21
Aula 2	
Qualidades do som	22
Altura	23
Procedimento prático 2.1	24
Procedimento prático 2.2	25
Intensidade	26
Procedimento prático 2.3	28
Timbre	30
Procedimento 2.4	
Questões	32
Capítulo 5 – Fenômenos ondulatórios I	33
Aula 3	
Reflexão	34
Refração	35
Ressonância	
Difração	36
Procedimento prático 3	38
Questões sugeridas	
Capítulo 6 – Fenômenos ondulatórios II	39
Aula 4	
Interferência sonora	40

Procedimento prático 4	42
Procedimento prático 4.1	43
Efeito Doppler	44
Procedimento prático 4.2	46
Questões	47
Gabarito	50
Referências bibliográficas	52

***Audacity* no ensino de Física**

João Alfredo Praxedes
Melquisedec Lourenço da Silva
2022

Apresentação

Esta obra tem como objetivo levar ao professor de Física uma nova ferramenta de ensino que o ajude a aperfeiçoar sua prática no cerne do conteúdo relacionado à acústica, ampliando assim o leque de possibilidades para dinamizar a sua aula, bem como propor ao quadro estudantil experimentos de fácil execução, todavia, com teor de informação e demonstração que outrora exigira maior complexidade.

Estão cada vez mais presentes no cotidiano dos estudantes utensílios como aparelhos de reprodução sonora (caixas de som e afins), computadores, *tablets* e *smartphones*, que possibilitam modelos observacionais de estudos se forem bem aproveitados para essa finalidade.

Sendo assim, este livro é destinado aos professores de Física, mais especificamente para o ensino no nível médio, que poderão fazer uso da sequência didática experimental aqui exposta, podendo interagir de modo mais dinâmico com seus alunos, levando-os a experiências observacionais mais claras e dinâmicas.

A referida sequência didática apresenta um conjunto de práticas experimentais relacionadas à acústica, descritas a partir do software denominado “*Audacity*”, que tem vasta aplicabilidade no ramo da indústria de mídias sonoras, como estúdios de gravação, edição de áudios e emissoras de rádio, possui uma interface de fáceis leitura e execução, e ainda propicia a reprodução com clareza de uma gama de experimentos relacionados ao já referido tema, sendo assim bastante útil nas aulas experimentais para melhor esclarecimento deste ramo da Física.

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

É cada vez mais comum, no ensino de ciências, o uso de ferramentas de amparo tecnológico que elucidam melhor a observação de conceitos por vezes abstratos; muitas dessas ferramentas possibilitam a praticidade no que tange à aplicação de alguns ramos da Física de forma experimental, trazendo o discente a uma perspectiva outrora inimaginável.

Partindo do pressuposto acima, a ideia original deste trabalho surgiu da percepção em sala de aula - sobretudo em aulas que relacionam a prática experimental à didática - de que os estudantes, de modo geral, estão cada vez mais adeptos ao uso da tecnologia para auxiliar suas aprendizagens, fazendo frequentemente uma conexão entre o que foi estudado de forma teórica a algum recurso de mídia interativo que possibilite uma observação mais substancial acerca de determinado tema; contudo, faz-se necessárias certas adaptações por parte do docente a essas novas práticas contemporâneas, com o fim de tornar a aula mais interativa e composta por uma metodologia que vise o incentivo a um uso mais proveitoso de tais ferramentas tecnológicas voltadas para o ensino científico.

No que tange o estudo da acústica, uma ferramenta de uso paralelo – que tem aplicabilidade na gravação e edição de áudios – é o software denominado “*Audacity*”.

O *Audacity* é um programa gratuito direcionado para o público que tem como objetivo registrar ou editar faixas de áudio e música, tornando possível a gravação e a modificação de mídias de cunho sonoro - musical. Com suas opções de criação e edição de áudios, é possível acessar funções técnicas de uma produção de áudio, como criação de diferentes trilhas, adição de efeitos, renderização e mixagem.

A ideia do presente trabalho é fazer uso deste software como um suporte para as aulas relacionadas à acústica, introduzindo experimentos e demonstrações sobre grandezas que compreendem as ondas sonoras. Com o *Audacity* é possível demonstrar os efeitos das variações de amplitude e frequência, os tipos de ondas formadas quando se variam tais grandezas, o fenômeno da interferência (construtiva e destrutiva) e o efeito Doppler.

Sendo assim, faz-se necessário, a princípio, compreender o uso desta ferramenta para que se possa atingir um mínimo domínio exigido, a fim de tornar proveitosa a sua aplicabilidade nas aulas sobre acústica.

CAPÍTULO 2 - APRESENTAÇÃO DO AUDACITY

1. Breve tutorial sobre o Audacity

É válido esclarecer que o referido programa tem como finalidade a edição e produções de efeitos sonoros; sendo assim, o que será abordado durante a aula terá um viés exclusivamente voltado para as ondas sonoras, fundamento base do estudo de acústica. A seguir, um passo a passo de como dar início a execução dessa ferramenta, como adquiri-la e como aplica-la.

1.1 Acesso ao Audacity

O Audacity é um software gratuito, podendo ser encontrado para download facilmente na internet, além de ser compatível com os sistemas operacionais disponíveis para o público (*Windows 7, 8, XP, Linux e Mac*), como também para os sistemas que operam os *smartphones (IOS e Android)*; ao baixar o programa, o acesso se dará ao clicar no ícone apresentado na figura a seguir, que irá aparecer na tela do computador de forma automática, logo após a conclusão do *download*:

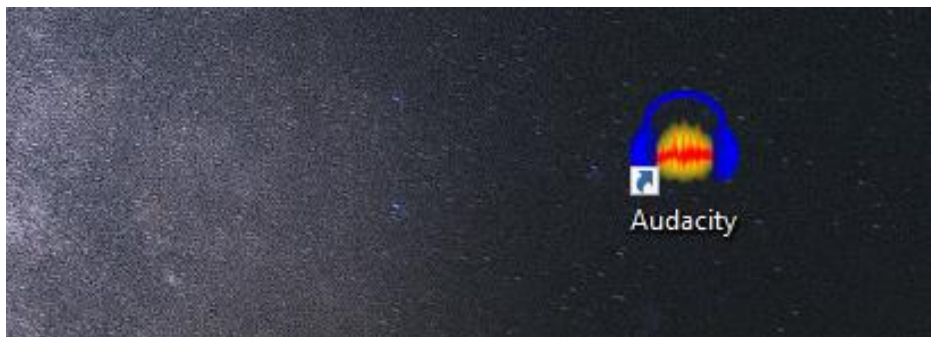


Figura 1 - Ícone do Audacity

Logo adquirido, ao clicar no ícone, surgirá na tela a opção de instalação, procedimento que deverá ser feito para que o programa passe a executar suas funções no aparelho utilizado; é sugerido que seja executado no computador portátil, pois torna-se mais prático se comparado ao uso em *smartphones*. A instalação é rápida e simples, sendo necessário apenas seguir os passos indicados no momento da execução inicial do programa.

1.2 Apresentando o Audacity

Uma vez com o programa apresentado na tela do computador, pode-se ir à barra de ferramentas e produzir uma onda no ícone “gerar tom”. A seguir, escolhe-se arbitrariamente valores para as grandezas a serem estudadas.

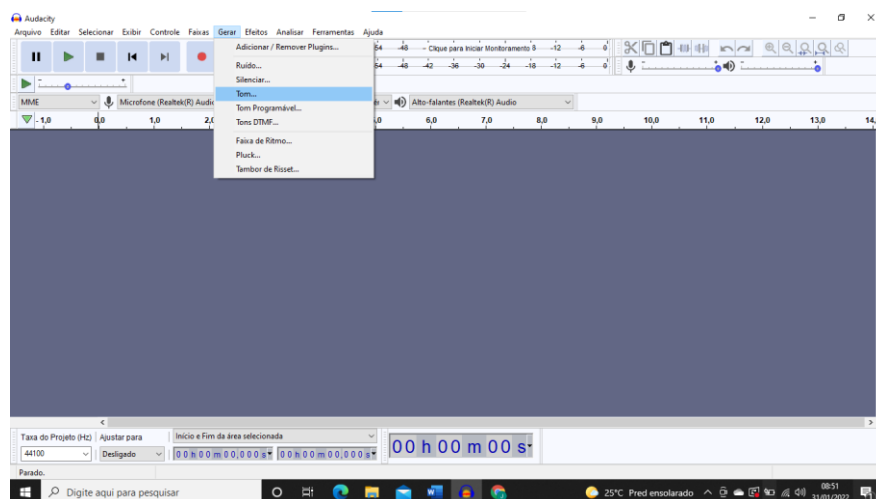


Figura 2 - Gerando um tom no Audacity

Ainda na barra de ferramentas é possível selecionar alguns comandos - “controle”, “faixas”, “editar” - assim como é possível, na opção “arquivo”, salvar as edições e projetos realizados com as ondas trabalhadas (vide ilustração a seguir). Para qualquer projeto produzido pelo professor existe a opção de ser arquivado, podendo assim ser utilizado em aulas posteriores. O *Audacity* permite ainda o compartilhamento desses projetos, que podem ser atribuídos pelos estudantes posteriormente, inclusive em seus próprios *smartphones*, uma vez que o software também se encontra disponível para esses tipos de aparelhos. Com isso, o estudante poderá ter acesso posterior aos arquivos que forem trabalhados em sala, sendo possível sua edição e aplicações ulteriores.

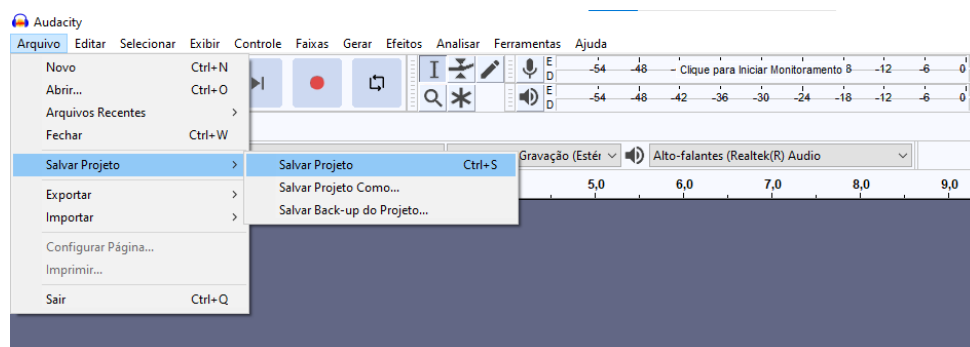


Figura 3 - Salvando um projeto no Audacity

Já nos ícones logo abaixo a “barra de ferramentas”, encontram-se dispostos alguns comandos para o uso da onda sonora estudada, como *reproduzir*, *pausar*, *parar* e *gravar*. E ainda, logo abaixo aos ícones supracitados, pode-se escolher as opções de gravação e reprodução do áudio a ser analisado, como se ver a seguir:

- No ícone correspondente ao microfone, o professor poderá optar por qual “local” o som deverá ser gravado, tendo como opções o microfone do seu próprio computador ou ainda um microfone conectado ao mesmo ou à caixa de som própria. O “Audacity” ainda dispõe da opção “eliminar ruídos” em sua edição, deixando assim o áudio “limpo”, com apenas o som reproduzido mais próximo ao microfone (o que se pretende ouvir), e que corresponde a onda sonora a ser analisada.
- No ícone correspondente à saída de som, o professor poderá optar por qual “local” o som deve ser reproduzido, podendo ser nas caixas do próprio computador, nas saídas de som do mesmo, ou ainda em uma caixa maior (caso o professor ache necessário) conectada também ao seu computador (em caso de aula com maior dimensão, como em um auditório, por exemplo, é recomendável essa última opção).
- No ícone referente a “arquivo”, encontra-se disposto a opção “salvar projeto”, possibilitando assim o arquivamento do projeto trabalhado em sala para que se possa utilizar em ocasiões futuras, otimizando o tempo de aula.

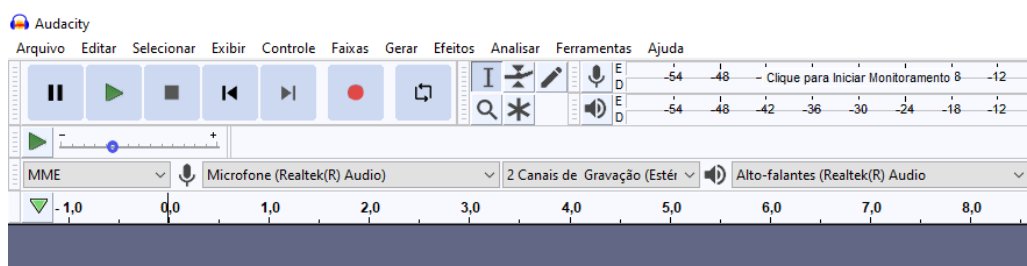


Figura 4 - Barra de ferramentas do Audacity

Uma vez com o programa em execução e com o auxílio de equipamentos de reprodução sonora, como caixinhas de som próprias para o computador (podendo também ser usado em outros tipos de equipamentos), é possível dar início aos procedimentos didáticos e mostrar aos estudantes as diferentes grandezas relacionadas à acústica, bem como fazer uma relação com os elementos de onda, como veremos a seguir, e todo estudo relacionado à acústica, sobretudo no que diz respeito à prática experimental. Com o uso do software, é possível a produção de uma sequência didática que explore o tema a ser trabalhado de forma mais dinâmica, culminando em uma vasta gama de possibilidades a serem trabalhadas de forma observacional.

CAPÍTULO 3 - INTRODUÇÃO À ACÚSTICA

Aula 1

Para dar início a esta sequência de ensino, é válido esclarecer aquilo que será abordado de forma introdutória, analisando o que estuda a acústica e quais as grandezas relacionadas com a matéria, como se observa a seguir. Também se faz necessário traçar um plano com metas a serem executadas, como direcionamento e conclusão do conteúdo, a fim de manter uma otimização no tempo de aula, bem como nos procedimentos metodológicos a serem adotados pelo docente⁴. A seguir, um modelo de plano para que o professor possa ter um norteamento do que será apresentado, seguindo em regra o horário padrão de uma aula de 50 minutos.

⁴ O plano de aula apresentado serve apenas como modelo, cabendo uma flexibilização na exequibilidade por parte do professor.

PLANO DE AULA 1

TEMA E OBJETIVO	• Introdução à acústica: elucidar o conceito de acústica, compreender o conceito de onda mecânica e definir o que é onda sonora. • Demonstrar as propriedades de uma onda e relacioná-las com as grandezas referentes à acústica. • Definir e apresentar a equação fundamental da ondulatória a partir das grandezas apresentadas.
CONTEÚDO	• Acústica: propriedades de uma onda (Crista, vale e amplitude). • Grandezas de uma onda (comprimento de onda, intensidade, frequência e velocidade).
METODOLOGIA OU ESRATÉGIA	• Inicia-se a aula apresentando um breve resumo sobre o conceito de ondas mecânicas com uso do software <i>Audacity</i>, projetado em tela. Com auxílio de caneta para quadro ou de algum apontador, apresenta-se os elementos da onda, enunciando um a um e os relacionando com as grandezas referentes ao som. Posteriormente, demonstrar-se-á, mediante reprodução das ondas em caixas de som próprias para computador, as diferenças experimentais entre frequência, comprimento e amplitude, culminando na equação fundamental da ondulatória. Finaliza-se a aula com a resolução de questões que envolvam a prática cotidiana e a equação fundamental da ondulatória, a critério do professor.
RECURSOS DIDÁTICOS	• Computador, caixas de som próprias, data show, quadro.
AVALIAÇÃO	• Questões de caráter avaliativo podem ser

	levantadas ao fim da aula, a critério do professor.
REFERÊNCIAS (a critério do professor)	• GASPAR, Alberto. Compreendendo a Física. Vol. 2: Ondas, Óptica e Termologia Editora Ática, 2018. • YANAMOTO, Kazuhito. Física para o ensino médio, vol. 2: Termologia, Óptica e Ondulatória \ Kazuhito Yanamoto, Luís Felipe Fuke. 4 ed. São Paulo: Saraiva 2016.

Introdução à acústica

O professor deve começar a aula traçando uma relação entre o tema que será estudado, a acústica, e a ondulatória. É importante que o professor relembre as diferenças entre ondas mecânicas e eletromagnéticas, esclarecendo para a turma que as ondas sonoras são de natureza mecânica, as quais necessitam de um meio para propagação; o professor deve também lembrar o conceito de ondas longitudinais e tridimensionais (previamente já elucidadas) para enfim esclarecer que a direção de vibração das partículas do meio coincide com a direção de propagação, tendo como frente de onda uma superfície esférica. Por fim, é de suma importância que seja esclarecido o conceito literal do termo “acústica”, para que se possa fazer uma relação de causa com as leis da natureza que regem o som, bem como dos seus efeitos.

As propriedades de uma onda podem ser apresentadas com o uso do *Audacity*, projetando a tela do computador por um *datashow*, e, uma vez exposta no quadro, poderá ser feita sua análise gráfica, assim como de suas propriedades. Para isso, depois de “gerar um tom”, o professor deve reproduzir a onda e, para facilitar a visualização de suas propriedades, deve-se “pausar”, mantendo a onda permanentemente exposta no quadro para que se possa “apontar” seus elementos e relacioná-los com as grandezas características da acústica.

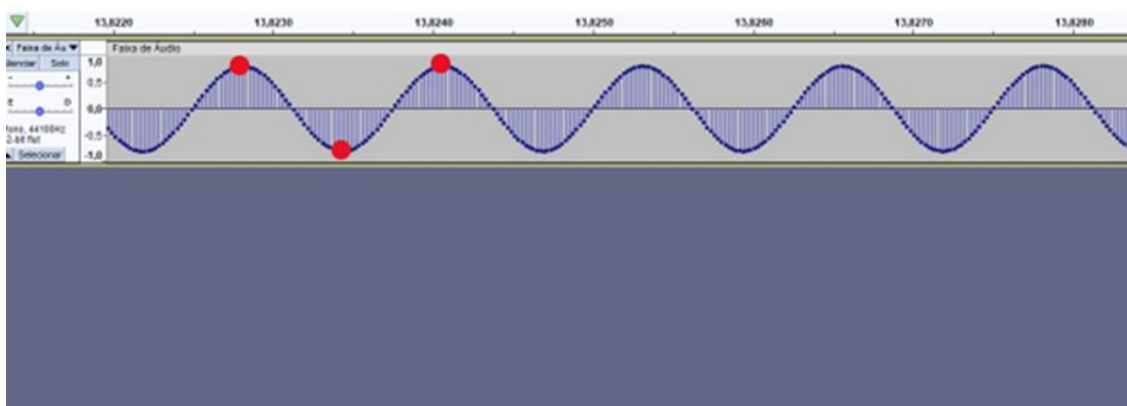


Figura 5 - Itens em vermelho representando os elementos de uma onda

É possível identificar os pontos vermelhos na figura como sendo propriedades de uma onda, apresentadas previamente, podendo ser revisadas para melhor elucidação no decorrer da aula. Com auxílio de um apontador a laser ou de outra ferramenta similar, pode-se apontar para o primeiro ponto vermelho superior e apresentá-lo como a crista da onda, fazendo o mesmo com o segundo ponto superior e representar de forma ilustrativa o comprimento de onda (λ) como sendo a distância entre as duas cristas (a distância entre os dois pontos vermelhos superiores). Também é importante ressaltar que a mesma distância que compreende os dois pontos vermelhos superiores se repete para quaisquer distâncias entre outros dois novos pontos (a distância entre duas cristas vizinhas quaisquer irá compreender o comprimento de onda λ).

O mesmo procedimento pode ser repetido para os pontos inferiores, que compreendem o vale. De forma análoga, a distância que compreende dois vales quaisquer também corresponde ao comprimento de onda λ , o que deve ser também observado.

Destarte, analisa-se a distância entre a linha normal que divide a fase superior e inferior da onda, na qual dá-se o nome de amplitude, destacada na parte hachurada da onda. É importante que o professor apresente os valores para diferentes amplitudes em tela, objetivando enfatizar a observação acerca das mudanças nas características da onda (qual aspecto está mudando quando se altera os valores atribuídos à amplitude?).

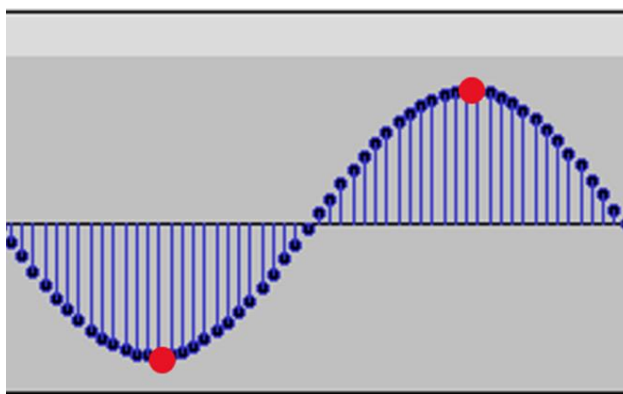


Figura 6 - Destaque para a parte hachurada representando a amplitude da onda

Ainda para essa primeira etapa de estudos, deve ser apresentada a relação entre o comprimento de onda e a frequência, outra grandeza fundamental no estudo das ondas sonoras. Aqui o professor pode fazer a demonstração gerando no *Audacity* um novo tom e, uma vez variando a sua frequência, é possível observar facilmente o novo comprimento desta nova onda. Fazendo uma relação entre duas ou mais ondas produzidas, o professor pode analisar juntamente aos alunos o que ocorre com o comprimento de onda quando se aumenta ou se diminui a frequência. Observando a figura a seguir, percebe-se se tratar de duas ondas produzidas pelo software, uma com frequência 400 Hz e outra com frequência 800 Hz.

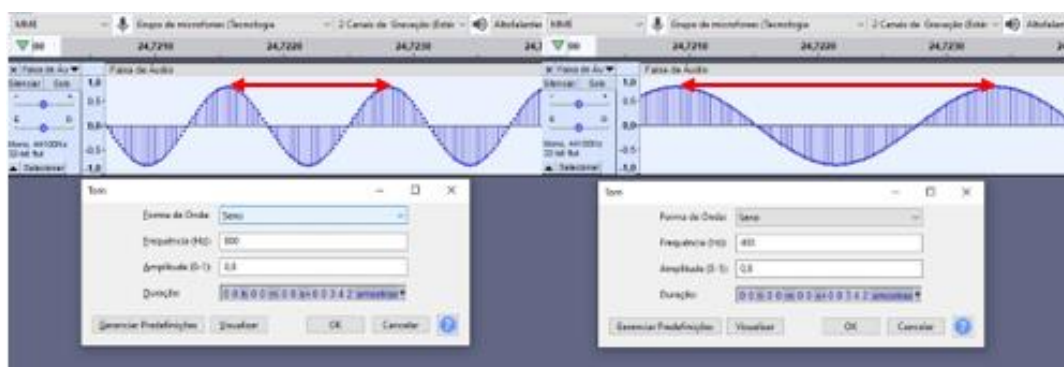


Figura 7 - Ondas com frequências de 800 Hz (à esquerda) e de 400 Hz (à direita)

Uma forma simples e de eficaz observação pode ser feita com um procedimento prático e com o uso do *Audacity*, a fim de que se possa analisar os efeitos da propagação da energia sonora quando se varia a frequência. O professor, com o intuito de atrair a

atenção dos estudantes em sala, pode convidá-los a “ver” o som, mediante o experimento a seguir.

Procedimento prático 1

- Os materiais utilizados para essa prática experimental: um recipiente de vidro sem tampa (tipo vasilha ou até mesmo um pequeno aquário), plástico “filme” (utilizado geralmente em cozinha), sal de cozinha ou grãos de arroz, uma caixinha de som (quanto melhor a qualidade do som, melhor a observação), e o computador ou celular.
- Uma vez com o plástico fechando a superfície aberta do recipiente (importante deixar o plástico bem vedado de tal forma que ele fique bem esticado), coloca-se o sal ou os grãos de arroz espalhados sobre o mesmo, de modo que fiquem bem distribuídos por toda a membrana formada sobre o recipiente, conforme a figura a seguir:

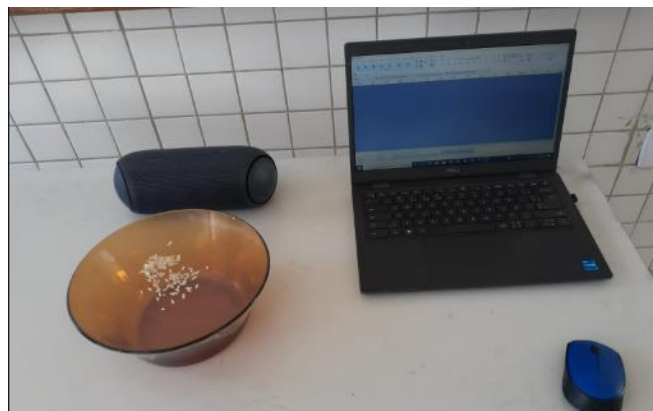


Figura 8 - Experimento que demonstra a propagação de energia sonora

- Para executar o experimento, o professor deverá aproximar a caixa de som do recipiente e, com o uso do *Audacity*, reproduzir sons com diferentes frequências, desde sons mais graves até sons mais agudos, sugerindo aos alunos que observem atentamente a movimentação dos grãos sobre o plástico. Os estudantes deverão perceber um movimento equivalente dos grãos, mesmo nas situações em que as frequências são diferentes, garantindo assim que a altura do som não interfere no movimento, ao

contrário do que se poderia supor. É válido fazer a ressalva de que a altura, propriedade relacionada à frequência, não tem relação com a energia emitida, o que corrobora a ideia de que, por mais alto que seja o som, não é essa a grandeza que irá alterar o movimento das partículas em sua volta, mas sim a intensidade (analisada mais adiante). Essa observação pode ser feita aumentando o volume da caixa em que o som é reproduzido; nesse caso, a grandeza que está sendo alterada é a intensidade, em vez da altura.

Note na *figura 7* que a distância entre as cristas é menor na onda de frequência 800 Hz (à esquerda) do que na onda de frequência 400 Hz (à direita), corroborando assim a relação de proporcionalidade inversa entre comprimento de onda (λ) e frequência (f). Como já observado, o comprimento de onda é a menor distância entre dois pontos consecutivos em que a perturbação se repete: distância entre duas cristas consecutivas ou dois vales consecutivos. Sabe-se que a velocidade (v) é uma grandeza que relaciona distância e tempo (velocidade é a razão entre espaço percorrido pelo tempo correspondente; é importante que seja lembrado em sala); logo, a velocidade de propagação de uma onda depende do seu comprimento e do intervalo de tempo em que a perturbação se repete. No caso específico das ondas, por se tratar de um intervalo de tempo repetitivo⁵, torna-se mais prático o uso do termo *período*, representado por T .

Sabendo que a frequência é o inverso do período ($f = 1/T$), infere-se aqui a equação fundamental da ondulatória, culminando a primeira aula com o uso do *Audacity*.

O professor deve assim concluir e demonstrar de forma prática o que ocorre quando aumenta ou diminui consideravelmente a frequência, apresentando não só as imagens como também os diferentes efeitos sonoros reproduzidos, e fazer a relação com as equações apresentadas a seguir:

$$v = \frac{\lambda}{T} \quad (1)$$

ou ainda:

$$v = \lambda \cdot f \quad (2)$$

⁵ Em uma situação ideal em que não há dissipação de energia

A equação em destaque é conhecida como a *equação fundamental da ondulatória*.

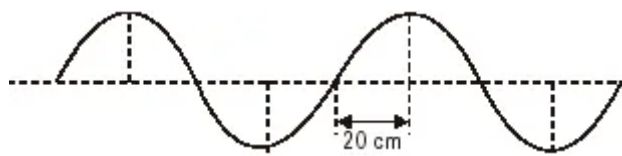
Para demonstrar os efeitos práticos dessa equação, sugere-se que o professor reproduza novamente os sons emitidos pelas diferentes frequências de onda e, uma vez conhecendo sua velocidade de propagação no ar, pode-se inferir junto aos alunos, seus respectivos comprimentos de ondas (ou pode-se fazer o procedimento inverso, conhecendo seu comprimento, pode-se inferir a velocidade).

Para isso, é importante que o professor finalize a aula apresentando a reprodução sonora com as frequências trabalhadas em sala, a fim de que possam perceber os diferentes sons emitidos e possam relacioná-los com as grandezas estudadas.

A seguir, algumas sugestões de questões acerca do que foi abordado na aula:

Questões

- 1- Sabendo que a velocidade de propagação do som no ar é de aproximadamente 340 m/s, determine o comprimento e o período de uma onda sonora com frequência de 800 Hz.
- 2- (Unifor/CE) Na figura está representada a configuração de uma onda mecânica que se propaga com velocidade de 20 m/s.



A frequência da onda, em hertz, vale:

- a) 5,0 b) 10 c) 20 d) 25 e) 50

CAPÍTULO 4 – QUALIDADES DO SOM

Aula 2

Dando continuidade à esta sequência didática referente à acústica, seguiremos com a segunda aula, que terá como objetivo apresentar algumas características mais usuais no cotidiano, comumente chamadas de “qualidades do som”, e relacioná-las com as propriedades ondulatórias estudadas na aula anterior. É comum usarmos no dia a dia os verbos “aumentar” e “abaixar” para nos referirmos a algum som que está sendo reproduzido em nossa tv ou rádio, por exemplo. Todavia, tais termos são usados de forma errônea, uma vez que esses estão relacionados à frequência do som; quando pedimos para aumentar o volume da tv, na verdade estamos pedindo para deixar o som mais “intenso”, em vez de mais “alto”; a intensidade do som, por sua vez, está relacionada com a amplitude, bem como o nível sonoro, como deverá ser analisado nessa segunda aula (vide plano de aula a seguir).

PLANO DE AULA 2

TEMA E OBJETIVO	• Apresentar as qualidades do som e relacioná-las com frequência e amplitude. • Apresentar o conceito de altura do som e intensidade sonora no cotidiano; • Definir e distinguir som agudo e som grave; • Definir nível sonoro.
CONTEÚDO	• Acústica: Frequência e Amplitude • Grandezas relacionadas: altura, intensidade e nível sonoro.
METODOLOGIA OU ESRATÉGIA	• Inicia-se a aula com uma breve revisão sobre as grandezas até então estudadas, bem como os elementos de uma onda. Apresenta-se no quadro a tela projetada do gráfico de uma onda

	produzida pelo <i>Audacity</i>. Com a reprodução de ondas em diferentes frequências, analisa-se a altura do som e a relaciona com o som grave ou agudo. Faz-se uma demonstração de um som grave e de um som agudo e indaga os alunos sobre a relação desses sons com as respectivas frequências. Posteriormente apresenta na mesma projeção a amplitude do som, a fim de fazer uma atribuição com a intensidade e por fim com o nível sonoro.
RECURSOS DIDÁTICOS	• Computador, caixas de som próprias, data show, quadro e um aparelho decibelímetro.
AVALIAÇÃO	• Questões de caráter avaliativo podem ser levantadas ao fim da aula, a critério do professor.
REFERÊNCIAS (a critério do professor)	• GASPAR, Alberto. Compreendendo a Física. Vol. 2: Ondas, Óptica e Termologia Editora Ática, 2018. • YANAMOTO, Kazuhito. Física para o ensino médio, vol. 2: Termologia, Óptica e Ondulatória \ Kazuhito Yanamoto, Luís Felipe Fuke. 4 ed. São Paulo: Saraiva 2016.

Qualidades do som

Para o início desta aula é válido traçar uma breve revisão sobre o conteúdo da aula anterior, ressaltando as definições de frequência e amplitude. Uma vez iniciada a aula, o professor irá expor em tela o *Audacity* e apontará os elementos de uma onda sonora já estudados (podendo ser utilizada a mesma onda já gerada, a fim de otimizar o tempo de aula). É válido ressaltar que o software conta com a possibilidade de arquivamento de um projeto, na opção “salvar projeto”, apresentado no capítulo 2. A seguir, uma ilustração gráfica com os elementos de onda em destaque:

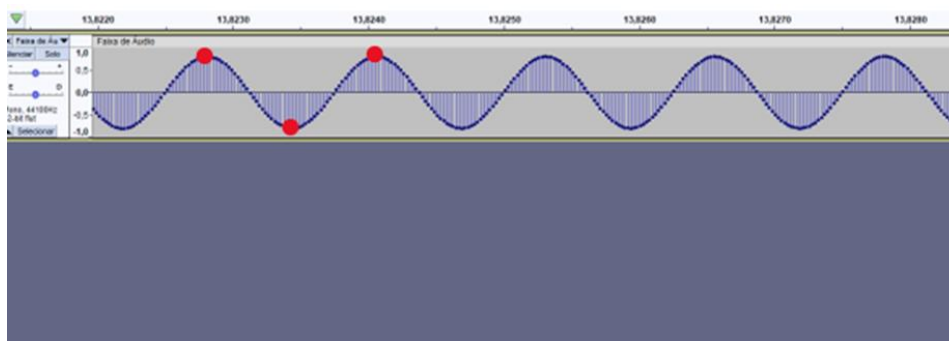


Figura 9 - elementos de onda apontados em vermelho

Destarte, dar-se-á início ao objetivo previsto para esta aula: fazer as relações entre as grandezas elementares das ondas sonoras e as qualidades do som (também chamadas de qualidades fisiológicas); são elas a **altura** (relacionada à frequência do som), a **intensidade** (relacionada à amplitude) e o **timbre** (relacionado à forma da onda). Com base fundamental nessas três grandezas e suas qualidades associadas, pode-se demonstrar para o estudante como o som pode ser analisado de forma experimentada cotidianamente. Arbitariamente, começa-se aqui com a altura (a critério do professor).

As equações apresentadas na primeira aula deverão ser lembradas em relações ulteriores, uma vez que a altura do som está relacionada diretamente à equação fundamental da ondulatória.

Altura

A altura do som é a qualidade que permite diferenciar um som grave de um som agudo, seguindo uma escala de ordem tomando como parâmetro a frequência a seguir:

Frequência maior: Som agudo.

Frequência menor: Som grave.

Com a relação acima o professor pode, com auxílio do *Audacity*, reproduzir sons a diferentes frequências e apresentar para o estudante a relação com o quão grave ou agudo é o som percebido por determinada onda. Alguns procedimentos práticos e de fácil execução podem ser apresentados ao estudante, como veremos a seguir.

Um desses procedimentos de extrema validade que pode ser apresentado em aula é o espectro audível do sistema auditivo humano, que varia em uma escala entre 20 Hz e 20 000 Hz (é válido lembrar aqui que a unidade de frequência no sistema internacional é

o Hertz – Hz – número de oscilações por segundo). A tabela a seguir esclarece essa relação:

Infrassons	Sons	Ultrassons
$f < 20 \text{ Hz}$	$20 \text{ Hz} \leq f \leq 20\,000 \text{ Hz}$	$f > 20\,000 \text{ Hz}$
Som inaudível	Som audível	Som inaudível

Figura 330 - Tabela do espectro sonoro audível

Tomando como base os parâmetros acima, o professor deverá reproduzir sons arbitrariamente em diferentes frequências, adotando valores que compreendam os limites da escala auditiva, apresentando ao aluno as diferentes alturas do som, fazendo uma analogia com a percepção cotidiana que temos entre “som alto” e “som baixo”, demonstrando assim que a altura do som não tem relação com tal percepção – veremos posteriormente que esses termos são utilizados para caracterizar a intensidade sonora, qualidade relacionada à amplitude.

Logo, os alunos perceberão que algumas frequências próximas do infrassom ou do ultrassom sequer podem ser ouvidas, – nesse momento, é importante que o professor explique para seu público que o ouvido humano perde a capacidade auditiva ao longo da vida, fazendo uma breve explanação sobre a *presbiacusia*⁶ – mesmo o software reproduzindo a onda apresentada no quadro. O procedimento prático a seguir será de grande eficácia para o entendimento do aluno.

Procedimento prático 2.1

- O professor deve sugerir aos alunos que ouçam com atenção as frequências sonoras que serão reproduzidas e escrevam as exatas frequências que começaram a ouvir e a que deixaram de perceber.
- A seguir, o professor deverá reproduzir frequências compreendidas dentro da faixa audível, começando do mais grave (20 Hz) para o mais agudo (20 000 Hz). O ideal é que ele reproduza sons variando as frequências a cada 2 000 Hz, a fim de otimizar o tempo de aula. É possível gerar várias ondas simultaneamente, também visando um melhor enquadramento dentro do

⁶ Alterações no órgão auditivo decorrentes do envelhecimento natural das células

prazo estipulado para uma aula; assim, ficará mais simples quando for reproduzi-las. Observe na figura a seguir as ondas duplicadas, podendo-se variar as frequências de forma arbitrária.

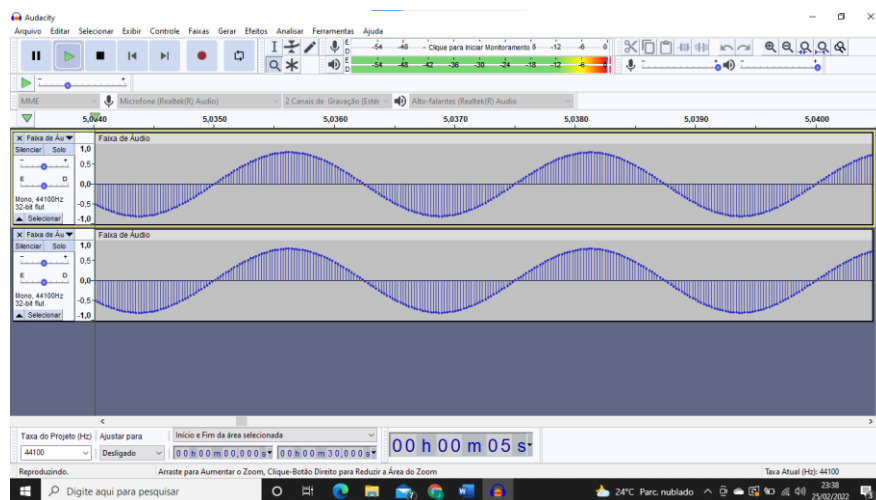


Figura 11 - ondas sonoras de frequências variáveis

- O professor, teoricamente com mais idade que seus alunos, poderá avisar quando ele mesmo deixou de ouvir o som reproduzido (a frequência exata), para efeitos de comparação com as diferentes idades dos estudantes.
- Posteriormente, é interessante reproduzir sons em frequências mais altas, captadas apenas por alguns animais, e explicar o sistema de ecolocalização⁷ de alguns deles, como o morcego e o golfinho. Morcegos ouvem sons na faixa dos incríveis 120 000 Hz, e os cachorros podem perceber frequências de até 50 000 Hz. Além do sistema de ecolocalização, o docente poderá aproveitar os resultados obtidos pelos alunos e explicar por que o cachorro se sente incomodado com sons muito altos (ou se é de fato a altura do som que incomoda os cães).

Procedimento prático 2.2

- Outro procedimento que merece destaque diz respeito à relação entre as frequências de onda e às notas musicais. Cada nota musical representa uma fração da frequência emitida da primeira nota na escala, o *dó* (essa fração é conhecida como *o intervalo de uma oitava abaixo*). O professor pode

⁷ Sistema de localização natural por emissão de sons de alta frequência, comum em alguns animais

apresentar a equação do intervalo (i) entre dois sons, que representa o quociente entre suas frequências:

$$i = \frac{f_2}{f_1} \quad (3)$$

Logo, as notas musicais seguem a seguinte ordem:

Nota	Dó	Ré	Mi	Fá	Sol	Lá	Si	Dó
Frequência (Hz)	f	$\frac{9}{8} \cdot f$	$\frac{5}{4} \cdot f$	$\frac{4}{3} \cdot f$	$\frac{3}{2} \cdot f$	$\frac{5}{3} \cdot f$	$\frac{15}{8} \cdot f$	$2 \cdot f$

Figura 12 - Tabela da escala "Gama" musical

Com isso, o professor poderá estimular os alunos a calcular as frequências correspondentes a cada nota musical a partir da frequência da primeira nota na escala⁸ (o dó). Por exemplo, para a primeira nota (dó) na escala gama de um piano a frequência é de 264 Hz. Logo, pode-se chegar às frequências correspondentes às demais notas pelo cálculo apresentado na tabela acima. É interessante que o professor reproduza no *Audacity* todas as frequências encontradas pelos alunos, com o objetivo de trazer uma experiência cotidiana, porém, por vezes não interpretada matematicamente.

Intensidade

Para esta qualidade sonora, o professor poderá iniciar fazendo uma analogia com que já foi citado na explicação sobre frequência, mostrando que, de forma equivocada, costumamos relacionar a altura de um som à intensidade, quando na verdade, e como já visto, a altura está relacionada com a frequência. Assim, o que usamos cotidianamente para qualificar a força produzida por um som está relacionado com a amplitude, propriedade da onda apresentada ainda na primeira aula. Assim, é interessante começar a aula esclarecendo que, coloquialmente, quando queremos variar o volume de um som emitido por uma fonte, usamos as expressões “aumentar” ou “diminuir” o som, levando a uma falsa concepção de que estamos variando a altura do som, quando na verdade estamos nos referindo à intensidade – como já vimos, a altura está associada à frequência do som; quando ajustamos o volume do som emitido por uma fonte, estamos variando a sua intensidade, qualidade associada à amplitude. A intensidade sonora é a

⁸ Essa escala é conhecida como escala gama

grandeza que diferencia um som forte de um som fraco. O termo “intensidade” é bastante sugestivo, uma vez que faz referência à energia que a onda sonora propaga ao ser emitida pela fonte.

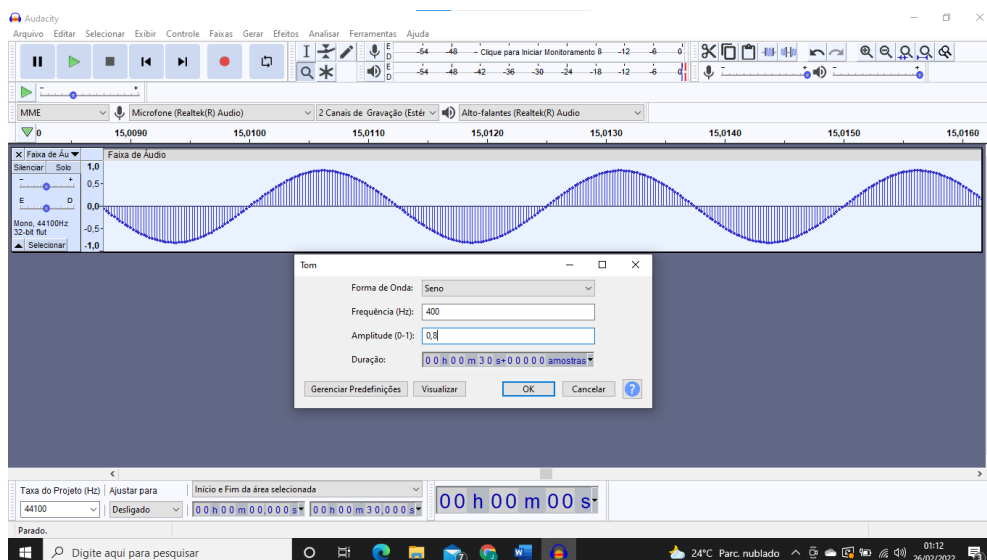


Figura 13 - Escolha arbitrária da amplitude pelo Audacity

Matematicamente, a intensidade sonora (I) é o quociente entre a quantidade de energia (E) que atravessa uma unidade de área (A) da superfície perpendicular à direção de propagação por unidade de tempo (Δt). O professor deverá apresentar essa relação em sala, antes de entrar no mérito experimental abordado mais adiante.

$$I = \frac{E}{A \cdot \Delta t} \quad (4)$$

Como já se presume o conhecimento por parte da turma, uma vez visto em mecânica, a potência (P) é a relação entre energia (E) por intervalo de tempo (Δt), sendo $P = \frac{E}{\Delta t}$; logo, a equação para a intensidade sonora pode ser reescrita na seguinte forma:

$$I = \frac{P}{A} \quad (5)$$

Alguns procedimentos práticos podem ser apresentados com o auxílio do Audacity com o propósito de tornar a aula experimentalmente mais proveitosa, como veremos a seguir. Antes de dar início aos procedimentos, é importante que o professor

explique o que é o limiar audível, e que a faixa desse limiar está entre a intensidade física audível, equivalente a $I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$, e a máxima intensidade física – também chamada de limiar de dor – de valor de $I_{max} = 10^0 \text{ W/m}^2$.

Procedimento prático 2.3

- Partindo do pressuposto que o professor já apresentou (na primeira aula) diferentes amplitudes reproduzidas com auxílio do *Audacity*, mantendo-se uma mesma frequência, aqui poderá ser observado experimentalmente (para que a aula fique mais atrativa, o professor poderá fazer uso de um decibelímetro⁹) os diferentes níveis sonoros produzidos quando se varia a amplitude. O nível sonoro (β) emitido por uma fonte varia em escala logarítmica, à medida que o observador se aproxima ou se afasta da fonte, pela seguinte relação:

$$\beta = \log \frac{I}{I_0} \quad (6)$$

- O professor pedirá aos alunos para perceberem com atenção o som reproduzido por uma onda com determinada amplitude; uma vez verificado o nível sonoro no decibelímetro, é possível determinar a intensidade (I) característica daquela onda – a intensidade (I_0) já é conhecida, pois corresponde ao limiar audível.
- Como conclusão, o professor poderá manter a amplitude que foi reproduzida e variar a frequência da onda, reproduzindo-a novamente; assim, perceberá juntos aos alunos que o nível sonoro não foi alterado (verificar no decibelímetro), comprovando assim que a intensidade do som não tem relação com a frequência.

Como conclusão, verifica-se os diferentes níveis sonoros para diferentes intensidades, e assim se pode chegar aos limites suportáveis de som pelo ouvido humano. É interessante entrar no mérito da legislação brasileira vigente – mediante

⁹ Equipamento que capta o nível sonoro produzido por uma fonte a partir de sua intensidade, podendo ser encontrado facilmente no mercado virtual

pesquisa prévia – e demonstrar o limite de nível sonoro permitido. Por exemplo, um ambiente com até 40 dB é considerado calmo; com 60 dB já é tido como barulhento, e acima de 80 dB já é considerado como havendo poluição sonora. A seguir, um texto extraído da Associação Portuguesa de Segurança, que serve como reflexão sobre o ruído, e é válida a sua relação com o estudo sobre a intensidade sonora:

O QUE É O RUÍDO?

Define-se ruído, como sendo um som sem interesse ou desagradável. O ruído pode ser mais ou menos intenso, composto por uma só tonalidade ou composto por várias e a sua propagação varia consoante o meio em que o receptor se encontra.

É possível controlar o ruído na fonte, na transmissão e no receptor. Os níveis sonoros relacionados com o ruído ambiente raramente afetam o sistema auditivo. Os efeitos mais frequentes traduzem-se em perturbações psicológicas ou fisiológicas associadas a reações de 'stress' e cansaço. O ruído interfere com as comunicações e provoca perturbações no sono, na capacidade de concentração e hipertensão arterial. O ruído é um problema de saúde pública, o seu controle requer o empenho de todos.

Som é qualquer variação de pressão que o ouvido pode detectar. Quando uma fonte sonora, como um diapásão, vibra, provoca variações de pressão no ar ambiente, que se sobrepõem à pressão do ar. Comparada com a pressão do ar (em Pascal), a variação da pressão sonora é perceptível pelo ouvido humano na gama de 20 mPa a 100 Pa, para um indivíduo médio em plena posse das suas capacidades auditivas.

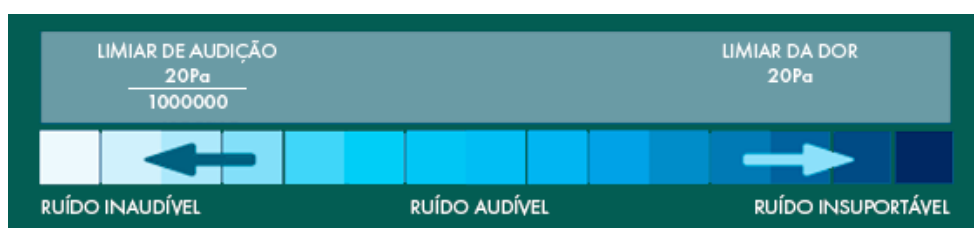


Figura 14 - Escala de ruídos (em Pa)

É usual exprimir o nível de pressão sonora em decibel, dB. O decibel é uma razão logarítmica entre a pressão sonora verificada e o valor de referência. A escala de valores de nível de pressão sonora varia entre 0 dB (limiar da audição) e 140 dB (limiar da dor). Há uma maior sensibilidade do ouvido às frequências médias, onde se expressa a voz humana.

Timbre

Como parte final da aula, é importante que o professor faça uma descrição a respeito das fontes sonoras, culminando assim na concepção do timbre, qualidade que caracteriza a forma da onda. Uma grandeza peculiar na acústica, o timbre é o que caracteriza a qualidade do som emitido, inerente à forma da onda. Algumas variáveis, como a força com que o som é produzido ou a configuração da própria fonte, resultam em diferentes ondas de pressão, caracterizando diferentes sons percebidos, ainda que com a mesma frequência. É pelo timbre que o ouvido humano consegue distinguir as diferentes fontes, mesmo sendo estes de mesma frequência; assim, podemos perceber os sons emitidos por vários instrumentos simultaneamente, como em uma orquestra ou conjunto musical – a despeito do olho humano, que não é capaz de distinguir os diferentes componentes de cores emitidas por determinada fonte de luz, percebendo apenas uma cor resultante. Um procedimento prático e de ótimo esclarecimento pode ser feito com o uso do *Audacity*, como se ver a seguir:

Procedimento prático 2.4

- O professor pode reproduzir no *Audacity* trechos de uma mesma canção, porém, tocada por instrumentos diferentes. Essa gravação pode ser feita pelos próprios alunos, caso haja algum músico em sala, ou pelo próprio professor, caso tenha aptidão musical.
- A princípio, o professor deve reproduzir o som tocado por um dos instrumentos (nesse caso, a opção foi um violão). Esse procedimento pode ser apresentado de maneira que a canção seja reproduzida diretamente no *Audacity*, ou, caso queira tornar a aula mais interativa, pode solicitar a algum aluno em sala para tocar a mesma música em dois instrumentos diferentes, percebendo assim mesma frequência, mas timbres diferentes.



Figura 15 - Reprodução de uma música tocada apenas pelo violão

A seguir, deverá ser feita a reprodução do som por outro instrumento; no caso a seguir, a opção foi um violino. É válido o entendimento de que o som reproduzido por qualquer instrumento pode ser gravado pelo próprio software, caso seja necessário para a utilização para futuras aulas. A gravação do instrumento apresentado pode ainda extraído de uma outra fonte, como uma gravação já apresentada em alguma plataforma, por exemplo.



Figura 16 - Reprodução de uma música tocada apenas por um violino

O professor deverá apresentar aos alunos as frequências reproduzidas nas duas situações descritas, para que se possa esclarecer que a diferença entre o primeiro som e o segundo se deve às diferentes fontes (os instrumentos), caracterizando assim o timbre.

A ideia do procedimento supracitado é explanar uma das qualidades imprescindíveis no entendimento da acústica, o timbre. O professor pode ainda esclarecer que é esta qualidade que caracteriza a voz de uma pessoa – se distingue a voz de uma criança da voz de um adulto, por exemplo, pelo timbre.

Questões

- 1- Uma onda sonora de comprimento igual a 20 cm propaga-se no ar com velocidade de 340 m/s; qual a frequência do som que está uma oitava abaixo?
- 2- O limiar da audibilidade corresponde à intensidade física de 10^{-12} W/m^2 . Num salão de baile, a intensidade física do ambiente é 10^{-4} W/m^2 . Determine, em decibel, o nível sonoro nesse salão.
- 3- (UFSCar) Um homem adulto conversa com outro de modo amistoso e sem elevar o nível sonoro de sua voz. Enquanto isso, duas crianças brincam emitindo gritos eufóricos, pois a brincadeira é um jogo interessante para elas. O que distingue os sons emitidos pelo homem dos emitidos pelas crianças
 - a) é o timbre, apenas
 - b) é a altura, apenas.
 - c) são a intensidade e o timbre, apenas.
 - d) são a altura e a intensidade, apenas.
 - e) são a altura, a intensidade e o timbre.
- 4- (ENEM 2015) Ao ouvir uma flauta e um piano emitindo a mesma nota musical, consegue-se diferenciar esses instrumentos um do outro. Essa diferenciação se deve principalmente ao(a):
 - a) intensidade sonora do som de cada instrumento musical.
 - b) potência sonora do som emitido pelos diferentes instrumentos musicais.

- c) diferente velocidade de propagação do som emitido por cada instrumento musical.
- d) timbre do som, que faz com que os formatos das ondas de cada instrumento sejam diferentes.
- e) altura do som, que possui diferentes frequências para diferentes instrumentos musicais.

CAPÍTULO 5 – FENÔMENOS ONDULATÓRIOS I

Aula 3

A princípio, é importante ressaltar os fenômenos ondulatórios já introduzidos no início dos estudos sobre ondas (reflexão, refração, difração, polarização, interferência e efeito Doppler). Por se tratar de uma onda longitudinal, o único fenômeno não característico do som é a polarização.

Para melhor otimização de tempo, o conteúdo sobre fenômenos ondulatórios será dividido em duas aulas – aulas 3 e 4 - tendo como esta terceira o plano descrito a seguir.

PLANO DE AULA 3

TEMA E OBJETIVO	• Apresentar e descrever os seguintes fenômenos ondulatórios: ✓ Reflexão do som ✓ Refração do som ✓ Difração do som ✓ Interferência do som
-----------------	--

CONTEÚDO	- Fenômenos ondulatórios do som - Questões sobre tais fenômenos
METODOLOGIA OU ESRATÉGIA	A aula deverá ser ministrada inicialmente de modo a esclarecer os fenômenos do som que serão estudados, de forma taxativa, e justificando o porquê de a polarização não ser característica da acústica. A seguir, a refração e difração devem ser explicadas de forma objetiva, por se tratarem de fenômeno de simples conjectura. Já o fenômeno da reflexão deve ser analisado sobre a perspectiva de três efeitos observados: eco, reverberação e reforço.
RECURSOS DIDÁTICOS	Computador, caixas de som próprias e um microfone de lapela.
AVALIAÇÃO	Questões de caráter avaliativo podem ser levantadas ao fim da aula, a critério do professor.
REFERÊNCIAS (a critério do professor)	- GASPAR, Alberto. Compreendendo a Física. Vol. 2: Ondas, Óptica e Termologia Editora Ática, 2018. - YANAMOTO, Kazuhito. Física para o ensino médio, vol. 2: Termologia, Óptica e Ondulatória \ Kazuhito Yanamoto, Luís Felipe Fuke. 4 ed. São Paulo: Saraiva 2016.

Reflexão

Quanto à reflexão, o professor pode começar a explicação fazendo uma analogia ao que já foi estudado em ondulatória, esclarecendo que é de tal forma que o som (uma onda mecânica) também irá se refletir. Alguns fatores podem ser analisados em sala, objetivando uma aula mais interativa. A persistência acústica, por exemplo, deve ser abordada para que se evidencie em sala que a reflexão só será percebida se o intervalo de tempo entre os dois sons (emitido pela fonte e refletido) for maior que 0,1 s – esse é o intervalo de tempo da persistência acústica da orelha humana. Destarte, se dois sons

chegam à orelha humana em um intervalo de tempo menor que 0,1 s, o cérebro não consegue distingui-los. Assim, pode-se concluir dois efeitos a partir da reflexão sonora:

- ✓ O eco: ocorre quando $\Delta t \geq 0,1 \text{ s}$; o observador irá distinguir o som refletido do som emitido diretamente pela fonte;
- ✓ A reverberação: ocorre quando $\Delta t < 0,1 \text{ s}$; o observador só irá perceber o som refletido quando o som emitido já estiver se extinguindo, causando uma sensação de prolongamento da sensação auditiva.

Para este primeiro fenômeno estudado, é válido enfatizar o tema com algumas situações do cotidiano, como a escuta dos batimentos cardíacos por um estetoscópio, os motivos que justificam as paredes de um estúdio musical ou de emissora de rádio serem revestidas por espumas, ou ainda pode ser lembrado o sistema de ecolocalização, observado na primeira aula.

Refração

Uma vez já abordada em sala, no estudo sobre ondulatória, a refração do som (assim como a difração), podem ser estudadas de forma objetiva; todavia, podem ser feitos alguns procedimentos práticos que servirão para uma melhor observação acerca de tal fenômeno. Como se sabe, a refração nada mais é do que a “passagem” de uma onda de um meio para outro em sua propagação. Quando o fenômeno ocorre, há uma mudança na velocidade de propagação e em seu comprimento de onda, mantendo-se constante a frequência. É importante que o professor observe que, por se tratar de uma onda mecânica, o som se propaga com maior velocidade em um meio é mais refringente (ao contrário das ondas eletromagnéticas, que têm sua velocidade diminuída em meios de menor índice de refração). Alguns procedimentos práticos serão descritos mais adiante, deixando assim o conteúdo mais experimental.

Ressonância

Para explicar o efeito da ressonância, o professor deve fazer uso de um diapasão¹⁰, facilmente encontrado em lojas de instrumentos musicais. Ao bater com um

¹⁰ Peça metálica bifurcada que serve para afinar instrumentos musicais

martelo em uma de suas hastes, ambas irão vibrar na frequência natural, aproximadamente 440 Hz.

É importante que o professor explique que qualquer objeto oscilatório possui uma frequência própria, desde um pêndulo simples a uma ponte ou prédio, por exemplo. Logo, define-se a ressonância como sendo um fenômeno em que um sistema oscilante começa a vibrar ao receber uma energia de frequência igual à frequência própria desse sistema, mas com amplitudes maiores.

Difração

Presumindo-se que a difração de ondas já foi previamente abordada no estudo de ondulatória, pode-se começar a aula lembrando tal conceito, explicando o que é a difração e como ocorre com o som. O professor pode pedir para um aluno falar do lado de fora da sala, com a porta fechada, e indagar o restante da turma como é possível ouvir o som. O fenômeno da difração pode ser resumidamente esclarecido como sendo o espalhamento sofrido pela onda quando esta contorna um obstáculo. Tal fenômeno só pode ocorrer quando as dimensões da abertura do obstáculo forem da mesma ordem de grandeza do comprimento de onda emitido. Admitindo-se a velocidade do som no ar como sendo 340 m/s e conhecendo-se as frequências audíveis (vide aula 1), é possível chegar a um valor aproximado da dimensão da abertura para que a onda os contorne, como se observa em um dos procedimentos a seguir:

Procedimento prático 3

- **3.1** Como procedimento prático, pode ser solicitado aos alunos que calculem a menor distância possível que um obstáculo deve estar para que um observador possa perceber o efeito do eco. Para isso, basta lembrar o conceito de velocidade e aplicar a equação que a relaciona com distância e tempo; aproximando o valor da velocidade do som no ar para 340 m/s, o professor deve lembrar que o menor intervalo de tempo para que dois sons sejam percebidos pelo cérebro humano é de 0,1 s. Aplicando-se na equação $\Delta s = v \cdot \Delta t$, obtém-se o valor esperado.
- **3.2** A fim de observar os efeitos da refração, o professor poderá levar para sala dois copos de vidro contendo diferentes volumes de água. Com uma colher de metal, pode-se bater levemente em um dos copos, no copo que

esteja vazio, por exemplo, e no outro copo que esteja com certa quantidade de água. É de fácil percepção que os copos emitirão sons diferentes ao serem tocados pela colher, corroborando assim as diferenças de velocidade de propagação no ar e na água.

- **3.3** Um outro procedimento simples, como atividade para refletir, é sugerir que os estudantes encontrem as dimensões possíveis que a abertura de um obstáculo deva ter para que ocorra o fenômeno da difração; para tanto, é necessário que o professor forneça o valor da velocidade do som no ar (aproximadamente 340 m/s), e relembre os valores compreendidos para a frequência audível (20 Hz e 20 000 Hz). Aplicando esses valores à equação fundamental da ondulatória, estudada na aula 1, é possível chegar aos valores esperados para a difração ocorrer.
- **3.4** Com uso do *Audacity*, o professor deve reproduzir os sons com amplitudes que caracterizam a poluição sonora (lembrar que a amplitude é uma qualidade que relaciona a intensidade do som). Para tanto, é necessária uma breve consulta à tabela a seguir (é interessante que o professor reproduza em tela para toda a sala, a fim de que se informe os níveis sonoros e quando se caracteriza a poluição sonora):

Nível sonoro em decibel (dB)	Danos ao ouvido humano	Fontes sonoras de referência
120 a 140	Doloroso	Decolagem de avião
100 a 120	Perigoso	Carro de Fórmula 1
80 a 100	Fatigante	Fones de ouvido no volume máximo
50 a 80	Incomodativo	Ambiente de festa
10 a 50	Repousante	Sala de estar

Figura 17 - Tabela de níveis de ruído sonoro (Fonte: Agência Portuguesa do Ambiente)

Para melhor observação em sala, é importante que se use o decibelímetro; assim, com as ondas produzidas pelo *Audacity* o professor poderá chegar a valores próximos aos da tabela acima, levando o estudante a uma experiência e reflexão sobre as consequências da poluição sonora. A seguir, são sugeridas algumas questões sobre o tema explanado como forma de incentivo à prática do que foi apresentado teoricamente, bem como visando o aperfeiçoamento da matemática necessária ao aperfeiçoamento do estudo.

Questões

- 1- Sabe-se que a velocidade de propagação do som no ar é de 340 m/s. Determine a mínima distância a que um observador deve ficar de um obstáculo para ouvir o eco de sua própria voz.
- 2- Explique porque, geralmente, ouvimos nossa voz de forma repetida no banheiro.

- 3- O som é uma onda mecânica de natureza mecânica e de propagação longitudinal. Assinale a alternativa abaixo que contém fenômenos que podem ocorrer com as ondas sonoras:
- a) Polarização, sublimação, reflexão, absorção.
 - b) Absorção, condução, ionização, interferência.
 - c) Condução, polarização, eletrização, imantação.
 - d) Polarização, interferência, refração, difração.
 - e) Interferência, reflexão, refração, difração.

CAPÍTULO 6 – FENÔMENOS ONDULATÓRIOS II

Aula 4

Finalizando o estudo sobre acústica, o material seguinte dispõe de conteúdo relacionado aos fenômenos da interferência sonora e do efeito Doppler. Para tanto, serão apresentados procedimentos práticos que, com auxílio do programa computacional *Audacity*, irão contribuir para melhor entendimento do referido tema.

A seguir, o plano norteador para esta derradeira aula, que consistirá em uma sequência didática sugerida, bem como procedimentos didáticos e experimentais que objetivam uma aula mais dinâmica e esclarecedora.

PLANO DE AULA 4

TEMA E OBJETIVO	• Apresentar e descrever os seguintes fenômenos ondulatórios: ✓ Interferência do som ✓ Efeito Doppler
-----------------	---

	• Demonstrar experimentalmente, com auxílio do <i>Audacity</i>, os tipos de interferência. • Descrever e demonstrar na prática o efeito Doppler.
CONTEÚDO	• Fenômenos ondulatórios do som. • Questões sobre os fenômenos descritos.
METODOLOGIA OU ESRATÉGIA	• A aula deverá ser ministrada inicialmente de modo a esclarecer os dois fenômenos do som que serão estudados (Interferência e efeito Doppler). A princípio, esclarece-se o fenômeno da interferência de forma conceitual, abrangendo as duas formas que podem ocorrer esse fenômeno. Posteriormente, mediante um experimento prático com auxílio do <i>Audacity</i>, demonstra-se assim as interferências construtivas e destrutivas de forma que possam ser percebidas na prática. • Encerra-se a aula explicando o efeito Doppler para ondas sonoras, também de forma conceitual, culminando em um procedimento prático de notável observação.
RECURSOS DIDÁTICOS	• Computador, caixas de som próprias e um microfone de lapela.
AVALIAÇÃO	• Questões de caráter avaliativo podem ser levantadas ao fim da aula, a critério do professor.
REFERÊNCIAS (a critério do professor)	• GASPAR, Alberto. Compreendendo a Física. Vol. 2: Ondas, Óptica e Termologia Editora Ática, 2018. • YANAMOTO, Kazuhito. Física para o ensino médio, vol. 2: Termologia, Óptica e Ondulatória \ Kazuhito Yanamoto, Luís Felipe Fuke. 4 ed. São Paulo: Saraiva 2016.

Interferência

A princípio, é válido o professor começar a aula generalizando o fenômeno a ser estudado, esclarecendo a interferência ondulatória; uma vez iniciada, a aula deverá decorrer acerca da interferência do som, efeito que ocorre quando duas ondas se superpõem em um ponto (presume-se que esse fenômeno já tenha sido estudado sob a luz da ondulatória, em superfícies líquidas e em ondas luminosas, precedendo assim o estudo sobre acústica).

O fenômeno da interferência sonora é percebido quando duas ondas de mesma amplitude e frequências ligeiramente diferentes¹¹ se superpõem; a esse tipo de interferência, dá-se o nome de batimento. Nessa situação, ocorre uma variação na amplitude resultante, que vai de um valor mínimo (nulo), a um valor máximo (soma das amplitudes); assim, a frequência de batimento f_{bat} é dada pela diferença entre as frequências das ondas componentes:

$$f_{bat} = |f_1 - f_2| \quad (7)$$

Quanto à amplitude, a interferência pode ocorrer de duas formas:

- Construtiva: quando duas ondas em mesma fase se superpõem em comuns pontos - a amplitude resultante é maior que as amplitudes das ondas componentes.
- Destrutiva: quando duas ondas em fases opostas se superpõem em comuns pontos – as amplitudes das ondas são canceladas, de forma parcial ou total, ocorrendo uma diminuição ou anulação do som.

¹¹ O valor estimado para essa diferença de frequências é de até 7 Hz

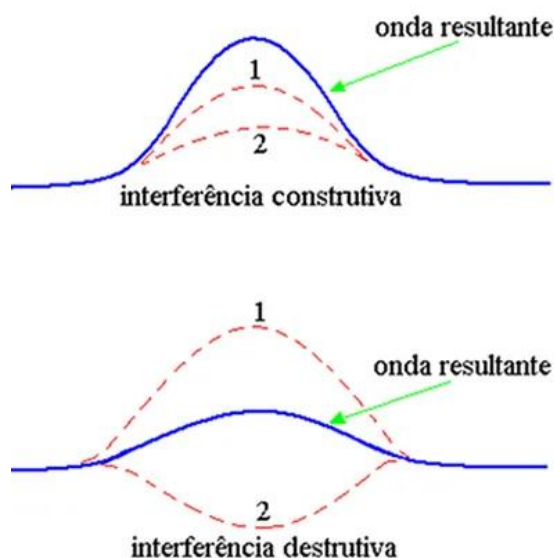


Figura 18 - interferências construtiva e destrutiva (fonte:brasilecola)

Com o objetivo de tornar a aula interativa, um procedimento prático pode ser feito, demonstrando de forma bem observacional os efeitos das interferências sonora supracitadas, como se observa a seguir:

Procedimento prático 4

- Com o Audacity em execução, o professor deve apresentar uma onda com determinada frequência e amplitude, e reproduzi-la nas caixas de som próprias para computador; é importante que a tela do computador seja projetada para toda a sala, para que os estudantes possam observar qual frequência e amplitude foram descritas, bem como o desenho da onda formada. A seguir, duplica-se a onda produzida no software e as reproduz – o procedimento é simples: basta selecionar no ícone “editar”, na barra de ferramentas, a opção “duplicar”; assim, surgirá na tela duas ondas idênticas e em fase. Acompanhe o “passo a passo” a seguir:
 - Passo 1: duplica-se a onda no ícone “editar”; em seguida, clica-se em “duplicar”.

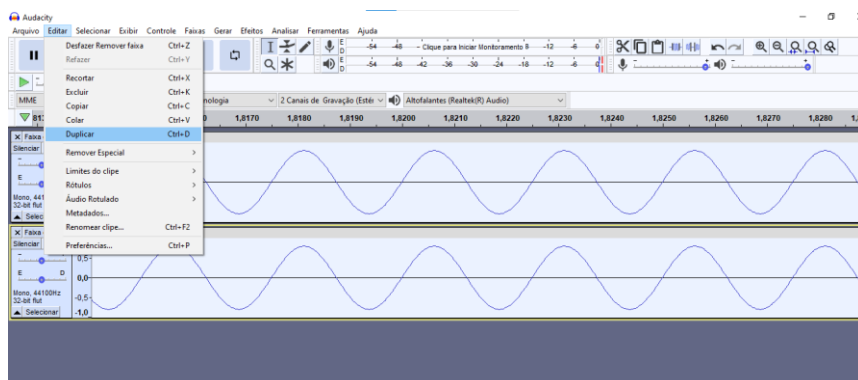


Figura 19 – duplicando uma onda no Audacity, gerando uma interferência construtiva

Uma vez expostas, basta reproduzir as ondas e perceber o efeito do somatório das amplitudes – os presentes em sala deverão perceber um som mais intenso do que aquele reproduzido por apenas uma das ondas - é importante que o professor reproduza inicialmente apenas uma onda, deixando que se perceba o som emitido pela mesma – culminando na interferência construtiva.

- Passo 2: seleciona-se com o mouse um pulso de onda; em seguida, no ícone “editar”, clica-se em “excluir”; assim, o pulso de onda selecionado será excluído, deixando as duas ondas com fases invertidas. O objetivo deste procedimento é apresentar ao estudante, a princípio, a ilustração das ondas em fases opostas, para que em seguida ele perceba na prática o efeito casuístico do fenômeno da interferência ao reproduzir o som da respectiva onda, como se vê mais adiante.

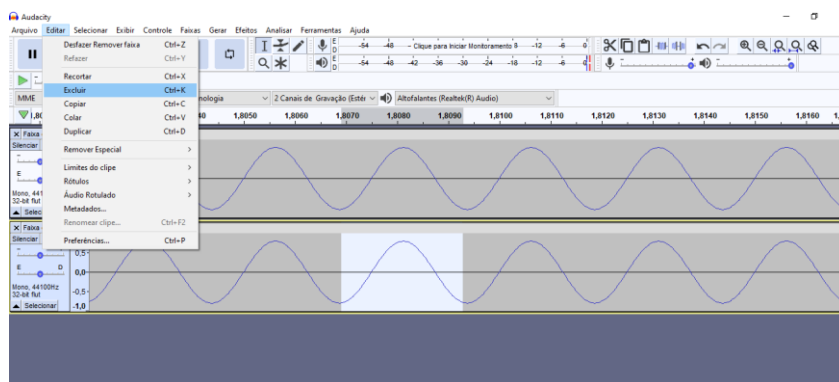


Figura 20 - Defasagem das ondas, causando a interferência destrutiva

Ao reproduzir as ondas, os presentes em sala não deverão perceber nenhum tipo de som, restando evidente que as ondas foram defasadas, tendo suas amplitudes componentes subtraídas (as ondas foram defasadas), causando a interferência destrutiva. Outra forma interessante de se observar os efeitos da superposição das ondas é pelo procedimento prático seguinte:

Procedimento prático 4.1

- Ao reproduzir as ondas defasadas no *Audacity*, o professor deve conectar um microfone de lapela no computador e posicioná-lo entre as duas caixas de som. Em seguida, ao reproduzir o som emitido pelas duas ondas defasadas, desliza-se o microfone lentamente de uma caixa à outra. Nota-se assim o som aumentando à medida que o microfone se aproxima de uma das duas caixas (os pontos de máxima amplitude resultante), culminando assim na interferência construtiva.



Figura 21 - Interferência construtiva sendo apresentada em sala

- Consequentemente, quando se aproxima o microfone do ponto equidistante entre as duas caixas, percebe-se uma diminuição do som, até que, no exato ponto médio, as amplitudes se anulam, resultando em “silêncio” – as caixas não emitirão nenhum tipo de som, comprovando a interferência destrutiva.

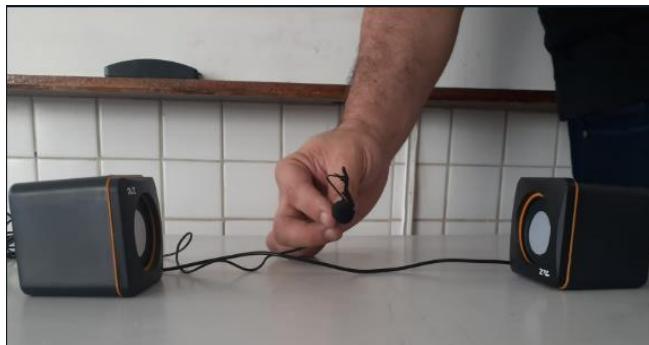


Figura 22- Interferência destrutiva sendo apresentada em sala

Esse procedimento é de extrema importância, uma vez que se observa experimentalmente o efeito prático da superposição das ondas, ocorrida nas duas formas estudadas (construtiva e destrutiva); o Audacity se torna útil para tal experimento, haja vista a possibilidade de escolher a frequência emitida e, principalmente, por ser possível optar por qual caixa será reproduzido o som, ou se em ambas.

Efeito Doppler

Assim como para a interferência, presume-se que o efeito Doppler já deve ter sido mencionado nas aulas relacionadas a ondas luminosas. É importante que o professor lembre o conceito desse fenômeno e descreva situações cotidianas em que o mesmo é observado.

O efeito Doppler consiste na diferença de frequência percebida pelo observador quando há um movimento relativo entre ele e a fonte. No que diz respeito às ondas sonoras, uma situação cotidiana em que esse efeito é percebido ocorre quando uma ambulância, com a sirene ligada, se aproxima ou se afasta de um observador. A depender do movimento, o som percebido é diferente do que se perceberia se a ambulância estivesse parada (ou com qualquer outro movimento relativo). Em resumo, a frequência percebida pelo observador – denominada de frequência aparente (f_o) – é maior que a frequência emitida pela fonte – frequência real (f_f) – quando a ambulância se aproxima; o som aparenta ser mais agudo. Todavia, quando a ambulância se afasta, a frequência aparente diminui, deixando o som percebido mais grave.

A relação entre a frequência (f_o) e a frequência(f_f) obedece a relação de movimento entre observador e fonte da seguinte forma:

- 1) Se a fonte F se aproxima do observador O , o comprimento da onda emitida é aparentemente encurtado, resultando em:

$$f_o = f_f \cdot \left(\frac{v}{v+v_f} \right) \quad (8)$$

em que (v) é a velocidade da onda sonora e (v_f) a velocidade da fonte.

- 2) Se a fonte F se afasta do observador O , o comprimento da onda emitida é aparentemente alongado, resultando em:

$$f_o = f_f \cdot \left(\frac{v}{v-v_f} \right) \quad (9)$$

Combinando as duas equações acima, obtém-se:

$$f_o = f_f \cdot \left(\frac{v \pm v_o}{v \pm v_f} \right) \quad (10)$$

A expressão acima, conhecida como a equação geral do efeito Doppler, deve obedecer às seguintes condições, seguindo a convenção positiva (+) para a aproximação do observador à fonte:

- ✓ Se v_o e v_f se aproximam, adota-se o sinal positivo (+);
- ✓ Se v_o e v_f se afastam, adota-se o sinal negativo (-).

O procedimento a seguir tem o intuito de fazer com que os alunos percebam as frequências sonoras diferentes a partir de valores encontrados usando a equação acima. Para isso, considera-se que o professor pesquise antes o valor da frequência sonora emitida pela

sirene de uma ambulância. Esse valor será usado como frequência da fonte f_f no procedimento seguinte:

Procedimento prático 4.2

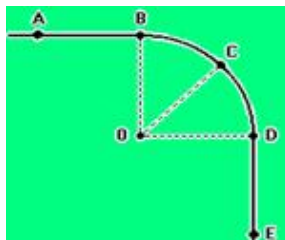
- Primeiro, apresenta-se aos estudantes em sala a frequência emitida por uma sirene de ambulância (esse dado pode ser encontrado mediante pesquisa na internet).
- Em seguida, reproduz-se o som emitido pelo *Audacity* com a frequência encontrada. Os estudantes deverão ouvir atentamente o som reproduzido.
- Uma vez reproduzido o som em sala, o professor irá descrever situações em que a fonte se move com uma velocidade semelhante a que uma ambulância eventualmente circula no trânsito (a 70 km/h, por exemplo). Supondo o observador parado, deve ser sugerido que encontrem as frequências aparentes nas situações de afastamento e de aproximação, a partir da fórmula matemática para o efeito Doppler.
- Finaliza-se o procedimento reproduzindo no *Audacity* as frequências encontradas nas duas situações e as comparando com a frequência real, que poderá ser reproduzida novamente para efeito de comparação. As questões a seguir servirão como embasamento para o procedimento acima referido.

É válido concluir a aula fazendo uma analogia entre o efeito Doppler gerado pelas ondas mecânicas e pelas ondas eletromagnéticas, explicitando que esse fenômeno não é exclusivo das ondas sonoras. Ao final, resolução de questões sugeridas, como se observa a seguir:

Questões

- 1- (PUC-PR) Uma ambulância dotada de uma sirene percorre, numa estrada plana, a trajetória ABCDE, com velocidade de módulo constante de 50 km/h. Os trechos AB e

DE são retilíneos e BCD um arco de circunferência de raio 20 m, com centro no ponto O, onde se posiciona um observador que pode ouvir o som emitido pela sirene:



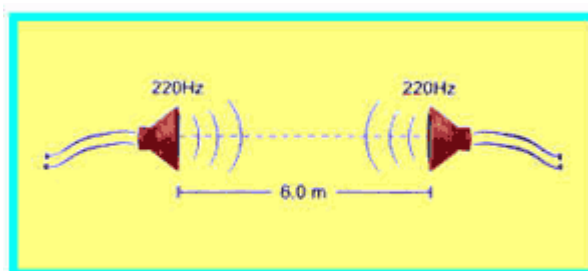
Ao passar pelo ponto A, o motorista aciona a sirene cujo som é emitido na frequência de 350 Hz. Analise as proposições a seguir:

- I. Quando a ambulância percorre o trecho AB, o observador ouve um som mais grave que o som de 350Hz.
- II. Enquanto a ambulância percorre o trecho BCD o observador ouve um som de frequência igual a 350Hz.
- III. À medida que a ambulância percorre o trecho DE o som percebido pelo observador é mais agudo que o emitido pela ambulância, de 350Hz.
- IV. Durante todo o percurso a frequência ouvida pelo observador será de frequência igual a 350Hz.

Está correta ou estão corretas as afirmativas:

- a) IV.
 - b) II e III.
 - c) Apenas II.
 - d) I e III.
 - e) I e II.
- 2- (PUC-RS) Quando uma ambulância se aproxima ou se afasta de um observador, este percebe uma variação na altura do som emitido pela sirene (o som percebido fica mais grave ou mais agudo).
- Esse fenômeno é denominado Efeito Doppler. Considerando o observador parado,
- a) o som PERCEBIDO fica mais agudo à medida que a ambulância se afasta.

- b) o som PERCEBIDO fica mais agudo à medida que a ambulância se aproxima.
- c) a frequência do som EMITIDO aumenta à medida que a ambulância se aproxima.
- d) o comprimento de onda do som PERCEBIDO aumenta à medida que a ambulância se aproxima.
- e) o comprimento de onda do som PERCEBIDO é constante, quer a ambulância se aproxime ou se afaste do observador, mas a frequência do som EMITIDO varia.
- 3- Marque a alternativa correta a respeito do fenômeno da interferência.
- a) O fenômeno da interferência só ocorre com ondas unidimensionais.
- b) Na interferência construtiva, as ondas encontram-se com fases invertidas.
- c) Na interferência destrutiva, as ondas encontram-se com fases iguais.
- d) Quando duas ondas de mesma amplitude sofrem interferência destrutiva, ocorre aniquilação.
- e) Quando duas ondas com amplitudes diferentes sofrem interferência construtiva, as amplitudes são somadas, e a onda resultante mantém o sentido de propagação da onda que possuía maior amplitude.
- 4- (UNICAMP) O módulo da velocidade do som no ar é de aproximadamente 330m/s. Colocam-se dois alto-falantes iguais, um defronte ao outro, distanciados 6,0m, conforme a figura abaixo. Os alto-falantes são excitados simultaneamente por um mesmo amplificador com um sinal de frequência de 220Hz.



Pergunta-se:

- a) Qual é o comprimento de onda do som emitido pelos alto-falantes?
- b) Em que pontos do eixo, entre os dois alto-falantes, o som tem intensidade máxima.

GABARITO

Questões (p. 20)

- 1- Aplicando a equação fundamental da ondulatória, $v = \lambda \cdot f$, temos $340 = 800 \cdot \lambda$; assim, $\lambda = 0,42 \text{ m}$.
- 2- Pela figura, infere-se que o comprimento de onda é de 80 cm , ou $0,8 \text{ m}$; como $f = v/\lambda$, tem-se $f = 20/0,8 = 25 \text{ Hz}$, letra d.

Questões (p. 32 e p. 33)

- 1- $\lambda = 20 \text{ cm} = 0,2 \text{ m}$. A velocidade é $v = 340 \text{ m/s}$. Com os referidos dados, deduz-se a frequência do som como $f = v/\lambda$; $f = 340/0,20 = 1700 \text{ Hz}$.
Sendo f' a frequência uma oitava abaixo de f , conclui-se que: $f' = \frac{1700}{2} = 850 \text{ Hz}$.
- 2- Como estudado no capítulo 4, o limiar de audibilidade corresponde à intensidade de 10^{-12} W/m^2 ; assim, tem-se:

$$10^\beta = \frac{I}{I_0} ; \text{logo, } 10^\beta = \frac{10^{-4}}{10^{-12}} = 10^8 \therefore \beta = 8 \text{ B, ou } \beta = 80 \text{ dB}$$
- 3- Letra e. Os fatores que influenciam na distinção das situações citadas são:
 - A intensidade, pois os adultos conversam em tom amistoso, e as crianças gritam, o que sugere diferentes níveis sonoros;
 - A frequência, uma vez que, de maneira geral, a voz de uma criança é mais aguda que a voz de um adulto;
 - O timbre, por se tratar de diferentes formatos de onda, o que pressupõe diferentes fontes.
- 4- Letra d

Questões (p.38)

- 1- Como $v = 340 \text{ m/s}$ e o som tem que percorrer o caminho de ida e volta entre o observador e o obstáculo, tem-se que $d = 2x$; o tempo que o ouvido leva para distinguir dois sons é de $\Delta t = 0,1 \text{ s}$; aplicando os dados em $v = \frac{d}{\Delta t}$, obtém-se $340 = \frac{2x}{0,1}$; logo, $x = 17 \text{ m}$.
- 2- Como se trata de um cômodo da casa geralmente menor, com as paredes mais próximas, o fenômeno da reverberação acaba sendo percebido, uma vez que a melodia é refletida de forma sucessiva. O mesmo fenômeno ocorre em auditórios, uma vez que os obstáculos são distribuídos de forma regular.

3- Alternativa c

Questões (p.47, p.48. e p. 49)

- 1- Letra c;
- 2- Letra B; a frequência do som percebido aumenta à medida que a fonte se aproxima, tornando-o mais agudo.
- 3- Letra d; quando duas ondas de mesma amplitude se encontram, ocorre a subtração, resultando na interferência destrutiva;
- 4-
 - a) Usando a equação fundamental da ondulatória $v = \lambda \cdot f$, obtém-se 1,5 m;
 - b) Como o comprimento de cada onda é de 1,5, os pontos comuns em que ocorre a interferência construtiva são 0,75 m, 1,5 m, 2,25 m, 3,0 m, 3,75 m, 4,5 m e 5,25 m, sendo o alto falante da esquerda como ponto de origem.

REFERÊNCIAS

Associação Portuguesa de Segurança – O que o ruído? – Disponível em <https://www.apsei.org.pt/areas-de-atuacao/seguranca-no-trabalho/o-ruído-no-local-de-trabalho/>. Acesso em 18 de maio de 2022

EVES, Howard, **Introdução à história da Matemática**, 1. Ed. UNICAMP, 2004.

FEYNMAN, Richards, **Lições de Física**, 1 ed., Bookman Editora, 2008.

GASPAR, Alberto. **Compreendendo a Física**. Vol. 2: Ondas, Óptica e Termologia Editora Ática, 2018.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002, 175p.

Instituto de Ciências Biológicas da UFMG. Disponível em: www.icb.ufmg.br/Ip/2-14.html. Acesso em 15 de maio de 2022

MÁXIMO, Antônio e ALVARENGA, Beatriz, **Curso de Física, vol.2**. Scipione, 2005.

NUSSENZVEIG, Herch Moysés. Curso de Física básica, 1 ed. São Paulo: Edgar Bluncher, 1998.

PIRES, Antônio S. T, **Evolução das ideias da Física**, 2. ed. São Paulo, 2011.

SILVA, Domiciano Correa Marques da. "**Interferência de ondas**"; **Brasil Escola**. Disponível em: <https://brasilestola.uol.com.br/fisica/interferencia-ondas.htm>. Acesso em junho de 2022.

Revista Scientific American Brasil. Disponível em <https://sciam.com.br/uma-cantora-de-opera-pode-quebrar-uma-taca-com-a-voz/>. Acesso em 19 de maio de 2022

Site Brasil Escola. exercícios sobre interferência. Disponível em <https://exercicios.brasilestola.uol.com.br/exercicios-fisica/exercicios-sobre-interferencia-ondas.htm>. Acesso em 15 de maio de 2022

YANAMOTO, Kazuhito. Física para o ensino médio, vol. 2: Termologia, Óptica e Ondulatória \ Kazuhito Yanamoto, Luís Felipe Fuke. 4 ed. São Paulo: Saraiva. 2016

Documento Digitalizado Público

versão final da dissertação corrigida de João Alfredo Praxedes da Penha

Assunto: versão final da dissertação corrigida de João Alfredo Praxedes da Penha
Assinado por: Edemerson Moraes
Tipo do Documento: Trabalho Acadêmico
Situação: Finalizado
Nível de Acesso: Público
Tipo do Conferência: Documento Original

Documento assinado eletronicamente por:

■ **Edemerson Solano Batista de Moraes**, COORDENADOR(A) DE CURSOS - FUC0001 - COMNPEF/CNAT, em 04/10/2023 10:21:17.

Este documento foi armazenado no SUAP em 04/10/2023. Para comprovar sua integridade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifrn.edu.br/verificar-documento-externo/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 1561714

Código de Autenticação: 4eba6a788e

