



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SERGIPE
CAMPUS LAGARTO**

COORDENADORIA DE LICENCIATURA EM FÍSICA

WENDSON MACÁRIO DAMACENO

PROPOSTA DE SEQUÊNCIA DIDÁTICA PARA O ENSINO DE ACÚSTICA

LAGARTO/SE

2021

WENDSON MACÁRIO DAMACENO

PROPOSTA DE SEQUÊNCIA DIDÁTICA PARA O ENSINO DE ACÚSTICA

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Sergipe – Campus Lagarto como pré-requisito para a obtenção do grau de Licenciado em Física.

Orientador: Prof. Dr. Augusto dos Santos Freitas

LAGARTO/SE

2021

Damaceno, Wendson Macário.
D16p Proposta de sequência didática para o ensino de acústica / Wendson Macário Damaceno. – Lagarto, 2021.
115 f. ; il.

Monografia (Graduação) – Licenciatura em Física. Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Sergipe – IFS, 2021.
Orientador: Prof. Dr. Augusto dos Santos Freitas.

1. Física. 2. Ensino de física. 3. Metodologia de ensino. I. Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Sergipe – IFS. II. Título.

CDU: 53:373



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SERGIPE
Av. Jorge Amado, 1551 – Loteamento Garcia, Bairro Jardins - CEP 49025-330 – Aracaju/SE
Fone: (79) 3711 1400 – E-mail: reitoria@ifs.edu.br

TERMO DE APROVAÇÃO

Curso de Licenciatura em Física.

TERMO DE APROVAÇÃO

Proposta de Sequência Didática para o ensino de Acústica

Wendson Macário Damaceno

Esta monografia foi apresentada às 09h00 horas do dia 15 (quinze) de abril de dois mil e vinte e um como requisito parcial para a obtenção do título de **Licenciado em Física**. O candidato foi arguido pela banca examinadora composta pelos examinadores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Dr. Augusto dos Santos Freitas
Instituto Federal de Sergipe

Profª. Ma. Michely Batista Santos Araújo
Instituto Federal de Sergipe

Profª. Drª. Cláudia Adriana da Silva
Universidade Federal de Tocantins

Profª Drª Héstia Raíssa Batista Reis Lima
Instituto Federal de Sergipe

Dedicatória

Aos meus pais, Adilson e Gilvanda, aos meus irmãos, Gilvania e Mike, ao meu sobrinho Ícaro Gabriel, por sempre estarem comigo neste sonho, que foi sonhado em conjunto.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus por ter me proporcionado o dom da vida e a saúde, sem os quais seria impossível chegar até este momento.

Agradeço aos meus pais Adilson e Gilvanda por me apoiarem incondicionalmente todos esses anos.

Agradeço aos meus irmãos Gilvania e Mike por nunca medirem esforços para me ajudarem nos meus momentos de necessidade.

Agradeço a meu sobrinho Ícaro Gabriel, pela alegria proporcionada em todos esses anos, agradeço pelos abraços, pelo carinho. Agradeço por ser a fonte de felicidade que eu tanto precisava.

Agradeço aos meus avós por serem a base dessa família.

Agradeço aos meus primos e primas por tornarem os nossos momentos de confraternização ainda mais valorosos.

Agradeço aos meus tios e tias por estarem sempre a minha maior torcida.

Agradeço a todos os meus familiares por compreenderem os meus momentos de ausência e por sempre me apoiarem, me dedicando a todo tempo o seu melhor.

Agradeço aos amigos da graduação por tornarem mais leves os momentos de tensões que decorreram ao longo do curso, amigos estes que estiveram comigo nos momentos mais alegres e nos mais difíceis, amigos que foram e são verdadeiros alicerces, em especial destaque Adeline, Allan, Beatriz, Camila, Eloisa, Ester, Gabriela, Gilvan, Jaine, Janine, José Willians, Rita, Rose Kelly, Roselayne, Santiago e Vittor.

Agradeço aos amigos da vida, por sempre estarem comigo, que mesmo à distância, tornaram meus dias mais alegres.

Deixo aqui os meus sinceros agradecimentos aos professores Acácio Figuerêdo, Alane Azevedo, Alessandra Monteiro, Ana Júlia Chaves, André Luiz Nogueira, André Neves, Antônio José, Bruna da costa Andrade, Carla Priscila Santos, Claudiane Bezerra, Daniel Henrique, Edileusa Araújo, Edney Nogueira, Ericarla Souza, Héstia Lima, José Osman, José Rafael Santos, José Uibson Moraes,

Jussineide Fontes, Marcelo Ricardo, Maria Lilian Lima, Mauro José dos Santos, Michely Araújo, Paulo Jorge Montes, Ronaldo Lima, Silvio Sandes, Thamires Santos e Valdenice Melo, pelos ensinamentos que vão para além das salas de aula, ensinamentos esses que levarei para vida.

Agradeço de forma especial a meu Orientador, o Prof. Dr. Augusto dos Santos Freitas, não somente pelas orientações, mas também por toda a dedicação que despendeu a mim nos momentos de dificuldades, por acreditar em meu potencial, pelos ensinamentos e principalmente pela amizade.

Aproveito este espaço e deixo meus sinceros agradecimentos aos técnicos de laboratório Carlos França e Douglas Andrade, que nos momentos de necessidade não mediram esforços para preparar o laboratório e experimentos, inclusive nos momentos adversos.

A equipe da biblioteca nas pessoas de Roqueogenes, Breno, Joseane e Francis por serem sempre solícitos às minhas demandas e pela compreensão acerca dos atrasos nas entregas dos livros, além das conversas sobre os mais diversos temas.

Agradeço a toda equipe que faz o Instituto Federal de Sergipe campus Lagarto ser essa grande potencial educacional em nosso estado.

A todos vocês deixo aqui o meu muito obrigado.

“A tarefa não é tanto ver aquilo que ninguém viu, mas pensar o que ninguém ainda pensou sobre aquilo que todo mundo vê.”

(Arthur Schopenhauer)

RESUMO

No Brasil o ensino de Física tem passado por diversas mudanças, suas finalidades não são mais as mesmas, desta forma a Física que ofertada em grande parte das escolas têm se apresentado extremamente ineficaz, pesquisadores da área como Ricardo (2010) e Macedo (2013) afirmam que isto ocorre, pois, existe um grande abismo entre a Física ensinada na escola, que parece funcionar somente quando descrita por fórmulas e equações, e a Física presente no dia a dia dos estudantes, indicando assim que a disciplina de Física, apresentada nas escolas de ensino médio, tem características de extrema matematização e estando inclusive em descompasso com a realidade vivencial dos estudantes. Na acústica, por exemplo, é possível tentar sanar essa matematização tirando proveito de uma tendência de ensino que vem ganhando cada vez mais destaque no campo educacional, a contextualização, nela os conceitos estudados ganham uma dimensão significativa, pois passa a haver uma integração entre os conceitos físicos e sua aplicação prática, no caso da acústica o processo de contextualização pode ser feita por diferentes maneiras, dentre essas destacam-se os usos de instrumentos musicais, e da interdisciplinaridade, dentre diversas outras formas, que foram identificadas a partir da elaboração do estado da arte dos trabalhos que versam sobre esta temática, este se faz presente na seção 7 deste trabalho. Com o intuito de promover um processo de ensino-aprendizagem de acústica mais significativo este trabalho apresenta ainda uma sequência didática para o ensino de acústica que utiliza os elementos citados. A sequência reúne um conjunto de 7 aulas desenvolvidas tomando como principal foco o uso do sistema auditivo humano e o uso dos instrumentos musicais, sendo ainda permeada por elementos da história da ciência. Com as aulas propostas poderão ser tratados os conceitos de som/ondas sonoras e suas principais características, classificação, comprimento de onda, período e frequência, velocidade do som em diferentes meios materiais, bem como, as características fisiológicas do som, altura, intensidade e timbre. Por fim fica como sugestão para pesquisas futuras a aplicação e avaliação do desempenho da sequência didática em sala de aula.

Palavras-chave: Ensino de acústica. Instrumentos musicais. Contextualização. Sequência didática.

ABSTRACT

In Brazil, the teaching of Physics has gone through several changes, its purposes are no longer the same, thus the Physics offered in most schools has been extremely ineffective, researchers in the area such as Ricardo (2010) and Macedo (2013) claim that this occurs because there is a great abyss between the Physics taught at school, which seems to work only when described by formulas and equations, and the Physics present in the daily lives of students, thus indicating that the discipline of Physics, presented in high schools, has characteristics of extreme mathematization and is even out of step with the living reality of students. In acoustics, for example, it is possible to try to remedy this mathematization by taking advantage of a teaching trend that has been gaining more and more prominence in the educational field, contextualization, in which the concepts studied gain a significant dimension, as there is now an integration between the physical concepts and their practical application, in the case of acoustics, the contextualization process can be done in different ways, among these, the uses of musical instruments, and interdisciplinarity, among several other ways, that were identified from the elaboration of the state of the art of works that deal with this theme, this is present in section 7 of this work. In order to promote a more significant acoustic teaching-learning process, this work also presents a didactic sequence for the teaching of acoustics that uses the aforementioned elements. The sequence brings together a set of 7 lessons developed with the main focus on the use of the human auditory system and the use of musical instruments, being also permeated by elements from the history of science. With the proposed classes, the concepts of sound/sound waves and their main characteristics, classification, wavelength, period and frequency, speed of sound in different material media, as well as the physiological characteristics of sound, height, intensity and letterhead. Finally, the application and performance evaluation of the didactic sequence in the classroom is a suggestion for future research.

Keywords: Acoustic teaching. Musical instruments. Contextualization. Didactic sequence.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Representação anatômica em corte do sistema auditivo humano..	35
Figura 2. Níveis de intensidade sonora e sensações auditivas causadas ao observador..	41
Figura 3. Representação das sonoras de compressão/rarefação de partículas causadas no meio devido a propagação de uma onda sonora.	55
Figura 4. Padrões de ondas sonoras de mesma intensidade e altura.	58
Figura 5. Propagação de onda sonora.	86
Figura 6. Área de trabalho da simulação “Ouvido humano e aparelho auditivo”.	88
Figura 7. Divisão anatômica do sistema auditivo humano.	90
Figura 8. Principais partes de um violino.	93
Figura 9. Espectro sonoro e algumas comparações entre frequências audíveis entre espécies.	96
Figura 10. Níveis de intensidade sonora e tempo máximo recomendado de exposição	98
Figura 11. Mapa conceitual “Sistema solar”.	101
Figura 12. Mapa mental "Cinemática".	102
Figura 13. Modelo de mapa conceitual acerca do som.	104
Figura 14. Montagem da placa de Chladni 1º passo.	113
Figura 15. Montagem da placa de Chladni 2º passo	113
Figura 16. Montagem da placa de Chladni 3º passo.	113
Figura 17. Montagem da placa de Chladni 4º passo.	114

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Níveis de dinâmica e suas notações	42
Tabela 2. Velocidade de propagação do som em diferentes meios materiais	56
Tabela 3. Resultado das buscas por materiais de referência.....	77
Tabela 4. Frequências sonoras e médias das idades em que é audível.....	100

LISTA DE SIGLAS

BNCC	Base Nacional Comum Curricular
CTS	Ciência Tecnologia e Sociedade
DCNEM	Diretrizes Curriculares Nacionais do Ensino Médio
EJA	Educação de Jovens e Adultos
LDB	Lei de Diretrizes e Bases de Educação
PCN	Parâmetros Curriculares Nacionais
PCN+Física	Orientações Educacionais Complementares Parâmetros Curriculares Nacionais de Física
PCNEF	Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Fundamental
PCNEM	Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio
SI	Sistema Internacional de Unidades
TIC	Tecnologia da Informação e Comunicação
UEPS	Unidade de Ensino Potencialmente Significativa
UFRGS	Universidade Federal do Rio Grande do Sul
UNED	Unidade de Ensino Descentralizada

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
1.1 Objetivos	17
1.1.1 Objetivo Geral	17
1.1.2 Objetivos específicos.....	17
1.2 Motivação.....	17
2 CONTEXTUALIZAÇÃO AO ENSINO	20
3 HISTÓRIA DA ACÚSTICA	28
4 O SISTEMA AUDITIVO HUMANO.....	35
4.1 Captação das ondas sonoras e percepção do som	38
4.2 Limitações do sistema auditivo humano	40
5 TRANSPosição DIDÁTICA.....	43
6 ONDAS	51
6.1 Acústica	52
7 ESTADO DA ARTE	59
8 O QUE É UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA?	72
9 METODOLOGIA.....	74
9.1 Pesquisa descritiva	74
9.2 Desenvolvimento da pesquisa	75
10 RESULTADOS.....	79
Aula 1 – Identificação de conceitos prévios e apresentação de recorte acerca da história da acústica	79
Aula 2 – Conceitos básicos acerca de som	84
Aula 3 – O processo de percepção do som (aplicação de simulação computacional).....	87
Aula 5 – Propriedades fisiológicas do som	95
Aula 6 – Teste auditivo e manual de construção de um mapa conceitual.....	99
Aula 7 – Construção de mapa conceitual.....	102
11 CONCLUSÃO	105
REFERÊNCIAS.....	107

APÊNDICE 1 – Construindo uma placa de Chladni.....	113
APÊNDICE 2 – Questionário de avaliação do uso da sequência didática nas aulas	115

1 INTRODUÇÃO

O ensino de Física da atualidade está permeado por práticas educativas que possuem a figura do professor como principal ator do processo educacional, práticas que elegem o livro didático como única forma de aquisição de conhecimento válido, desconsiderando desta forma a alta relevância que a realidade vivencial dos estudantes possui em seu processo formativo. Estas são práticas que não mais fazem surtirem os efeitos desejados no campo educacional, o que ocorre, pois as finalidades da educação como um todo sofreram diversas mudanças com o passar dos anos.

Ao concluir o ensino médio é esperado que em Física os egressos tenham desenvolvido uma gama de habilidades e competências específicas, no entanto, o que se observa é que estes alunos acabam por concluir o ciclo de três anos, que compreendem o ensino médio, sem possuir boa parte das habilidades e competências exigidas e, em casos ainda mais graves, saem da escola sem ter desenvolvido as competências mínimas estabelecidas nos documentos que direcionam a ação educativa em Física.

O alto grau de defasagem do ensino de Física tem causas apontadas em diversos documentos oficiais e pesquisas desenvolvidas por especialista da área, neste âmbito algumas das possíveis causas da defasagem do ensino de Física são apontadas nos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCNs) ao destacarem que,

O ensino de Física tem-se realizado freqüentemente mediante a apresentação de conceitos, leis e fórmulas, de forma desarticulada, distanciados do mundo vivido pelos alunos e professores e não só, mas também por isso, vazios de significado. Privilegia a teoria e a abstração, desde o primeiro momento, em detrimento de um desenvolvimento gradual da abstração que, pelo menos, parta da prática e de exemplos concretos. Enfatiza a utilização de fórmulas, em situações artificiais, desvinculando a linguagem matemática que essas fórmulas representam de seu significado físico efetivo (BRASIL, 2000, p.22).

Percebe-se então que a matematização e a abstração excessiva utilizada no ensino da Física se tornam alguns dos principais motivos que levaram a disciplina a um estado de desarticulação entre o ensino de Física ofertado nas escolas e suas finalidades educativas, isso denota que quando não trabalhada de forma a criar relações com o mundo tangível, a Física pode ser alvo da aversão dos alunos, que não a consideram como disciplina viva e cheia de especificidades, mas sim como uma estranha extensão da Matemática, o que é uma perda imensurável, uma vez que a

Física é definida como a ciência que estuda, descreve e interpreta os fenômenos do mundo físico. Desta forma fica evidente a urgente necessidade de adaptações e reformulações nas formas de ensinar a Física nas salas de aula de todo o Brasil, de acordo com os PCNs esse processo,

Não se trata, portanto, de elaborar novas listas de tópicos de conteúdo, mas sobretudo de dar ao ensino de Física novas dimensões. Isso significa promover um conhecimento contextualizado e integrado à vida de cada jovem. Apresentar uma Física que explique a queda dos corpos, o movimento da lua ou das estrelas no céu, o arco-íris e também os raios laser, as imagens da televisão e as formas de comunicação. Uma Física que explique os gastos da “conta de luz” ou o consumo diário de combustível e também as questões referentes ao uso das diferentes fontes de energia em escala social, incluída a energia nuclear, com seus riscos e benefício (BRASIL, 2000, p.23).

Desta forma a contextualização do ensino adquire especial relevância no processo de retomada da qualidade do ensino de Física, bem como, a retomada das especificidades da disciplina Física. Contextualizar nesta conjuntura significa dar uma nova dimensão conceitual ao que é ensinado, atribuindo-lhe razão e finalidades próprias, de acordo com os PCNs, o processo de contextualização do conteúdo em Física é de extrema necessidade, e

Para isso, é imprescindível considerar o mundo vivencial dos alunos, sua realidade próxima ou distante, os objetos e fenômenos com que efetivamente lidam, ou os problemas e indagações que movem sua curiosidade. Esse deve ser o ponto de partida e, de certa forma, também o ponto de chegada. Ou seja, feitas as investigações, abstrações e generalizações potencializadas pelo saber da Física, em sua dimensão conceitual, o conhecimento volta-se novamente para os fenômenos significativos ou objetos tecnológicos de interesse, agora com um novo olhar, como o exercício de utilização do novo saber adquirido, em sua dimensão aplicada ou tecnológica (BRASIL, 2000, p.23).

Sendo assim, a reestruturação do atual ensino de Física, por meio da contextualização dos conteúdos, emerge como uma das alternativas que podem ser empregadas em prol da valorização da Física como ciência e como disciplina do currículo escolar. No ponto de vista do currículo escolar a Física, ensinada no ensino médio, poderá ser reconhecida como disciplina rica, mutável e em constante processo de evolução. As habilidades e competências inerentes a esta poderão ser alcançadas de maneira eficaz e então, os alunos deixarão de vê-la como anexo da Matemática e passarão a enxergá-la como uma ciência relacionada ao mundo em seus diferentes contextos, indissociável das questões que englobam a construção e evolução da ciência, tecnologia e melhoria dos padrões de vida. A aquisição das habilidades e competências em Física caracteriza-se assim como um objetivo singular a ser alcançado,

No entanto, as competências para lidar com o mundo físico não têm qualquer significado quando trabalhadas de forma isolada. Competências em Física para a vida se constroem em um presente contextualizado, em articulação com competências de outras áreas, impregnadas de outros conhecimentos. Elas passam a ganhar sentido somente quando colocadas lado a lado, e de forma integrada, com as demais competências desejadas para a realidade desses jovens. (BRASIL, 2002, p.2)

A Física como ciência que estuda, descreve e interpreta o mundo físico não pode ser ensinada de forma isolada das demais disciplinas, é sempre válido articular as relações entre esta com as demais áreas do conhecimento, quando esta interligação ocorre a disciplina deixa de ser estanque e centrada em si mesma, passa a ser meio de transformação educacional e social, pois insere o educando em um contexto bem mais amplo que o da sala de aula, ela articula junto com as demais disciplinas o processo de evolução histórico, social, econômico, educacional e tecnológico, dando ao aluno uma dimensão que vai muito além dos conhecimentos básicos, ela permite ao estudante relacionar os conceitos científicos ao mundo em que vive, sendo assim possível exercer a criticidade perante as situações que vivencia e das ações que realiza.

Em detrimento de tudo que foi exposto, esta pesquisa se desenvolve a partir do seguinte problema: como estabelecer o ensino de acústica de maneira contextualizada através de instrumentos musicais e elementos da música nas escolas de ensino médio? Objetivando encontrar a resposta para esta indagação será realizada uma busca na literatura especializada acerca do emprego dos elementos mencionados no ensino deste ramo da Física. Será proposta ainda uma sequência didática, que a princípio investiga o que os estudantes do segundo ano do ensino médio compreendem a respeito do tema, ao mesmo ponto em que apresenta um conjunto de aulas que podem ser empregadas em sala de aula pelos professores de Física.

A justificativa para escolha da acústica como tema de pesquisa deu-se pelo fato desta ser uma área da Física que se encontra muito intimamente ligada ao cotidiano dos estudantes, merecendo assim receber destaque nas aulas de Física, o que muitas vezes não ocorre. Por ser uma parte que comumente é apresentada no segundo ano do ensino médio a acústica pode acabar sendo explicada sem haver o aprofundamento necessário, ou ainda pode ser deixada de lado em detrimentos de outros conteúdos, visto que nesta série a disciplina de Física possui uma quantidade

significativa de conteúdos que devem ser atendidos, os quais os professores podem priorizar conforme seu entendimento de relevância.

Para aqueles professores que nas aulas de Física direcionam seu foco para a acústica é que a sequência didática se destina, dado que com esta, o professor pode abordar o conteúdo de uma forma diferenciada, utilizando um material contextualizado, pensado especificamente para o uso em sala de aula, o que pode auxiliar os estudantes no processo de alfabetização científica, que permite que o estudante possa realizar uma leitura crítica do mundo em que vive, assim como, pode permitir que os estudantes superem a concepção de Física como disciplina estanque, centrada em si mesma.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

Identificar na literatura especializada as principais formas de emprego dos instrumentos musicais no ensino da acústica.

1.1.2 Objetivos específicos

Elaborar uma sequência didática para o ensino de acústica acerca da definição de som, sua natureza e propriedades fisiológicas.

1.2 Motivação

Em meio a algumas propostas para o tema do trabalho de conclusão de curso meu orientador sugeriu trabalhar a inserção da música e dos instrumentos musicais associados ao ensino da acústica, o que me chamou bastante atenção, tendo em vista que a música tem se feito muito presente em minha vida, em especial nos últimos seis anos, por participar ativamente do coral da igreja de São José Operário, que integra a paróquia de N^a Senhora das Graças, situada no município de Lagarto/SE. Apesar de não tocar nenhum instrumento musical, sempre fui apaixonado pela música e sei reconhecer o seu valor para a formação cultural e social do cidadão, sendo assim investigar as potencialidades de seu emprego no campo educacional, de forma especial seu papel na alfabetização científica, se fez de meu agrado.

O uso da contextualização por sua vez deu-se através de experiências anteriores, mais especificamente enquanto cursava a disciplina de Instrumentação para o ensino de Física 1, na ocasião foi proposto que a turma construísse um projeto de aula interdisciplinar e contextualizada, ao final da disciplina as aulas pensadas no projeto foram aplicadas em duas turmas do ensino médio, o resultado obtido com as aulas foram bastante animadores, em especial o retorno dos estudantes, que expressaram verbalmente que este modelo de aula era bem mais atraente, e que anteriormente não conseguiam enxergar as relações entre as disciplinas trabalhadas no projeto, indicando assim que o uso da contextualização pode ser bastante fortuita no ensino da Física.

Deste modo utilizar a contextualização, os instrumentos musicais e a música como os principais pilares deste trabalho seria a oportunidade perfeita de verificar como estes elementos performam no processo de ensino e aprendizagem da Física, tomando como foco os conteúdos da acústica.

Este trabalho de conclusão de curso está dividido em onze capítulos, sendo estes, Introdução, Contextualização, História da acústica, O sistema auditivo humano, Transposição didática, Ondas, Estado da arte, O que é sequência didática? Metodologia, Resultados e Conclusão. No segundo capítulo é realizada uma discussão acerca da contextualização do conhecimento e das potencialidades do seu emprego no ambiente escolar. O terceiro capítulo deste trabalho se dedica a apresentar o desenvolvimento histórico da acústica, evidenciando as contribuições de personagens notáveis deste processo.

O quarto capítulo traz uma descrição do sistema auditivo humano, descrição essa que inicia com a caracterização anatômica do sistema auditivo e finaliza com a captação e interpretação das ondas sonoras, bem como com as limitações do sistema auditivo. O quinto capítulo é destinado a discussão do processo de transposição didática do saber.

No sexto capítulo é realizada uma explanação acerca das ondas, sendo estas definidas e caracterizadas, ainda neste capítulo é apresentada a acústica enquanto ramo da Física, as ondas sonoras são definidas e suas principais características discutidas. No sétimo capítulo deste trabalho é apresentado o estado

da arte dos trabalhos que tratam do uso dos instrumentos musicais no ensino de Física.

No capítulo oito é definido o que é uma sequência didática e quais os aspectos devem ser levados em consideração durante a elaboração de uma destas sequências. O nono capítulo apresenta a metodologia utilizada para o desenvolvimento do trabalho e a metodologia de pesquisa.

O décimo capítulo traz os resultados da pesquisa juntamente com a sequência didática, elaborada a partir da visão do autor, para o ensino de acústica. Por fim, no último capítulo do trabalho, é apresentada as considerações do autor quanto à pesquisa, destacando as suas possibilidades e limitações. No Apêndice 1 fica localizado o manual de construção do experimento “Construindo uma placa de Chladini”.

2 CONTEXTUALIZAÇÃO AO ENSINO

A contextualização do conhecimento é apresentada na primeira versão dos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN, 1997), como uma alternativa que pode ser empregada em prol do aprimoramento da aprendizagem das disciplinas de Biologia, Matemática, Física e Química, apresentada como indispensável quando o objetivo é trabalhar a dimensão tecnológica destas disciplinas, ou seja, a relação ciência e tecnologia. As versões mais recentes dos Parâmetros Curriculares Nacionais, a exemplo do PCN de 2002, trazem ainda a contextualização do conhecimento como um dos principais instrumentos a ser adotado para a melhoria do ensino de ciências como um todo.

Santos (2007), entende que grande parte dos professores possuem uma ideia equivocada acerca da noção de contextualização, resumidamente o equívoco ocorre quando estes consideram a contextualização como uma abordagem pedagógica que prima pela nomeação e descrição científica dos fenômenos observados no dia a dia da classe estudantil. Desta forma fica explícito nas ideias de Santos que, a contextualização tem sido interpretada como a ação de atribuição de terminologias cientificamente aceitáveis aos elementos integrantes dos fenômenos científicos que ocorrem no cotidiano, porém de nada adianta atribuir nomes e descrever o fenômeno de maneira científica se estes não são trabalhados em profundidade, isto é, se não conhecidas e discutidas suas implicações histórica, social e/ou econômica dentro do contexto do cotidiano dos estudantes, de nada adianta conhecer o fenômeno e não saber como este infere na maneira como vivem.

A contextualização por vez deve ser compreendida como um processo riquíssimo que objetiva utilizar o cotidiano do estudante como alicerce para o estabelecimento e aprofundamento de discussões a respeito do papel das ciências na sociedade, isto é, como a ciência, que por esta presente tão intimamente no cotidiano dos estudantes, e muitas das vezes não é percebida, se alinha a ciência do currículo escolar e influenciam as relações sociais e a vida da população. Nesta perspectiva entende-se que contextualizar o ensino vai muito além de fazer referência a processos científicos presentes no dia a dia da sociedade, do contexto, é uma relação de tríade entre o conhecimento integrante do currículo escolar, o ambiente vivencial do estudante, que serve de meio articulador do saber, e as implicações do saber na

sociedade, quando estes três elementos são alinhados dentro da sala de aula passa a existir um espaço propício à constituição de uma educação científica transformadora, que instiga no estudante a criticidade, permitindo-lhe pensar e agir sobre a sociedade, sobre o contexto qual faz parte. Seguindo a linha de pensamento de Santos é possível concluir que a contextualização como vem ocorrendo, pautada na nomeação e descrição científica de fenômenos, não é capaz de fazer emergir uma educação científica de qualidade, reflexiva e transformadora, pois remete a processos educativos centrados no conteúdo, Santos evidencia isto ao afirmar que ,

Muitas vezes, essa aparente contextualização é colocada apenas como um pano de fundo para encobrir a abstração excessiva de um ensino puramente conceitual, enciclopédico, de cultura de almanaque. Nessa visão, são adicionados cada vez mais conteúdos ao currículo, como se o conhecimento isolado por si só fosse a condição de preparar os estudantes para a vida social (SANTOS, 2007, p. 5).

A questão primordial que não pode ser posta de lado quando se pleiteia a contextualização pedagógica dos conteúdos científicos é a obtenção de objetivos específicos, que na visão de Santos são,

1) desenvolver atitudes e valores em uma perspectiva humanística diante das questões sociais relativas à ciência e à tecnologia; 2) auxiliar na aprendizagem de conceitos científicos e de aspectos relativos à natureza da ciência; e 3) encorajar os alunos a relacionar suas experiências escolares em ciências com problemas do cotidiano (SANTOS, 2007, p. 5).

Tais objetivos quando articulados em um processo de contextualização são capazes de promover um ensino de ciências que, permite reconhecer a ciência como construção humana, que permite o desenvolvimento do pensamento crítico do estudante e que gera sensação de pertencimento, uma vez que a contextualização surge como forma de aproximar a ciência da escola, outrora distanciada da realidade do aluno, a situações reais, desta maneira tornando-a mais relevante ao estudante.

A contextualização busca então que reflexões críticas acerca do cenário social vivenciado pelos estudantes, sejam originadas dentro da salas de aula de ciências e se perpetuem fora dela, desta forma o arcabouço científico construído na escola pode situar-se para além das dependências deste ambiente, garantindo assim que a razão científica seja a base para toda e qualquer discussão que esteja envolto em processos científicos e suas influencias no contexto social, firmando desta forma que os processos de tomada de decisão se alicercem em fatos e pareceres científicos, que sejam responsáveis e fruto de reflexões sistêmicas.

O homem possui a necessidade de entender o mundo em que vive, o ambiente familiar e alguns outros espaços extraescolares contribuem para que esta seja sanada, oferecendo a este homem, ser cognoscente, uma compreensão de mundo pautada em suas interpretações, arreigadas por impressões e ideias pessoais, extremamente influenciadas pelo que acreditam. A escola, nessa conjuntura, possui mister dever de apresentar ao homem uma visão diferenciada, embasada em estudos, centrada na razão, ou seja, através da visão científica, isto deve ocorrer desde cedo, com as primeiras lições de ciências. Todavia para que o homem possa compreender cientificamente o meio que pertence é necessário que, a prática educativa em ciências seja capaz de promover a ressignificação do saber, aproximando-o dos estudantes, desta forma o ensino não deve continuar ocorrendo como vem sendo feito, seguindo a perspectiva da educação tradicional, que endossa a reprodução pura dos conteúdos e fórmulas. Corroborando com tais ideias Bezerra *et al.* ao estudarem o papel da contextualização do ensino de ciências através de temas CTS em uma perspectiva crítica, apontam, em Física especificamente, a contextualização como detentora de um importante papel didático metodológico ao afirmar que,

A contextualização do conteúdo tende a tornar as aulas de física mais atraentes e o conteúdo mais efetivo para os alunos, pois o homem moderno para além de decorar fórmulas, quer compreender o mundo que o cerca. Uma vez que o professor baseia o ensino em uma metodologia voltada para o cotidiano, torna-se possível, para o aluno, utilizar o conhecimento adquirido em sala de aula, adquirindo capacidade para resolver problemas que venham a surgir, na profissão que ele deseja seguir e também no seu dia-a-dia. Desse modo, o indivíduo não irá apenas seguir receitas ou reproduzir conceitos, fórmulas e atitudes, mas tomará decisões a partir das ferramentas fornecidas durante sua formação. Para tanto, é necessário atuar na busca pelo seu próprio conhecimento (BEZERRA *et al.* 2009, p. 5).

Não é incomum encontrar menções e discursos que remetem a concepções incompletas e/ou mesmo equivocadas acerca da ideia de contextualização, não obstante, também são observados fracassos educacionais, frutos da implementação do que considero ser uma pseudocontextualização, isto ocorre, pois, ao discutir contextualização do conhecimento se faz necessário compreender que algumas concepções deturpadas acerca do tema são evocadas. A concepção pragmática é uma delas, nesta há a redução dos pressupostos de contextualização a esquemas de racionalidade técnica, isto é, o pragmatismo faz uso do contexto para direcionar os estudantes a resolução de problemas do cotidiano, utilizando para isto o suporte teórico e os instrumentos científicos.

Fernandes e Marques (2012), respaldados nas ideias de Serrão acreditam que a visão pragmática de contextualização faz referência à racionalidade técnica, pois está centrada na capacidade de resolução de problemas, para os autores somente quando superado os ideais de racionalidade técnica é que o ensino pode ser direcionado a uma abordagem e avaliação contextualizada.

Outra concepção errônea que surge em meio as discussões de contextualização é a reducionista, que apresenta o ato de contextualizar conhecimento como sendo a ação de textualizar problemas, utilizando para isso o cenário extraescolar dos alunos, ou seja, a sociedade se torna pretexto para criação de problemas científicos de sala de aula, o que para Santos e Moutiner (2002), é uma forma de disfarçar o ensino puramente conceitual com a atribuição de algumas poucas aplicações, deixando à margem os problemas reais.

Para Fernandes e Marques (2012), o contexto é apresentado como pretexto para instauração de um ensino puramente conceitual, distanciando-se assim de sua real finalidade, a aproximação entre problemas originados fora da escola, no contexto social do estudante, e o ambiente escolar em favor do desenvolvimento do pensamento crítico e da racionalidade. Desta maneira é possível entender o pretexto como sendo limitador das possibilidades educativas da inserção do contexto na escolarização.

A contextualização não pode ser compreendida como a ilustração do ensino, em especial de ciências, a partir do cotidiano, contextualizar conhecimento é muito mais que isso, é criar subsídios ao ensino, a contextualização é “o resultado de escolhas didáticas do professor, envolvendo conteúdos e metodologias, e com um projeto de ensino bem definido” (RICARDO, 2010, p. 9).

Para Kato e Kawasaki (2007), a visão imediatista de contextualização, que relaciona diretamente o conhecimento escolar com o cotidiano do estudante, é equivocada, restrita e restritiva, uma vez que impõe barreiras ao trabalho do professor, que passa a ter que exercer a função de educador tomando o cotidiano como início meio e fim do processo de desenvolvimento de suas aulas, desta forma o imediatismo aliado a concepção de contextualização pode ter como resultado o não alcance de metas educacionais, além de impedir que os diferentes contextos que poderiam criar,

organizar e dinamizar o ensino de ciências, que podem gerar uma cultura de ensino efetiva fiquem de fora das práticas educativas.

De acordo com Ricardo (2003), Paulo Freire apresenta uma noção de contextualização que se configura como conhecimento significativo originado no berço do cotidiano do sujeito (aluno), em sua tomada de consciência da realidade, desta maneira todo conhecimento aprendido torna-se maior que o contexto onde foi gerado, o conhecimento adquire universalidade, por meio dele o aluno pode modificar seu cotidiano, ao mesmo tempo em que é capaz de transcendê-lo, influenciando inclusive mudanças em outros diferentes contextos. É o conhecimento gerado *in loco* modificando a realidade por meio de tomadas críticas de decisões.

Kato e Kawasaki (2011), fazendo referência a Francaleza, Amaral e Golveia, entendem que historicamente a contextualização surge como resposta a uma educação formal fragmentada, isolada não somente do contexto científico, mas do educacional e social, uma tendência pedagógica denominada por Freire como ensino tradicional ou bancário, cujas características principais é centrar o professor e o conteúdo como principais elementos do processo educacional, preocupada em reproduzir os conteúdos assim como criados. Ao discutir esse tipo de ensino Freire salienta que,

Em lugar de comunicar-se, o educador faz “comunicados” e depósitos que os educandos, meras incidências, recebem pacientemente, memorizam e repetem. Eis aí a concepção “bancária” da educação, em que a única margem de ação que se oferece aos educandos é a de receberem os depósitos, guardá-los e arquivá-los (FREIRE, 1987, p. 33).

Entende-se então que a contextualização como instrumento didático metodológico surge historicamente dentro do contexto de uma educação arcaica, que não considera o estudante e sua bagagem histórica e social como determinantes no processo de construção do saber, as ideias de contextualização emergem então com o intuito de criar uma dinâmica educacional que também seja valorosa aos estudantes.

Ao analisarem diferentes documentos educacionais oficiais como, Diretrizes Curriculares Nacionais do Ensino Médio (DCNEM), Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio (PCNEM) E Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Fundamental (PCNEF) em busca de diferentes concepções de contextualização, Kato e Kawasaki (2011), perceberam que os DCNEM apresentam basicamente duas concepções para o termo sendo, a) associar os conhecimentos disciplinares às

experiências de vida dos estudantes ou a seus conhecimentos prévios, e b) estabelecer a integração interdisciplinar entre o conhecimento estudado e as demais disciplinas do currículo. A primeira concepção remete a necessidade de tornar o educando o centro do processo formativo, enfatizando o leque de possibilidades que trazer a realidade do estudante para o momento da aprendizagem, a segunda concepção por sua vez diz respeito às possibilidades que o trato interdisciplinar, a integração entre as disciplinas do currículo possuem para a ressignificação do ensino, desta forma fazendo deixar de existir as ideias de que a escola é formada por disciplinas repletas de conteúdos que são estanques, isto é, que não se articulam, que são fechados em si mesmos, que se auto afirmam.

Para Morgado, Fernandes e Mouraz (2011), as novas políticas de elaboração de currículos vem criando na escola uma mobilização em prol da flexibilização, integração e articulação do currículo em desenvolvimento, visando assim a contextualização do processo educativo, isto é, há um movimento que visa situar o currículo em um contexto que se aproxima da realidade dos estudantes, desta forma tentando aproximar o currículo às necessidades educativas e de aprendizagem.

Para Kalchik e Oertle (2010) *apud* Morgado, Fernandes e Mouraz (2011), a contextualização é um processo de atribuição de recursos a estratégias de ensino que buscam relacionar a aprendizagem de habilidades básicas e conteúdos acadêmicos às experiências dos estudantes e sua aplicação em um contexto estabelecido. Sendo assim, passa a haver não somente a aproximação dos conceitos a serem ensinados com a realidade do estudante, mas também passar existir uma relação entre cultura escolar e comunidade.

Conhecendo algumas concepções acerca da contextualização fica evidente que este é um vasto tema de estudo, e que quando empregada na escola pode trazer alguns resultados interessantes à educação, no entanto uma das principais perguntas que emergem em relação a contextualização do conhecimento em sala de aula é: Como promover a contextualização do conhecimento? Estudos apontam algumas ações que podem ser levadas em consideração quando o objetivo é estabelecer um ensino contextualizado, uma delas é o uso da história da ciência, que assim como advogam Kato e Kawasaki (2011) essa abordagem parte da premissa de que a ciência em geral é uma atividade humana, sendo assim uma atividade histórica e coletiva, que carrega características sociais de sua época, desta forma ao contextualizar o

conhecimento científico por meio da história da ciência a este passa a ser situado no tempo e no espaço para que a partir de então a sua evolução possa ser compreendida. Ainda segundo os autores, a correta forma de utilização dessa abordagem no âmbito educacional é por intermédio de uma perspectiva de uma história crítica ou pela perspectiva de uma ciência histórica.

Uma outra forma de contextualizar o ensino é segundo Ricardo a problematização, isto é, o desenvolvimento da prática dialógica centrada na resolução de problemas consistentes, de acordo com Ricardo (2010, p. 9) “A problematização consiste na construção de situações-problema que irão estruturar as situações de aprendizagem, dando-lhes um significado percebido pelos alunos”, estes problemas por conseguinte não devem ser triviais ao ponto de não serem capaz de instigar a curiosidade e testar a capacidade de resolução de problemas por parte dos estudantes, bem como, não devem se apresentar em caráter de extrema dificuldade de forma que os estudantes se quer possam resolvê-los.

Outras maneiras de contextualizar o ensino são apresentadas por Morgado, Fernandes e Mouraz (2011), que ao estudar a contextualização do currículo em Portugal elencaram cinco formas distintas de contextualizar conhecimento, sendo elas, “Formas de exploração de atividades experimentais”, “Utilização de materiais autênticos”, “Realização de projetos de intervenção com recurso a conhecimentos disciplinares”, “Recuperação/exploração dos saberes tradicionais” e por fim “Inclusão do local/cidade no desenvolvimento do currículo disciplinar”.

As “Formas de exploração de atividades experimentais” dizem respeito a utilização de tais atividades como elemento pelo qual o ensino é contextualizado, servindo inclusive para o estabelecimento do ensino investigativo, o objetivo da exploração experimental é o alinhamento entre teoria e prática. Ao preparar uma atividade do tipo experimental o professor transcende o que é indicado nos manuais, elabora seu próprio material, que por vez é muito mais valioso ao estudante. É muito importante salientar que para o ensino a experimentação não pode ser resumida na reprodução de um roteiro com passo a passo, típico de kits prontos, ela deve instigar a curiosidade, permitir que o aluno indague a natureza fenomenológica, que crie suas próprias respostas.

Por “Materiais autênticos” entende-se toda uma gama de substâncias, objetos e processos que originalmente não foram concebidos para fins educativos, seu uso em sala de aula permite que o professor possa evidenciar a cientificidade na qual estão imersos, destacando a teoria e a prática de sua construção. Uma outra possibilidade de contextualizar o ensino é através da “Realização de projetos de intervenção com recurso a conhecimentos disciplinares”, ou seja, elaboração e realização de projetos individuais ou conjuntos que possuam a finalidade de resolverem problemas reais, nesta abordagem há uma grande ênfase ao papel social da educação.

A “Recuperação/exploração dos saberes tradicionais” consiste na utilização do currículo como forma de questionar, corroborar ou complementar os saberes tradicionais de forma técnica e crítica, a fim de possibilitar uma redescoberta dos mesmos, ou seja, redimensionar saberes que já estão enraizados no currículo lhes dando mais valia. A última forma de contextualizar apresentada é a “Inclusão do local/cidade no desenvolvimento do currículo disciplinar”, esta por sua vez pode ocorrer de duas maneiras, a primeira delas considera a localidade como forma de exemplificar a explicação do professor, desta forma, o saber parte de uma universalidade e se ancora no contexto local dos estudantes. A segunda maneira consiste em adotar o contexto local dos estudantes como ponto de partida e chegada no ensino, isto é, busca ressignificar toda a prática do ensino embasando-se no meio qual os estudantes estão inseridos, esta por sua vez diferencia-se da concepção criticada por Kato e Kawasaki, pois, o contexto serve de aporte para a universalização e discussão do conhecimento.

3 HISTÓRIA DA ACÚSTICA

A história da acústica não é recente, seu desenvolvimento remete à antiguidade com os gregos, que de acordo com Grillo *et al.* (s.d. p. 2), entendiam que “[...] a Música possuía papel disseminador de sua forma de cultura social, mas incitava a uma elevada moralidade, fosse pela relação com seus deuses ou através dos escritos de grandes filósofos como Pitágoras”. A fim de um melhor entendimento da construção histórica do desenvolvimento da acústica nos alicerçamos na obra “Acústica musical” de Luís L. Henrique, publicada no ano de 2002, como bibliografia base para a descrição histórica.

Para Henrique (2002) os filósofos gregos atribuíram o som ao movimento dos diferentes corpos, que ao moverem-se transmitiam o movimento pelo ar até que este pudesse chegar às proximidades do ouvido, causando o que foi chamado de sensação auditiva.

A literatura apresenta os filósofos gregos Pitágoras e Tales de Mileto, como os responsáveis pela inclusão da matemática à cultura grega, no que tange ao estudo do som, Pitágoras é reconhecido como primeira pessoa a possuir relevância na investigação dos sons musicais, isto se deve as investigações que conduziu no século VI a.c. Pitágoras desenvolveu o instrumento que nomeou de monocórdio, formado basicamente por uma caixa alongada sobre a qual é fixada nas extremidades da caixa uma única corda tensa, na caixa existem algumas marcações, uma escala numérica e três cavaletes de madeira, sendo dois deles fixos e um móvel, o cavalete móvel pode transitar por toda a extensão da corda realizando a divisão de seu comprimento em frações, o que permitiu que Pitágoras pudesse comparar os sons produzidos nas frações da corda com os sons produzido no comprimento da corda. Segundo Henrique, Pitágoras ao comparar os sons constatou que,

[...] quanto menor fosse o comprimento de uma corda, mais agudo era o som produzido. Em particular, comparando o som de uma corda com outra de metade do comprimento, concluiu que os sons produzidos estavam a intervalo de 8ª. Do mesmo modo os intervalos de 5ª e 4ª, resultavam de frações dessa corda, respectivamente, $\frac{2}{3}$ e $\frac{3}{4}$ (HENRIQUE, 2002, p.13).

A música foi parte fundamental da educação na antiguidade, Henrique (2002), destaca seu papel como parte do *quadrivium*, que juntamente ao *trivium* compreendiam o conjunto das sete artes liberais necessárias à educação do homem livre. O *quadrivium* reunia os quatro ramos da matemática segundo os gregos,

sendo, aritmética, geometria, astronomia e música, o *trivium* era composta por gramática, retórica e dialética.

Saindo da antiguidade e partindo para a Idade Média temos como um dos grandes destaques para o estudo da acústica nesta época Robert Grosseteste (1168-1253), bispo de Lincon e chanceler de Oxford, que em sua obra *De generatione sonorum* realiza a descrição da relação existente entre vibrações transversais e longitudinais.

O período da Renascença foi muito fortuito ao estudo do som e da música, diversos tratados teóricos foram apresentados à comunidade, alguns nomes são evidenciados no campo da acústica, dentre eles o pintor, escultor, arquiteto engenheiro e sábio Leonardo da Vinci (1452-1519), que realizou observações de ecos, o que lhe fez perceber que a velocidade do som era finita. Leonardo da Vinci descreveu ainda o fenômeno da vibração por simpatia. Da Vinci observou que ao fazer vibrar uma corda de alaúde era possível fazer vibrar a mesma corda de um outro alaúde próximo, o mesmo ocorria com sinos.

O século XVII por vez foi de extrema importância para o desenvolvimento de estudos acerca do som. Galileu Galilei (1564-1642) por desenvolver diversos experimentos no campo da acústica foi considerado o fundador da acústica experimental. No ano de 1638 publicou a obra *Discorse e dimostrazione matematiche entorno a due scienze attementi alla meccanica e I movimenti locali*, conhecido popularmente por *Duas Novas Ciências*, onde segundo Henrique (2002, p.20), “[...] expôs a dedução qualitativa das leis das cordas estabelecendo as relações entre frequência, diâmetro, densidade e tensão”, somando-se a isto Galileu discutiu também o fenômeno da ressonância e vibração por simpatia, apresentou explicações para a consonância e a dissonância, que ainda hoje são ditas atuais.

O filósofo, matemático, musicólogo e padre francês Marin Mersenne (1588-1648) é um outro grande nome do século XVII, sua obra mais importante para o desenvolvimento da acústica é intitulada *Harminie Universale*, publicada em 1636/7, a obra é dividida em dois volumes, onde Mersenne descreve todos os instrumentos musicais existentes no século XVII, no tocante ao estudo do som estudou as propriedades das cordas e dos tubos sonoros. Ao estudar as propriedades das cordas

estabeleceu um conjunto de leis que relacionam comprimento, tensão e o diâmetro das cordas, estas são conhecidas como “Leis de Mersenne”,

1ª Para uma determinada corda com determinada tensão, o período de vibração da corda varia consoante o seu comprimento;

2ª Quando o comprimento de uma corda é dado, o período varia como o inverso da raiz quadrada da tensão;

3ª Quando são dados o comprimento e a tensão numa corda, o período varia como a raiz quadrada da densidade linear do material de que é feita a corda (MERSENNE, 1936/7 *apud* Instituto de Educação da Universidade de Lisboa [s.d.]).

Ao estudar os tubos sonoros Mersenne percebeu diversos fenômenos associados à pressão do ar, comprimento e largura do tubo influenciam na altura do som. Além disto ao observar o tempo de retorno do eco encontrou um valor para a velocidade do som que é muito próximo do valor real, diferindo em 10% do valor atualmente aceito (STRONG & PLITNIK, 1992 *apud* HENRIQUE, 2002).

Na segunda metade do século XVI e no século XVII começam a surgir algumas entidades que se destinavam ao estudo das ciências, para a acústica uma delas é particularmente importante, trata-se da *Accademia del Cimento*, fundada por Leopoldo Medici em Florença no ano de 1651, que surge em oposição a ciência dedutiva do *quadrivium*. A *Accademia del Cimento* foi a primeira entidade formal organizada que se dedicou a ciência física experimental, na academia foram realizados diversos experimentos, dentre eles o de propagação da luz e do som, boa parte dos seus membros eram discípulos de Galileu, que havia falecido durante o período de instauração da mesma, Galileu se tornou padroeiro da *Accademia del Cimento*, desta forma seus membros dedicaram-se a comprovação experimental das questões levantadas por Galileu e Toricelli (1608-1647), entre essas a determinação da velocidade do som, que já havia sido realizada por Mersenne e Gassendi (1592-1655), a *Accademia del Cimento* se manteve por dez anos.

Trabalhando em conjunto Berrelli (1608-1679) e Viviani (1622-1703) realizaram experimentos com um pequeno canhão onde flashes sonoros eram emitidos a uma distância de pouco mais de uma milha, o tempo decorrido da propagação do som foi marcada utilizando um relógio de pêndulo simples, quando calculado o valor da velocidade obtida foi de 350 m/s, muito próximo do valor adotado atualmente.

Em 1615 Gianfrancesco Sagredo buscou responder uma questão muito debatida na época, a necessidade da existência de um meio material para a propagação do som, Sagredo desenvolveu um equipamento experimental constituído por um balão de vidro no qual se acoplava uma campainha, a prática experimental consistia no aquecimento do balão a temperaturas elevadas, estimava-se que o aquecimento reduzia a pressão do ar dentro do balão a um terço, o balão então era vedado ainda aquecido, note que não se estabelecia um ambiente e vácuo ou ausente de matéria. Sagredo notou que ao chacoalhar o balão não era produzido som, então escreveu uma carta à Galileu Galilei explicando o ocorrido. Em 1660 Robert Boyle (1627-1703) provou a necessidade da existência de um meio material para a propagação do som, as constatações de Boyle foram apresentadas no livro *New Experiments Physico-Mechanical Touching the Spring of the Air*. Para estudar a ausência do som no vácuo Boyle fez adaptações na bomba de ar de Von Guericke (1602-1686), na qual conseguiu reproduzir o experimento da campainha no vácuo de Sagredo.

Isaac Newton (1642-1727) é um outro personagem que influenciou o desenvolvimento da acústica, utilizando unicamente cálculos teóricos conseguiu calcular um valor para a velocidade do som que se aproxima do valor aceito pela comunidade científica. O matemático John Wallis (1616-1703) publicou relatos de experiências em que relaciona os harmônicos presentes em cordas vibrantes e a existência de pontos nodais na corda. O também matemático e físico francês Joseph Sauveur apresentou à comunidade o conceito de harmônico a partir das vibrações em cordas tensas, introduziu ainda a noção de nó e ventre como forma de caracterizar ondas estacionárias em cordas, Sauveur observou ainda que quando dois tubos de órgão com comprimento ligeiramente diferentes são ouvidos ao mesmo tempo eram produzidos batimentos.

O século XVIII foi um período de grandes avanços, neste o campo da acústica teórica começou a se desenvolver, alguns fenômenos sonoros puderam ser melhor entendidos como, o timbre, a altura e a transmissão do som em líquidos, tudo isto se deu em especial graças as contribuições de Lagrange (1736-1813), Bernoulli (1700-1782) e Euler (1707-1783).

O físico Ernest Florens Friederich Chladni (1756-1827) deixou suas contribuições à acústica, Santos (2018), enfatiza o estudo da formação de figuras em

placas ressonantes, estas são conhecidas como figuras de Chladni, para determiná-las Chladni espalhou areia fina sobre uma placa, qual foi posta a vibrar, formando assim as figuras, que de acordo com Henrique (2002), correspondiam a linhas nodais. A primeira publicação das figuras de Chladni foi realizada em 1787 na obra *Entdeckungen über die Theorie des Klanges*, além das vibrações superficiais Chladni estudou também as vibrações em barras, varas e cordas, estudou também vibrações longitudinais, transversais e torcionais, além de demonstrar a existência de ondas transversais em placas. Donoso *et al* (2008) no trabalho A física do violino destaca que as figuras de Chladni são fundamentais para a construção de violinos com elevada qualidade sonora, uma vez que os tampos inferior e superior dos violinos funcionam como placas vibrantes. As figuras de Chladni impressionou todo o cenário científico da época, a própria Academia Francesa instituiu um prêmio para quem conseguisse explicar satisfatoriamente a formação das figuras e o movimento em superfícies elásticas, a matemática francesa Sophie Germain (1776-1831) foi quem recebeu a premiação ao propor uma equação diferencial de quarta ordem.

O matemático inglês Brook Taylor (1685-1731) fez uso da equação de movimento de Newton para deduzir a fórmula capaz de calcular a frequência fundamental em um a corda. Daniel Bernoulli (1700-1782), Leonardo Euler (1707-1783), ambos suíços, expandiram as conclusões de Brook Taylor a todos os modos de vibração.

O matemático francês Jean Baptist Joseph Fourier (768-1830) viajou ao Egito na companhia de Napoleão Bonaparte em 1798, onde atuou como governador do Baixo Egito, retornou à França em 1803, publicou em 1808 um conjunto de séries matemáticas que ficaram conhecidas como séries de Fourier, anos mais tarde em 1822, Fourier publicou *Theorie Analytique de la Chaleur*, onde apresentou diversas ideias acerca da transferência de calor, ideias estas que permitiram o desenvolvimento das chamadas series integrais de Fourier e do método de análise de Fourier, amplamente utilizadas na acústica. É interessante salientar que Fourier não faz menção a utilização de suas séries para a resoluções de problemas ligados a acústica (HENRIQUE, 2002).

Adentrando no século XIX Jean Baptist Biot (1774-1862) realizou no ano de 1808 a primeira medição da velocidade de propagação do som em sólido, para tal proeza fez uso de um tubo de ferro com 951.25 metros de comprimento. Em 1815

Nathaniel Bowdich descreveu as curvas de combinação de dois movimentos harmônicos simples, que posteriormente passou a ser estudado por Lissajours (1820-1880) que em 1857 descreveu um conjunto de figuras conhecidas como figuras de Lissajours. O físico alemão August Kundt (1839-1899) desenvolveu um método que utilizava tubos, chamado de tubos de Kundt, que utilizava ondas estacionárias para determinar a velocidade de propagação do som no ar e em outros gases. Foi ainda no século XIX que foi realizada a primeira verificação da velocidade do som na água, bem como a invenção da sirene, estetoscópio e estroboscópio.

O alemão Georg Simon Ohm (1787-1854) estudou o sistema auditivo humano e o apresentou como um analisador espectral, adaptou o teorema de Fourier à acústica e desenvolveu a lei da acústica de Ohm, ou ainda, segunda lei de Ohm. No fim do século XIX mais precisamente em 1876 Alexander Graham Bell invento o telefone, logo em seguida no ano de 1877 Thomas Edison apresenta o fonógrafo.

Em 1862 Hermann Ludwig Ferdinand Von Helmholtz (1821-894) publica a obra traduzida como Estudo das Sensações Sonoras como Base Psicológica para a Teoria da Música, Helmholtz foi o primeiro a medir a velocidade dos impulsos nervosos. Apresentou uma explicação para o funcionamento do ouvido médio, desenvolveu uma teoria que explica a audição tomando como base o funcionamento do ouvido interno, esta é considerada surpreendente para a época. Nos apêndices de sua obra Helmholtz apresenta uma série de análises teóricas para os mais distintos fenômenos, dentre eles vibrações em cordas de piano e violino, ondas sonoras, tubos sonoros e vibrações em cordas friccionadas, válidas ainda hoje, desenvolveu os chamados ressonadores de Helmholtz, instrumentos utilizados na análise espectrográfica dos instrumentos musicais.

Em 1804 o físico natural da França René Théophile Hyacinthe Laenne (1781-1826) inventa o estetoscópio, instrumento responsável por aproximar a acústica da medicina de terapia e diagnóstico, já o físico inglês Charles Wheatstone desenvolveu um aparelho muito similar, e o nomeou de microfone, este tinha a função de ampliar sons fracos, ou seja, não se trata do transdutor eletromecânico que conhecemos atualmente e utiliza o mesmo nome. Em 1819 Cagniard de la Tour inventa a sirene, o que possibilitou a medição direta da frequência do som, em 1851 Heinrich Wilhelm Dove encontrou uma forma de melhorar a sirene, adicionou quatro séries de orifícios que podiam ser utilizados ao mesmo tempo. Helmholtz realizou no ano de 1852 a

junção de duas sirenes de Dove por meio de um eixo, o que possibilitou o estudo de sons de combinação, batimentos e interferência.

Jhon William Scrutt Rayleigh (1842-1919), mais conhecido como Lord Rayleigh, publicou *Theory of Sound* em dois volumes, o primeiro em 1877 e o segundo em 1878, a segunda edição da obra foi publicada em 1894, onde diversos capítulos foram acrescentados aos volumes. *Theory of Sound* foi muito importante para o estudo do som pois trouxe diversas descrições matemáticas dos fenômenos acústicos.

Durante o século XX Wallace Clement Sabine (1868-1919) motivado pela necessidade de tornar o auditório onde lecionava na universidade de Harvard mais adequado para a aprendizagem, uma vez que o auditório possuía uma péssima acústica, estudou a acústica arquitetural, chegando a desenvolver uma fórmula para calcular o tempo de reverberação do som. Dayton Miller (1866-1941) estudou as propriedades acústicas dos instrumentos musicais, em 1916 publicou um livro sobre acústica musical, em 1935 publicou outro livro, agora contando a história da acústica no início do século XX. Harry F. Olson (1902-1982) desenvolveu o modelo dos alto falantes atuais. Sir Chandrasekhara Roman (1888-1970) realizou trabalhos sobre cordas vibrantes e os tambores indianos.

O desenvolvimento da acústica como ramo da Física remete aos tempos da antiguidade, seu desenvolvimento é rico em contextos e cheia de contribuições, que datam da Grécia Antiga até os tempos atuais, não obstante a isto gostaríamos de salientar que o recorte aqui apresentado de forma alguma abarca todos os cientistas que se empenharam no estudo do tema, bem como, não apresentamos todos os avanços inerentes à Física do som. Para um maior aprofundamento na temática é recomendado que o leitor realize a leitura da literatura base aqui abordada, bem como, das demais obras citadas ao longo de todo o texto.

4 O SISTEMA AUDITIVO HUMANO

A audição, em conjunto com o paladar, o olfato, a visão e o tato compõem o grupo dos cinco sentidos humanos. Perez e Grillo (2019), atribuem a cada um dos sentidos uma parte específica do corpo responsável por sua percepção, sendo respectivamente orelha, boca, nariz, olhos e mãos, no entanto as mãos não podem ser entendidas como responsáveis únicas pelo sentido do tato, uma vez que toda a pele possui a capacidade de perceber particularidades das estruturas dos corpos. Contudo o foco desta seção é estudar o sistema auditivo humano, não é objetivado aqui realizar uma descrição anatômica das estruturas que compõem, mas sim fazer um detalhamento das principais partes relacionadas a percepção do som.

Moore, Dalley e Agur (2014), consideram a orelha como o órgão da audição e do equilíbrio, que é dividida em três partes, orelha externa, orelha média e orelha interna. A parte exterior do sistema auditivo recebe o nome de orelha externa, é formada pelo pavilhão acústico, popularmente conhecido como orelha, possui formato de concha, é formada por uma lâmina de cartilagem de formato irregular que apresenta tanto depressões quanto elevações, esta é recoberta por uma camada de pele, o pavilhão auditivo é responsável pela captação do som. A orelha externa é ainda constituída ainda pelo meato acústico externo e membrana timpânica.

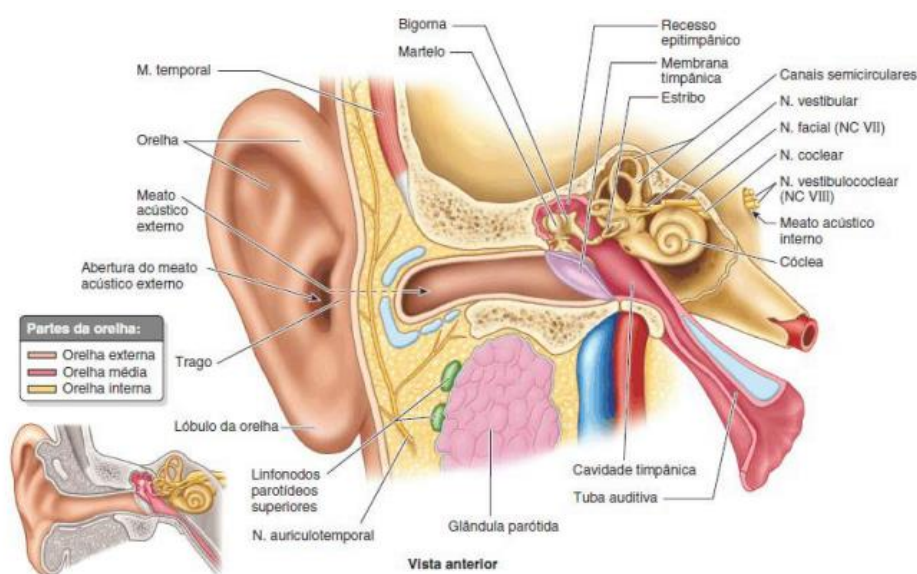


Figura 1. Representação anatômica em corte do sistema auditivo humano. No canto inferior esquerdo encontra-se a divisão entre as três partes componentes do sistema auditivo. Fonte. MOORE, DALLEY e AGUR, 2014.

O meato acústico externo é um canal que liga internamente o pavilhão auditivo à membrana timpânica, seu comprimento varia de aproximadamente dois a três centímetros em pessoas adultas, sua função é direcionar o som à membrana timpânica. A membrana timpânica por sua vez é uma membrana semitransparente em formato oval que possui cerca de um centímetro de diâmetro, está localizado na extremidade medial do meato acústico externo, dividindo-o desta forma em meato acústico externo e cavidade timpânica da orelha média, a membrana timpânica possui ainda um formato côncavo, que se volta para o meato acústico externo, é recoberta por uma fina camada de pele chamada túnica mucosa da orelha média, no centro da concavidade fica o umbigo da membrana timpânica, que é atravessado de maneira perpendicular pelo eixo central da membrana timpânica seguindo o sentido anteroinferior e lateral, o que permite a captação de sons da frente e ao lado da cabeça. Por fim a membrana timpânica se movimenta como forma de resposta à vibração do ar que percorre todo o meato acústico externo e chega até ela. A movimentação da membrana timpânica é transmitida pelos ossículos da audição por toda a orelha média até a orelha interna (MOORE; DALLEY, AGUR, 2014).

A orelha média, segundo Hansen (2015), se assemelha a uma caixa com seis lados cheia de ar, esta é revestida por uma fina membrana, Moore, Dalley e Agur (2014), fazem uma descrição muito similar, para eles a cavidade da orelha média ou cavidade timpânica trata-se de uma pequena câmara cheia de ar que se liga a faringe pela tuba auditiva. Ainda segundo Moore, Dalley e Agur (2014), a orelha média pode ser dividida em duas partes, a cavidade timpânica da orelha média propriamente dita e o espaço interno à membrana timpânica, o chamado recesso epitimpânico. É na orelha média onde estão localizados os ossículos da audição, são eles, martelo, bigorna e estribo, além dos músculos estápédio e tensor do tímpano, nervo corda do tímpano, e plexo timpânico de nervos.

A tuba auditiva, como mencionado anteriormente, faz ligação com a cavidade timpânica e a parte nasal da faringe, sua função é regular a pressão presente na orelha média de forma a deixar a pressão interna equivalente a pressão atmosférica, isto ocorre, pois, a tuba auditiva permite a entrada e a saída de ar na cavidade timpânica (MOORE; DALLEY; AGUR, 2014).

Os ossículos da audição, como o próprio nome sugere, são pequenos ossos, que fazem parte do sistema auditivo, estes ossículos formam uma cadeia móvel

através da cavidade timpânica, desde a membrana timpânica à janela do vestíbulo, este conjunto é formado pelo martelo, bigorna e estribo. O martelo é fixo na membrana timpânica, possui uma cabeça arredondada que se localiza no recesso epitimpânico, o cabo do martelo fica localizado na parte flácida da membrana timpânica, por fim o cabo do martelo se articula com a bigorna, em suma o martelo atua como uma alavanca. A bigorna é o ossículo intermediário do conjunto, se localiza entre o martelo e o estribo, o corpo grande da bigorna se articula com a cabeça do martelo, o ramo longo por sua vez fica paralelo ao cabo do martelo, sua extremidade interna se articula ao estribo por meio do processo lenticular (MOORE; DALLEY; AGUR, 2014).

O estribo é o último ossículo do conjunto, é também o menor deles, sua cabeça se articula com a bigorna, enquanto sua base encaixa-se na janela do vestíbulo, localizado na parede medial da cavidade timpânica. Segundo Moore, Dalley e Agur (2014), a base do estribo é muito menor em relação à membrana timpânica, o que faz a força do estribo ser cerca de dez vezes maior que a força das vibrações que chegam à membrana timpânica, desta forma além dos ossículos da audição aumentam a força das vibrações eles também diminuem a amplitude das vibrações que chegam à membrana timpânica e são transmitidas para a orelha interna.

A orelha interna é segundo Hansen (2015), dividida em dois seguimentos, o labirinto ósseo e o labirinto membranáceo. Na orelha interna fica o órgão vestibulococlear, responsável pela percepção do som e o equilíbrio.

O labirinto ósseo é assim como definido por Moore, Dalley e Agur (2014), uma série de cavidades que ficam contidas na cápsula ótica da parte petrosa do temporal, é formado por cóclea, vestíbulo e os canais semicirculares anterior, lateral e posterior.

A cóclea é a parte do labirinto ósseo que possui formato espiralado de concha, é nela que fica o ducto coclear, parte da orelha interna associada à audição. O canal espiral da cóclea inicia no vestíbulo e realiza duas voltas e meia ao redor do centro ósseo, cônico e esponjoso nomeado miolo (MOORE; DALLEY; AGUR, 2014).

O vestíbulo do labirinto ósseo é uma câmara oval com comprimento aproximado de cinco centímetros, que possui o utrículo e o sáculo, partes do labirinto ventricular responsável pelo equilíbrio. O vestíbulo é contínuo com a cóclea óssea e apresenta a janela do vestíbulo, que como já mencionado é o espaço onde a base da

bigorna se encaixa, é contínuo também com o canal semicircular posterior e a fossa posterior do crânio (MOORE; DALLEY; AGUR, 2014).

Os canais semicirculares estão posicionados entre si estabelecendo um ângulo reto, estão localizados na parte posterior ao vestíbulo, Moore, Dalley e Agur (2014), expressam que ambos os canais realizam dois terços de volta e possuem cerca de um milímetro e meio de diâmetro, exceto em uma das extremidades devido a presença de um alargamento chamado ampola óssea.

O segundo seguimento da orelha interna corresponde ao labirinto membranáceo, uma estrutura composta por um conjunto de sacos e ductos comunicantes, o labirinto membranáceo é interno ao labirinto ósseo e é preenchido por um líquido aquoso chamado endolinfa. O labirinto membranáceo é dividido em duas partes, uma referente ao labirinto vestibular e outra referente ao labirinto coclear. No labirinto vestibular estão o utrículo e o sáculo, que se comunicam com o labirinto ósseo, além dos três ductos semicirculares. No labirinto coclear está o ducto coclear (MOORE; DALLEY; AGUR, 2014).

Os ductos semicirculares se abrem ao utrículo por meio de cinco aberturas, o utrículo por vez faz ligação com o sáculo por meio do ducto utriculossacular, que origina o ducto endolinfático, o sáculo é contínuo com o ducto coclear através do ducto de união. Juntos o utrículo e o sáculo formam as máculas, epitélios sensitivos, que possuem células ciliadas, enervadas por fibras do nervo ventíbulococlear (MOORE; DALLEY; AGUR, 2014).

O ducto coclear é fechado e tem formato espiralado, é preenchido por endolinfa, é neste que as ondas de pressão hidráulica, geradas na perilinfa pelas vibrações da base do estribo chegam ao ápice da cóclea através da rampa do vestíbulo, seguem pelo helicotrema, descem até a volta basal da cóclea pela rampa do tímpano. É no ducto coclear que a onda de pressão se torna novamente em vibrações, dessa vez na membrana timpânica secundária, na janela da cóclea (MOORE; DALLEY; AGUR, 2014).

4.1 Captação das ondas sonoras e percepção do som

Após conhecer as partes componentes do sistema auditivo humano, se faz necessário saber como estas se articulam, em outras palavras é preciso entender como o som é percebido. Antes de mais nada é fundamental que a ideia da existência do som esteja diretamente associada a presença de um meio material no qual as ondas sonoras possam se propagar, no caso das ondas sonoras que chegam às orelhas este meio é geralmente o ar.

Ao vibrar, a fonte emissora cria no ar zonas de compressão/rarefação das moléculas, que se propagam tridimensionalmente no espaço. Rui e Steffani (2007) estas ondas quando próximas da orelha externa podem seguir direto para o meato acústico externo, ou sofrer antes múltiplas reflexões no pavilhão auditivo, as ondas de compressão/rarefação seguem por todo o meato acústico até que chegam à membrana timpânica. Essa onda de compressão/rarefação faz a membrana timpânica vibrar, ou seja, transforma-se em energia vibratória mecânica, que é transmitida para os ossículos da audição (HENRIQUE, 2002).

Perez e Grillo (2019, p.38) entendem que,

A orelha torna a captação do som mais eficaz e funciona como ressonador. Da mesma forma o canal auditivo funciona como ressonador tipo tubo fechado. A combinação dos dois ressonadores provoca um aumento de intensidade da ordem de 10 a 15 dB, na banda de frequência de 15000 a 7000 Hz.

O estribo, último dos ossículos, transmite a vibração por meio da janela do vestíbulo, para a perilinfa da rampa do vestíbulo, neste processo ocorre a diminuição da amplitude das vibrações e o aumento da força vibratória, são ainda geradas ondas de pressão na perilinfa da rampa do vestíbulo que segundo Moore, Dalley e Agur (2014), deslocam a lamina basilar do ducto coclear, as ondas curtas movimentam a lamina basilar próximo da janela do vestíbulo, são as responsáveis pelos sons agudos, as ondas longas curtas movimentam a lamina basilar próximo ao helicotrema, são as responsáveis por gerar os sons graves. A movimentação da lâmina basilar curva as células pilosas, presentes no órgão espiral, liberando assim neurotransmissores e estimulando os potenciais de ação, que por vez são direcionados ao encéfalo, por meio do nervo da cóclea, os estímulos então são interpretados e o som é percebido. As vibrações são conduzidas pelo ducto coclear até a perilinfa da rampa do tímpano, de onde seguem para a dissipação na membrana timpânica secundária.

4.2 Limitações do sistema auditivo humano

Todos os sons que são percebidos pelo sistema auditivo humano são frutos das vibrações em um meio material, no entanto grande parte das vibrações não originam sons audíveis aos seres humanos. Os sons audíveis aos humanos, isto é, sons que sensibilizam o sistema auditivo humano compreendem a faixa de frequência que varia de 20 Hz a 20000 Hz aproximadamente. Caso a frequência das vibrações no meio sejam menores que 20 Hz, as ondas são caracterizadas como infrassom, por outro lado se forem maiores que 20000 Hz as ondas sonoras produzidas são ditas ondas de ultrassom, ambos os tipos de ondas não sensibilizam o sistema auditivo humano (VILLAS BOAS, 2010).

Vuolo e Franco (2004) evidenciam que dentro da faixa das frequências audíveis aos homens a que é mais bem interpretada, isto é, a que promove a máxima sensibilização do sistema auditivo, fica em torno de 3500 Hz, decaindo progressivamente quando as demais frequências tendem aos limites dos sons audíveis. Desta maneira sons com os mesmos níveis de intensidade sonora, porém de frequências distintas podem ser percebidos como volumes diferentes, o que gera a necessidade de diferenciação por nível de volume sonoro, associado à percepção do som pelo sistema auditivo, sua unidade é o *phon*.

Apesar do sistema auditivo humano poder interpretar sons que variam de 20 Hz a 20000 Hz, isto não significa que durante toda a vida uma pessoa será capaz de perceber toda esse faixa de frequência sonora, em geral existe uma dificuldade em ouvir sons fracos, mesmo em pessoas jovens, fato que se agrava na velhice (RUI; STEFANNI, 2007).

A frequência dos sons audíveis não é o único limitador do sistema auditivo humano, mesmo sons da frequência dos audíveis podem causar, desconforto, dor e até mesmo sensação pânico. Isto é justificado pois o sistema auditivo é extremamente sensível a sons de altas amplitudes, isto é, sons muito intensos. A intensidade do som, é assim como advoga Hewitt (2002), um atributo físico e objetivo das ondas sonoras, sendo assim é passível de medição, diferenciando-se do volume, característica atrelada a uma sensação fisiológica. “A intensidade I de uma onda sonora em uma superfície é a taxa de variação média por unidade de área com a qual

a energia contida na onda atravessa superfície ou é absorvida pela superfície (HALLIDAY & RESNICK, 2013, p.158).

Matematicamente a intensidade sonora pode ser descrita através da equação a seguir,

$$I = \frac{P}{A} \quad (1)$$

Em que P é a taxa de variação da transferência de energia com relação ao tempo, ou seja, é a potência da onda sonora, A é a área da superfície que intercepta a onda sonora. A unidade de intensidade sonora é w/m^2 , comumente para o estudo do som é adotado a unidade de bel (B).

Logo abaixo, na Figura 2, é apresentada uma comparação entre a intensidade dos sons produzidos por algumas fontes sonoras e a sensação fisiológica que sons de tais intensidades causam no observador.



Figura 2. Níveis de intensidade sonora e sensações auditivas causadas ao observador. Fonte. BRAGA, 2014.

Conforme Moore, Dalley e Agur (2014), o sistema auditivo possui uma proteção natural que reduz a amplitude das oscilações sonoras, trata-se do um músculo tensor do tímpano, contudo a máxima amplitude sonora indicada para a exposição de um observador com garantia de sua integridade e segurança é de 85 dB.

Tratando-se de produção musical, os níveis de intensidade sonora podem ser classificados de acordo com a tabela a seguir.

Tabela 1. Níveis de dinâmica e suas notações. Fonte: PEREZ E GRILLO, 2019.

Notação	Dinâmica
ppp	Pianíssíssimo - menor intensidade possível
pp	Pianíssimo - um pouco mais intenso que o PPP
p	Piano - um pouco mais intenso que o pp
mf	Meio forte - um pouco mais intenso que o p e atinge a capacidade média do instrumento
f	Forte - mais intenso que o mf. Até o período Mozartiano era a capacidade máxima do instrumento. Com o aprimoramento dos instrumentos, no Romantismo, são possíveis intensidades maiores.
ff	Fortíssimo - mais intenso que o f. No Romantismo é a capacidade máxima de intensidade do instrumento.
fff	Fortíssíssimo - maior intensidade possível, um certo exagero de alguns compositores em pedir do instrumento a intensidade máxima possível do instrumento

5 TRANSPOSIÇÃO DIDÁTICA

A humanidade tem gerado conhecimento há milhares de anos, no princípio o conhecimento era prático, porém com o passar do tempo foi se tornando teórico e científico, mas uma coisa que não mudou foi a necessidade de transmitir o conhecimento. Atualmente o conhecimento que vigora em sociedade é o científico, desenvolvido por pesquisadores da ciência em suas diversas áreas, este conhecimento precisa se fazer chegar a sociedade, e para tal são diversos os meios de transmissão, no entanto um dos principais locais onde isto ocorre é o ambiente escolar, ou seja, a escola se torna um dos principais meios de disseminação do conhecimento cientificamente aceito, sendo assim, o conhecimento gerado por um cientista ou uma equipe de cientistas é organizado por especialistas de forma que seja possível a reprodução do conhecimento dentro da sala de aula, onde o professor pode ensinar o conteúdo, subsidiando a aprendizagem dos estudantes.

Para Domingui (2008, p. 2) “Os conteúdos são um conjunto de saberes que o contexto social vigente compreende como necessários a serem transmitidos às novas gerações”, desta forma entende-se que os conhecimentos científicos envolvem bem mais que a simples produção de conhecimento, engloba a produção de conhecimentos úteis, aplicáveis a vivência em sociedade, aprimoramento da tecnologia e embasamento em tomadas de decisões, desta forma não podem deixar de serem transmitidos.

Todo conhecimento científico possui a necessidade implícita de ser transmitido para que cada vez mais pessoas possam tirar o máximo de proveito das descobertas e das possibilidades de implementação do conhecimento gerado. O processo de transmissão deste tipo de conhecimento objetiva leva-lo a basicamente dois grupos de pessoas, no primeiro grupo estão presentes os cientistas e estudiosos da mesma área do saber produzido ou de áreas afins, enquanto que o segundo grupo por sua vez é formado por pessoas que não realizam estudos na área, ou não fazem parte da comunidade científica, a exemplos destes temos os estudantes, que para poder tirar o melhor proveito possível deste novo conhecimento gerado necessita que a ele seja empreendido um processo organizacional que subsidie o ensino-aprendizagem, uma vez que a linguagem científica se distancia da linguagem adotada nas instituições de ensino.

Kummer (1999) define conhecimento científico como o fruto de um trabalho rigoroso e estruturado de investigação, onde se testam e reproduzem fenômenos a fim de conhecê-los, descrevê-los e categorizá-los tomando como base para tal suas características. Diversos outros autores discutem acerca do conhecimento científico, neste sentido Domingui (2008, p. 5) o define como sendo “um saber sistematizado e que busca explicar a ordem dos fenômenos naturais ou sociais, produtos de uma atividade metódica de investigação”, ou seja, o conhecimento científico trata-se de saberes construídos a partir de um método de investigação científica, submetido a uma comunidade de especialistas da área, que o avaliam e os legitimam, este é um conhecimento gerado por cientistas pesquisadores.

Para serem levados a sala de aula o conhecimento científico deve passar por um processo de transformação onde, o conteúdo é adaptado e se torna conhecimento escolar, neste processo de adaptação a didática atua como ferramenta fornecedora de métodos e técnicas aplicáveis ao conhecimento científico a fim de torná-lo inteligível ao público, garantindo assim que seja estabelecido um processo ensino-aprendizagem eficiente.

O conhecimento escolar é por sua vez definido por Domingui (2008) como sendo o conhecimento didaticamente adaptado para a atividade educativa, Alves Filho (2000) o define como resultado de uma organização hierárquica, dividida em patamares de dificuldade, ou seja, é um saber reestruturado, que tem origem no conhecimento científico e que se destina ao ensino em sala de aula.

A formação de um currículo, por meio do agrupamento de conteúdo, ocorre conforme o que a sociedade considera ser fundamental, ou seja, a totalidade delimita quais áreas do conhecimento farão parte da formação do cidadão e quais conteúdos serão abrangidos em cada uma das áreas do saber. Este agrupamento de conteúdo é a primeira fase para a elaboração de um processo de ensino-aprendizagem, que se segue pela etapa de adaptação, nesta ocorre a mudança do conhecimento científico para o conhecimento escolar, onde para Domingui (2008, p. 10) “uma nova linguagem, mais próxima da utilizada pelos alunos, é empregada para facilitar o processo ensino-aprendizagem”. A grande questão aqui exposta é a necessidade que o conhecimento científico tem de receber um tratamento técnico-didático, ou seja, ser adaptado antes de chegar às salas de aula, este processo recebe o nome de transposição didática.

O termo transposição didática foi apresentado na literatura pelo sociólogo Michel Verret, que introduziu o termo em sua tese de doutorado “Le Temps des études” em 1975, esse termo foi aprimorado Yves Chavellard e Marie-Albert em 1982, que ao trabalharem em um artigo que discute o distanciamento da noção de distância em matemática. Chavellard (2013) entende a transposição didática como uma ferramenta prática que torna o conhecimento em algo a ser ensinado e aprendido. De acordo com Neves e Barros (2011), no Brasil o conceito de transposição didática possui diferentes interpretações e reelaborações, sendo então necessária uma discussão aprofundada acerca do tema e dos trabalhos acadêmicos que visam assim o estabelecimento de um padrão delineador.

Segundo Brockington e Pietrocola (2005, p. 385), Chavellard define transposição didática como sendo “um instrumento eficiente para analisar o processo pelo qual o saber produzido pelos cientistas (o Saber Sábio) se transforma naquele que está contido nos programas e livros didáticos (o Saber a Ensinar).

A transposição didática é um processo que oferece os caminhos metodológicos pelo qual o conhecimento científico, chamado por Chavellard de “Saber Sábio”, se torna o conhecimento escolar, “Saber a Ensinar”. Pensada inicialmente por Verret para ser aplicada em matemática e difundida mundialmente por Yves Chavellard, a transposição didática ultrapassou os limites desta e atingiu diversas outras áreas da ciência, para Neves e Barros (2011, p. 104),

O poder transformador do estudo das transposições não se aplica só à matemática – área na qual essa teoria foi gerada –, mas também tem sido considerado por pesquisadores de várias áreas da ciência como ferramenta na elaboração de propostas de melhorias no ensino. A abrangência dessas ideias aplicadas em outras áreas já tinha sido notada pelo próprio Chevallard (2005, p.11) quando, no ano de 1982, dizia que o conceito de transposição didática já havia transposto as fronteiras da didática da matemática e havia alcançado a didática da física. Na ocasião, ele citava o trabalho de Joshua, S. “L’*utilisation du schéma en életrocinetiqué: aspects perceptifs et aspects conceptuels. Propositions pour l’introduction de la notion de potentiel em életrocinetiqué.* Marsella: Facultad de Ciencias de Luminy, 1982”.

Na área da Física, Neves e Barros (2011) apontam que a textualização dos livros didáticos estão cada vez mais distantes dos textos científicos, o que é preocupante, pois diferentemente da matemática, que quando alterada a linguagem não ocorre a simplificação, redução ou atração do conhecimento científico, os conceitos físicos podem ser simplificados fazendo então o conhecimento escolar destoar do conhecimento científico. A divergência entre os dois tipos de

conhecimentos pode ser questionada pelo professor no momento de elaboração das suas aulas, desta maneira o professor pode tentar sanar possíveis perdas adaptando o conhecimento transposto no livro didático, utilizando para tal definições mais precisas e conexas com o conhecimento científico, este processo é chamado de transposição didática interna e ao ser realizada consciente ou inconscientemente considera aspectos sociais externos.

Astolfi (1995) entende que no processo de transposição didática o Saber Sábio passa por mudanças profundas, até que se torne Saber a Ensinar, mudanças que devem objetivar a consolidação da aprendizagem, então as mudanças ocorridas na transposição do conhecimento não devem afetar o significado original do texto e as ideias do contexto da pesquisa, devendo, por conseguinte, adquirir os significados do ambiente escolar. Sendo assim, entende-se que o conhecimento transposto não pode se apresentar como simplificação do conhecimento científico, trata-se de um novo conhecimento que deve atender a demanda científica e educacional.

Alves Filho *et al.* (2001) *apud* Neves e Barros (2011) acreditam que os materiais que realmente sofrem transposição didática são os destinados ao ensino superior e não os endereçados ao ensino médio, considerando desta forma que esse é oriundo de simplificações, onde a linguagem se adequa a faixa de escolarização e as operações matemáticas são as mínimas para manter a estrutura do conhecimento escolar, ou seja, para que o texto seja inteligível.

Por simplificações aqui não são consideradas aquelas que ocorrem com a finalidade de permitir que o conhecimento seja transposto sem que as especificidades do conhecimento científico sejam perdidas, a exemplo das desconsiderações de atrito e distribuição uniforme de massa em um corpo, as chamadas idealizações, que permitem que a modelagem dos problemas seja acessível ao público escolar. Brockington e Pietrocola (2005, p. 391) afirmam que no ensino médio a simplificação de conhecimento está presente e que,

Isso é, muitas vezes é necessário limitar a profundidade conceitual e as linguagens empregadas em algumas situações. Um dos motivos que justificam essa simplificação é decorrente, entre outras, da disponibilidade de tempo (carga horária), dos objetivos do curso, da maturidade dos estudantes etc. As escolhas e adaptações são inevitáveis quando se deve fazer caber três ou quatro séculos de Física em duas ou três aulas semanais ao longo de três anos.

Como mencionado em parágrafos anteriores o conhecimento científico passa por diversas mudanças para que só então possa chegar a sala de aula na forma de conhecimento escolar, no entanto nem todo conhecimento cientificamente desenvolvido chega a sala de aula, ou seja, se tornarão parte do currículo de uma área do conhecimento, neste contexto a noosfera, formada pelas classe dos cientistas, professores, educadores, políticos, autores de livros didáticos, pais de alunos e outros, que possuem interesses, objetivos e preferências, após discussões este grupo de agentes sociais externos imprime no currículo suas ideias (SIQUEIRA; PIETROCOLA, 2006). Para a escolha dos conteúdos que farão parte do currículo a noosfera deve considerar características específicas.

A primeira característica é que o conhecimento a ser transposto deve ser consensual, ou seja, deve possuir status de verdade, seja ela histórica ou momentânea, atribuído pela comunidade científica, evitando que professores e pais de alunos tenham dúvidas se o conteúdo ensinado é ou não correto (BROCKINGTON; PIETROCOLA, 2005). Por este motivo conteúdos clássicos possuem prioridade no currículo.

O conhecimento transposto deve possuir atualidade, tanto a moral quanto a biológica. A atualidade moral está ligada a necessidade atribuída pela sociedade de que determinado conteúdo possui relevância para o desenvolvimento do educando e por conseguinte deve estar presente no currículo da disciplina, para tal este não deve estar distante do conhecimento dos cientistas e dos pais (BROCKINGTON; PIETROCOLA, 2005). A atualidade biológica por sua vez considera a atualidade da ciência produzida, a exemplo disto Pietrocola assume que “[...] ensinar ondas eletromagnéticas utilizando-se o éter como suporte material ou termologia usando o calórico como fluido térmico, exceto em uma perspectiva histórica, configura-se como uma inadequação biológica.” (PIETROCOLA, 2006, p. 6).

A terceira característica a ser levada em conta pela noosfera é que o conhecimento transposto deve ser operacional, isto é, seja capaz de originar uma sequência de atividades e exercícios, possibilitando assim a elaboração de um modelo avaliativo efetivo (BROCKINGTON; PIETROCOLA, 2005).

A criatividade didática compõe a quarta característica pela qual um conteúdo a ser transposto deve ser analisado, neste o conteúdo deve possuir identidade própria,

situada no contexto escolar, desta forma possibilitando a criação de atividades que não tenham equivalente no conhecimento científico, ou seja, criação de atividades que tenham a finalidade exclusiva para o uso educativo, como por exemplo a associação de resistores (BROCKINGTON; PIETROCOLA, 2005).

Por fim, o saber transposto deve ser terapêutico, o que significa dizer que quando submetidos a testes de adaptação ao sistema de ensino deve mostrar-se apto a permanência no currículo, isto pode ser verificado através de avaliações *in loco*.

Todas as características expostas anteriormente acerca do conhecimento transposto foram enunciadas por Yves Chavellard e constitui o que a literatura denomina por sobrevivência do saber, sendo assim, o conhecimento transposto que possui em si todas essas características é passível de inclusão e permanência no currículo escolar.

Conhecendo o termo transposição didática se faz necessário saber como transpor o conhecimento científico em escolar, para tal Chavellard estabelece um conjunto de cinco regras pelas quais o conhecimento pode ser transposto. Essas regras podem ser encontradas logo abaixo.

Regra I - Modernizar o saber escolar

A ciência produz cada vez mais saberes, que são empregados amplamente na sociedade, um grande exemplo disto é a forma como as indústrias tiram proveito das descobertas científicas e as emprega em seu processo produtivo, sendo assim, a modernização pode ocorrer ao considerar as novas tecnologias como objetos indissociáveis da sociedade e que possuindo esse status devem ficar de fora dos exemplos trazidas nos livros didáticos e das discussões iniciadas na sala de aula entre professor e aluno.

Regra II - Atualizar o saber a ensinar

Com o passar do tempo a sociedade passa a interiorizar alguns saberes, as pesquisas não mais os têm como cerne de trabalho, desta maneira passa não existir motivos que deem suporte a manutenção deste no sistema educacional, logo estes podem deixar de fazer parte o currículo, abrindo espaço para novos conhecimentos, é muito importante destacar o papel desempenhado pela noosfera nesse processo de

atualização do saber a ensinar, uma vez que delimita o que é necessário para a formação de cidadãos.

Regra III – Articular o saber novo com o antigo

Todo novo conhecimento deve articular-se com o antigo, essa articulação valoriza o novo conhecimento sem desconsiderar a importância que o conhecimento antigo, que nesta perspectiva serve de alicerce teórico para o estabelecimento do novo conhecimento.

Regra IV - Transformar um saber em exercícios e problemas

A avaliação constitui um momento de extrema importância no campo educacional, desta forma a elaboração de exercícios e atividades constitui uma etapa crucial no processo de transposição didática, pois se relaciona intimamente com o processo avaliativo presente nas escolas, logo, os conteúdos que permitem o desenvolvimento de uma maior gama de exercícios e atividades possuem maiores chances de serem aceitos.

Regra V - Tornar um conceito mais compreensível

Tornar os conhecimentos inteligível é uma das principais preocupações da transposição didática, que busca adequar o grau de complexidade do saber aos objetivos da aprendizagem, adaptando a linguagem empregada no texto para que se aproxime da linguagem empregada no ambiente escolar, utilizando aproximações de conceituais e simplificação de modelos, fornecendo ferramentas didáticas e metodologias que venham a garantir a aprendizagem.

Todas as regras de transposição didática expostas acima estão ligadas diretamente com os requisitos estabelecidos por Chavellard para a sobrevivência do saber, neste contexto as regras de transposição didática oferecem um instrumental teórico-metodológico que pode servir de análise e/ou critério base para transformação do conhecimento científico (Saber Sábio) em conhecimento escolar (Saber a Ensinar), trata-se de uma ferramenta importantíssima para a instauração e manutenção de uma educação que permita aos estudantes aprenderem em profundidade aquilo que lhes é ensinado. A transposição didática pode ser entendida então como um processo epistemológico, isto é, um estudo aprofundado das relações de transformação do saber, que quando aplicado resulta em um saber moderno, atual, articulado,

operacional e compreensível ao público escolar alvo do processo. Tais regras são capazes de explicar o porquê dos currículos de disciplinas como Física se manterem praticamente inalterados, mesmo com o passar de décadas.

6 ONDAS

As ondas são alguns dos fenômenos físicos que estão presentes no cotidiano das pessoas, alguns exemplos destas são: as ondas sísmicas, ocasionadas por movimentação das placas tectônicas, sob a qual um país ou continente estão localizados, outros exemplos são as ondas em cordas, causadas pela realização de uma pulsação, as ondas eletromagnéticas, dentre as quais é possível evidenciar duas delas como sendo mais tangíveis à vida comum, são elas as micro-ondas, utilizadas comumente nas cozinhas para aquecimento de alimentos, e a luz solar, outro bom exemplo de onda são as ondas sonoras, produzida pela rarefação do ar, devido a vibrações produzidas nas pregas vocais, diafragma de uma caixa de som, ou ruídos causados por diferentes fontes. Em Física as ondas podem ser definidas de algumas formas, uma das maneiras mais intuitivas de defini-las é a apresentada por Nussenzveig (2002, p. 98), “uma onda é qualquer sinal que se transmite de um ponto a outro de um meio, com velocidade definida”. Algumas considerações não de serem feitas em relação a esta definição, uma dessas ressalvas é que as ondas transportam energia e momento, nunca matéria.

As ondas podem ser classificadas de diferentes formas, sendo estas, quanto a sua natureza, quanto a direção de propagação e quanto a direção de sua vibração. Quando classificadas quanto a natureza as ondas podem ser de dois tipos, mecânica, quando necessitam de um meio material para propagar-se, são exemplos destas as ondas marítimas, ou ainda eletromagnética, quando mesmo na ausência de um meio material conseguem se propagar, um exemplo é a luz, que se propaga no vácuo do espaço. A classificação quanto às dimensões de propagação refere-se às dimensões em que as ondas se propagam, sendo unidimensional quando se propaga em apenas uma dimensão do espaço, dentre estas é possível citar as ondas geradas em cordas, quando a propagação ocorre em duas dimensões a onda é dita bidimensional, quando é atirada uma pedra em um lago em repouso o impacto funciona como uma fonte de onda, dando início assim a ondas que se propagam na superfície do lago, estas são classificadas como bidimensionais, por fim as ondas quando analisadas a partir da direção de propagação ainda podem ser classificada como tridimensional, ou seja, são ondas que se propagam nas três dimensões do espaço, é exemplo desta o som, que se propaga em todas as direções ao mesmo tempo.

A última forma de classificar as ondas é quanto a sua direção de vibração, podendo ser ditas longitudinais ou transversais. As ondas longitudinais são aquelas em que a direção de vibração ocorre paralela ao deslocamento da onda, um bom exemplo é o som, ondas transversais por sua vez são aquelas que a vibração se propaga perpendicularmente ao estímulo, novamente a luz é um bom exemplo deste tipo de onda, outro exemplo são as ondas em cordas.

Independentemente de seu tipo, as ondas podem ser analisadas levando em consideração apenas cinco aspectos, são eles, comprimento de onda, período, velocidade da onda, amplitude e frequência. Segundo Halliday & Resnick (2012), o comprimento de onda λ pode ser entendido como a distância existente entre os pontos de uma onda onde há repetição do comportamento da onda.

O período T por sua vez, é definido por Hewitt (2012, p. 340) como sendo “o tempo que dura uma oscilação completa”, a velocidade de propagação v da onda é definida por Halliday & Resnick (2012, p. 121) como “A razão $\frac{\Delta x}{\Delta t}$ ”, desta maneira a velocidade da onda nada mais é senão, a razão entre a variação da posição de uma parte da onda pela variação de tempo do deslocamento.

A intensidade ou amplitude da onda por sua vez diz respeito ao módulo do deslocamento máximo em relação a posição de equilíbrio, sofrido pelos elementos ao serem atingidos por uma onda.

6.1 Acústica

A acústica é uma parte da Física que estuda as ondas sonoras e suas propriedades, possui uma relevância singular, pois é nela que os estudantes apreendem o que é preciso para compreender as manifestações do som em seu cotidiano. A disciplina de Física não possui uma sequência que pré-estabeleça como os temas estruturadores da disciplina devam ser desenvolvidas nas escolas durante os anos do ensino médio, o que existe são recomendações, expostas nas Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio (PCN+ Física), como opções viáveis.

A Base Nacional Comum Curricular (BNCC), documento mais recente em vigor que rege a educação básica no Brasil também não estabelece uma sequência de conteúdos a ser adotada pelos professores de Física no ensino médio, esta por sua vez estabelece que as disciplinas Física, Química e Biologia, que constitui o núcleo de ciências da natureza e suas tecnologias devem trabalhar sob unidades temáticas, sendo estas, matéria e energia, vida e evolução e por fim, Terra e universo (BRASIL, 2017).

Apesar de não existir uma sequência de ensino que especifique a ordem de apresentação dos conteúdos da disciplina Física durante o ensino médio, há um consenso no qual o estudo da acústica ocorre durante o segundo ano do ensino médio. Na visão de Moura e Neto, isto ocorre, pois, os livros didáticos e apostilas que são utilizados tanto nas escolas públicas e privadas são elaboradas de forma a fazer com que o assunto seja abordado apenas na segunda série do ensino médio, associando-o ao estudo de ondulatória (MOURA; NETO, 2011).

Antes de tentar entender as particularidades do som é necessário conhecer sua natureza e como o som pode ser definido. Segundo Hewitt (2012, p. 375) é possível iniciar o estudo da natureza do som através de uma pergunta “Se uma árvore cai no meio de uma floresta fechada, a centenas de quilômetros de distância de qualquer ser vivo, existe um som?”, esta pergunta pode ser respondida de diferentes formas pelas mais diversas pessoas, sendo possíveis respostas segundo Hewitt (2012, p. 375), “‘Não’, dizem algumas, “o som é subjetivo e requer um ouvinte. Se não existir o ouvinte, não haverá som. ‘Sim’, outros dizem, ‘um som não é algo que está na cabeça do ouvinte. Um som é uma coisa objetiva’.”, de acordo com Hewitt (2012), ambas respostas estão corretas, no entanto uma ressalva é feita, enquanto uma definição não for adotada o estudo do som não pode ser prosseguido, é neste sentido que diferentes cientistas como, Ken Ford, Chris Chiaverina, Tom Rossing, Cathrine W. Tellefsen e Ellen K. Henriksen assumem segundo Hewitt (2012, p. 375), que o som é algo objetivo que pode ser definido como “uma forma de energia que existe independentemente de ser ouvido ou não.”, com esta definição adotada para o que é som é possível adentrar ainda mais nos estudos e entender que “O fato do som se propagar através de um meio material, sem que haja transporte de matéria de um ponto a outro, já é uma indicação de sua natureza ondulatória.” (NUSSENZVEIG, 2002, p. 122).

Grillo e Perez (2016, p. 21), trazem uma definição interessante para o som, segundo os autores “O som pode ser definido como uma variação da pressão ambiente detectável pelo sistema auditivo, ou seja, uma onda sonora que percorre um caminho em um meio material (como ar, água e parede) até aos ouvidos humanos.”, note que esta definição difere da ideia trazida no livro Física Conceitual do Paul Hewitt, pois considera a existência do som somente quando existe um observador. Conhecendo a natureza do som, ondulatória, entende-se que este compartilha das propriedades inerentes às oscilações, propriedades estas como, comprimento de onda, período de oscilação e frequência entre outras.

As ondas sonoras são ondas mecânicas tridimensionais, isto é, dependem de um meio material para se propagar, esta propagação por sua vez ocorre nas três dimensões do espaço. Os meios de propagação das ondas sonoras são de extrema importância no estudo do som, pois a depender do meio material o som pode se propagar com a maior ou menor velocidade, de acordo com Hewitt (2012) qualquer substância elástica, seja ela sólida, líquida, gasosa ou plasma pode servir de meio material para transmissão do som. No cotidiano a transmissão do som ocorre prioritariamente pelo ar, essa por sua vez ocorre com uma velocidade chamada velocidade de propagação do som, que depende do meio de propagação e da temperatura em que este se encontre. A velocidade do som no ar a uma temperatura de 20°C é de aproximadamente 343 m/s, segundo Hewitt “O som se propaga através da água com rapidez quatro vezes maior do que no ar, e cerca de 15 vezes mais rápido no aço do que no ar.” (HEWITT, 2012, p. 376).

Como definido anteriormente as ondas sonoras são resultados da propagação das zonas de compressão/rarefação das partículas em um meio material, desta forma é possível definir o comprimento da onda sonora também a partir dessas zonas, na Figura 3, presente logo abaixo, é possível verificar que há uma repetição das compressões e rarefações no meio, se for tomado por exemplo uma zona de compressão, tem-se que o comprimento de onda do som emitido é igual a distância entre uma região de compressão e outra, assim como é possível definir o comprimento de onda, representado pela letra grega λ , a partir da distância entre uma região de rarefação e uma outra região imediatamente seguinte.

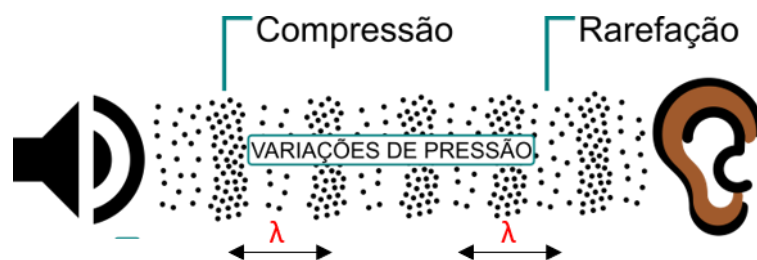


Figura 3. Representação das sonoras de compressão/rarefação de partículas causadas no meio devido a propagação de uma onda sonora. Fonte. <https://www.wikiwand.com/pt/Som> adaptada pelo autor.

De uma forma mais geral Serway e Jewett (2013, p. 33) definem o comprimento de onda como sendo “a distância mínima entre dois pontos idênticos em ondas adjacentes”

Para que a onda se desloque o equivalente a um comprimento de onda, tomando como exemplo a zona de compressão, o tempo decorrido para que duas zonas de compressão ou rarefação consecutivas passem por um mesmo ponto no espaço.

A frequência de uma onda pode ser definida como o número de repetições de um ciclo dentro do intervalo de tempo de 1 s, isto é, a quantidade de vezes que um período se repete no intervalo de 1 s, matematicamente a frequência de uma onda pode ser definida como,

$$f = \frac{1}{T} \quad (2)$$

A frequência de uma onda no sistema internacional de unidades é o hertz (Hz), que equivale a s^{-1} , basicamente a frequência é o número de oscilações por unidade de tempo.

A velocidade de uma onda por sua vez pode ser escrita como sendo o produto da frequência da onda pelo seu comprimento de onda,

$$v = \lambda \cdot f \quad (3)$$

No ar a uma temperatura de 20°C a velocidade de propagação da onda sonora é de aproximadamente 343 m/s, é necessário salientar ainda que a velocidade de propagação do som varia com o meio no qual se propaga e com a temperatura do

meio. Logo abaixo a Tabela 2 apresenta alguns valores para a velocidade do som se propagando em diferentes meios.

Tabela 2. Velocidade de propagação do som em diferentes meios materiais. Fonte: SERWAY; JEWETT, 2013

Meio	v (m/s)	Meio	v (m/s)	Meio	v (m/s)
Gases		Líquidos at 25°C		Sólidos ^a	
Hidrogênio (0 °C)	1 286	Glicerol	1 904	Vidro pirex	5 640
Hélio (0 °C)	972	Água do mar	1 533	Ferro	5 950
Ar (20 °C)	343	Água	1 493	Alumínio	6 420
Ar (0 °C)	331	Mercúrio	1 450	Latão	4 700
Oxigênio (0 °C)	317	Querosene	1 324	Cobre	5 010
		Álcool metílico	1 143	Ouro	3 240
		Tetraclorido de carbono	926	Lucita	2 680
				Chumbo	1 960
				Borracha	1 600

^aValores dados são para a propagação de ondas longitudinais em meios de massa. Velocidades de ondas longitudinais em barras finas são menores, e das ondas transversais em massa são menores ainda.

A Tabela 2 revela ainda que a velocidade de propagação do som em meios gasosos é menor que a velocidade de propagação em meios líquidos, que por sua vez é menor que a velocidade de propagação do som em meios sólidos, isto ocorre, pois, a velocidade de propagação do som está diretamente relacionada com a razão entre o módulo de elasticidade do meio e sua densidade, que por não serem objetivos deste trabalho não serão discutidos aqui.

As ondas sonoras apresentam algumas qualidades que são comumente ditas fisiológicas, são elas a intensidade, altura e timbre. A intensidade de uma onda sonora é definida por Nussenzveig (1981, p. 130) como “a energia média transmitida através de uma secção por unidade de tempo e área”, matematicamente a intensidade de uma onda sonora pode ser representada pela Equação 4, presente a seguir.

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

Em que E é a energia da onda, dada em joule, t é o tempo em que decorre a transferência de energia e A é a área da secção que é atravessada pela onda, a intensidade da onda sonora I é expressa no Sistema Internacional de Unidades, SI, é W/m^2 .

Existem dois valores de intensidade que são fundamentais para o estudo das ondas sonoras, são eles o limiar da audibilidade e o limiar da dor. O limiar da audibilidade, que nada mais é que a menor intensidade possível capaz de sensibilizar o sistema auditivo humano e causar a sensação sonora, esse valor equivale a $I_0 = 1 \cdot 10^{-12} \text{ W/m}^2$ o limiar da dor por outro lado representa a maior intensidade sonora que uma pessoa pode ser exposta sem que a ela seja infligida a sensação de dor, tal intensidade é de $I_{max} = 1 \text{ W/m}^2$.

A altura do som por sua vez se relaciona com a frequência da onda sonora emitida, esta relação é o que permite a distinção entre sons graves (sons de frequências baixas) e sons agudos (sons de frequências altas). Sabendo que a frequência de oscilação de uma onda está diretamente relacionado com o inverso do período da onda e que o período é o tempo necessário para que a onda se desloque um comprimento de onda é deduzível que quanto maior for a frequência de uma onda menor será seu comprimento de onda, e quanto menor for a frequência da onda maior será o comprimento de onda, desta forma conclui-se que sons graves por possuírem frequências pequenas possuem comprimentos de ondas maiores em relação aos sons agudos, que por possuírem frequências maiores têm comprimentos de ondas menores, uma outra forma de classificar os sons em relação a sua frequência é chamá-los de baixos ou alto, sendo estes respectivamente sinônimos para graves e agudo.

O timbre por sua vez é a característica que torna possível diferenciar sons de mesma intensidade e altura emitidos por fontes distintas, segundo Nussenzveig (1981) a diferença existente entre os sons de mesma intensidade e altura é devida aas diferenças nos padrões de onda, exemplo dos padrões de ondas apresentados na Figura 4 presente logo abaixo

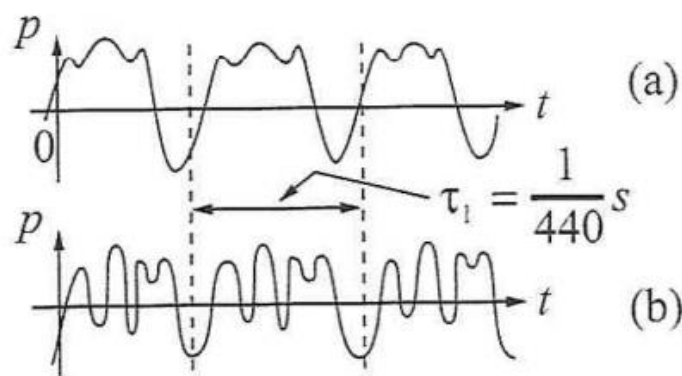


Figura 4. Padrões de ondas sonoras de mesma intensidade e altura. Fonte. NUSSENZVEIG, 1981.

A respeito das qualidades do som Henrique (2002) advoga que somente a intensidade sonora é uma qualidade física, sendo a altura e o timbre características psicológicas. A característica física neste contexto pode ser verificada através da utilização de aparelhos específicos fornecendo sempre resultados que são frutos de medições rigorosas, enquanto que as características psicológicas são características subjetivas e dependem sempre da percepção do observador, não sendo possível a utilização de equipamentos e técnicas para a realização de medidas precisas, as características psicológicas também podem ser medidas no entanto o resultado varia de pessoa para pessoa.

7 ESTADO DA ARTE

Silva e Veit (2006) apresentam um conjunto contendo 5 atividades experimentais desenvolvidas em turmas de ensino médio e tecnológico da Unidade de Ensino Descentralizada (UNED)/Sapucaia do Sul do Centro Federal de Educação Tecnológica (CEFET)/RS e no Curso de Extensão “Física para o Ensino Médio II”, do Instituto de Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. As atividades visam a utilização do microcomputador como instrumento de coleta automática de dados. Na atividade “Ondas longitudinais II” o microcomputador é utilizado como gravador e analisador de sinais, o que possibilita a exploração das características fisiológicas dos sons gerados por instrumentos musicais e pela voz.

Krummenauer, Pasqualetto e Costa (2009) no artigo “O uso de instrumentos musicais como ferramenta motivadora para o ensino de acústica no ensino médio”, fruto de uma intervenção realizada com estudantes de uma turma de 3ª série do ensino médio de uma escola privada localizada na cidade de Estância Velha, no estado do Rio Grande do Sul, apresentam o uso das noções musicais dos estudantes como subsunçores, conhecimentos prévios, para desenvolver aulas com os conteúdos de acústica. No trabalho os instrumentos musicais são inseridos como suporte e elemento motivador da aprendizagem, resumidamente o violão em conjunto com o brinquedo “mola maluca” e um gerador de ondas estacionárias são utilizados para construir o entendimento dos diferentes tipos de ondas mecânicas e das noções de frequência, período, comprimento de onda e velocidade de propagação. Além disto outros como flauta, violino e guitarra foram utilizados para estudar as características fisiológicas do som por meio de comparação de timbre e frequência de emissão de notas musicais.

Após ter verificado que a ondulatória é uma das partes da Física que menos recebe atenção na Educação de Jovens e Adultos (EJA), bem como a reduzida quantidade de materiais e pesquisas em ensino de ciências que versam sobre ela, objetivando originar uma mudança nesta situação Pinto (2010) em sua dissertação de mestrado “A utilização de instrumentos musicais e aparatos computacionais como estratégia de promoção da aprendizagem significativa no campo conceitual da física ondulatória, na educação de jovens e adultos” propõe um material de apoio ao professor que possa ser utilizado como estratégia didática para o ensino de

ondulatória. O material é constituído por uma série de slides que embasados na Teoria da Aprendizagem Significativa e na Teoria dos Campos Conceituais sugerem diferentes situações-problemas que podem ser usados em sala de aula para a construção de uma aprendizagem significativa, em sua proposta os softwares e os instrumentos musicais (violão e gaita) se fazem de suma importância para a construção do conhecimento, uma vez que é a partir deles que é desenvolvida toda a prática do professor (PINTO, 2010).

As situações-problemas foram elaboradas de maneira a incluir recursos audiovisuais como, imagens e vídeos interativos, além de softwares e o uso de instrumentos musicais, também foram construídos questionários sobre os tópicos de ondulatória destinados aos estudantes, todo o material foi planejado seguindo os pressupostos da Teoria dos Campos Conceituais. Outrossim visando a difusão do material e sua posterior aplicação por diferentes tipos de professores, em especial professores que não possuem afinidades com as novas tecnologias, foram elaborados tutoriais de utilização das ferramentas tecnológicas necessárias para a aplicação. O material elaborado por Pinto (2010) é pensado para ser aplicado em 13 aulas, posteriormente a aplicação em uma única turma do ensino médio noturno na modalidade da Educação de Jovens e Adultos da cidade de Riacho Fundo-DF, uma cidade satélite de Brasília, Pinto pode perceber que os resultados da aprendizagem se mostraram presentes em diversos momentos durante a aplicação do material, em especial a aprendizagem foi melhor percebida quando foram analisados as transcrições das aulas ministradas, foi notado também uma melhora nos resultados dos exercícios em relação a aplicação no pré e no pós-teste.

No trabalho “Ciência e música nas melodias da zampoña”, publicado em 2011, Monteiro Júnior e Abarracín apresentam duas abordagens de ensino utilizando a zampoña, instrumento musical de sopro formado por dois conjuntos de tubos, tradicional da região dos Andes. A primeira abordagem visa o desenvolvimento do estudo das progressões geométricas a partir da análise do comprimento dos tubos sonoros que compõe o instrumento abordado, nesta inicialmente é realizada a uma discussão acerca da construção da escala cromática, que é seguida da explicitação da progressão geométrica que descreve o decrescimento do comprimento dos tubos da zampoña, e com base nestas informações é realizada a comparação entre os comprimentos dos tubos de uma zampoña adquirida em uma feira regional e os

comprimentos ideais dos tubos para a emissão das notas corretas. A segunda abordagem é destinada ao ensino de acústica, nela é proposta a fabricação da zampoña, o que princípio permite a discussão acerca de certos elementos da teoria da acústica, como ondas estacionárias, harmônicos, comprimentos de ondas além da própria relação entre os comprimentos dos tubos sonoros e as notas musicais emitidas. Nesta proposta os estudantes realizam medições e tentam produzir zampoñas que sejam funcionais, e que emitam sons limpos.

No artigo intitulado “O ensino de acústica no Ensino Médio por meio de instrumentos musicais de baixo custo”, Moura e Neto (2011) discorrem acerca das possibilidades do uso dos instrumentos musicais e do emprego da abordagem História da Ciência como meios de aprimorar o ensino de acústica nas escolas de ensino médio, para isto apresentam uma série de passo-a-passo para a construção de três instrumentos musicais de baixo custo, sendo eles, o violão, a maracá e a flauta d’água. Além do guia de montagem os autores apresentam algumas formas de instigar a curiosidade dos estudantes ao usarem os instrumentos, bem como apresentam possibilidades para o trato da História da Ciência por traz do desenvolvimento de cada um dos instrumentos musicais trabalhados.

Pereira (2013) em “Abordagem ativa da acústica no ensino médio com a construção de artefatos musicais pelos alunos” apresenta o relato de experiência da aplicação de uma proposta de ensino por ele desenvolvida, em que abordou o ensino de acústica mediado pela música na Escola Estadual Ângela Maria da Paixão Costa em Mogi Guaçu. A proposta de ensino se deu a partir da análise de diversos artigos e teses, em que Pereira pode perceber a escassez de materiais que tratavam do ensino de Física, em especial da acústica por meio da música.

A proposta de Pereira (2013) objetiva romper com o ensino pautado em teorias comportamentalista, para tal baseia-se nos pressupostos construtivistas piagetianos, sociointeracionistas vygostskynianos e na teoria epistemológica de Thomas Kuhn, que trata do caráter construtivo, inventivo e não definitivo do conhecimento. A proposta de ensino criada por Pereira (2013) compreende uma sequência de cinco aulas que tenta articular Física e Música, para tal faz uso da caracterização do som e construção de instrumentos musicais de baixo custo por parte dos estudantes através de uma perspectiva ativa.

Colangelo (2013) em seu trabalho de conclusão de curso “O ensino de física e a música: a experiência de um futuro professor frente o desafio de ensinar” apresenta os resultados da análise realizada por ele de dois livros didáticos de Física adotados em duas escolas da cidade de Rio Claro no estado de São Paulo, a saber a escola EE Prof. Marciano de Toledo Piza (escola 1) e a escola ETEC Prof. Armando Bayeux da Silva (Escola 2), afim de evidenciar as relações entre Física e música que estes apresentam ao tratar do tema acústica, ao mesmo tempo em que se dispõe a formular uma proposta de ensino de acústica pautada em instrumentos musicais construídos com materiais de baixo custo. Ao realizar a leitura do material não encontramos nenhuma proposta verdadeiramente estruturada, tendo e vista que são apresentadas apenas fotos de 3 instrumentos produzidos com materiais de baixo custo e uma lista com os conceitos que o professor pode trabalhar, não apresentando suporte que embase o trabalho do professor, da mesma forma notamos que o autor dedica grande parte dos seu tempo a descrição excessiva do movimento ondulatória quando poderia aproveitar o espaço do trabalho para apresentar conceitos inerentes a acústica.

Mabunda (2014) em seu trabalho de conclusão de curso intitulado “Estudo do impacto do uso de Instrumentos Musicais tradicionais no ensino da Acústica: caso do chitende” apresenta o Chitende, instrumento musical tradicional da região de Moçambique, como instrumento didático para o estabelecimento do processo de ensino-aprendizagem de acústica ao mesmo tempo em que busca aliar os conceitos teóricos inerentes à Física do som com a vida cotidiana dos estudantes.

O trabalho de Mabunda é um estudo de caso que foi desenvolvido na Escola Secundária de Manjacaze, onde professores e alunos foram questionados sobre a importância do uso do chitende, como material didático para o ensino de acústica, as respostas dos professores e alunos revelaram que o chitende pode ser uma ótima ferramenta para a consolidação dos fenômenos acústicos. Mabunda (2014) sugere uma serie de experiencias que podem ser empregadas em sala de aula a fim de promover a aprendizagem dos fenômenos acústicos usando o chitende, como o estudo da intensidade, frequência, comprimento de onda, altura e duração do som, para além destes discute ainda a ressonância do som no instrumento.

Ceschi (2015) em seu trabalho de conclusão de curso intitulado “Física e o som: possibilidades didáticas e experimentais para o ensino de acústica” apresenta algumas possibilidades para o trato em sala de aula dos conceitos de acústica através

da experimentação, em seu trabalho Ceschi apresenta uma gama de atividades experimentais que variam de construção de diapasões com materiais de baixo custo ao uso dos softwares audacity e Scope 1.46: Soundcard Oscilloscope para análise dos sons emitidos por diapasão, gaita, violão e da voz humana, com os programas para computador é possível verificar as frequências que os sons são emitidos, os harmônicos que o compõe, o que permite incitar discussões acerca do intervalo de oitava, bem como verificar a forma da onda associada ao som de cada instrumento, sendo possível inclusive determinar o comprimento de cada onda sonora.

A primeira proposta de ensino da acústica apresentada é a construção de diapasões com materiais de baixo, em que o estudante pode averiguar quais características influenciam na sonoridade do instrumento, ao analisar, por meio de software, a frequência da onda sonora emitida pelo diapasão criado os estudantes descobrem qual a nota musical emitida. A segunda atividade elencada é a utilização de um violão para comparar a sonoridade de duas notas musicais próximas tocando a corda 2 na casa 5 e a corda 1 solta, método usado para afinar instrumentos de cordas, emitindo assim a nota mi, percebesse então um som harmonioso, enquanto se forem tocadas a cordas 2 na casa 4 e a corda 1 solta é possível perceber ruído no som (interferência). Outra atividade proposta é a de verificação da influência da tensão imprimida nas cordas durante a emissão de notas, o que pode ser facilmente verificada girando as tarraxas do violão.

Coelho e Machado (2015) apresentam o trabalho “Acústica e música: uma abordagem metodológica para explorar sons emitidos por tubos sonoros”, onde trazem os resultados da implementação da oficina Ciência e Música: explorando sons e aguçando a percepção musical, aplicada na Semana Acadêmica na Faculdade de Física da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, com alunos de graduação em Física. A oficina ressalta a relação interdisciplinar entre Física e Música, nela os alunos produziram móveis e compararam os sons emitidos com os sons de instrumentos musicais característicos como o violão e o piano. O trabalho de Coelho e Machado discutem ainda o uso da modelização matemática dos fenômenos físicos como elemento a ser questionado em prol da tomada de consciência da complexidade de tais fenômenos.

Lago (2015) no artigo “A guitarra como um instrumento para o ensino de física ondulatória” apresenta uma abordagem de conteúdos de ondulatória calcados na

utilização da música e das Tecnologias da Informação e Comunicação. No trabalho a guitarra é um computador são utilizados para evidenciar fenômenos e processar sinais sonoros.

Buscando discutir os fenômenos acústicos abordados durante o ensino médio Silva Junior e Miltão (2015) propõem uma abordagem interdisciplinar baseada na instrumentalização do ensino por intermédio do instrumento musical cavaquinho, em síntese o trabalho trata-se de uma orientação aos docentes de Física, em que são apresentadas em completude diferentes fenômenos da acústica e como estes podem ser melhor trabalhados quando o professor conhece-os em profundidade, bem como discutem de que forma o cavaquinho pode auxiliar o professor e os alunos no processo de ensino-aprendizagem.

Batista (2016) em sua dissertação para o Mestrado Profissional em Ensino de Ciências e Matemática na Universidade Federal de Uberlândia idealiza uma proposta de ensino de acústica centrada na análise dos timbres dos instrumentos musicais utilizados para tocar samba (violão 7 cordas, cavaquinho, cuíca, pandeiro e repique de mão). A proposta de ensino é fundamentada nas abordagens Ciência Tecnologia e Sociedade (CTS) e interdisciplinaridade, tem base na Lei 10639/03, que se alinha a Lei de Diretrizes e Bases da Educação Brasileira (LDB) estabelecendo a obrigatoriedade e as diretrizes para o ensino de História da cultura afro-brasileira nas disciplinas que compõe o currículo da educação básica.

Em seu trabalho Batista realiza uma caracterização matemática dos timbres dos instrumentos musicais utilizados para tocar samba através das séries trigonométricas, também conhecidas como séries de Fourier. O produto da proposta de Batista foi o vídeo de cerca de 25 minutos intitulado “Projeto Fita Amarela”, que além de tratar dos conceitos da acústica e apresentar uma modelagem matemática para os sinais sonoros de cada instrumento, apresenta ainda “falas do público sobre samba, experiências dos músicos sobre a escolha do instrumento e o papel de cada um numa roda de samba” (BATISTA, 2016, p. 5). O vídeo produzido está disponível gratuitamente no *YouTube*®, podendo ser acessado pelos professores que desejem utilizá-lo como alternativa ao ensino de acústica.

Na dissertação de mestrado “Aplicação do monocórdio e o uso de elementos musicais perceptuais como estruturantes para o ensino de conceitos da física

ondulatória” Coelho (2016) apresenta uma sequência de ensino de ondulatória que se estende para tópicos de acústicas, fundamentada nos pressupostos da aprendizagem significativa de Ausubel, e no uso da experimentação como forma de aproximar os conceitos da realidade dos estudantes. A sequência é composta de 7 encontros, sendo 4 com duração de 50 minutos e 3 com duração de 100 minutos, na sequência são abordados temas como variação de frequência de oscilações de ondas em cordas, bem como as ondas sonoras a partir do uso de um violão, além disto é feito o uso de simulações computacionais como suporte à construção dos conceitos necessários, por fim o ponto central da sequência didática é a experimentação, para tanto um monocórdio de baixo custo é empregado, com este os estudantes podem realizar a aquisição de dados referentes a frequência das ondas sonoras emitidas em diferentes comprimentos de cordas e sob diferentes tensões. Com a aplicação da sequência Coelho (2016) pôde perceber que os alunos que se empenharam durante toda a sequência didática alcançaram resultados superiores em relação a estudantes que não a realizaram como solicitado ou que em algum ponto da aplicação deixaram de participar.

No trabalho “Física e Música: uma proposta interdisciplinar” Cavalcante et al. (2017) apresentam o relato do projeto de iniciação científica desenvolvido com estudantes do curso técnico em informática do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Campus Luziânia. No projeto os estudantes puderam estudar a relação de interdisciplinaridade entre Física e Música, estudaram temas relacionados a acústica, ondulatória e teoria, isto foi possível primeiramente através da realização de uma revisão de literatura, em que nas palavras dos autores os estudantes,

puderam visualizar os padrões das ondas estacionárias produzidas tanto numa corda, como nos tubos sonoros (fechados e abertos), e assim, puderam também comparar as equações que descrevem as frequências das ondas com o comprimento do tubo ou da corda (CAVALCANTE et al, 2017, p.104).

Como resultado da proposta os estudantes produziram e tocaram um instrumento musical confeccionado com materiais de baixo custo, o instrumento produzido é denominado tubofone, este é constituído basicamente por tubos de PVC de 100 mm de diâmetro, o instrumento possui duas oitavas e afinação em Sol, para ser tocado precisa ser percutido.

Ao relatar suas experiências como professores estagiários de Músicas, Balzan e Cunha (2018) realizam no trabalho “Da Física à Prática em Conjunto Musical: Práticas Interdisciplinares entre o Ensino da Acústica e a Educação Musical na EJA” uma explanação acerca das possibilidades do trabalho interdisciplinar entre Física e Música em uma escola estadual de Porto Alegre. Durante o período de regência com turmas de segundos e terceiros anos do ensino médio na modalidade da Educação de Jovens e Adultos (EJA), os autores desenvolveram uma unidade de ensino de acústica pautada na construção de instrumentos musicais com tubos de PVC, utilizados para enfatizar a relação entre as proporções matemáticas dos instrumentos e a frequência das notas emitidas, bem como no uso do violão para o estudo dos elementos da acústica. A unidade de ensino foi desenvolvida em parceria com o professor de Física das turmas, ao final da unidade os estudantes puderam tocar juntos e com os instrumentos confeccionados a música Esperando na janela de Gilberto Gil.

Buscando promover uma aprendizagem significativa crítica Lima (2018) em seu trabalho de conclusão de curso “Instrumentos musicais no ensino de acústica: uma proposta com enfoque histórico-epistemológico em uma unidade de ensino potencialmente significativa” propõe o emprego da história da ciência e o uso do violão para trabalhar os conceitos de acústica, o violão neste é o elemento motivador da aprendizagem. A Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS) proposta por Lima é constituída por uma sequência de 12 aulas divididos em 6 encontros de duas horas-aula cada, em que foram tratadas as relações existentes entre Física, em especial acústica, e a música por meio de experimentação, aulas dialogadas e trocas de significados entre estudantes. A UEPS foi aplicada a uma turma de 2º ano do ensino médio, participaram dos encontros 15 alunos, onde ao final foi possível verificar indícios de aprendizagem significativas. O produto do mestrado está disponível na internet para que professores fazendo as adaptações necessárias realizem a aplicação em suas aulas.

Em sua dissertação de mestrado “Fenômenos ondulatórios e os instrumentos musicais: ensino por meio dos três momentos pedagógicos” Oliveira (2018) apresenta uma proposta de ensino de ensino para os fenômenos ondulatórios, mais especificamente os ligados a acústica, através da utilização dos instrumentos musicais. Em sua proposta Oliveira (2018) utiliza como metodologia norteadora do

trabalho os pressupostos da educação dialógica, proposta por Paulo Freire, que visa estabelecer uma maior interação entre estudantes e professor no ambiente de ensino, em que os significados e interpretações do tema pelos alunos se articulam aos significados trazidos pelos professores, utiliza ainda a teoria dos Três Momentos Pedagógicos, proposta por Delizoicov e Angotti (1994). A teoria dos Três Momentos Pedagógicos é uma metodologia que foi originalmente desenvolvida para promover a construção de currículos de educação científica de maneira problematizada. A aprendizagem segundo esta metodologia para ocorrer depende intrinsecamente da existência de três momentos, são eles, problematização inicial, organização do conhecimento e aplicação do conhecimento. No primeiro momento são apresentadas situações reais que atuam como motivação da aprendizagem, nela os estudantes são levados a discutirem sobre o tema, no segundo momento o professor inicia o processo de decodificação do tema, organiza os conhecimentos, tentando fazer os estudantes superarem as limitações do conhecimento informal e não científico, é neste momento em que soluções são buscadas para os problemas, no terceiro e último momento é verificado se o estudante foi capaz de aprender os conteúdos e aplicá-los em novos temas de estudo.

Nas palavras de Oliveira (2018, p. 21) os instrumentos são utilizados na “tentativa de buscar uma aproximação da ciência com a arte, estabelecendo, assim, uma relação prática no ensino dos fenômenos ondulatórios”, em sua proposta de ensino o autor usa os instrumentos musicais primordialmente para realizar demonstrações de fenômenos acústicos, como a ressonância, trabalhar a relação entre notas musicais emitidas e suas frequência, bem como a diferenciação entre os instrumentos musicais pelos seu respectivos timbres, amplitude dos sons, dentre vários outros fenômenos. Na proposta de Oliveira (2018) ainda são utilizados diversos outros recursos como vídeos e slides, a aplicação da proposta ocorreu no Colégio Estadual Murilo Braga, na cidade de Goiânia-Go, em três turmas de 2º ano do ensino médio. Ao final da aplicação da proposta de ensino puderam ser observados nos estudantes diversos indicadores de terceiro momento, entre eles, pensamento crítico, capacidade de abstração, curiosidade epistemológica.

Em sua dissertação de mestrado “Banda sustentável: confecção de instrumentos musicais no ensino da acústica” Silva (2018) propõe uma sequência didática para abordar do ensino de acústica por intermédio da pedagogia freiriana,

centrada no diálogo, no despertar do aluno enquanto membro produtivo na aprendizagem, a pedagogia freiriana acredita no despertar do estudante para o conhecimento. A sequência didática de ensino elaborada por Silva (2018) é pautada na figura do estudante como membro ativo no processo de construção do conhecimento, para tal propõe a criação de uma banda com instrumentos musicais confeccionados com materiais sustentáveis.

A sequência didática é composta por 6 encontros de uma hora-aula cada, no primeiro deles foi realizada a apresentação do projeto banda sustentável, o segundo encontro compreendeu a suscitação de discussões acerca da importância da reciclagem e do reuso dos materiais recicláveis e como estes deveriam estarem presentes nos instrumentos musicais produzidos, ao final os estudantes foram direcionados a se dividirem em grupos de 6 a 8 integrantes e pesquisarem possíveis instrumentos para construir, os materiais que seriam necessários para construção, as músicas e aplicativos que pudessem ser utilizados no projeto. No terceiro encontro foi realizada uma aula expositiva dos fenômenos ondulatórios e das características fisiológicas do som, no quarto encontro por sua vez, os estudantes devidamente organizados apresentaram seus instrumentos em fase de finalização e receberam orientações de como utilizar os aplicativos selecionado para analisar a frequência e a intensidade sonora dos instrumentos produzidos. No quinto encontro foi iniciada a apresentação dos instrumentos musicais produzidos, no sexto e último encontro foi realizada a apresentação de seminários elaborados pelos estudantes. A sequência foi aplicada no contraturno a estudantes da segunda série do ensino médio de uma escola privada na cidade de Águas Claras, Distrito Federal. Através dos relatos dos estudantes e da aplicação de exercícios foi percebido que o projeto proporcionou a aprendizagem de forma divertida, instigante e efetiva, uma vez que os estudantes obtiveram rendimento muito superior à média estabelecida pela escola.

Ferreira, Rocha e Silva (2019) sugerem, como o nome do artigo apresenta, uma “Sequência didática para o ensino de acústica”, em que a teoria de aprendizagem significativa, proposta por Paul Ausubel é articulada aos modelos mentais de Jhonson-Laird. A sequência de ensino foi desenvolvida para a aplicação em seis aulas de 50 minutos cada, nelas os tópicos de acústicas são abordados utilizando principalmente instrumentos musicais (violão e flauta) e recursos tecnológicos como softwares de análises de sons e simulações computacionais. Os instrumentos musicais são usados

como fontes sonoras, os softwares por sua vez são utilizados para realizar comparações entre frequência, timbre e formato das ondas emitidas, bem como estudar as variações das ondas sonoras quando o comprimento das cordas é modificado (no caso do violão).

Moreira e Romeu (2019) imbuídos da necessidade de atualização do ensino de física apresentam a experimentação como alternativa às práticas tradicionais de ensino, pautadas na figura do professor como único agente ativo da aprendizagem. Em seu trabalho os autores buscaram a contextualização do ensino de acústica por meio da montagem de um violão com materiais de baixo custo, bem como a interdisciplinaridade entre Física e Música. Para o desenvolvimento da atividade foram elencadas duas turmas do segundo ano do ensino médio de uma escola em Fortaleza no Ceará, em uma das turmas foi realizada a construção do instrumento musical e a outra foi a turma controle, onde a aula ocorreu de maneira tradicional, via exposição dialogada dos conteúdos. Os dados do trabalho revelaram que em termos de aprendizagem os resultados foram bem similares, no entanto os alunos que participaram da aula com experimentação demonstraram predisposição ao aprendizado, e consideraram em totalidade que as aulas nestes moldes são muito mais atrativas e dinâmicas que as aulas tradicionais.

A partir dos materiais levantados foi possível perceber que existe uma diversidade de abordagens que podem ser empregadas para ensinar Física acústica por meio da utilização dos instrumentos musicais, esta parte da pesquisa revelou que os instrumentos musicais podem ser utilizados a priori, mas não exclusivamente, como elemento motivacional da aprendizagem, ligando a música e sua produção ao ambiente da sala de aula. Apresento a seguir um resumo das principais formas mencionadas de emprego dos instrumentos musicais no ensino de acústica.

As Tecnologias da Informação e Comunicação (TICs) têm constituído boa parte das propostas de ensino, isto ocorre talvez, pela necessidade da incorporação de recursos tecnológicos à educação. Nas propostas estudadas os professores buscam nas TICs o auxílio necessário para descrever as características das ondas sonoras. Por meio de softwares de análise de áudio e de modelagem matemática buscam maneiras de representar o comportamento das ondas sonoras em suas mais diversas formas de apresentação, como exemplo temos a proposta de modelagem das ondas geradas em diferentes instrumentos musicais, bem como, a verificação do

comportamento do som com mudanças de parâmetros como, amplitude das oscilações, nota musical emitida (frequência bem definida) e a comparação entre os timbres de instrumentos musicais distintos.

Uma outra forma de abordar os instrumentos musicais na sala de aula que utilizada em alguns dos trabalhos aqui citados é a construção destes instrumentos a partir de materiais de baixo custo, o que permite ao estudante desenvolver habilidades práticas, além de exercer a capacidade de pesquisa, necessárias para a compreensão do funcionamento do instrumento que está sendo produzido. Segundo Balzan e Cunha (2018) a construção de instrumentos musicais de baixo custo proporciona ao estudante a oportunidade de trabalhar elementos da acústica de forma interdisciplinar, estes por sua vez têm acesso ao conteúdo de forma teórica e prática (BALZAN; CUNHA 2018).

Os instrumentos musicais têm sido utilizados em sala de aula também para a realização de demonstração das particularidades inerentes a acústica, como a diferenciação entre frequências, timbres. Os instrumentos também servem para demonstrar a dependência do som em relação ao comprimento do tubo (para o caso de instrumentos musicais de tubos) ou ao comprimento de uma corda e a tensão que nela é aplicada (para o caso de instrumentos musicais de cordas tensionadas). Segundo Lima e Damasio (2019), os instrumentos musicais aliados aos conhecimentos prévios dos estudantes podem ser a base para que se possa estabelecer uma aprendizagem significativa, uma vez que os fenômenos acústicos se fazem presentes na vida dos estudantes, segundos os autores a utilização dos instrumentos musicais dinamizam a aprendizagem (LIMA; DAMASIO, 2019).

A inserção de tópicos de História da Ciência, também é empregada em alguns dos trabalhos, isto pois quando aliada a instrumentos musicais pode contribuir para a compreensão da acústica, bem como da Física, como fruto de um processo histórico de descoberta e redescoberta. Sob esta perspectiva Monteiro Júnior e Abarracín discorrem que,

A despeito de toda esta história de ligação entre ciência, matemática e música, cuja riqueza poderia gerar interessantes estratégias de ensino do conceito de timbre, as apresentações textuais presentes nos livros didáticos de ciências e matemática sequer fazem referência à existência de tal ligação histórica, não havendo qualquer transposição didática a este respeito (MONTEIRO JÚNIOR; ABARRACÍN, 2011, p. 2) .

Por fim, os instrumentos musicais ainda podem ser utilizados como aparatos experimentais que quando bem trabalhados possibilitam a compreensão eficiente dos fenômenos acústicos, contribuindo assim para uma aprendizagem científica crítica. Coelho e Polito (2016) acreditam que uma forma apropriada de realizar o ensino dos conceitos básicos de ondulatória é por meio de experimentos, no entanto salientam que quando o objetivo é articular o conteúdo de estudo com o cotidiano do estudante os experimentos não podem ocorrer como meras demonstrações experimentais, uma vez que se configuram como transposições de modelos ideais para uma situação concreta, que geralmente não possibilita discorrer sobre as especificidades da situação, por consequência não contribuía com a aprendizagem dos conceitos físicos, que

Em geral, a manipulação, pelos alunos, só permitirá uma efetiva aprendizagem conceitual se ela estiver associada às atividades de medição, registro e descrição matemática (tabelas, gráficos, funções) dos fenômenos evidenciados na experiência (COELHO; POLITO, 2016, p. 3).

Sendo assim é possível vislumbrar uma diversidade de aplicações dos instrumentos musicais dentro do ambiente escolar a fim de proporcionar um ensino de acústica mais eficiente, para isto é necessário que os professores compreendam de forma aprofundada o conteúdo de trabalho para que então possa partir dele e de diferentes referenciais teóricos que se fizerem necessários à construção de sua intervenção.

8 O QUE É UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA?

Segundo Machado e Cristovão (2006) o termo Sequência Didática surge no Brasil em 1998, estando presentes nos Parâmetros Curriculares Nacionais, na ocasião estava atrelado ao estudo da Língua Portuguesa, como projeto e atividades sequenciadas. Nos dias atuais as sequências didáticas podem ser utilizadas como forma de facilitar a aprendizagem de uma diversidade de conteúdos nas mais diversas áreas do conhecimento.

Na concepção de Zabala (1998, p. 53) sequência didática é “[...] uma série ordenada e articulada de atividades que formam as unidades didáticas”, corroborando com tal concepção Kobashigawa *et al.* (2008) *apud* Lima (2018) definem sequência didática como um conjunto de atividades, estratégias e intervenções que são planejadas em forma de etapas pelo professor a fim de proporcionar que os estudantes apresentem o entendimento objetivado inerente ao tema estudado.

A sequência didática é dividida em três momentos específicos, o primeiro deles é a abertura, em que o professor realiza a motivação da turma para o estudo do tema, bem como usa este momento para buscar identificar as concepções que os estudantes possuem a respeito do tema, o segundo momento é o desenvolvimento, neste é realizado o desenvolvimento do tema de estudo, por fim o momento final é o fechamento, neste é realizada uma síntese de tudo o que foi aprendido e avaliação do mesmo.

Para Zabala (1998) o tempo é um dos fatores que merecem atenção em uma sequência didática, considerando que no ensino em geral este é o que dita o que tem que ser ensinado, ao invés de ser o contrário, o que deve ser ensinado ditar o tempo necessário para que isso ocorra, no entendimento do autor muitas boas ações podem fracassar se a variável tempo não for considerada, sendo assim destaca que é necessário se atentar a esse, ao mesmo ponto em que salienta que o tempo destinado a sequência didática pode variar de acordo com as atividades previstas.

De acordo com Lima (2018) o momento mais importante da elaboração de uma sequência didática é o desenvolvimento, que pode ser pensado para ocorrer em diferentes etapas, das quais é possível elencar apresentação de vídeos, aplicação de

aulas expositivas, referenciais históricos, jogos, dinâmicas, discussões coletivas entre outros.

Para Lima (2018) o uso de sequências didáticas possibilita um avanço na apropriação de novos conhecimentos, uma vez que esta permite aos professores conhecerem as concepções dos estudantes acerca dos temas trabalhados e a partir disto traçar formas mais precisas de intervenções sempre que necessárias, o autor destaca ainda que a construção de sequências didáticas permite ao professor superar fragilidades em seu próprio conhecimento, tendo em vista que pode durante a elaboração da sequência estudar o tema enquanto se prepara para lecionar.

Para Peretti e Costa (2013, p. 7), a sequência didática possui ainda um outro grau de importância pois segundo os autores,

A sequência didática também permite a interdisciplinaridade, ao tratar de um tema na disciplina elencada poderá recorrer a especificidades de outras permitindo explorar o conhecimento globalmente, diminuindo a fragmentação. Durante o planejamento é possível determinar as possibilidades de trabalho interdisciplinar durante o tempo desejado.

No entanto Zabala (1998) destaca que, para que a ação educativa proporcione o melhor aproveitamento possível é necessário que a sequência didática seja suficientemente clara e contemple as atividades de forma gradual.

Sendo assim, é necessário que sejam evitados os excessos no momento de elaboração da sequência, visto que o planejamento das sequências didáticas pode acabar dificultando a compreensão dos estudantes acerca dos principais objetivos de aprendizagem, bem como podem fazer os alunos errarem o foco das atividades.

A esse respeito Lima (2018) advoga que, ao elaborar uma sequência didática o professor deve ter uma real magnitude do conteúdo, pois somente desta forma poderá elaborar uma metodologia e definir critérios que conduzam os estudantes aos objetivos de aprendizagem, tornando o processo ensino-aprendizagem mais concreto.

9 METODOLOGIA

9.1 Pesquisa descritiva

Segundo Gil (2002) a pesquisa descritiva tem o objetivo de realizar uma descrição acerca das características de uma população, fenômeno, ou ainda, visa estabelecer relações entre variáveis, sendo uma de suas principais características a utilização de uma técnica para coleta de dados, que em geral é a pesquisa de levantamento.

Para Moreira e Rosa (2009, p. 5) “a pesquisa em educação em ciências está entendida como a produção de conhecimentos resultante da busca de respostas a perguntas sobre ensino, aprendizagem, currículo e contexto educativo em ciências, assim como sobre o professorado de ciências e sua formação permanente, dentro de um quadro epistemológico, teórico e metodológico consistente e coerente”.

Gil (2008) advoga que as pesquisas descritivas buscam estabelecer relações entre variáveis, o que de certo modo é o objetivo deste trabalho, identificar na literatura como o uso de instrumentos musicais tem influenciado o ensino da acústica, verificar como tem sido o emprego dos instrumentos musicais na sala de aula com foco no ensino da acústica e ainda verificar se a relação entre o uso de instrumentos musicais e o ensino da acústica tem trazidos bons resultados para a aprendizagem ou não.

Apesar do cunho principal desta pesquisa ser o descritivo é ainda possível notar na pesquisa um caráter explicativo, uma vez que é utilizado técnicas de pesquisa bibliográfica na obtenção dos materiais para análise.

Resumidamente a pesquisa explicativa pode ser considerada uma extensão da pesquisa descritiva, para Gil (2002) as pesquisas de cunho explicativo buscam identificar os fatores que influenciam ou determinam a ocorrência dos fenômenos, buscando sempre aprofundar-se no conhecimento da realidade

Segundo Prodanov e Freitas (2013) a pesquisa bibliográfica é desenvolvida tomando como base materiais já publicados, tais materiais podem ser livros, revista, jornais, periódicos, revistas científicas, monografias, dissertações, teses entre outros documentos.

9.2 Desenvolvimento da pesquisa

A primeira etapa da pesquisa constituiu-se da elaboração da pergunta de pesquisa qual foi finalizada na seguinte questão “Como os instrumentos musicais se articulam ao ensino de acústica?”. O segundo momento da pesquisa constituiu-se da definição das revistas e bancos de dados que seriam utilizados para a busca das produções científicas a respeito do tema. Foram definidas as seguintes revistas para a busca dos artigos científicos, dissertações, teses e demais materiais acadêmicos, Revista Brasileira de Ensino de Física, Caderno Brasileiro de Ensino de Física, Investigação em Ensino de Ciências, Ciência & Educação, Aprendizagem Significativa em Revista, Revista Latino-Americana de Educação em Astronomia, Física na Escola e Experiências em Ensino de Ciências, além destas revistas foram utilizadas também os bancos de dados da Scielo e Google Acadêmico para busca dos materiais de interesse. As palavras chaves para buscar trabalhos científicos nas bases de dados foram definidas também no segundo momento da pesquisa e são as seguintes, instrumentos musicais, acústica, contextualização e ensino de acústica.

O terceiro momento da pesquisa deu-se com a realização da busca por materiais nas bases de dados, que ocorreu entre 26 de julho de 2020 a 03 de agosto de 2020. A busca de materiais ocorreu com a pesquisa individual de cada palavra-chave nas revistas elencadas, o número de resultados que retornou da busca foi anotado, e então foi realizada a leitura prévia de cada título, buscando selecionar aqueles que tratavam do ensino da acústica mediada por instrumentos musicais. Nesta etapa foram incluídos os trabalhos em que no seu título constavam os termos ensino de acústica, som, ondas sonoras, instrumentos musicais, e/ou trabalhos que apresentavam em seu título nomes de instrumentos musicais.

Os trabalhos selecionados a partir da leitura dos títulos passaram então por uma nova análise, nesta os seus resumos foram lidos a fim de verificar quais se alinhavam com a pesquisa, e quais não se alinhavam, os materiais selecionados nesta etapa então foram lidos na íntegra, e as formas pelas quais os instrumentos musicais foram utilizados para ensinar acústica foram investigadas.

A pesquisa nas bases de dados do Scielo ocorreu de maneira semelhante as buscas realizadas nas revistas científicas elencadas, diferindo apenas quanto a

utilização de um filtro de busca, que concentrou os resultados das pesquisas nos trabalhos publicados entre 2015 e 2020, tal filtro de busca se fez necessário pela quantidade de trabalho que foi retornado da busca inicial, as demais etapas de seleção de trabalhos seguiu conforme descrito anteriormente.

A busca dos trabalhos na plataforma do google acadêmico ocorreu de maneira semelhante a busca na base do Scielo, diferindo somente nos filtros de pesquisas aplicados que foram, exclusão de patentes, exclusão de citações e busca por termos exatos “ensino de acústica” e “instrumentos musicais”.

Considerando os filtros de busca foram encontrados 1005 trabalhos, que após as etapas de análise descritas foram reduzidos a 21 trabalhos, que foram sintetizados na seção “Estado da arte”. A Tabela 3, disposta abaixo, apresenta os dados de referentes a quantidades de artigos elencados em cada uma das revistas.

Tabela 3. Resultado das buscas por materiais de referência.

Revista/banco de dados	Retorno de materiais	Filtro de busca	Novo retorno dos materiais	Materiais selecionados pós leitura de título	Materiais selecionados pós leitura de resumo
Revista Brasileira de Ensino de Física	28	_____	_____	5	0
Caderno Brasileiro de Ensino de Física	18	_____	_____	4	2
Investigação em Ensino de Ciências	22	_____	_____	0	_____
Ciência & Educação	19	_____	_____	0	_____
Aprendizagem Significativa em Revista	47	_____	_____	0	_____
Revista Latino-Americana de Educação em Astronomia	04	_____	_____	0	_____
Física na Escola	05	_____	_____	3	2

Experiências em Ensino de Ciências	643	_____	_____	2	2
Scielo	1172	Filtro temporal anos de 2015-2020	145	0	_____
Google Acadêmico	12100	Excluir patentes e citações, refinando a busca para os termos “ensino de acústica” com “instrumentos musicais”	74	28	15

10 RESULTADOS

Como resultado deste trabalho foi desenvolvida uma sequência didática para o ensino de acústica. A sequência é formada por um conjunto de 7 aulas pensada para serem aplicadas em um tempo de uma hora/aula cada, a sequência pode ser encontrada logo abaixo.

Aula 1 – Identificação de conceitos prévios e apresentação de recorte acerca da história da acústica

A primeira parte da sequência didática consiste na identificação dos conceitos prévios trazidos pelos estudantes acerca do conteúdo da acústica. Para realizar o levantamento dos conhecimentos trazidos pelos estudantes será lançado mão de um questionário diagnóstico, esse instrumento é particularmente interessante, pois possibilita a identificação não somente dos conhecimentos trazidos pelos alunos, mas também das falhas conceituais e/ou das lacunas que possam eventualmente apresentar em relação aos conceitos. Sendo assim, o professor pode utilizar as respostas do questionário diagnóstico para adequar as aulas da sequência de forma a sanar as dificuldades apontadas, ou seja, moldar a aplicação da sequência às necessidades conceituais da turma de estudantes.

As perguntas que compõem o questionário diagnóstico são apresentadas logo abaixo. Vale destacar que este questionário é uma adaptação do questionário diagnóstico proposto por Araujo (2019) em sua dissertação para o Mestrado Nacional em Ensino de Física, ofertado pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

- 1) Em quais situações do seu cotidiano é possível notar a presença das ondas?
- 2) De acordo com o que você conhece defina o que é o som?
- 3) Qual é a diferença existente entre sons baixos e sons altos?
- 4) Como o som é produzido em um instrumento musical?
- 5) Você sabe como o som é percebido por nossos sistemas auditivos? Caso sim explique.

- 6) Nós conseguimos ouvir todos os sons presentes ao nosso redor?
- 7) Existe algum perigo relacionado a exposição prolongada a sons muito intensos?
- 8) Na ausência de um meio material (ar, água, partículas etc.) é possível perceber o som?
- 9) O que nos permite distinguir as vozes das pessoas ou os sons de instrumentos musicais distintos mesmo quando estamos de olhos fechados?

Convém antes de tudo o professor deixar claro aos estudantes que este questionário é diagnóstico, e não será contado como forma de avaliação, sendo exclusivamente um instrumento de investigação de conhecimentos prévios que eles possuem, de forma que no momento de responder às perguntas não existem respostas certas ou erradas para as questões, existem somente respostas distintas que indicarão a melhor direção para o trabalho do professor, sendo assim não há necessidade do estudante buscar em livros ou na internet as respostas corretas de um ponto de vista científico, pois todas as respostas apresentadas são igualmente válidas para o contexto do questionário, ou seja, avaliar o que o estudante sabe sobre o tema, sejam estas respostas mais próximas ou mais distantes das aceitas pela comunidade científica. Sendo assim o papel do professor ao receber todas as respostas é avaliar o quão próximo dos conceitos científicos são as respostas e a partir de então traçar a melhor estratégia para tentar fazer com que o conhecimento dos estudantes seja alinhado aos saberes cientificamente aceitos.

Tendo recebido as respostas do questionário o professor deve iniciar a exposição do conteúdo partindo da seguinte questão “Como se deu o processo de construção histórica da acústica e como esse processo foi relevante para o desenvolvimento da ideia de som que vigora atualmente?”. Na aula pode ser apresentada uma linha do tempo com algumas das principais contribuições ao longo da história para o desenvolvimento da acústica enquanto ramo de estudo da Física. A linha temporal permite que os estudantes possam perceber que o desenvolvimento de toda, e qualquer ciência, perpassa por diferentes momentos ao longo da história e que cada nova descoberta funciona como um tijolo em uma grande e complexa estrutura, permitindo assim aos estudantes perceber

que como toda construção a ciência requer tempo, esforço e pessoas, que ajudam a construir um *corpus*.

Tal concepção vai ao encontro das ideias apresentadas na BNCC (Brasil, 2017) ao ponto que esta apresenta a contextualização por meio da história como mecanismo de discussão do conhecimento científico além de apresentar tais conhecimentos como “construções socialmente produzidas, com seus impasses e contradições, influenciando e sendo influenciadas por condições políticas, econômicas, tecnológicas, ambientais e sociais de cada local, época e cultura” (BRASIL, 2017, p. 550).

A seguir é apresentada uma possível linha do tempo que pode ser adotada para apresentar a construção da acústica enquanto ramo da Física. É importante destacar que o material a seguir é um resumo do livro *Acústica musical* de Luís L. Henrique, publicada no ano de 2002, e que o professor pode adaptar o texto a sua aula da forma que achar mais conveniente, é recomendado ainda que o professor realize a leitura do capítulo um da obra referência.

A acústica é um ramo da Física que vem se desenvolvendo desde a Grécia antiga. A história aponta que isto tem relação direta com o fato de os gregos considerarem a música como forma disseminar a sua cultura, bem como elevar a sua moralidade (HENRIQUE, 2002).

A literatura por sua vez aponta que os filósofos gregos Pitágoras e Tales de Mileto, como os responsáveis pela inclusão da matemática à cultura grega, no que tange ao estudo do som, Pitágoras é reconhecido como primeira pessoa a possuir relevância na investigação dos sons musicais, isto se deve as investigações que conduziu no século VI a.c.

Sendo Pitágoras notadamente reconhecido na história do desenvolvimento da acústica, pois ao inventar o monocórdio, instrumento de uma única corda em formato de caixa com três cavaletes, um móvel e dois outros fixos, Pitágoras pode estudar as relações existentes entre comprimento da corda e a frequência do som produzido, constatando que,

[...] quanto menor fosse o comprimento de uma corda, mais agudo era o som produzido. Em particular, comparando o som de uma corda com outra de metade do comprimento, concluiu que os sons produzidos estavam a intervalo de 8ª. Do mesmo modo os intervalos de 5ª e 4ª,

resultavam de frações dessa corda, respectivamente, $\frac{2}{3}$ e $\frac{3}{4}$ (HENRIQUE, 2002, p. 13).

Do ponto de vista educacional como parte da acústica possuía elevado status na sociedade Grega, sendo parte inclusive do *quadrivium* que juntamente ao *trivium* compreendiam o conjunto das sete artes liberais necessárias à educação do homem livre. O *quadrivium* reunia os quatro ramos da matemática segundo os gregos, sendo, aritmética, geometria, astronomia e música.

Realizando um salto temporal para a Idade Média, nos encontramos com Robert Grosseteste (1168-1253), bispo de Lincon e chanceler de Oxford que realizou a descrição da relação existente entre vibrações transversais e longitudinais. Na renascença emergi uma figura muito conhecida na atualidade Leonardo da Vinci (1452-1519), que realizou observações de ecos, o que lhe fez perceber que a velocidade do som era finita. Leonardo da Vinci descreveu ainda o fenômeno da vibração por simpatia (HENRIQUE, 2002).

No século XVII Galileu Galilei (1564-1642) por desenvolver diversos experimentos no campo da acústica foi considerado o fundador da acústica experimental. Galileu expôs a dedução qualitativa das leis das cordas estabelecendo as relações entre frequência, diâmetro, densidade e tensão, além disso discutiu também o fenômeno da ressonância e vibração por simpatia, apresentou explicações para a consonância e a dissonância, que ainda hoje são ditas atuais (HENRIQUE, 2002).

O filósofo, matemático, musicólogo e padre francês Marin Mersenne (1588-1648) em *Harminie Universale*, publicada em 1636/7, a obra é dividida em dois volumes, descreve todos os instrumentos musicais existentes no século XVII, no tocante ao estudo do som investigou as propriedades das cordas e dos tubos sonoros. Ao estudar os tubos sonoros percebeu diversos fenômenos associados à pressão do ar, comprimento e largura do tubo influenciam na altura do som. Além disto Mersenne ao observar o tempo de retorno do eco encontrou um valor para a velocidade do som que é muito próximo do valor real, diferindo em 10% do valor atualmente aceito (STRONG & PLITNIK, 1992 *apud* HENRIQUE, 2002).

Trabalhando em conjunto Berrelli (1608-1679) e Viviani (1622-1703) realizaram experimentos com um pequeno canhão onde flashes sonoros e

chegaram a um valor para a velocidade do som de 350 m/s, muito próximo do valor adotado atualmente (HENRIQUE, 2002).

Em 1615 Sagredo desenvolveu um equipamento que o permitiu estudar a dependência de um meio material pelo som para se propagar. Dependência essa provada em 1660 por Boyler (HENRIQUE, 2002).

Isaac Newton utilizando somente cálculos teóricos conseguiu encontrar um valor para a velocidade do som próximo do valor aceito pela comunidade científica (HENRIQUE, 2002).

No século XVIII Ernest Florens Friederich Chladni (1756-1827) estudou e descreveu a formação de figuras em placas ressoantes, tais figuras são chamadas de figuras de Chladni. Tais figuras são a base para a construção de violinos de qualidade (HENRIQUE, 2002).

O matemático francês Jean Baptist Joseph Fourier (768-1830) publicou em 1808 um conjunto de séries matemáticas que ficaram conhecidas como séries de Fourier. desenvolvimento das chamadas series integrais de Fourier e do método de análise de Fourier, amplamente utilizadas na acústica (HENRIQUE, 2002).

Adentrando no século XIX Jean Baptist Biot (1774-1862) realizou no ano de 1808 a primeira medição da velocidade de propagação do som em sólido (HENRIQUE, 2002).

O físico alemão August Kundt (1839-1899) desenvolveu um método que utilizava tubos, chamado de tubos de Kundt, que utilizava ondas estacionarias para determinar a velocidade de propagação do som no ar e em outros gases (HENRIQUE, 2002).

O alemão Georg Simon Ohm (1787-1854) estudou o sistema auditivo humano e o apresentou como um analisador espectral, adaptou o teorema de Fourier à acústica e desenvolveu a lei da acústica de Ohm, ou ainda, segunda lei de Ohm (HENRIQUE, 2002).

Em 1862 Hermann Ludwig Ferdinand Von Helmholtz (1821-894) foi o primeiro a medir a velocidade dos impulsos nervosos. Apresentou uma explicação para o funcionamento do ouvido médio, desenvolveu uma teoria que

explica a audição tomando como base o funcionamento do ouvido interno (HENRIQUE, 2002).

Aula 2 – Conceitos básicos acerca de som

Ao iniciar a aula o professor deve apresentar de forma sintetizada algumas das respostas atribuídas pelos estudantes acerca das questões Q1 e Q2 do questionário diagnóstico “Em quais situações do seu cotidiano é possível notar a presença das ondas?” e “De acordo com o que você conhece defina o que é o som?” respectivamente. Como mencionado as respostas devem ser apresentadas de forma sintetizada, a fim de que não haja o constrangimento de nenhum dos estudantes, além disso, este momento é especialmente importante pois possibilita que o professor retome o conteúdo que iniciou as discussões na aula anterior levando em consideração as premissas conceituais e percepções dos estudantes.

A primeira questão possibilita que o professor verifique se os estudantes compreendem o som como um tipo específico de onda, de maneira que dentre os exemplos de situações em que percebem a presença de ondas os estudantes possam adicionar situações corriqueiras como falar com pessoas, ouvir música, ou até mesmo se incomodar com o barulho, o ponto chave dessa questão é verificar se os estudantes adicionam elementos que permitem que o som seja entendido como uma onda ou não, o que denota seu conhecimento prévio a respeito do assunto. A segunda questão por sua vez, servirá como forma de identificar a interpretação atribuída pelos estudantes ao conceito de som, dessa maneira o professor pode reforçar conceitos e definições próximas a adotada pela comunidade científica.

A partir da exposição de algumas respostas o professor deve discutir a natureza ondulatória do som, neste momento é papel do professor realizar a caracterização do som enquanto onda mecânica, longitudinal e tridimensional, é importante salientar que à medida em que o professor caracteriza as ondas sonoras como ondas mecânicas a questão Q9 do questionário diagnóstico é respondida automaticamente, dessa forma o professor pode aproveitar o

momento e perguntar para os alunos o que eles acham a respeito dessa característica, abrindo então um breve momento de discussão com a turma. Para realizar a exposição dos conteúdos será lançado mão de recursos imagéticos como gifs, que auxiliam na compreensão do conteúdo de estudo.

A exposição das respostas da questão Q2 serve de aporte para que o professor possa trabalhar a definição científica de som como ondas de compressão/rarefação do ar. Logo abaixo está presente uma possível forma de abordar a definição de som e seus conceitos básicos.

Ao adentrar na caracterização do som enquanto onda o professor, pode apresentar as seguintes definições para som:

Som é o resultado da propagação espacial de zonas de compressão/rarefação de partículas em um meio material, essa propagação de compressão/rarefação recebe o nome de onda sonora. Cabe ao professor realizar a caracterização das ondas sonoras em relação a sua natureza, direção de vibração e a sua direção de propagação, em resumo o professor deve deixar claro aos estudantes que, ondas sonoras quando classificadas em relação a sua natureza são chamadas de mecânica, ou seja, ondas que necessitam necessariamente de um meio material para que possa se propagar no espaço, as ondas sonoras quando classificadas em relação a sua direção de vibração são ditas ondas longitudinais, isto é, são ondas que se propagam na mesma direção do pulso que a originou, por fim quando as ondas sonoras são classificadas em relação a direção de propagação são ditas ondas tridimensionais, ou seja, ondas que se propagam em todos os pontos do espaço.

O professor, a fim de tornar a percepção de tais conceitos mais fáceis deve, utilizar animações ou gifs, que são imagens cinéticas como recurso educacional, uma recomendação é o uso da imagem gif a seguir (<https://www.acs.psu.edu/drussell/demos/waves/wavemotion.html>).

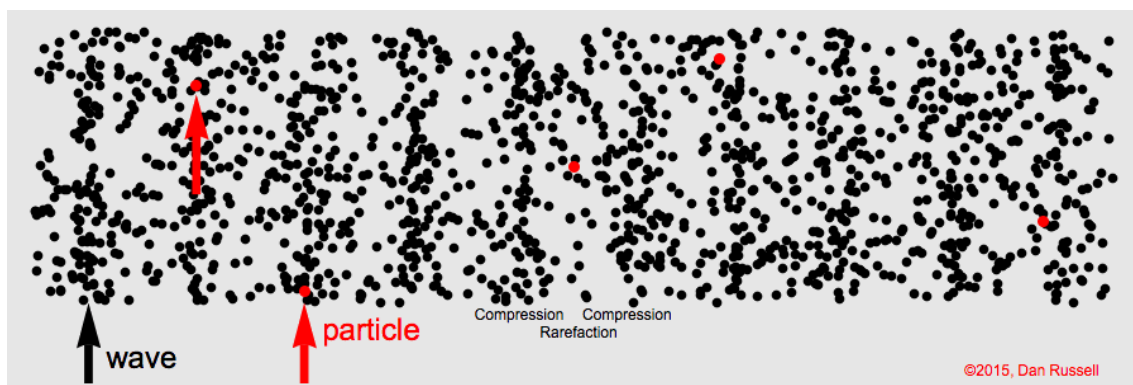


Figura 5. Propagação de onda sonora. Fonte. Dan Russell, 2015.

A partir do gif o professor deve definir o comprimento de onda, para tanto deve tomar o espaço entre duas compressões ou duas rarefações consecutivas, de forma mais geral o professor pode definir o comprimento de onda assim como definido por Serway e Jewitt (2013, p. 33), sendo “a distância mínima entre dois pontos idênticos em ondas adjacentes”. O gif é especialmente interessante para esta explicação pois permite aos estudantes visualizarem que o comprimento de uma onda não varia ao considerar zonas de compressão/rarefação distintas.

Tendo definido o comprimento de onda o professor pode então definir o período como sendo, o tempo necessário para que a onda se desloque o equivalente a um comprimento de onda, tomando como exemplo a zona de compressão, o tempo decorrido para que duas zonas de compressão consecutivas passem por um mesmo ponto no espaço.

Definidos os conceitos de comprimento de onda e período o professor deve seguir para a explanação do conceito de frequência de uma onda. A frequência de uma onda pode ser definida como o número de repetições de um ciclo dentro do intervalo de tempo de 1 s, isto é, a quantidade de vezes que um período se repete no intervalo de 1 s, matematicamente a frequência de uma onda pode ser definida como:

$$f = \frac{1}{T}$$

A frequência de uma onda no sistema internacional de unidades é o hertz (Hz), que equivale a s^{-1} , basicamente a frequência é o número de oscilações por unidade de tempo.

Para finalizar a aula o professor pode definir a velocidade de uma onda sonora em um meio material, para tanto deve evidenciar a relação entre frequência e comprimento de onda, resumidamente a velocidade da onda sonora pode ser escrita como sendo o produto da frequência da onda pelo seu comprimento de onda.

$$v = \lambda \cdot f$$

O professor pode apresentar o valor da velocidade do som no ar (a 20°C é de aproximadamente 343 m/s) e em alguns meios materiais, a Tabela 2, apresentada na seção 6.1, contém alguns valores para a velocidade do som em alguns meios, que podem ser utilizados nesta exposição.

Por fim para finalizar a aula, e demonstrar que realmente as ondas de compressão/rarefação se propagam tridimensionalmente, fazendo as partes do meio oscilar em torno de um ponto de equilíbrio, o professor pode fazer o uso do experimento “construindo uma placa de Chladni”, presente no Apêndice 1.

Aula 3 – O processo de percepção do som (aplicação de simulação computacional)

A terceira aula da sequência se encarregará de discutir as questões Q5 e Q6 do questionário diagnóstico, para tanto o recurso utilizado será a simulação computacional “ouvido e aparelho auditivo”, o objetivo desta aula é apresentar aos estudantes o processo de percepção das ondas sonoras pelo sistema auditivo humano, realizando assim uma ligação entre as disciplinas Física e Biologia, tendo em vista que o fenômeno físico, manifestação das ondas sonoras, pode ser percebido por um sistema biológico do corpo humano, neste caso o sistema auditivo. Nesta aula serão apresentadas diferentes partes do sistema auditivo e sua relação com o processo de percepção do som.

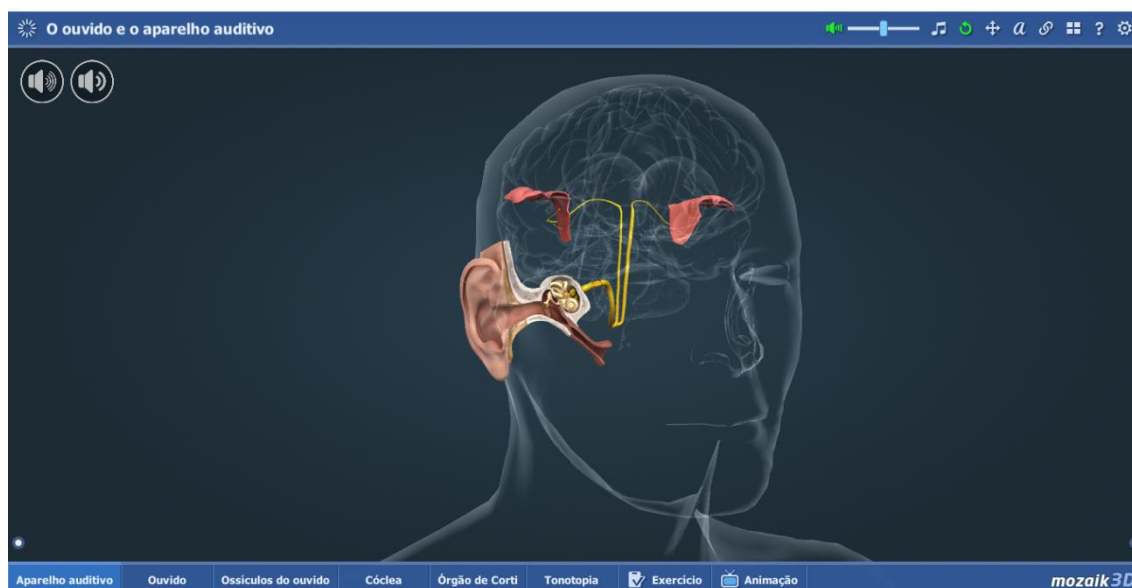


Figura 6. Área de trabalho da simulação “Ouvido humano e aparelho auditivo”. Fonte. Mozaikeducation.(https://www.mozaweb.com/pt/Extra-Cenas_3D-O_ouvido_e_o_aparelho_auditivo-139742).

A seguir será apresentada uma descrição do simulador, que situará o professor quanto a sua manipulação, será apresentada também uma descrição das partes componentes do ouvido humano e suas respectivas funções no processo de audição, para maiores esclarecimentos é recomendado que sejam realizadas as leituras da parte referente a orelha no capítulo 6 da sétima edição do livro “Anatomia orientada para clinica” de Moore, Dalley e Agur (2014), e a parte referente a orelha do capítulo 8 da terceira edição do livro “Netter Anatomia clinica” de Hansen (2015).

A tela inicial do ambiente de simulação apresenta uma imagem central contendo um modelo tridimensional do sistema auditivo em destaque, na parte superior do ambiente da simulação estão presentes os botões que controlam a intensidade do som da simulação, botão de som, que liga e desliga o som da simulação, botão de rotação do modelo, que liga e desliga a rotação automática do modelo, o botão mover, que permite mudar a posição do modelo na área de trabalho da simulação, botão de legenda, que ativa e desativa a identificação textual das partes do sistema auditivo, botão relacionamento, que apresenta uma gama de conteúdos relacionados ao tema estudado como, questões e simulações relacionadas. O botão de menu 3D possibilita realizar algumas configurações na animação, o botão de ajuda apresenta o manual completo para

a utilização da simulação, o botão configurações permite modificar uma série de parâmetros no ambiente do simulador, a exemplo do tamanho de tela, linguagem, qualidade da imagem entre outros. Ainda na parte superior é possível encontrar dois botões de fonte sonora, que ao serem acionados emitem sons distintos, um grave e outro agudo.

Na parte inferior do ambiente de simulação ficam localizados botões que direcionam o usuário a cenas específicas, são eles, botão aparelho auditivo, cena que é iniciada com a abertura da simulação, ouvido, ossículos do ouvido, cóclea, órgão de Corti e tonotopia, na parte inferior do ambiente são encontrados ainda os botões exercícios e animação, em exercícios é apresentado algumas questões que podem ser respondidos dentro do próprio ambiente de simulação, em animação por outro lado é possível realizar um tour guiado pelo sistema auditivo.

A fim de demonstrar o funcionamento do sistema auditivo e o processo de percepção do som por meio da simulação o professor deve de início apresentar a tríplice divisão do sistema auditivo em orelha externa, orelha média e orelha interna, partindo então para uma descrição um pouco mais detalhada de cada parte do sistema auditivo enfatizando que, a orelha externa é formada por pavilhão auditivo, meato acústico externo e o tímpano. A orelha média por sua vez é dividida em duas partes, cavidade timpânica da orelha média e o recesso epitimpânico, na orelha média estão presentes os ossículos da audição, martelo, bigorna e estribo, além da tuba auditiva, a orelha interna por fim é formada por dois segmentos, sendo eles o labirinto ósseo e o labirinto membranáceo.

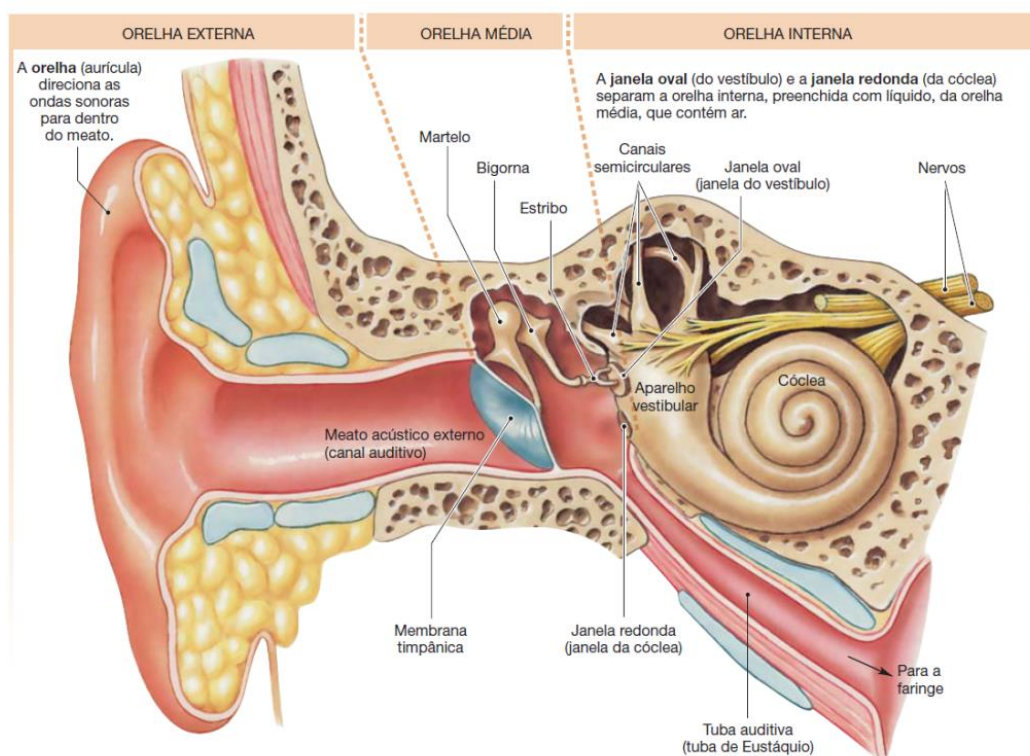


Figura 7. Divisão anatômica do sistema auditivo humano. Fonte. SILVERTHON, 2017, adaptada por SILVA, OLIVEIRA e TEIXEIRA [s.d.].

Na orelha interna estão a cóclea, o vestíbulo do labirinto ósseo e os canais semicirculares, no labirinto membranáceo é formado por um conjunto de sacos e ductos comunicantes, o labirinto membranáceo é interno ao labirinto ósseo e é preenchido por um líquido aquoso chamado perilinfa. O labirinto membranáceo pode ainda ser dividido em duas partes, uma referente ao labirinto vestibular e outra referente ao labirinto coclear. Após a ambientação dos estudantes com o ambiente de simulação o professor deve explicar o processo de percepção do som, para isso na cena aparelho auditivo escolha um dos botões geradores de som, automaticamente será gerado uma onda sonora, esta percorre todo o meato acústico e pouco tempo depois é possível perceber um impulso nervoso sendo transmitido do ouvido interno pelo nervo auditivo para o córtex auditivo, nesta cena o processo que ocorre entre a orelha média e interna não são detalhadas, e apesar de ser possível aplicar um zoom, é recomendável utilizar a cena ouvido, pois os detalhes podem ser melhor observados. No ambiente da simulação acione novamente o botão gerador de som, verifique que na orelha interna as ondas sonoras fazem o martelo, a bigorna e o estribo se movimentem ordenadamente, transmitindo as ondas de compressão/rarefação do ar (ou meio qual o observador esteja) para a orelha interna, isto ocorre através da base do

estribo, que transmite a vibração para o labirinto membranáceo por meio da janela da base do vestíbulo, gerando então ondas de pressão hidráulicas na perilinfa (os ossículos são responsáveis por ampliar a intensidade das oscilações), na cóclea ocorre a transformação dos impulsos mecânicos em impulsos elétricos.

Os estímulos elétricos causados por sons agudos movimentam as membranas tectorial e basilar próximo a janela do vestíbulo, enquanto sons graves as movimentam próximo ao helicotrema. O movimento das membranas tectorial e basilar permite o contato entre as células pilosas e a membrana tectorial liberando assim neurotransmissores, que estimulam potenciais de ação quais são direcionados para o encéfalo pelo nervo coclear, no encéfalo o impulso elétrico é interpretado e o som é percebido. As ondas hidráulicas então são direcionadas pelo ducto coclear até a perilinfa da rampa do tímpano, essas ondas então são dissipadas (amortecidas) pela membrana timpânica secundária até a cavidade timpânica.

Aula 4 – Divisão dos instrumentos musicais em famílias e geração do som no violino

No início da aula o professor deve perguntar aos estudantes se eles sabem como os instrumentos musicais são classificados, bem como perguntará se sabem como os sons são produzidos em instrumentos musicais, a partir das respostas dos estudantes o professor pode decorrer sua aula, explicando aos estudantes como ocorre a classificação dos instrumentos musicais em famílias, sendo estas sopro, cordas e percussão, a seguir é apresentada uma descrição de cada uma das famílias bem como exemplos de instrumentos que são partes dessa família qual o professor pode utilizar para nortear sua aula.

Os instrumentos de sopro são aqueles no qual o som é produzido em seu interior, por meio da vibração da coluna de ar dentro do tubo do instrumento. Como exemplos de instrumentos dessa família temos a flauta, o oboé, a tuba, o trombone, o clarinete entre outros.

A segunda família compreende os instrumentos musicais de cordas, estes são aqueles em que os sons têm origem a partir das vibrações das cordas que

o compõe. A afinação dos instrumentos dessa família depende da tensão exercida sobre cada uma das cordas, seu comprimento e densidade, alguns dos membros dessa família musical são, o violão, a arpa, o violino, o ukulele e o piano.

Por fim a última família percussão é composta por instrumentos que podem ritmar ou inserir efeitos em composições, basicamente os instrumentos desta família precisam ser raspados, batidos, agitados ou ficcionados para que o som seja produzido, são exemplos de instrumentos dessa família o chocalho, a bateria, o tambor, a kalimba, o xilofone, a lira, a cuica entre outros.

Tendo apresentado as formas de classificar os instrumentos musicais em família o professor pode discutir a questão da produção do som em alguns instrumentos, cabe ao professor destacar que esse processo varia muito de instrumento para instrumento, no entanto pode elucidar a produção do som no violino, é necessário que o professor apresente primeiro as partes principais deste instrumento musical, a Figura 8, destacada abaixo, nomeia algumas dessas partes.

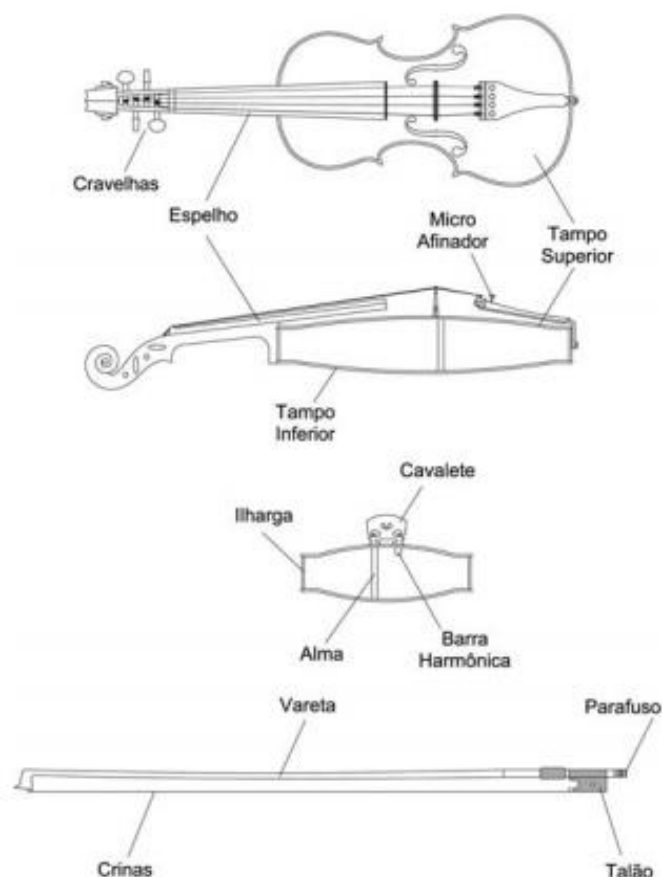


Figura 8. Principais partes de um violino. Fonte. DANOSO et al. 2008.

A caixa acústica do instrumento é formada pelo conjunto de tampos superior e inferior, juntamente com a ilharga, possui 36 cm de comprimento, 4 cm de altura e funciona como um ressonador.

As cravelhas juntamente com os micros afinadores são as partes do violino destinadas ao controle da tensão desenvolvida nas cordas do violino, ao apertar ou folgar tais componentes é possível regular a frequência de oscilação das cordas, isto é, é possível realizar a afinação do instrumento.

As cordas do violino são fabricadas em aço e revestidas com prata ou alumínio, sendo elas presas às cravelhas e aos afinadores. O cavalete é uma peça assimétrica de madeira que fica localizado sobre a caixa acústica, sobre ele passam as cordas do violino, dessa forma o cavalete é submetido a uma força considerável, a função do cavalete é realizar o acoplamento entre as cordas e o corpo do violino, atuando assim como um transdutor mecânico, no qual a vibração da corda é transmitida aos tampos da caixa acústica.

O espelho do violino possui 10 cm, e é a parte do instrumento em que é possível dedilhar as notas musicais. A alma é um palito cilindro colocado entre os tampos da caixa acústica, que além de transmitir as vibrações do tampo superior para o inferior ajuda a suportar a força exercida pelas cordas no tampo. Outro elemento importante no violino é a barra harmônica, que é colada no tampo superior, fazendo todo ele vibrar de forma uniforme, além disto fornece suporte a caixa acústica.

O arco do violino é construído em madeira (na atualidade também é utilizado fibra de carbono) e possuem cerdas que podem ser crina ou pelo do rabo de cavalo, as cerdas são atritadas sobre as cordas para que o som seja produzido.

De maneira resumida o violino é um instrumento musical comumente construído em madeira, possui cerca de 60 cm de comprimento, o instrumento é constituído por um conjunto de 4 cordas acopladas na caixa acústica, estas são tocados por um arco de 75 cm.

As cordas do violino ao serem atritadas com o arco são postas a vibrar com uma determinada frequência, no entanto essas cordas por serem extremamente finas, diâmetro da corda muito menor que o comprimento de onda do som emitido, não são capazes de causar uma grande variação na pressão do meio, dessa forma é necessário que seja realizado o uso de acoplamento acústico capaz de deslocar uma maior quantidade de partículas, sendo assim a caixa acústica é a responsável por deslocar as partículas do meio, aumentando a variação de pressão no meio, a ligação entre as cordas do violino e a caixa acústica é realizada pelo intermédio do cavale, que transfere as vibração da corda para a caixa acústica, esta por sua vez faz o ar de presente em seu interior e exterior vibrarem na mesma frequência das cordas, no entanto o fato das dimensões da caixa acústica serem maiores que a provoca uma maior variação de pressão no meio e o som pode ser percebido de forma mais intensa, de forma mais geral o som produzido no violino é fruto da vibração dos tampos do violino.

Para finalizar a aula o professor deve iniciar um momento para discussão entre os alunos acerca do que foi visto, o que permite que os alunos possam

generalizar o funcionamento do violino para alguns outros instrumentos da mesma família, a exemplo do violoncelo, viola, violão entre diversos outros.

Aula 5 – Propriedades fisiológicas do som

A quinta aula da sequência didática será destinada a apresentação das propriedades fisiológicas do som, são elas, timbre, altura e intensidade, vale destacar que dentre as três propriedades fisiológicas somente a intensidade é uma característica física, as demais propriedades são subjetivas, ligados as percepções dos observadores, sendo assim fazem parte do ramo da acústica denominado psicoacústica (HENRIQUE, 2002). A apresentação por parte do professor de tais propriedades auxiliará os estudantes quanto as respostas corretas para as questões Q3, Q7 e Q9 do questionário diagnostico.

Ao iniciar a aula o professor deve realizar uma diferenciação entre os conceitos de altura e o volume e a altura de um som, para tanto deve apresentar de início o som de duas notas musicais em oitavas distintas, a exemplo do Lá de 440 Hz e o Lá de 880 Hz, e após ter reproduzido o som perguntar aos estudantes o que diferencia os dois sons ouvidos, é intuitivo que os estudantes afirmem que um som é mais “grosso” e outro mais “fino”, a partir de então o professor deve explicar que a diferença entre estes sons é dada pela altura de cada um deles, e desta forma o professor partirá para a definição do conceito de altura de um som, relacionando-o com a frequência das ondas sonoras, que por conseguinte também é associado comprimento de onda . O professor deve esclarecer que quando se trata do estudo de ondas sonoras aquelas que possuem maior comprimento de onda, ou seja, ondas de frequências menores, produzem sons graves, também chamados de sons baixos, sons altos por outro lado são aqueles associados a ondas que possuem pequenos comprimentos de onda, e por conseguintes frequências elevadas, este tipo de som pode ainda ser chamado de som agudo. O professor pode ainda aproveitar este momento para apresentar o intervalo de frequência audíveis aos humanos, a Figura 9, presente abaixo, é recomendada para esse trato.

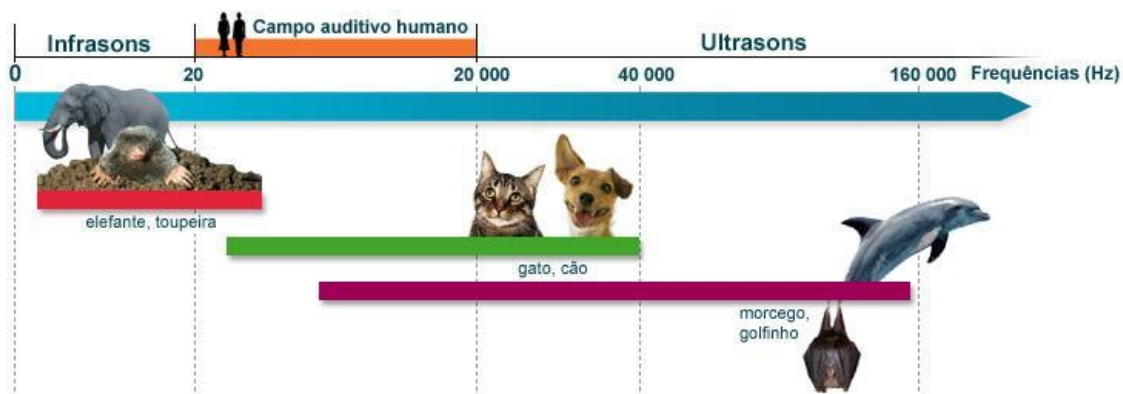


Figura 9. Espectro sonoro e algumas comparações entre frequências audíveis entre espécies.
Fonte. S. Blatrix [s.d.].

A partir da exposição da definição de altura por parte do professor, os estudantes poderão conceituar de forma correta a frequência de um som, aprendendo inclusive a utilizar os termos sons altos e sons baixos de forma mais adequada, deixando então de utilizar tais expressões para descrever som mais ou menos intensos, o contexto de aplicação dos termos será reavaliado, o que por sua vez serve de resposta à questão de número 3 do questionário diagnóstico. Enquanto ao discutir o espectro audível perpassará também nas definições de infrassom (ondas sonoras de frequência menores que 20 Hz) e ultrassom (ondas sonoras de frequências maiores que 20 KHz), além disto ao discutir os sons audíveis acabará respondendo às perguntas de número 4 e 6 do questionário diagnóstico.

Ao realizar a explanação acerca do conceito de intensidade sonora o professor além de evidenciar a relação entre a energia carregada pela onda sonora e a área da seção transversal que ela atravessa por unidade de tempo deve apresentar alguns exemplos de sons de intensidades diversas e relacioná-los com a sensação auditiva que causa, são destaques neste momento o limiar da audibilidade e o limiar da dor, o professor pode ainda apresentar o máximo tempo recomendado para a exposição sonora de um observador a determinada intensidade sonora e os danos causados pelo excesso de tempo de exposição, respondendo assim aos estudantes a questão de número 9.

Em resumo o professor pode expressar que o volume, assim como utilizado corriqueiramente, está ligado à intensidade da onda sonora, que por sua vez pode ser definida como a energia média que atravessa uma seção

transversal em um plano por unidade de tempo, que pode ser expressa a partir da equação,

$$I = \frac{E}{A \cdot t}$$

em que E é a energia carregada pela onda, A é a área da secção transversal, t é o tempo e I é a intensidade da onda, que é dada em W/m^2 .(SI)

O professor deve ainda mostrar aos alunos que a equação de intensidade de uma onda sonora pode ser escrita em termos da potência da onda, de forma que pode ser escrita na forma,

$$I = \frac{P}{A}$$

em que P é a potência da onda sonora.

A menor intensidade sonora que o ouvido humano pode perceber recebe o nome de limiar da audibilidade, ou seja, a menor intensidade auditiva capaz de sensibilizar o sistema auditivo, esse limiar vale $I_0 = 10^{-12} W/m^2$, a máxima intensidade sonora que o ouvido humano é capaz de perceber sem que a ele seja infligida a sensação de dor recebe o nome de limiar da dor, e vale $I_{max} = 1 W/m^2$.

Após ter apresentado a equação de intensidade sonora, o professor deve deixar claro aos estudantes que na prática é utilizado o nível de intensidade sonora (N) a fim de verificar quão intenso é o som. O nível de intensidade sonora é empregado pois os ouvidos não são sensibilizados proporcionalmente a intensidade do som emitido, a sensação sonora varia conforme o logaritmo da intensidade do som emitido, matematicamente o nível de intensidade sonora pode ser escrito na forma,

$$N = \log \frac{I}{I_0}$$

o nível de intensidade sonora é medido em bel (B), como forma de homenagear Alexandre Graham Bell, a unidade de bell corresponde a um valor muito elevado em comparação aos valores de níveis sonoros encontrados corriqueiramente, desta forma é utilizado um múltiplo da unidade, o decibel (dB), que vale um decimo de bel.

O professor pode ainda apresentar o tempo de exposição recomendado a sons com determinados níveis de intensidade sonora e seus efeitos para o ouvinte, a Figura 10, presente abaixo, traz algumas informações que podem ser utilizadas pelo professor.

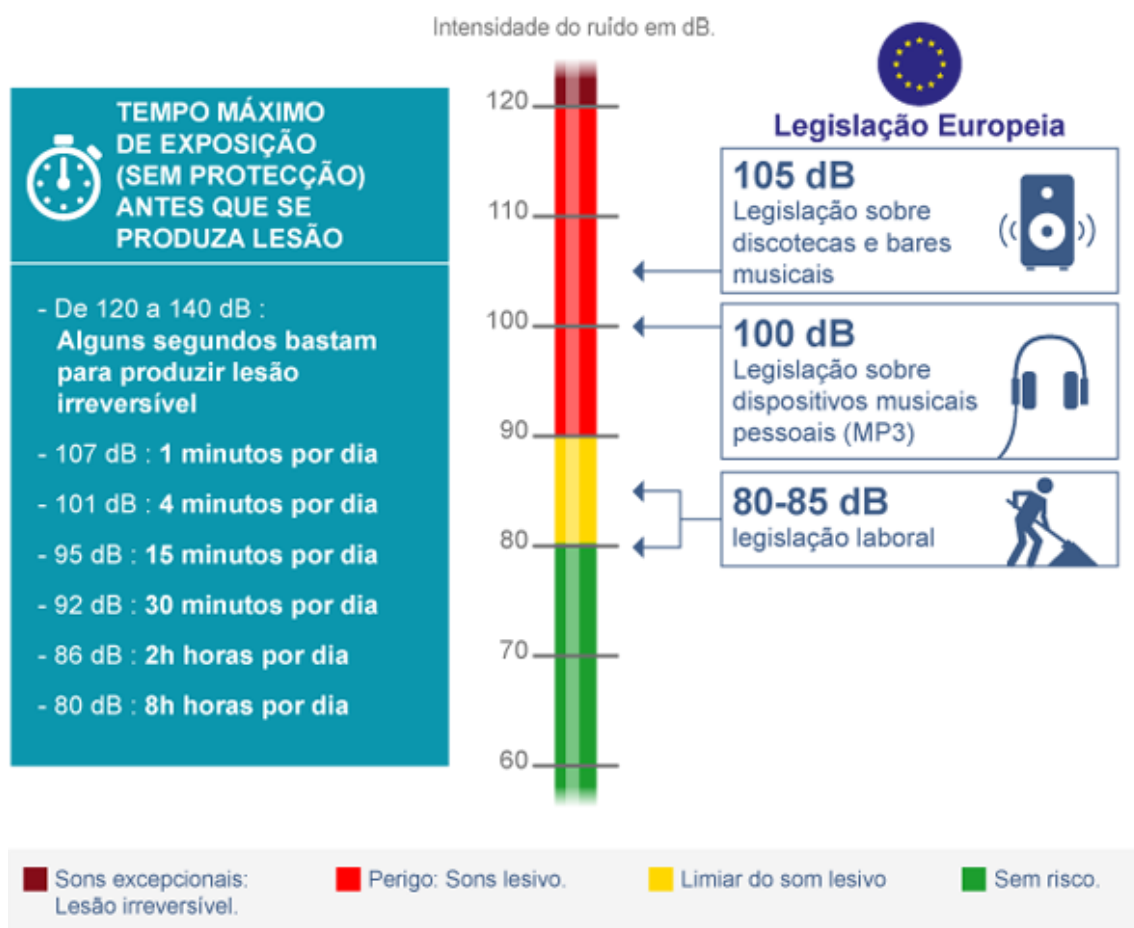


Figura 10. Níveis de intensidade sonora e tempo máximo recomendado de exposição. Fonte. Colchlea.org.

Tendo discutido a intensidade do som o professor pode então discutir a última das características fisiológicas do som, o timbre, respondendo assim automaticamente a questão de número 9 do questionário, uma vez que as ondas sonoras de diferentes fontes possuem sonoridade distinguíveis uma das outras devidos aos padrões das ondas emitidas, que embora possuam mesma frequência e intensidade são diferentes em sua forma, e essa diferença se dá por diferentes variáveis como, material qual a fonte é feita, estrutura da fonte densidade das partes componentes da fonte, no caso dos instrumentos, sua forma, o material empregado na construção e etc. No caso das pessoas espessura dos ossos, forma das cavidades nasais, formato do crânio e das

pregas vocais e etc. Basicamente o professor pode discutir o timbre juntamente com seus estudantes apresentando uma mesma nota musical ou trecho de uma sendo emitida por instrumentos musicais distintos, ou até mesmo as vozes de duas pessoas, um recurso interessante que pode ser utilizado aqui é a apresentar a representação de padrões de oscilação de alguns instrumentos musicais, a fim de tornar mais inteligível a diferença entre os padrões de vibrações, mesmo quando a intensidade e frequência das ondas são iguais.

Ao finalizar as explanações o professor deve solicitar que os estudantes tragam na aula seguinte seus smartphones e fones de ouvidos, a fim de que estes sejam utilizados em uma atividade na aula seguinte. É recomendado ainda que o professor leve alguns pares de fones de ouvidos, um frasco de álcool 70% e algodão a fim de disponibilizar tais fones de ouvido para que os alunos que por algum motivo não possuem ou não levarem seus fones realizem a atividade, o álcool e o algodão serão utilizados para higienizar os fones antes de cada uso. Uma outra opção para a realização da atividade é levar os estudantes ao laboratório de informática da escola caso esta o possua.

Aula 6 – Teste auditivo e manual de construção de um mapa conceitual

Na aula de número 6 da sequência o professor realizará no primeiro momento um teste auditivo com os estudantes da turma, para tanto lançará mão do vídeo “Teste de Audição Divertido: Você é um Super Humano?” disponível no Youtube (https://www.youtube.com/watch?v=KszGV_UfBXw&t=27s).

Para a realização do teste alguns cuidados se fazem necessários, o primeiro deles é que o ambiente esteja com portas e janelas trancadas, o que ajuda a reduzir o som de ambientes externos na sala de aula, a segunda recomendação é que os estudantes façam silêncio durante a realização do teste, de forma que mesmo alguns estudantes tendo terminado seus testes permanecem em silêncio enquanto os demais finalizem seus testes, o professor deve pedir que os estudantes no momento em que começarem a ouvir o som pausem o vídeo e anotem a frequência da onda sonora que sensibilizaram seus ouvido e o resultado mostrado na escala de audição mostrada no vídeo.

Os resultados obtidos pelos estudantes podem ser discutidos de forma breve juntamente com o professor, neste momento recomenda-se que o professor projete na sala a escala de frequência audível por idade, pois auxiliará na discussão dos resultados, uma vez que testes que apresentam aparentemente bons resultados podem indicar um alerta quando comparado as frequências que os estudantes deveriam conseguir ouvir em relação a sua idade, a Tabela 5 pode ser utilizada para realizar essa comparação.

Tabela 4. Frequências sonoras e médias das idades em que é audível. Fonte. Adaptada do Clínica de Ouvido, Nariz e Garganta de Santo Amaro.

FREQUÊNCIA DA ONDA SONORA	IDADE EM QUE É AUDÍVEL
8 000 Hz	Qualquer idade
12 000 Hz	Até 50 anos
15 000 Hz	Até 40 anos
16 000 Hz	Até 30 anos
17 000 Hz– 18 000 Hz	Até 24 anos
19 000 Hz	Até 20 anos

O professor pode ainda indicar o app “Hearing Test” em que os estudantes podem fazer um teste auditivo mais detalhado considerando individualmente cada ouvido, podendo inclusive realizar o teste com seus amigos, pais e familiares, levando assim algo que conheceu na sala de aula para o ambiente extraescolar. É necessário salientar que o teste auditivo online não substitui uma consulta médica, de forma que se forem notadas alterações graves e relação aos resultados dos testes é recomendável que os estudantes realizem uma consulta com um médico especialista, a fim de verificar a possibilidade de problemas auditivos.

Por ser um vídeo curto, de 07:57 minutos, o professor tem a liberdade de realizar uma breve discussão junto a turma acerca dos resultados. Após este momento o professor apresentará aos estudantes duas estruturas de mapas conceituais distintos, a partir dos quais detalhará a estrutura de produção de tais mapas como eles devem ser elaborados, e como as ligações devem ser feitas de forma válida, o professor pode então deixar claro aos estudantes que devem

prestar atenção a este momento, pois na aula seguinte realizarão a construção de um mapa.

Para Novak e Cañas (2010, p. 10),

Mapas conceituais são ferramentas gráficas para a organização e representação do conhecimento. Eles incluem conceitos, geralmente dentro de círculos ou quadros de alguma espécie, e relações entre conceitos, que são indicadas por linhas que os interligam. As palavras sobre essas linhas, que são palavras ou frases de ligação, especificam os relacionamentos entre dois conceitos.

Os autores destacam ainda que, "Há duas características dos mapas conceituais importantes na facilitação do pensamento criativo: a estrutura hierárquica que é representada num bom mapa conceitual e a capacidade de buscar e caracterizar novas ligações cruzadas. (NOVAK; CAÑAS, 2010, p. 10).

A seguir são apresentados dois mapas conceituais que o professor poderá utilizar como exemplos em aula.

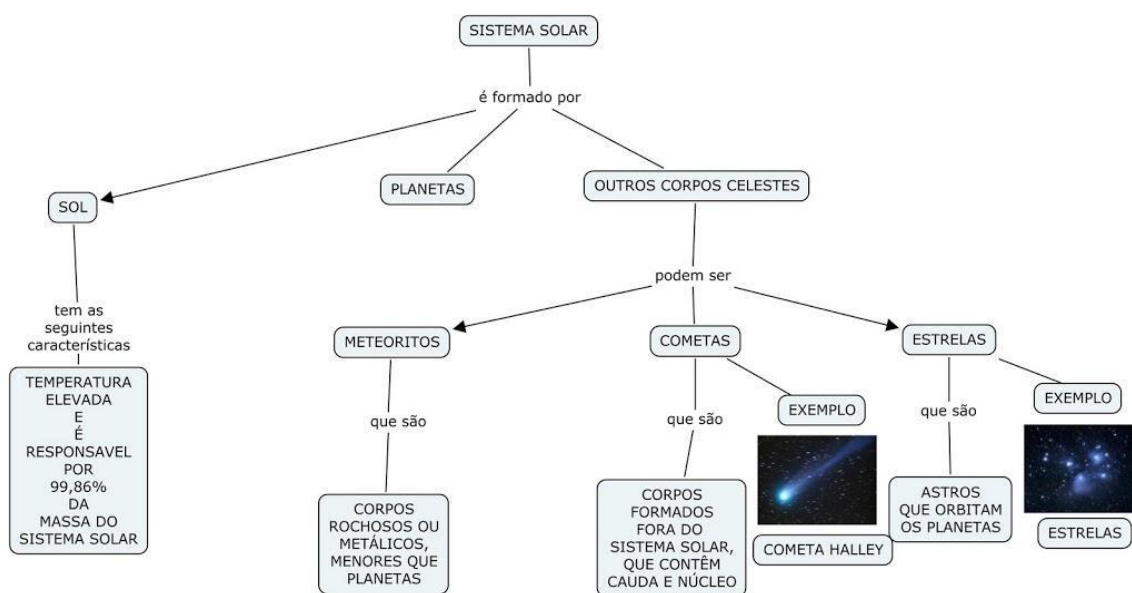


Figura 11. Mapa conceitual "Sistema solar". Fonte: http://lh5.googleusercontent.com/-2c0V53s3Vhl/TvMOWiE7ENI/AAAAAAAAAfs/9rq_iCbkbAU/s1024/02_Sistema_Solar_Jose%2520Henrique%2520e%2520Daniela.jpg.

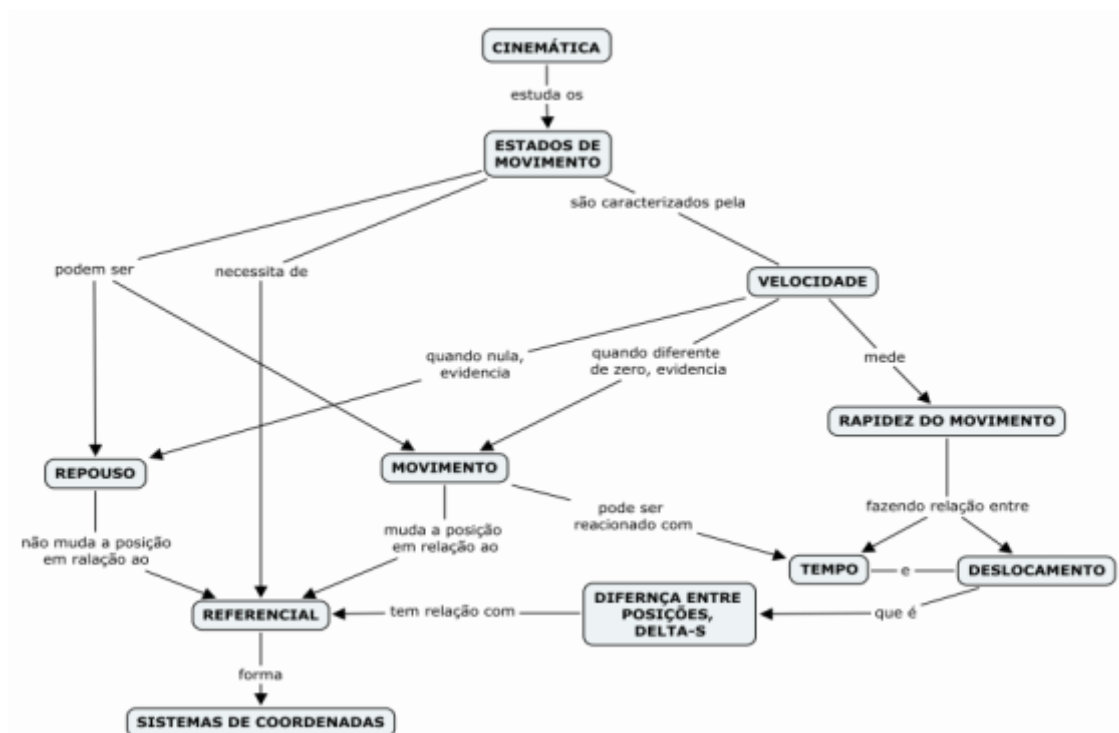


Figura 12. Mapa mental "Cinemática". Fonte. MACHADO; BELMONTE; TAVARES, 2017.

Aula 7 – Construção de mapa conceitual

A aula de número 7 é a última da sequência didática, nesta será realizada a avaliação da aprendizagem dos estudantes, todavia esta não deve ser configurada como momento de medição de intelecto e distribuição de notas. A avaliação deve ser entendida como mais um momento no processo de ensino aprendizagem, e assim como, Luckesi (1995, p. 85) evoca, é preciso compreender a avaliação como objeto que “[...] subsidia um curso de ação que visa construir um resultado previamente definido”, isto é, a avaliação deve ajudar a traçar estratégias de ensino que venham garantir a aprendizagem dos estudantes.

Conforme mencionado na aula de número 6, a avaliação dos estudantes acontecerá com a confecção de um mapa conceitual. A elaboração de mapas conceitual pelos estudantes permite que estes possam organizar o conhecimento que construíram durante as aulas de forma hierárquica e, ao mesmo tempo, dinâmica, visto que, os estudantes podem criar as mais diversas

conexões entre os conceitos, suas aplicações, assim como as curiosidades que acreditarem ser de interesse dos demais.

A construção do mapa conceitual ocorrerá em equipes de quatro integrantes, os estudantes poderão definir os integrantes do grupo por afinidade ou estes poderão ser definidos pelo professor. Os estudantes terão o tempo de uma aula para elaborar e realizar a entrega dos mapas conceituais produzidos.

Os mapas conceituais deverão possuir todos os conceitos estudados nas aulas anteriores acerca do som, com conexões bem realizadas, os estudantes podem ainda incluir em seus mapas conceituais as informações que considerarem curiosas ou importantes acerca do tema, sua manifestação no cotidiano, exemplos de aplicação dos conceitos estudados, figuras, recortes, representações artísticas ou o que acreditar ser necessário.

Souza Junior et al. (2017, p. 5) destacam o potencial dos mapas conceituais como instrumentos avaliativos ao afirmar que,

A partir de um mapa conceitual elaborado sobre um conteúdo em foco, o professor pode extrair várias informações podendo ser utilizadas para ajudar o aluno durante o processo de construção do conhecimento, pois, através do mapa é possível, por exemplo, analisar se o aluno apresenta algum conceito equivocado, sua habilidade de organização e estruturação.

A seguir, na Figura 13, está representado um modelo de mapa conceitual que pode ser utilizado pelo professor para realizar a correção dos mapas construídos pelos estudantes, tal representação servirá apenas como uma base para a correção tendo em vista que cada grupo pode criar conexões diversas acerca do conteúdo, a única regra aqui é que tais conexões sejam pertinentes e que os conceitos básicos sejam respeitados e encadeados de forma correta.

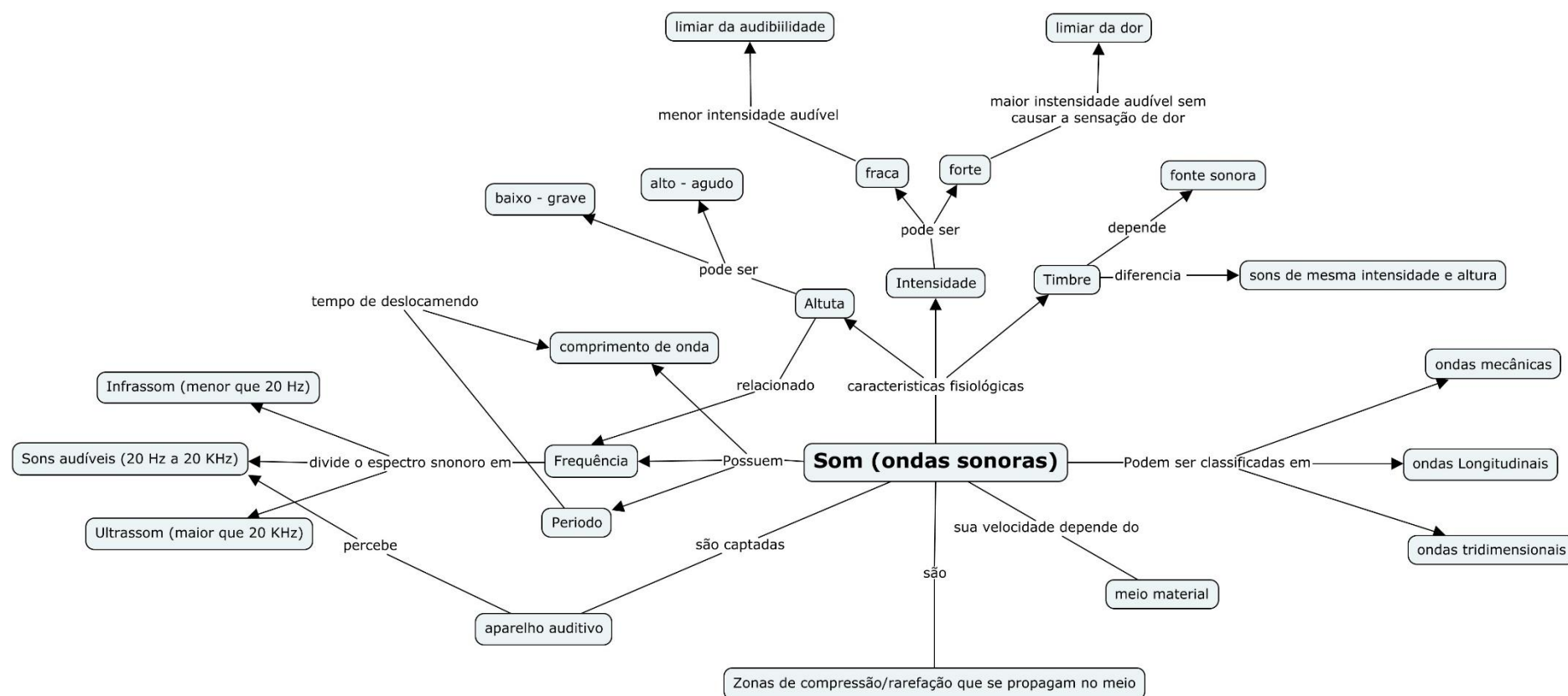


Figura 13. Modelo de mapa conceitual acerca do som. Fonte. Própria.

11 CONCLUSÃO

A acústica é um dos conteúdos de Física que geralmente é apresentado aos estudantes no segundo ano do ensino médio, apesar de não ser uma regra, no entanto muitas vezes essa parte da Física é deixada de lado em detrimento de outros conteúdos, todavia alguns professores reconhecem a importância da acústica para a melhor formação dos seus estudantes, bem como reconhecem que a acústica é uma das partes da Física que podem ser observadas em uma diversa gama de situações cotidianas, pensando nesses professores, que muitas vezes carecem de materiais de apoio para realizarem suas aulas é que esse trabalho foi desenvolvido.

A sequência de ensino aqui apresentada surge como uma estratégia para o ensino de acústica, e pode auxiliar os estudantes a compreenderem o conceito de som como ondas criadas por compressões/rarefações em um meio, e sendo assim poderá, por conseguinte classificar as ondas sonoras como ondas mecânicas, além disto a forma como a sequência foi pensada permite aos estudantes compreenderem as principais características das ondas sonoras de forma conceitual e audiovisual a partir de recursos como figuras, gifs, slides, simulações computacionais e áudios e vídeos.

A partir da abordagem apresentada os professores podem desenvolver suas aulas contextualizando o conteúdo a partir de dois focos, a relação existente entre as ondas sonoras e o sistema auditivo humano, assim como a partir produção do som em instrumentos musicais, que muito provavelmente alguns dos estudantes da sala podem saber tocar, mas, no entanto, não compreendem em si o processo pelo qual o som é originado. A sequência de ensino apresenta ainda caráter interdisciplinar ao ponto em que realiza uma junção entre a Física e a Biologia por meio da simulação computacional ao tratar da acústica utilizando os elementos da audição humana, a interdisciplinaridade é um elemento muito importante para o ensino uma vez que permite que as disciplinas escolares podem ser pensadas como complementares umas às outras e não disciplinas com início, meio e fim em si mesma.

O viés de história da ciência, introduzido na primeira aula da sequência, além de mostrar aos estudantes que os sons intrigam a humanidade a muito tempo, sendo os primeiros relatos de seu estudo advindo da Grécia Antiga, quais os resultados mais relevantes datam do século VI a.c. auxilia ainda os estudantes a entenderem que a

acústica é fruto é o resultado de uma soma de trabalhos, pesquisas e experimentações que foram realizadas ao longo do tempo sobre os mais diferentes contextos, isto é, a acústica é um ramo da Física que se construiu ao longo do tempo e que pode a qualquer momento ser incrementado, tendo em vista que a ciência esta em constante evolução.

Com a elaboração da sequência conclui-se que o objetivo do trabalho foi alcançado pois, apresentamos aos professores do Brasil uma nova alternativa para que possam desenvolver o ensino da acústica em suas aula de forma contextualizada e particularmente envolvente ao ponto em que os estudantes são chamados a verificarem o estado da sua audição, bem como através do trabalho em conjunto na construção de mapas conceituais, em que cada membro do grupo pode expressar suas opiniões e diagramar o conhecimento que construiu durante a aplicação da sequência de ensino.

Salienta-se também que construir este trabalho foi especialmente relevante, pois, possibilitou realizar uma investigação acerca das formas como os instrumentos musicais vêm sendo empregados no ensino da acústica. Conhecer estas formas de trabalhar a acústica, tendo como principal foco os instrumentos musicais, pode possibilitar que o professor de Física descubra e adapte formas diversas de levar tais elementos às suas aulas, as tornando mais valorosa aos olhos dos estudantes e por conseguinte podendo originar uma aprendizagem significativa.

Por fim, destaco ainda que, o fato desta sequência didática não ter sido empregada em sala de aula não reduz em nada seu mérito, esse fato, por outro lado, abre o espaço para que trabalhos futuros sejam realizados, a exemplo da avaliação da implementação da sequência em sala de aula, sendo estas, a aceitação por parte dos estudantes e a averiguação da aprendizagem dos conceitos tratados em aula, para tanto deixo, no Apêndice 2, um questionário para que através deste possa ser realizada a avaliação da sequência didática, para que desta maneira sua efetividade, suas potencialidades e fragilidades possam ser apontadas. Outra proposta de trabalho futuro é a aplicação da sequência didática, sendo esta agora desenvolvida na forma de projeto, em conjunto com professores de diferentes áreas do conhecimento.

REFERÊNCIAS

- ALVES FILHO, J. de P.; PINHEIRO, T.; PIETROCOLA, . A eletrostática como exemplo de transposição didática. *In*: PIETROCOLA, M. **Ensino de física: conteúdo, metodologia e epistemologia numa concepção integradora**. Florianópolis: ed. da UFSC, p. 77-99, 2001.
- ASTOLFI, J-P e DEVELAY, M. **A Didática das Ciências**. Papirus. Campinas, 1995.
- BALZAN, R. L.; CUNHA, E. da S. Da Física à Prática em Conjunto Musical: Práticas Interdisciplinares entre o Ensino da Acústica e a Educação Musical na EJA. *In*: **XVIII ENCONTRO REGIONAL SUL DA ABEM**. 2018.
- BATISTA, J. L. de P. **Uma proposta de ensino de acústica a partir da análise dos timbres de instrumentos musicais do samba**. 2016. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Matemática) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia 2016.
- BEZERRA, D. P. et al. A evolução do ensino da física–perspectiva docente. **Scientia Plena**, v. 5, n. 9, 2009.
- BRAGA, N. C. **Medida de nível sonoro**. (INS576). Disponível em: <http://www.newtoncbraga.com.br/index.php/component/content/article/52-artigostecnicos/artigos-diversos/9299-medidas-de-nivel-sonoroins576?tmpl=component&print=1&page=> Acesso em 24 julho de 2020.
- BRASIL. Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais Ensino Médio (PCN+): Física. Brasília: MEC, 2002.
- BRASIL. Parâmetros Curriculares Nacionais Ensino Médio. Disponível em: <<http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/ciencian.pdf>>. Acesso em 24 de março de 2020.
- BRASIL. Ministério da Educação. **Base Nacional Comum Curricular**. Brasília, 2018.
- BROCKINGTON, G.; PIETROCOLA, M. Serão as Regras da Transposição Didática Aplicáveis aos Conceitos de Física Moderna?. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 10, n. 3, p. 387-404, 2005.
- CAMELLERI, M.; CUNHA, N. T. Ruído: Atenção perigo! Proteção. **Cochlea**, Austrália, 01 de junho de 2017. Disponível em: < <http://www.cochlea.org/po/ruído>>. Acesso em 02 de abril de 2021.
- CAVALCANTE, J. et al. Física e Música: uma proposta interdisciplinar. **Revista Areté| Revista Amazônica de Ensino de Ciências**, v. 5, n. 9, 2017.
- CESCHI, W. H. G. **Física e o som: possibilidades didáticas e experimentais para o ensino de acústica**. 2015. 61 f. Trabalho de conclusão de curso (licenciatura - Física) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, 2015.

CHEVALLARD, Yves. Sobre a teoria da transposição didática: algumas considerações introdutórias. **Revista de educação, ciências e Matemática**, v. 3, n. 2, 2013.

COELHO, A. L. M. de B. **Aplicação do monocórdio e o uso de elementos musicais perceptuais como estruturantes para o ensino de conceitos da física ondulatória**. 2016. 161 f., il. Dissertação (Mestrado Profissionalizante em Ensino de Física) — Universidade de Brasília, Brasília, 2016.

COELHO, S. M.; MACHADO, G. R. Acústica e música: uma abordagem metodológica para explorar sons emitidos por tubos sonoros. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 32, n. 1, p. 207-222, 2015.

COLANGELO, A. **O ensino de física e a música: a experiência de um futuro professor frente o desafio de ensinar**. 2013. 51 f. Trabalho de conclusão de curso (licenciatura - Física) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, 2013.

DE PINHO ALVES FILHO, Jose. Regras da transposição didática aplicadas ao laboratório didático. **Caderno brasileiro de ensino de Física**, v. 17, n. 2, p. 174-188, 2000.

DOMINGUINI, L. A transposição didática como intermediadora entre o conhecimento científico e o conhecimento escolar. **Revista Eletrônica de Ciências da Educação**, v. 7, n. 2, 2008.

DONOSO, J. P. et al. A Física do violino. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 30, n. 2, p. 2305–1, 2008.

DOS SANTOS FERNANDES, C.; MARQUES, C. A. A contextualização no ensino de ciências: a voz de elaboradores de textos teóricos e metodológicos do Exame Nacional do Ensino Médio. **Investigações em ensino de ciências**, v. 17, n. 2, p. 509-527, 2016.

FERREIRA, M; ROCHA, J. V. da R.; FILHO, O. L. da S. Sequência didática para o ensino de acústica. **Physicae Organum**, vol. 5, n. 1, p. 27-38, Brasília, 2019.

FREIRE, P. **Pedagogia do oprimido**. 17.ed. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1987.

GIL, A. C. et al. **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo: Atlas, 2002.

GOTO, M. Física e música em consonância. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 31, n. 2, p. 2307, 2009.

GRILLO, M. L. N. et al. A acústica musical no renascimento da música. Disponível em:
<[http://www.13snhct.sbhct.org.br/resources/anais/10/1343049780_ARQUIVO_AACU
STICAMUSICALNORENASCIMENTODAMUSICA.pdf](http://www.13snhct.sbhct.org.br/resources/anais/10/1343049780_ARQUIVO_AACU%20STICAMUSICALNORENASCIMENTODAMUSICA.pdf)>. Acesso em: 18 de julho de 2020.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R. **Fundamentos de Física: Gravitação, Ondas e Termodinâmica**. 10 ed. vol. 2. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora Ltda, 2013.

- HANSEN, J. T. **Netter Anatomia clínica**. 3ª edição. Elsevier Brasil, 2015.
- HENRIQUE, L. L. **Acústica Musical**. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 2002.
- HEWITT, P. G. **Física conceitual**. 11ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2012.
- INSTITUTO DE EDUCAÇÃO DA FACULDADE DE LISBOA. As leis das cordas vibrantes. Disponível em: <
<http://www.educ.fc.ul.pt/icm/icm2000/icm34/Mersenne.htm#:~:text=Baseando%2Dse%20nas%20leis%20das,frequ%C3%A7%C3%A7%C3%B5es%20das%20cordas>>. Acesso em: 17 julho 2020.
- KATO, D. S.; KAWASAKI, C. S. As concepções de contextualização do ensino em documentos curriculares oficiais e de professores de ciências. **Ciência & Educação** (Bauru), v. 17, n. 1, p. 35-50, 2011.
- KATO, D. S.; KAWASAKI, C. S. O significado pedagógico da contextualização para o ensino de ciências: análise dos documentos curriculares oficiais e de professores. **Anais do VI Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências**, 2007.
- KRUMMENAUER, W. L.; PASQUALETTO, T. I.; COSTA, S. S. C. da. O uso de instrumentos musicais como ferramenta motivadora para o ensino de acústica no ensino médio. **Física na Escola**, v. 10, n. 2, 2009.
- KUMMER, Tarcísio. Conhecimento, conhecimento científico e conhecimento do senso comum. **Revista Roteiro**, Ed. UNOESC: v.22, n.42, p. 45-56.
- LAGO, B. L. A guitarra como um instrumento para o ensino de física ondulatória. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 37, n. 1, p. 1504, 2015.
- LIMA, D. F. A importância da sequência didática como metodologia no ensino da disciplina de física moderna no ensino médio. **Revista Triângulo**, v.11, n.1, p.151-162, 2018.
- LIMA, D. O. **Instrumentos musicais no ensino de acústica: uma proposta com enfoque histórico-epistemológico em uma unidade de ensino potencialmente significativa**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Física) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, Araraquara, 2018.
- LIMA, D. O.; DAMASIO, F. O violão no ensino de acústica: uma proposta com enfoque histórico-epistemológico em uma unidade de ensino potencialmente significativa. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 36, n. 3, p. 818-840, 2019.
- MABUNDA, J. M. **Estudo do impacto do uso de instrumentos musicais tradicionais no ensino da acústica: Caso do Chitende**. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em ensino de Física) – Universidade Pedagógica de Moçambique, Gaza, 2014.
- MACHADO, A.R.; CRISTOVÃO, V.L.L. A construção de modelos didáticos de gêneros: aportes e questionamentos para o ensino de gêneros. **Revista Linguagem em (Dis)curso**. v.6, n. 3. set/dez., 2006.

MACHADO, D. V.; BELMONTE, V. N.; MATTOS, B. Uma metodologia para produção de vídeoaulas de apoio didático no processo de ensino aprendizagem em Física.

Research Gate. Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/Bernardo-Tavares/publication/316555135_UMA_METODOLOGIA_PARA_PRODUCAO_DE_VIDEOAULAS_DE_APOIO_DIDATICO_NO_PROCESSO_DE_ENSINO_APRENDIZAGEM_EM_FISICA/links/5903b947aca272116d2fbbef/UMA-METODOLOGIA-PARA-PRODUCAO-DE-VIDEOAULAS-DE-APOIO-DIDATICO-NO-PROCESSO-DE-ENSINO-APRENDIZAGEM-EM-FISICA.pdf>. Acesso em 02 de abril de 2021

MONTEIRO JÚNIOR, F. N.; ALBARRACÍN, L. M. M. Ciência e música nas melodias da zampoña. **Revista Semiárido De Visu**, v. 1, n. 2, p. 80-91, 2011.

MOORE, K. L.; DALLEY, A. F.; AGUR, A. M. R. **Anatomia Orientada Para a Clínica**. 7ª Edição. Rio de Janeiro, 2014.

MOREIRA, M. A.; ROSA, Paulo RS. Pesquisa em ensino: Métodos qualitativos e quantitativos. **Subsídios metodológicos para o professor pesquisador em ensino de ciências**, v. 1, 2009.

MOREIRA, M. M. P. C.; ROMEU, M. C. O ensino de acústica no ensino médio da rede pública por meio de instrumentos musicais de baixo custo. **Experiências em Ensino de Ciências**, v.14, n.2, 2019.

MORGADO, J. C.; FERNANDES, P.; MOURAZ, A. Contextualizar o currículo para melhorar a aprendizagem dos alunos. *In: Livro de atas do XI congresso da Sociedade Portuguesa de Ciências da Educação*. Vol. 3. 2011.

MOURA, D. de A.; NETO, Pedro Bernardes. O ensino de acústica no Ensino Médio por meio de instrumentos musicais de baixo custo. **Física na Escola**, v. 12, n. 1, p. 12-15, 2011.

NEVES, K. C. R.; BARROS, R. M. de O. Diferentes olhares acerca da transposição didática. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 16, n. 1, p. 103-115, 2011.

NFORMÁTICA EDUCATIVA. Sistema solar. Disponível em: <http://lh5.googleusercontent.com/-2c0V53s3Vhl/TvMOWiE7ENI/AAAAAAAAAfs/9rq_iCbkbbaU/s1024/02_Sistema_Solar_Jose%252520Henrique%252520e%252520Daniela.jpg>. Acesso em 02 de abril de 2021.

OLIVEIRA, A. L. **Fenômenos ondulatórios e os instrumentos musicais: ensino por meio dos três momentos pedagógicos**, 2018. Dissertação (Mestrado em Educação em Ciências e Matemática) – Universidade Federal de Goiás. Goiânia, 2018.

PEREIRA, R. M. **Abordagem ativa da acústica no ensino médio com a construção de artefatos musicais pelos alunos**. 2013. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências Exatas) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2013.

PERETTI, L.; COSTA, G. M. T. Sequência didática na matemática. **Revista de Educação do IDEAU**, v. 8, n. 17, 2013.

PEREZ, L. R.; GRILLO, M. L. **A Física e a música do quarteto de cordas: 2 violinos, 1 viola e 1 violoncelo: Incluindo sugestões de experimentos com smartphones.** 1 ed. São Paulo: editora Livraria da Física, 2019.

PIETROCOLA, M. Inovação curricular em Física: transposição didática e a sobrevivência dos saberes. **Encontro de Pesquisa em Ensino de Física.** Curitiba, 2008.

PINTO, M. M. **A utilização de instrumentos musicais e aparatos computacionais como estratégia de promoção da aprendizagem significativa no campo conceitual da física ondulatória, na educação de jovens e adultos.** 2010. 176 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências)-Universidade de Brasília, Brasília, 2010.

PRODANOV, C. C.; FREITAS, E. C. de. Metodologia do trabalho científico [recurso eletrônico]: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico. Novo Hamburgo: FEEVALE, 2013. SÃO PAULO. Lei Nº 12300, de 16 de março de 2006. **Institui a Política Estadual de Resíduos Sólidos e define princípios e diretrizes,** 2006.

PUJOL, R. CUNHA, N. T. Campo auditivo Humano. Cochlea. Disponível em: <<http://www.cochlea.org/po/som/campo-auditivo-hum>>. Acesso em: 02 de abril de 2021.

RICARDO, E. C. A Problematização e a Contextualização no Ensino das Ciências: acerca das ideias de Paulo Freire e Gérard Fourez. **IV encontro nacional de pesquisa em educação em ciências**, p. 1-12, 2003.

RICARDO, E. C. **Problematização e contextualização no ensino de física.** Ensino de Física (Coleção Ideias em Ação). São Paulo: Cengage Learning, p. 29-51, 2010.

RODRIGUES, É. L. **Ensino de acústica: um arranjo entre física e música.** 2018. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba 2018.

RUI, L. R.; STEFFANI, M. H. Física: Som e audição humana. **Simpósio Nacional de Ensino de Física (17.: 2007 jan. 29/fev. 02: São Luís, MA).[Anais].** São Luis: SBF, 2007., 2007.

SANTOS, C. F dos; MARQUES, C. Al. A contextualização no ensino de ciências: a voz de elaboradores de textos teóricos e metodológicos do Exame Nacional do Ensino Médio. **Investigações em ensino de ciências**, v. 17, n. 2, p. 509-527, 2016.

SANTOS, R. S.; F, P. S. C.; ROCHA, Z. F. D. C. Descobertas sobre a teoria do som: a história dos padrões de Chladni e sua contribuição para o campo da acústica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 40, n. 2, 2018.

SANTOS, W. L. P. dos. Contextualização no ensino de ciências por meio de temas CTS em uma perspectiva crítica. **Ciência & Ensino (ISSN 1980-8631)**, v. 1, 2008.

SANTOS, W. L. P. dos; MORTIMER, E. F. Uma análise de pressupostos teóricos da abordagem CTS (Ciência-Tecnologia-Sociedade) no contexto da educação

brasileira. **Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências (Belo Horizonte)**, v. 2, n. 2, p. 110-132, 2000.

SERWAY, R.; JEWETT JR., J. W. **Princípios de Física: oscilações, ondas e termodinâmica**. 5. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2014. v. 2.

SILVA JR, R. S.; MILTÃO, M. S. R. O fenômeno acústico e o ensino médio: utilização de instrumentos musicais como incentivo para o ensino de acústica; o caso do cavaquinho. **Caderno de Física da UFES**, Feira de Santana-BA, vol. 13, nº 2, 1-36, jul-dez 2015.

SILVA, A. R. X.; OLIVEIRA, P. B. S.; TAVEIRA, K. V. M. **21. Sistema auditivo**. Anatomia e fisioterapia. Disponível em: <<https://anatomiaefisioterapia.com/21-sistema-auditivo/>>. Acesso em: 02 abril de 2021.

SILVA, J. A. V. da. **Banda sustentável: confecção de instrumentos musicais no ensino da acústica**. 2018. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) – Universidade de Brasília, Brasília, 2018.

SILVA, L. F. da; VEIT, E. A. Uma experiência didática com aquisição automática de dados no laboratório de física do ensino médio. **Experiências em Ensino de Ciências**, v. 1, n. 3, p. 18-32, 2006.

SILVERTHORN, D. U. **Fisiologia humana: uma abordagem integrada**. 7. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.

SIQUEIRA, M.; PIETROCOLA, M. A Transposição Didática aplicada a teoria contemporânea: A Física de Partículas elementares no Ensino Médio. **X Encontro de Pesquisa em Ensino de Física**, Londrina, v. 13, p. 14, 2006.

SOUZA JÚNIOR, M. V. et al. Mapas conceituais no ensino de física como estratégia de avaliação. **Scientia Plena**, v. 13, n. 1, p. 1-11, 2017.

VILLAS BOAS, N. et al. **Física**, v. 2, São Paulo: Editora Saraiva. 2010.

VOLO, J. H.; FRANCO, H. **Audição Humana**. 2017.

ZABALA, A. **A prática educativa: Como ensinar**. Porto Alegre: Artmed, 1998.

APÊNDICE 1 – Construindo uma placa de Chladni

Materiais

- Plástico filme;
- Caixa de som Bluetooth;
- Smartphone;
- Grãos de açúcar (ou arroz);
- Vasilhame.

Montagem

1º Passo - Posicione o vasilhame sobre uma superfície e logo após ponha a caixa de som, com o modo bluetooth ativado, dentro do vasilhame.



Figura 14. Montagem da placa de Chladni 1º passo. Fonte. Própria.

2º Passo - Tampe a abertura do vasilhame com o plástico filme, neste momento deve-se tomar atenção para que o plástico fique bem esticado na abertura e fixo ao vasilhame.



Figura 15. Montagem da placa de Chladni 2º passo. Fonte. Própria.

3º Passo - Com o aparato montado conecte o smartphone à caixa de som, disponha sobre a abertura recoberta por plástico filme grãos de açúcar ou arroz.



Figura 16. Montagem da placa de Chladni 3º passo. Fonte. Própria.

4º Passo - Reproduza diferentes sons e observe o que ocorre com os grãos.

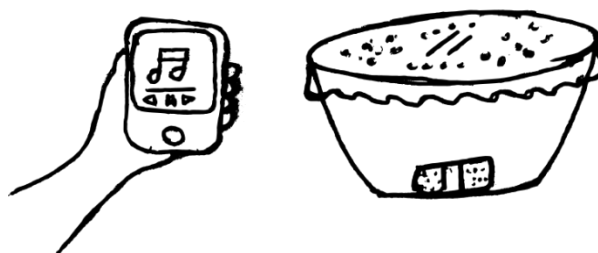


Figura 17. Montagem da placa de Chladni 4º passo. Fonte. Própria.

Observação: Na ausência da caixa de som o smartphone pode ser utilizado em seu lugar para reproduzir o áudio.

Explicação

Ao reproduzir um som a membrana do alto-falante da caixa de som é movimentada na mesma frequência do som emitido. O movimento da membrana do alto-falante cria zonas de compressão/rarefação no ar, presente no interior do vasilhame, essas zonas de compressão/rarefação se propagam tridimensionalmente no espaço até que atingem a película de plástico filme, que passa então a oscilar ordenadamente com a mesma frequência do som emitido pelo alto-falante, comportando-se então como uma placa ressonante, também conhecidas como placa de Chladni.

Ao dispor no plástico filme grãos de açúcar ou arroz estes começam a dar “pequenos saltos”, tendendo a posicionar-se em configurações específicas, isto ocorre, pois, as ondas tridimensionais são convertidas em ondas bidimensionais estacionárias no plástico filme, e apesar de parecer que toda a área do plástico filme passa a oscilar quando as ondas sonoras tridimensionais são convertidas em ondas bidimensionais isto não ocorre, pois, a depender da frequência do som emitido pelo alto-falante algumas regiões não vibram. Desta forma os grãos tendem a ser direcionados para estes pontos, sendo chamados nós, enquanto os espaços em que os grãos não ocupam são ditos ventres, estes pontos são aqueles que ocorre a vibração com maior amplitude na placa ressonante.

APÊNDICE 2 – Questionário de avaliação do uso da sequência didática nas aulas

- 1) Em sua opinião as aulas que buscam relacionar a Física com instrumentos musicais, bem como, disciplinas como História e Biologia facilita a aprendizagem dos conceitos físicos que são partes da acústica?
- 2) Em sua opinião esta sequência didática facilitou o seu aprendizado?
- 3) Você gostaria de ter mais aulas que utilizasse essa metodologia?
- 4) Em que parte das aulas você teve maior dificuldade em entender o conteúdo?
- 5) Em que parte das aulas você teve maior facilidade em entender o conteúdo?
- 6) O que você acredita que pode ser melhorado nessa sequência didática?
- 6) A respeito da atuação do professor, como você considera seu trabalho em sala de aula?
- 6) Você acredita que a construção de mapas conceituais pode ajudar no processo de aprendizado? Explique.
- 7) Algum detalhe em especial lhe chamou a atenção durante as aulas da sequência didática? Caso sim, qual?
- 8) Deixe um comentário, crítica ou sugestão sobre as aulas da sequência didática.