A ACÚSTICA NO ENSINO FUNDAMENTAL: UMA ABORDAGEM INVESTIGATIVA UTILIZANDO INSTRUMENTOS MUSICAIS

WIVERSON MOURA SILVA

Presidente Prudente
2020

A ACÚSTICA NO ENSINO FUNDAMENTAL: UMA ABORDAGEM INVESTIGATIVA UTILIZANDO INSTRUMENTOS MUSICAIS

WIVERSON MOURA SILVA

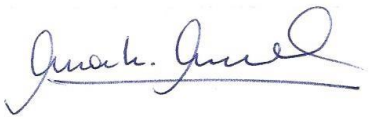
Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Unesp no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física

Orientadora: Profa. Dra. **Ana Maria Osório Araya**

Presidente Prudente
2020

ATA DA DEFESA PÚBLICA DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DE WIVERSON MOURA SILVA, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE FÍSICA, DA FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA.

Aos 10 dias do mês de setembro do ano de 2020, às 10:00 horas, reuniu-se Videoconferência, a Comissão Examinadora da Defesa Pública, composta pelos seguintes membros: Profa. Dra. ANA MARIA OSORIO ARAYA - Orientador(a) do(a) Departamento de Física / Faculdade de Ciencias e Tecnologia de Presidente Prudente, Prof. Dr. AGENOR PINA DA SILVA do(a) Instituto de Física e Química / Universidade Federal de Itajubá -UNIFEI, Prof. Dr. MOACIR PEREIRA DE SOUZA FILHO do(a) Departamento de Física / Faculdade de Ciencias e Tecnologia de Presidente Prudente, sob a presidência do primeiro, a fim de proceder a arguição pública da DISSERTAÇÃO DE MESTRADO de WIVERSON MOURA SILVA, intitulada **A ACÚSTICA NO ENSINO FUNDAMENTAL: UMA ABORDAGEM INVESTIGATIVA.** Após a exposição, o discente foi arguido oralmente pelos membros da Comissão Examinadora, tendo recebido o conceito final: ***APROVADO***. Nada mais havendo, foi lavrada a presente ata, que após lida e aprovada, foi assinada pela presidente da Comissão Examinadora.

Profa. Dra. ANA MARIA OSORIO ARAYA 

Prof. Dr. AGENOR PINA DA SILVA **VÍDEOCONFERÊNCIA**

Prof. Dr. MOACIR PEREIRA DE SOUZA FILHO **VÍDEOCONFERÊNCIA**

Ficha Catalográfica

S586a

Silva, Wiverson Moura
A ACÚSTICA NO ENSINO FUNDAMENTAL: UMA ABORDAGEM INVESTIGATIVA / Wiverson Moura Silva. -- Presidente Prudente, 2020
105 p. : il., tabs., fotos

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências e Tecnologia, Presidente Prudente
Orientadora: Ana Maria Osório Araya

1. Acústica. 2. Ensino contextualizado. 3. Ensino Investigativo. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp.
Biblioteca da Faculdade de Ciências e Tecnologia, Presidente Prudente.
Dados fornecidos pelo autor(a).

Dedico esta dissertação à minha amada esposa Daniele, que tem me apoiado em tudo, sobretudo no Mestrado Profissional, e à minha filhinha Gabriela que impulsiona e completa nossas vidas de uma forma muito especial.

Agradecimentos

A Deus, fonte de toda a sabedoria e conhecimento.

À Sociedade Brasileira de Física pela iniciativa, incentivo e oportunidade brindada aos professores que tanto precisam de uma formação continuada.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) pelo Apoio financeiro – Código de Financiamento 001.

À Universidade Estadual Paulista, por disponibilizar sua infraestrutura para a realização deste mestrado.

A minha orientadora professora Ana Maria pela paciência, orientação e pela amizade.

A todos os professores do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, que muito me ensinaram e contribuíram significativamente para meu crescimento acadêmico e profissional.

Aos meus amigos da turma do MNPEF, que tanto me ajudaram ao longo da jornada.

A minha esposa pelo apoio e compreensão e incentivo na realização desta dissertação.

A ACÚSTICA NO ENSINO FUNDAMENTAL: UMA ABORDAGEM INVESTIGATIVA UTILIZANDO INSTRUMENTOS MUSICAIS

Wiverson Moura Silva

Orientadora

Ana Maria Osório Araya

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação, Mestrado Nacional Profissional de Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física

Resumo

A acústica é a área da Física que trata das leis do comportamento do Som e dos fenômenos ondulatórios que lhes são relacionados. Os sons estão presentes em nosso cotidiano de muitas formas, indicando o funcionamento de máquinas, notificando o recebimento de mensagens, em uma conversa, orquestra, e na natureza de infinitas formas. Tomando como fundamento a importância do Som, procura-se contribuir com o ensino da acústica, necessário no ensino fundamental. Sabe-se que este tema é tratado muito superficialmente nas escolas públicas do Estado de São Paulo, sendo o enfoque principal a intensidade sonora e os seus efeitos na audição humana, com pouca ou quase nada da contextualização necessária para a aprendizagem. Pensando nisto esta dissertação tem por objetivo produzir um material didático utilizando-se da metodologia de Ensino Investigativo (EI). O ensino por investigação obtém informações sobre problemas, procurando respostas no grupo através do diálogo com a monitoria do professor. Pretende-se auxiliar o professor no ensino da acústica, bem como despertar o interesse do aluno sobre a relevância deste, sobretudo sua relação com a música e suas características que permitem a aplicação em atividades diárias.

Palavras Chave: Acústica. Ensino Investigativo. Ensino contextualizado

Wiverson Moura Silva

Advisor

Ana Maria Osorio Araya

Master's dissertation presented to the Graduate Program, National Professional Master of Physics Education (MNPEF), as part of the necessary requirements to obtain the title of Master in Physics Education

Abstract

Acoustics is the area of Physics that deals with the laws of sound behavior and related wave phenomena. Sounds are present in our daily lives in many ways, indicating the functioning of machines, notifying the receipt of messages, in a conversation, in an orchestra, and in the nature of infinite forms. Based on the importance of sound, we try to contribute to the teaching of acoustics. When it reaches education in public schools in the state of São Paulo, it is known that this topic is treated very superficially on elementary school; the main focus is on sound intensity and its effects on human hearing. With this in mind, this dissertation aims to produce a didactic material using the Investigative Teaching (EI) methodology. Research teaching obtains information about problems, looking for answers in the group through dialogue with teacher monitoring. It is intended to assist the teacher in teaching acoustics, as well as to awaken the student's interest in the relevance of this, especially its relationship with music and its characteristics that allow the application in daily activities.

Keywords: Acoustics. Sequence of Investigative Teaching. Active methodologies.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Tipos de ondas mecânicas.....8
Figura 2 Ondas transversais e longitudinais.....8
Figura 3 Relação entre o raio incidente e refletido.....12
Figura 4 Anatomia do Ouvido.....18
Figura 5 Corte transversal de cóclea com seus principais componentes.....19
Figura 6 Órgão de Corti.....20
Figura 7 Diagrama da forma de deslocamento do órgão de Corti.....21
Figura 8 Deflexão dos estereocilios produzindo a sinapse.....22
Figura 9 Representação esquemática do ouvido humano e a recepção das frequências de ondas sonoras.....23
Figura 10 Trajeto percorrido pelas fibras nervosas provenientes da cóclea até o cérebro.....24
Figura 11 Alunos e o “Kit” 1 para a realização do experimento.....32
Figura 12 Iniciando a construção do instrumento Kit 1.....33
Figura 13 Alunos apresentando o instrumento construído (Kit 1).....33
Figura 14 Alunos manuseando o material do Kit 2.....34
Figura 15 Preenchimento das garrafas com água.....34
Figura 16 Explicação dos alunos, no quadro de giz.....35
Figura 17 Alunos manuseando o Kit 3.....36
Figura 18 Montagem do instrumento musical com o Kit 3.....36
Figura 19 Instrumento musical elaborado com o material do Kit 3.....37

SUMÁRIO

Introdução.....1

Capítulo 1

1.Base teórica do conteúdo.....7

1.1 Ondas sonoras.....7

1.2 Fenômenos Ondulatórios do som.....12

1.3. Fisiologia da audição.....12

1.4.O Caminho do Som.....23

Capitulo 2

2.0 Sobre o referencial teórico.....25

Capitulo 3

3.0 Metodologia e atividades experimentais no ensino investigativo.....30

3.1 Sequência de ensino investigativo.....30

3.2.Materiais e Preparação dos Kits.....31

3.2.1 Kit1-Tubo de PVC e EVA.....32

3.2.2 Kit 2-Garrafas de vidro e hastes de ferro.....34

3.2.3.Kit 3-Bambu e Barbante.....35

3.3. Texto para consolidação de conceitos e idéias.....37

3.3.1 Texto 1.....37

3.3.2. Texto 2.....43

Capítulo 4

4.0 Resultados e discussão 48

Capítulo 5

5.0.Considerações finais.....62

Referencias.....64

APENDICES.....67

INTRODUÇÃO

Apresentação

Sou professor de ciências em uma escola de ensino fundamental do interior do Estado de São Paulo, há 5 anos, e tenho me empenhado em fazer das minhas aulas algo diferente dentro do contexto de uma escola pública, sem muitos recursos e com um currículo à cumprir que aborda conteúdos da ciência importantes para o entendimento dos fenômenos que nos rodeiam.

Dentre os vários conteúdos, que eu tive dificuldade de ensinar aos meus alunos, se encontram aqueles relacionados ao Som, pois não conhecia uma metodologia que fizesse com que meus alunos pudessem entender a presença do Som na nossa vida e suas características Neste sentido, o Som e a audição são conteúdos fundamentais uma vez que trata da obtenção de informações do meio ambiente que são registradas e analisadas por nosso cérebro.

Justificativa

Na análise do Currículo do Estado de São Paulo: Ciências da Natureza e suas Tecnologias (SÃO PAULO, 2011), se apresenta um dos fundamentos, para a importância do ensino da Ciência,

> *O estudo de Ciências Naturais tem como um de seus papéis principais a preparação dos jovens cidadãos para enfrentar os desafios de uma sociedade em mudança contínua. O conhecimento científico é um elemento-chave na cultura geral dos cidadãos, pois o acesso a esse conhecimento os habilita tanto para se posicionar ativamente diante das modificações do mundo em que vivem como para compreender os fenômenos observáveis na Natureza e no Universo (SÃO PAULO, p. 31, 2011).*

Compreender os fenômenos observados na natureza, implica em contextualizar o conteúdo para que a aprendizagem das ciências seja significativa. Em alguns casos isto é difícil, mas, no caso dos conteúdos do Som e a audição, temos infinitas formas de levar o aluno a se interessar pelo seu estudo por meio de situações como escutar música, ouvir a voz de uma pessoa, se comunicar com os outros, etc.

A dissertação apresentada surge neste contexto, e mais ainda, leva em conta um documento relevante que traz novos objetivos para a aprendizagem e suas metodologias; a Base Nacional Comum Curricular (BNCC). O documento foi elaborado pelo Ministério da Educação, em parceria com o Conselho Nacional de Secretários de Educação – CONSED e a União Nacional dos Dirigentes Municipais de Educação – UNDIME (BRASIL, 2018).

No texto citado, identifica-se a preocupação com a formação inicial e continuada dos professores e a aprendizagem baseada na construção do conhecimento. Também trata da formação reflexiva e investigativa dos estudantes, fundamentando-se na máxima da aquisição de competências e habilidades a partir de objetos de conhecimentos que permitam essa possibilidade por parte dos estudantes.

A BNCC por si só não alterará o quadro de desigualdade ainda presente na Educação Básica do Brasil, mas é essencial para que a mudança tenha início. Além dos currículos, influenciará a formação inicial e continuada dos educadores, a produção de materiais didáticos, as matrizes de avaliações e os exames nacionais que serão revistos à luz do texto homologado da Base (BRASIL, 2018).

Nessa perspectiva, a área de Ciências da Natureza, por meio de um olhar articulado de diversos campos do saber, precisa assegurar aos alunos do Ensino Fundamental o acesso à diversidade de conhecimentos científicos produzidos ao longo da história, bem como a aproximação gradativa aos principais processos, práticas e procedimentos da investigação científica (BRASIL, 2018). Isto traz um desafio para os professores:

> *Como estimular o interesse e a curiosidade dos alunos para participar de um processo investigativo, na escola, que os leve a questionar e analisar problemas, avaliar resultados e chegar a conclusões significativas para a aquisição de novas habilidades que construirão o conjunto de competências básicas para seu desenvolvimento como cidadão e como ser humano?*

A BNCC, é muito objetiva ao falar sobre a importância do processo investigativo no processo ensino-aprendizagem das ciências da natureza:

> *"A investigação deve ser entendida como elemento central na formação dos estudantes, em um sentido mais amplo, e cujo desenvolvimento deve ser atrelado a situações didáticas planejadas ao longo de toda a educação básica, de modo a possibilitar aos alunos revisitar de forma reflexiva seus*

conhecimentos e sua compreensão acerca do mundo em que vivem" (BRASIL, 2018 pág. 321) .

O quadro 1 apresenta os passos necessários para um ensino investigativo e, um problema que se apresenta é a avaliação. A avaliação é algo difícil à ser realizada no decorrer da sequência de atividades. Pensando em uma avaliação formativa, o quadro abaixo parametriza os instrumentos de avaliação utilizados:

Quadro 1- Sequência de atividades de um processo investigativo

Definição de problemas	• Observar o mundo a sua volta e fazer perguntas. • Analisar demandas, delinear problemas e planejar investigações. • Propor hipóteses.
Levantamento, análise e representação	• Planejar e realizar atividades de campo (experimentos, observações, leituras, visitas, ambientes virtuais etc.). • Desenvolver e utilizar ferramentas, inclusive digitais, para coleta, análise e representação de dados (imagens, esquemas, tabelas, gráficos, quadros, diagramas, mapas, modelos, representações de sistemas, fluxogramas, mapas conceituais, simulações, aplicativos etc.). • Avaliar informação (validade, coerência e adequação ao problema formulado). • Elaborar explicações e/ou modelos. • Associar explicações e/ou modelos à evolução histórica dos conhecimentos científicos envolvidos. • Selecionar e construir argumentos com base em evidências, modelos e/ou conhecimentos científicos. • Aprimorar seus saberes e incorporar, gradualmente, e de modo significativo, o conhecimento científico. • Desenvolver soluções para problemas cotidianos usando diferentes ferramentas, inclusive digitais.
Comunicação	• Organizar e/ou extrapolar conclusões. • Relatar informações de forma oral, escrita ou multimodal. • Apresentar, de forma sistemática, dados e resultados de investigações.

	• Participar de discussões de caráter científico com colegas, professores, familiares e comunidade em geral. • Considerar contra-argumentos para rever processos investigativos e conclusões.
Intervenção	• Implementar soluções e avaliar sua eficácia para resolver problemas cotidianos. • Desenvolver ações de intervenção para melhorar a qualidade de vida individual, coletiva e socioambiental.

Fonte: (BRASIL 2018 pag. 322)

Para finalizar esta introdução, e já de modo à antecipar a pergunta que será formulada, assim como a apresentação dos próximos capítulos, torna-se necessário nos referimos novamente à BNCC : (BRASIL 2018): "***Impossível pensar em uma educação científica contemporânea sem reconhecer os múltiplos papéis da tecnologia no desenvolvimento da sociedade humana***." A investigação de materiais para usos tecnológicos, a aplicação de instrumentos óticos na saúde e na observação do céu, a produção de material sintético e seus usos, as diversas fontes de energia e suas aplicações e, até mesmo, o uso da radiação eletromagnética para diagnóstico e tratamento médico, entre outras situações, são exemplos de como ciência e tecnologia, por um lado, viabilizam a melhoria da qualidade de vida humana, mas, por outro lado, ampliam as desigualdades sociais e a degradação do ambiente. Dessa forma,

> *"...é importante salientar os múltiplos papéis desempenhados pela relação ciência-tecnologia-sociedade na vida moderna e na vida do planeta Terra como elementos centrais no posicionamento e na tomada de decisões frente aos desafios éticos, culturais, políticos e socioambientais" (BRASIL 2018).*

A partir do trecho destacado formula-se a pergunta:

Frente aos desafios do uso da tecnologia no dia a dia dos alunos será que eles conseguem relacionar os efeitos da energia sonora no sistema auditivo com o comportamento do Som?

A resposta a esta pergunta passa pela justificativa, pelos objetivos propostos e a metodologia empregada na pesquisa.

Objetivo Geral

Produzir material didático que favoreça o ensino da acústica para alunos dos anos finais do Ensino Fundamental, utilizando uma abordagem investigativa.

Objetivos Específicos

Fomentar o estudo do Som, sua produção, propagação, percepção e processamento no sistema nervoso;

Levar os alunos a entender como o Som está presente em atividades do dia a dia;

Relacionar a produção do Som com a audição e os estímulos em nosso cérebro;

Confeccionar material didático utilizado em aulas de ciências de outras escolas.

O presente tema foi escolhido por apresentar uma proposta que tem integração com as linhas de pesquisa do MNPEF e a proposta da BNCC (BRASIL, 2018 pág. 321), no que concerne produzir material didático pedagógico que agregue valor e significado ao ensino de Física no ensino fundamental, especificamente na Acústica.

A pesquisa está dividida em quatro capítulos, sendo eles:

1- **Base teórica do conteúdo**, se apresentam os conteúdos mínimos a serem adquiridos pelo professor ou como base para seus estudos sobre o tema acústica;

2- **Sobre referencial teórico**, para metodologia que será empregada se apresentam resumidamente autores reconhecidos;

3- **Metodologia e sequência de atividades,** apresentam as atividades que fazem parte do ensino investigativo e a sequência de aulas.

4- **Resultados,** se analisam os dados obtidos à luz das diretrizes do ensino investigativo e das aulas realizadas.

5- **Considerações finais,** na análise dos resultados podem ser retiradas colocações sobre os aspectos positivos e negativos da pesquisa realizada assim como os apontamentos futuros.

CAPÍTULO I

1. BASE TEÓRICA DO CONTEUDO

1.1 Ondas sonoras

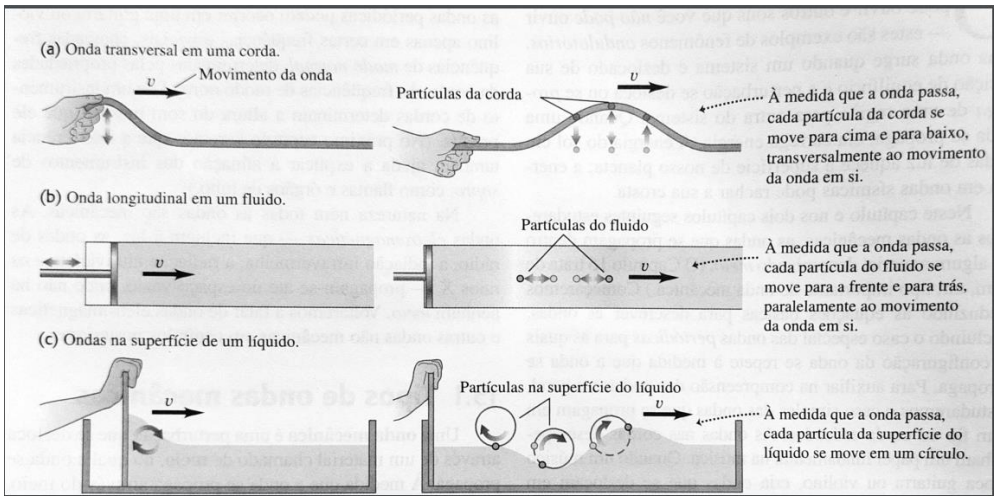
A acústica representa um importante ramo de estudo da física que faz parte da vida do aluno, basta considerar todos os sons que nos cercam. Vivemos imersos em uma atmosfera sonora, cercados de sons de todo tipo, sons emitidos por pessoas, animais, máquinas, o vento que provoca uma infinidade de sons por onde passa e, praticamente tudo o que se move produz algum tipo de Som. Dependendo das características podem ser ruídos ou sons agradáveis.

Diversas formas de produção e detecção de ondas sonoras são utilizadas, e a tecnologia nos disponibiliza uma infinidade de artefatos criados para esse fim, tudo cercado de importância econômica, biológica e social. Nosso aparato natural para detecção de ondas sonoras é uma das janelas conectada a nosso cérebro. A partir dai temos consciência da riqueza de informações presentes no mundo em que vivemos.

As ondas sonoras são ondas mecânicas, que precisam de um meio para se propagar, diferente das ondas eletromagnéticas que se propagam através do espaço vazio, como por exemplo a luz. Existem também uma outra classe de ondas, são as ondas associadas com o comportamento das partículas atómicas e subatômicas (YOUNG E FREEDMAN, 2003 pg.103).

As ondas mecânicas são perturbações que se propagam-no meio material e à medida que a onda se propaga as partículas do meio sofrem deslocamentos de formas diferentes. Se o deslocamento for perpendicular à propagação da onda se diz que as ondas são ondas transversais, como mostra a figura 1a. Se o deslocamento da onda for na mesma direção da perturbação se diz que as ondas são longitudinais, como mostra a figura 1b. Também temos as ondas mistas como mostra a figura 1c., uma placa de vidro oscilando para frente e para trás, dentro de um tanque desloca a água produzindo ondas na mesma direção da perturbação e também na direção perpendicular (YOUNG E FREEDMAN, 2003 pg.103).

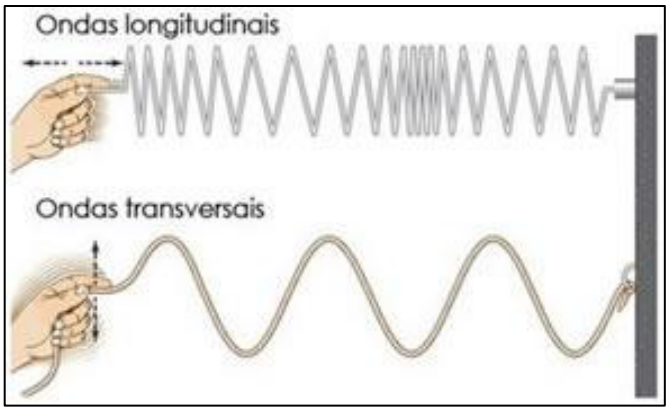
Figura 1: Tipos de ondas mecânicas



Fonte: (YOUNG E FREEDMAN, 2003 pg.104)

Por existirem apenas em meios materiais, as ondas mecânicas são regidas pelas leis de Newton. Ondas mecânicas transversais como as que existem em uma corda esticada, são ondas em que a direção de propagação da onda ocorre perpendicular à oscilação das partículas que compõe o meio. As ondas em que a direção de propagação coincide com a direção do movimento oscilatório das partículas são chamadas de ondas longitudinais (HALLIDAY E RESNICK, 2016 pg.318). Como complemento à figura 1 temos a figura 2 que apresenta as ondas longitudinais e transversais.

Figura 2: Ondas transversais e longitudinais



Fonte http://www.explicatorium.com/cfq-8/caracteristicas-das-ondas.html

Quando se fala de perturbação, queremos dizer que as partículas que compõem o meio vibram em seu ponto de equilíbrio, mas quem se desloca é a perturbação com uma velocidade **v** que depende da origem da perturbação e do meio onde acontece o deslocamento. Quando a perturbação se repete em tempos iguais se diz que a onda é periódica, como acontece quando balançamos a extremidade de uma corda com um movimento repetitivo. As partículas que compõem a corda também realizam um movimento periódico, neste caso o movimento além de ser periódico é oscilatório, ou seja, as partículas se deslocam par acima e para baixo do ponto da origem da perturbação, este é um movimento harmónico simples (MHS).

Segundo Young e Freedman (2008 pg.140) “De todas as ondas mecânicas da natureza, as mais importantes em nosso cotidiano são as ondas longitudinais que se propagam em um meio, em geral o ar, e são chamadas de ondas *sonoras*”. A definição mais geral de Som é a de “uma onda longitudinal que se propaga em um meio material”. Em sua propagação as ondas assumem um comportamento que lhe confere suas propriedades fundamentais, sendo:

A $\boldsymbol{amplitude\ y_m}$ *é* o valor absoluto do deslocamento máximo sofrido por um elemento a partir da posição de equilíbrio quando a onda passa por esse elemento. Como y_m é um valor absoluto é sempre positivo seja ele medido para cima ou para baixo (HALLIDAY E RESNICK, 2016 pg.318).

A $\boldsymbol{fase}$ de uma onda é o argumento $kx - \omega t$ do seno ou cosseno. A função seno e a variação da *fase* da onda com o tempo correspondem à oscilação de um elemento quando a onda passa por esse elemento, e a amplitude da onda determina os extremos do deslocamento (HALLIDAY E RESNICK, 2016 pg.279).

o $\boldsymbol{comprimento\ de\ onda\ \lambda}$, que de acordo com os autores supracitados, é a distância medida paralelamente a direção de propagação da onda) entre repetições da forma de onda. Um comprimento de onda típico é um instantâneo da onda no instante $t = 0$. O parâmetro k é chamado *número de onda* sendo: $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ a unidade do *número de onda* do SI é o radiano por metro ou m^{-1} .

O $\boldsymbol{período\ T}$ de uma onda pode ser definido como o tempo que um elemento leva para realizar uma oscilação completa, quando a onda passa por esse elemento (HALLIDAY E RESNICK, 2016).

A $\boldsymbol{frequência\ angular}$ é uma medida escalar da velocidade de rotação, a frequência angular é a magnitude da velocidade angular da quantidade do vetor, sendo apropriada para o dimensionamento de uma onda, representada pelo parâmetro ω, a unidade de frequência angular no SI é o radiano por segundo (rad/s), então tem- se:

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \qquad 1)$$

A $\boldsymbol{frequência\ f}$ de uma onda é o número de oscilações de uma onda num determinado intervalo de tempo, é definida como $1/T$ e está relacionada à *frequência angular* ω pela equação:

$$f = \frac{1}{T} = \frac{\omega}{2\pi} \qquad 2)$$

A $\boldsymbol{constante\ de\ fase\ \phi}$ ou ângulo de fase depende do deslocamento e da velocidade (do campo elétrico ou pressão do ar), o valor pode ser escolhido de tal forma que a função forneça outro deslocamento e outra inclinação em $x = 0$ para $t = 0$. Pode-se generalizar introduzindo uma *constante de fase* ϕ na função de onda:

$$y = \mathrm{y_m} sen(kx - \omega t) \Longrightarrow y = y_{\mathrm{m}} sen(kx - \omega t + \phi) \qquad 3)$$

Ao se propagar no sentido positivo de x, com toda forma de onda se deslocando de uma distância Δx nessa direção durante um intervalo Δt. A razão $\frac{\Delta x}{\Delta t}$ (ou, no limite infinitesimal dx/dt) é a $velocidade\ v\ da\ onda$.

Uma onda senoidal que se propaga no sentido positivo do eixo x pode ser descrita pela equação:

$$y(x,t) = y_m\, sen(kx - \omega t), \qquad 4)$$

em que y_m é a amplitude (deslocamento máximo) da onda, k é o número de onda, ω é a frequência angular e $kx - \omega t$ é a fase. A relação entre o número de onda e comprimento de onda é dada por:

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} \qquad 5)$$

A relação entre a $frequência\ angular$, a frequência e o período é:

$$\frac{\omega}{2\pi} = f = \frac{1}{T} \qquad 6)$$

A relação entre $velocidade\ v$ e os outros parâmetros de uma onda é:

$$\mathrm{v} = \frac{\omega}{\mathrm{k}} = \frac{\lambda}{\mathrm{T}} = \lambda \mathrm{f} \qquad 7)$$

Toda função da forma:

$$y(x,t) = h(kx \pm \omega t) \qquad 8)$$

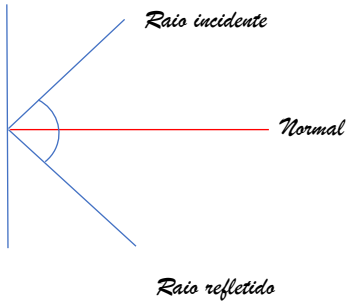
pode representar uma onda progressiva que está se propagando com velocidade $v = \omega/k$, cuja forma é dada pela função h. O sinal positivo mostra que a onda se move no sentido negativo do eixo x, e o sinal negativo mostra que a onda se move no sentido positivo do eixo x (HALLIDAY E RESNICK, 2016 pg.275)

1.2 Fenômenos ondulatórios do Som

Reflexão

As ondas sonoras sofrem $reflexão$ ao atingir qualquer obstáculo. Se uma frente de ondas planas, com comprimento de onda λ atinge um anteparo plano, ela se reflete e dá origem a novas frentes de ondas separadas pelo mesmo comprimento de onda λ. O raio incidente é perpendicular a frente de onda incidente e o raio refletido é perpendicular as frentes de ondas refletidas. Portanto:

Figura 3: Relação entre o raio incidente e refletido



$$\theta_A = \theta'_A$$

Fonte: o autor

O ângulo formado entre o raio incidente **i** e a normal ao anteparo é o ângulo de incidência, e o ângulo formado entre a normal e o raio refletido forma-se o ângulo de reflexão. Esse comportamento de reflexão de ondas sonoras dá origem ao fenômeno conhecido como *eco* o qual permitiu o desenvolvimento de várias aplicações tecnológicas.

Em geral em recintos de dimensões caseiras, a reflexão do Som emitido, isto é, o Som refletido se soma ao emitido aumentando a sua intensidade, mas nem sempre isso ocorre, pois depende do intervalo de tempo em que o Som permanece audível no ambiente, fenômeno chamado de $tempo\ de\ reverberação$.

O *eco* caracteriza-se pela percepção distinta do Som emitido e refletido. Como ouvido humano só consegue distinguir dois sons quando o intervalo entre eles for no mínimo um 0,1s; o eco também só é percebido dentro dessa condição. Para que se perceba o *eco,* a distância entre o ponto em que o Som é emitido (e recebido) e o obstáculo em que ele se reflete depende da velocidade do Som no local (GASPAR, 2000).

Refração

A característica típica da refração é mudança ou desvio de direção de propagação. Ainda de acordo com o autor supracitado, *refração* ocorre sempre que a onda atravessa a superfície de separação de meios em que a velocidade de propagação da onda é diferente, no entanto ocorre desvio na direção da trajetória somente quando a incidência é oblíqua. Se a onda incide normalmente à superfície de separação dos dois meios, a direção de propagação não sofre desvio embora ocorra variação da velocidade: v_1 a velocidade do ângulo incidente e v_2 a velocidade do ângulo refratado. Determina-se o desvio matematicamente pela variação dos ângulos de incidência θ_1 e refração θ_2 com auxílio da $Lei\ da\ Refração$.

$$\frac{sen\ \theta_1}{sen\theta_2} = \frac{v_1}{v_2} \qquad 9)$$

Substituindo os valores de velocidade tem-se:

$$\frac{sen\ \theta_1}{sen\theta_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} \qquad 10)$$

Difração

Entende-se por $difração$ a tendência de uma onda contornar obstáculos, uma vez que certos fenômenos contrariam a propagação retilínea das mesmas. Assim, $difração$ é a capacidade que a onda tem de ultrapassar um obstáculo, tomar regiões onde não deveria propagar-se caso admitimos sua propagação retilínea apenas nos meios homogêneos, deixando de existir, dessa forma, o que seria a Sombra

geométrica projetada pelo obstáculo. Graças ao fenômeno da $difração$ *é* possível ouvir uma pessoa que fala num recinto diferente daquele em que o indivíduo se encontra. É possível verificar que a *difração* depende do comprimento de onda λ, pois se o valor de λ for reduzido, a onda praticamente não contorna o obstáculo, porém se o valor de λ for aumentado, a *difração* irá se acentuando. (CALIXTO E RODRIGUES, 2004).

Interferência

Se os movimentos ondulatórios são de mesma frequência, a superposição de ondas determina efeitos peculiares e importantes, chamados de *Interferência de ondas individuais*, exemplo: quando movimentos ondulatórios de frequência e amplitude iguais se propagam na mesma direção, mas em sentido oposto, há uma interferência que resulta em uma onda estacionária.

Normalmente sabe-se a diferença de percurso e o comprimento de onda, portanto se o número obtido na divisão do percurso pelo comprimento de onda for um número natural, há $interferência\ construtiva$. Abaixo temos:

$$\frac{\Delta S}{\lambda} = n\ com\ n = 0,1,2,3,4\ ... \qquad 11)$$

No caso de haver $interferência\ destrutiva$, a diferença de percurso deve ser a distância entre os pontos que oscilam em oposição de fase ΔS, dividida pelo comprimento de onda λ, obtendo um quociente de um número natural mais meio. Assim temos:

$$\frac{\Delta S}{\lambda} = n + \frac{1}{2}\ com\ n = 0,1,2,3,4\ ... \qquad 12)$$

No caso de uma $interferência\ parcial$ a diferença de percurso não obedece à nenhuma das condições anteriores, veja:

$$n\ \neq \frac{\Delta S}{\lambda} \neq n + \frac{1}{2}\ com\ n = 0,1,2,3,4\ ... \qquad 13)$$

Intensidade

A intensidade I de uma onda sonora em uma superfície é a taxa média por unidade de área com a qual a energia contida na onda atravessa a superfície ou é absorvida pela superfície. Matematicamente, tem-se:

$$\mathrm{I} = \frac{P}{A}, \qquad 14)$$

em que *P* é a taxa de variação com o tempo da transferência de energia (ou seja, a potência) da onda sonora e *A* é a área da superfície que intercepta o Som. A amplitude do deslocamento no interior do ouvido humano varia de cerca de 10^{-5} m, para o Som mais alto tolerável, à cerca de 10^{-11} m para o Som mais fraco detectável, uma razão de 10^{6}.

A intensidade de um Som varia com o quadrado da amplitude, a razão entre as intensidades nesses dois limites do sistema auditivo humano é 10^{12}. Isso significa que os seres humanos podem ouvir sons com uma enorme faixa de intensidades. Para lidar com um intervalo tão grande de valores, recorre-se aos logaritmos. Considere a relação:

$$y = log\, x, \qquad 15)$$

em que x e y são variáveis. Uma propriedade dessa equação é que, se x é multiplicado por 10, y aumenta de 1 unidade. Para verificar se isso é verdade, basta escrever:

$$y' = log(10x) = log\, 10 + log\, x = 1 + y. \qquad 16)$$

Da mesma forma, quando se multiplica x por 10^{12}, y aumenta apenas de 12 unidades.

Assim, em vez de tratar da intensidade I de uma onda sonora, é muito mais conveniente tratar do nível sonoro β, definido pela expressão:

17)

$$\beta - (10dB) log \frac{I}{I_0}$$

em que *dB* é a abreviação de decibel, unidade de nível sonoro, um nome escolhido em homenagem a Alexander Graham Bell. O I_0 na equação é uma intensidade de referência (= 10^{-12} W/m^2), cujo valor foi escolhido porque está próximo do limite inferior da faixa de audição humana. Para $I = I_0$, a equação dá $\beta = 10\ log\ 1 = 0$, de modo que a intensidade de referência corresponde a zero decibel. O valor de β aumenta em 10 *dB* toda vez que a intensidade sonora aumenta de uma ordem de grandeza (um fator de 10). Assim, *β = 40* corresponde a uma intensidade 10^4 vezes maior que a intensidade de referência (HALLIDAY E RESNICK, 2016).

1.3 Fisiologia da Audição

A audição funciona a partir da detecção dessas variações de pressão produzidas pelo deslocamento de uma onda sonora. Ao passar pelo canal auditivo, uma onda sonora exerce uma pressão flutuante sobre um lado do tímpano, o ar do outro lado, é expelido pelo tubo de Eustáquio. A diferença de pressão entre os dois lados do tímpano faz com que o ar se movimente. Microfones e aparelhos similares também captam, em geral, diferença de pressão, não deslocamentos.

Seja $P(x,t)$ a flutuação instantânea da pressão uma onda sonora para cada ponto x em instante t. Ou seja, $P(x,t)$ é uma função que fornece a diferença entre a pressão da onda e a pressão atmosférica normal P_a. A flutuação de pressão acontece devido a variação entre deslocamentos de partículas vizinhas do meio (YOUNG E FREEDMAN, 2008).

Periferia auditiva

A audição atinge o máximo de desenvolvimento em aves e mamíferos, estando os órgãos auditivos entre os órgãos sensoriais mais complexos nesses animais (AIRES, 1999). Nas linhas a seguir procura-se descrever as estruturas e eventos envolvidos na recepção dos sons e as vias nervosas envolvidas em seu processamento.

A estrutura da orelha externa age como um funil que coleta as ondas sonoras do ar de uma área maior e concentra a pressão aérea oscilante sobre uma superfície especializada, o *tímpano* da orelha ou *membrana timpânica*. As estruturas externas da orelha (alguns autores chamam de *hélice e trago*, outros autores denominam pavilhão auditivo) facilitam a captação das ondas sonoras (Figura 4). A forma das estruturas externas que lembram uma concha, pode modificar a sensibilidade direcional do sistema auditivo. As propriedades acústicas da orelha externa amplificam os sons em faixas particulares de frequência. Além disso, a orelha humana enfatiza a distribuição espacial dos estímulos através da amplificação dos sons provenientes de algumas direções mais do que faz com sons de outras direções (RANDALL, 2000).

Como pode-se notar na figura 4, o ouvido dos seres humanos é subdividido em três partes: ouvido externo, que ajuda a coletar as ondas sonoras e favorece sua condução até a membrana timpânica; o ouvido médio que contém um conjunto integrado de três pequenos ossos (bigorna, martelo e estribo) que transportam as vibrações coletadas na membrana timpânica até a terceira parte do ouvido, o ouvido interno, que é composto pela cóclea, um tubo que se enrola sobre si formando uma espiral preenchida por fluidos (AIRES, 1999).

As oscilações mecânicas produzidas no tímpano por uma onda sonora são transmitidas a uma abertura na cóclea conhecida como janela oval, por meios dos ossículos constituintes do ouvido médio. Esse sistema de pequenos ossos tem a importante função de tornar possível a transferência dessas oscilações entre dois meios com diferentes características acústicas: o ar e a perilinfa, o líquido que preenche a rampa vestibular. Se não houvesse esses ossículos as ondas sonoras ao atingirem a janela oval, em sua maior parte seriam refletidas. O sistema de alavancas formado pelos ossículos contribui para o que se denomina o “casamento de impedâncias” entre os diferentes meios.

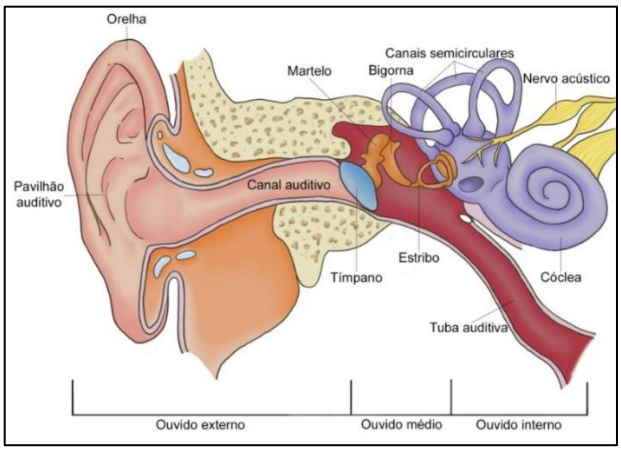
Outro fator importante é a relação entre as áreas da membrana timpânica e da janela oval: a energia sonora absorvida pela membrana timpânica de maior superfície, é concentrada na menor superfície representada pela janela oval: aumentando a pressão transmitida (AIRES, 1999). Na orelha interna a primeira estrutura a receber o impulso mecânico é a janela oval que forma a superfície mais

eterna da cóclea, que contém as células receptoras ciliadas, na outra extremidade do compartimento está outra membrana a janela redonda.

Existem duas consequências importantes deste arranjo. Primeira, as propriedades do acoplamento mecânico, entre a membrana timpânica, os ossículos e a janela oval, amplificam o sinal cerca de 1,3 vez. Segunda, a pressão do sinal é muito amplificada entre a membrana timpânica e a janela oval porque o tímpano tem uma área de cerca de 0,6 cm^2, enquanto a área da janela oval é cerca de 0,032cm^2. Esta relação de cerca de 17:1 entre as áreas das duas membranas significa que a pressão sonora sobre o tímpano é concentrada sobre a área menor da janela oval, produzindo pressão muito maior, o que é importante porque a inércia do líquido coclear do outro lado da janela oval é muito maior que a do ar.

O aumento da pressão ajuda a transferir eficazmente as vibrações sonoras para o líquido coclear em consequência dessas duas características mecânicas, os sinais que chegam a membrana timpânica são amplificados por um fator de pelo menos 22 quando eles alcançam a cóclea (RANDALL, 2000).

Figura 4: Anatomia do ouvido

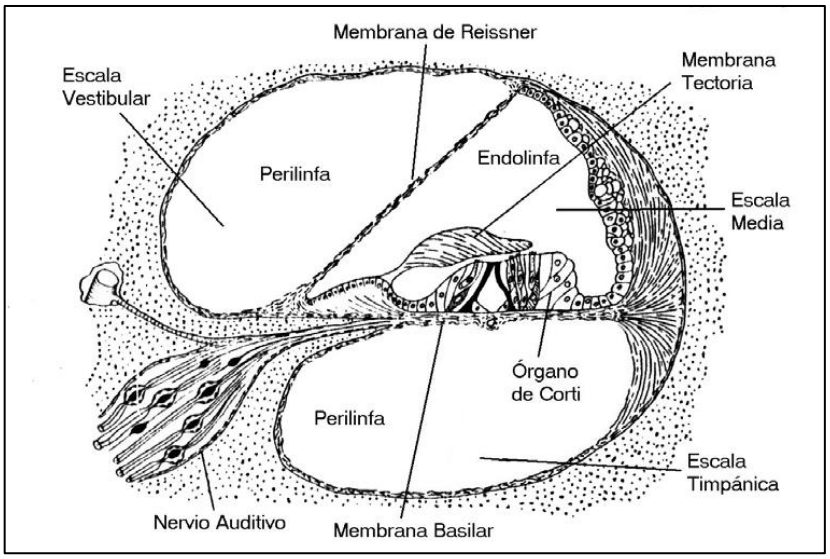


Fonte: (BARBOSA E PANNUNZIO, 2017)

A Cóclea

A cóclea, uma espiral de duas voltas e meia em torno do *modíolo*, é dividida em três compartimentos: a rampa vestibular, que continua a partir da janela oval; a rampa timpânica que se comunica a rampa vestibular por meio do helicotrema, terminando na janela redonda; e a rampa média ou ducto coclear, que se localiza entre os dois compartimentos anteriores. As oscilações transmitidas da membrana timpânica a janela oval, pelo conjunto de ossículos, produzem ondas de pressão que se propagam na perilinfa, a qual preenche a rampa vestibular. Essas ondas de pressão causam oscilações correspondentes na perilinfa e rampa timpânica, sendo também transmitidas a rampa média, que, por sua vez, contém em seu assoalho (membrana basilar) o órgão de Corti, a estrutura responsável pelo processo de tradução sensorial (Figura 5).

Figura 5: Corte transversal de cóclea com seus principais componentes



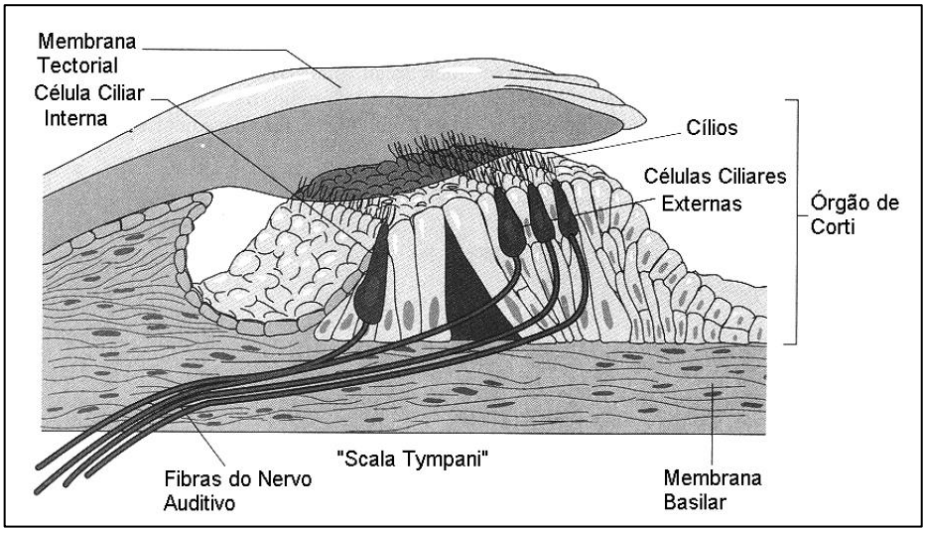
Fonte: (AIRES, 1999)

A cóclea, portanto, converte a pressão diferencial, que se estabelece entre as rampas vestibular e timpânica em movimentos oscilatórios da membrana basilar, culminando com processos excitatórios e inibitórios das células sensoriais do órgão de Corti. Essas células sensoriais, denominadas células ciliadas, são assim chamadas

por exibir um conjunto de cílios em sua superfície apical, os *estereocílios.* Os estereocílios projetam-se, por sua vez, em direção a membrana tectória, fixando-se a ela (Figura 4). O movimento da membrana basilar, provoca então uma força de cisalhamento que age sobre os estereocílios, promovendo um deslocamento angular destes últimos (Figura 5).

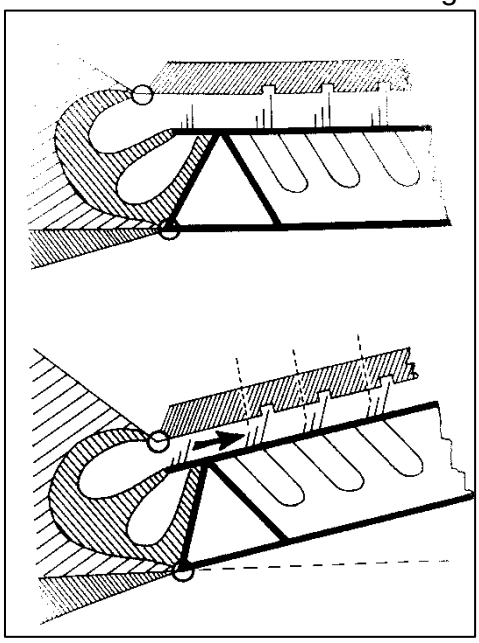
Esse deslocamento angular dos estereocílios também oscilatório, provoca a abertura e o fechamento de canais iônicos das células ciliadas resultando em oscilações de seu potencial de membrana que reproduzem as características ondulatórias das ondas originais. As células ciliadas, em resposta à oscilação de seu potencial de membrana, liberam moléculas de neurotransmissor que vão agir sobre as terminações periféricas de neurônios cujos corpos celulares localizam-se no gânglio espiral (AIRES,1999).

Figura 6: Órgão de Corti, compreendido entre as membranas tectória e basilar, no interior da rampa média



Fonte: (STOLFI, 2016)

Figura 7: Diagrama da forma de deslocamento do órgão de Corti

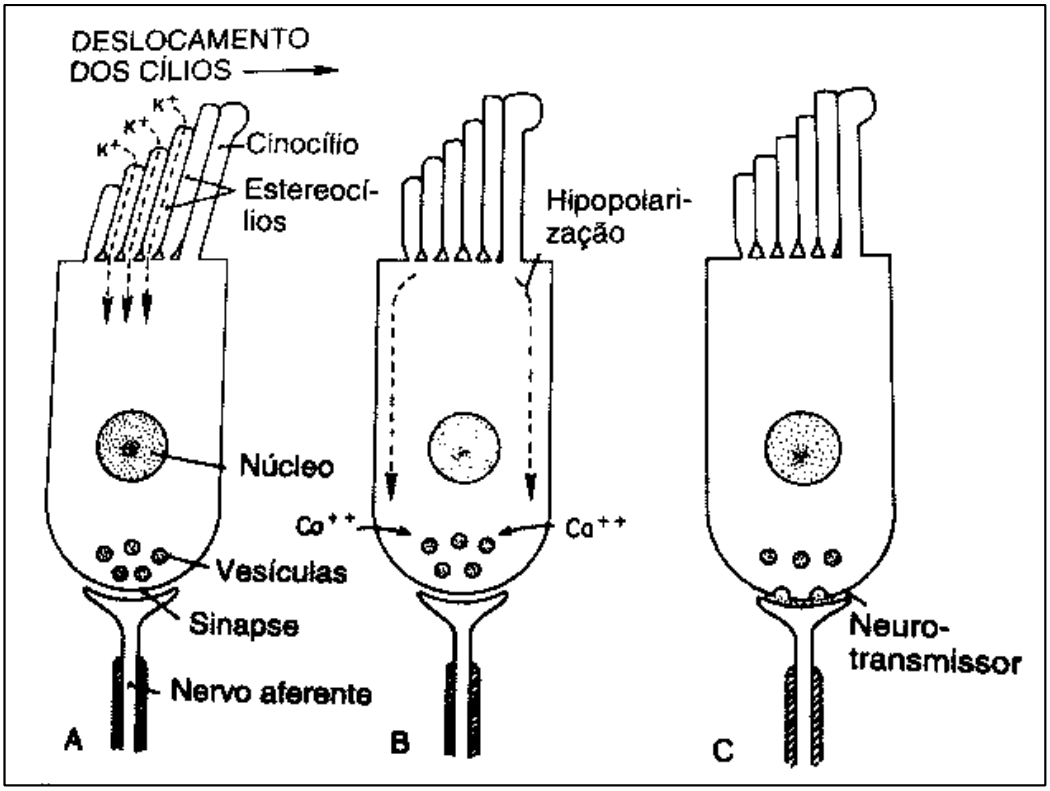


Fonte:(AIRES, 1999)

Os prolongamentos centrais desses neurônios irão constituir a porção auditiva do nervo vestíbulo-coclear, conduzindo a informação sensorial ao interior do sistema nervoso central.

Registros elétricos de vários locais da cóclea mostram flutuações no potencial elétrico que são semelhantes em frequência, fase e amplitude às das ondas sonoras que os produziram. Esses *potenciais microfônicos cocleares* resultam da Somação de correntes de receptores de numerosas células ciliadas que foram estimuladas pelos movimentos da membrana basilar. O evento de transdução ocorre quando uma perturbação da membrana basilar força as pontas dos estereocílios em uma inclinação lateral, porque a membrana basilar se moveu em relação a membrana tectória. Essa deflexão mecânica promove diretamente a abertura de canais iônicos na ponta dos estereocílios. Esse movimento produz uma hipopolarização da célula ciliada (A), os canais de Ca^{++} dependentes da voltagem se abrem (B), o Ca^{++} tem a função de introduzir a liberação de neurotransmissor pela célula ciliada (C), a sinapse ativará a fibra aferente (Figura 8).

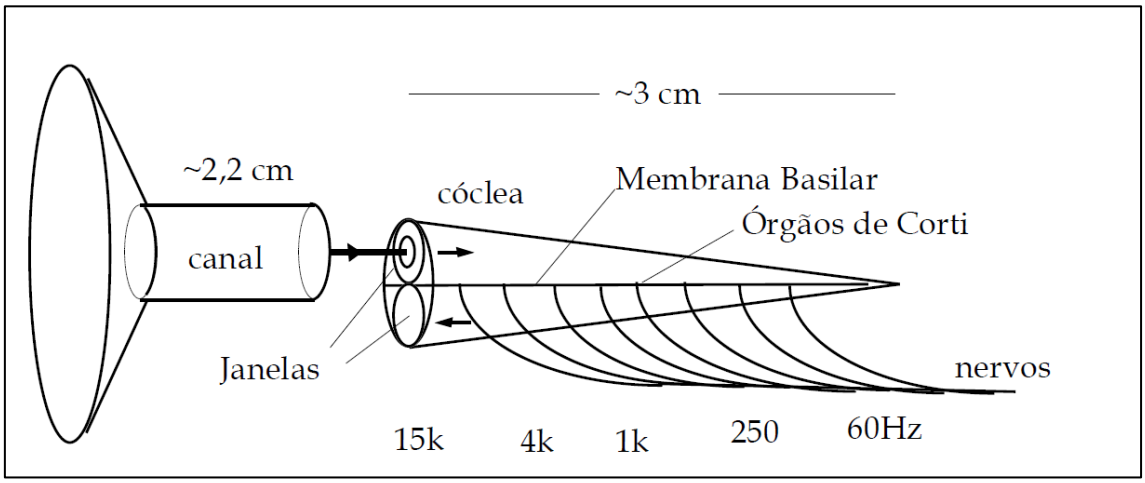
Figura 8: Deflexão dos estereocílios produzindo a sinapse



Fonte: (AIRES, 1999)

Vários fatores afetam a sensibilidade das células ciliadas. Cada célula ciliada da cóclea parece estar sintonizada a uma faixa particular de frequência sonora em consequência de propriedades mecânicas e de canal. Cada célula tem uma frequência de ressonância que é determinada pelo comprimento dos estereocílios no feixe de cílios. As células com cílios mais longos são mais sensíveis a sons de baixa frequência, enquanto as células com cílios mais curtos estão sintonizadas para sons de alta frequência (Figura 7). Além disso, cada célula responde maximamente a uma frequência particular de estimulação elétrica. Essa frequência de ressonância elétrica é determinada pelo balanço das correntes através dos canais de Ca^{++} dependentes da voltagem e de canais de K^{+} sensíveis ao Ca^{++} na membrana basal (que está exposta a perilinfa) (RANDALL, 2000).

Figura 9: Representação esquemática do ouvido humano e a recepção das frequências sonoras



Fonte: (STOLFI, 2016).

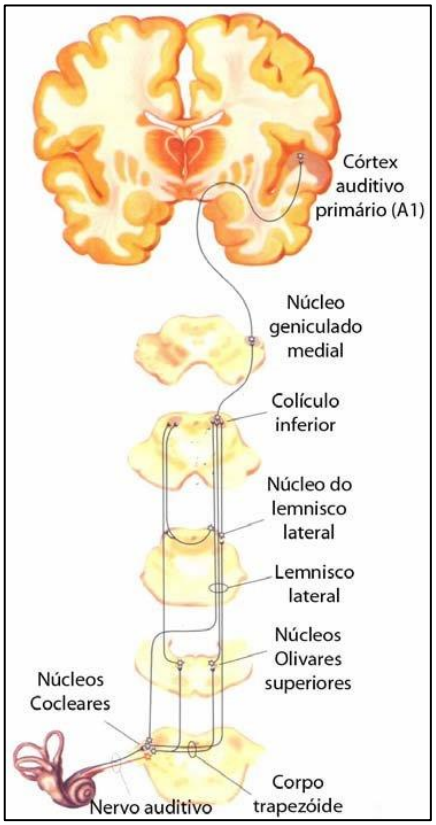
1.4 O Caminho do Som

As eferências dos núcleos cocleares são conduzidas por três vias principais: a estria acústica dorsal, a estria acústica intermédia e, mais importante, o corpo trapezóide. Do corpo trapezoide partem projeções ipsilaterais e contralaterais para os núcleos olivares superiores, dos quais o superior medial está envolvido principalmente na localização espacial de sons por meio de comparações temporais. Neurônios presentes nesse núcleo recebem projeções cocleares bilaterais, e são sensíveis a diferenças nas fases de sons contínuos apresentados a ambos os ouvidos simultaneamente. Por sua vez o núcleo o núcleo olivar superior lateral está associado a diferenças na intensidade dos sons que alcançam os ouvidos. Projeções dos núcleos cocleares e olivares superiores por intermédio do lemnisco lateral, alcançam o calículo inferior, o qual recebe aferências binaurais, preservando a organização tonotópica. Do colículo partem axônios em direção ao tálamo ipsilateral.

O principal núcleo talâmico envolvido no processamento da informação auditiva é o núcleo geniculado medial, que retransmite essa informação ao córtex auditivo primário ipsilateral, localizado no giro temporal superior (Figura 10). A aferência tálamo-cortical não se constitui em uma projeção única e homogênea, mas se divide em múltiplas subdivisões, funcional e filogeneticamente distintas.

Demonstrou-se, no entanto, que o córtex auditivo também se organiza tonotopicamente, possuindo vários mapas detalhados onde diferentes bandas de frequências são representadas ao longo de regiões corticais distintas. Os tamanhos dessas regiões estão relacionados com a importância das frequências que representam, e não com a largura das bandas das frequências em questão, em semelhança cortical de outras modalidades sensoriais (AIRES, 1999).

Figura 10: *Trajeto percorrido pelas fibras nervosas provenientes da cóclea até o cérebro*



Fonte: (RODRIGUES, 2010)

CAPITULO II

2 . SOBRE O REFERENCIAL TEÓRICO

Os pesquisadores consideram que o ensino por investigação se constitui uma abordagem que permite aos alunos aproximar o conhecimento teórico com a pratica dialogada chegando a conclusões possíveis de serem debatidas para promover a análise e interpretação do conteúdo a ser estudado.

Não se trata de uma metodologia em que os alunos aprendem por conta própria observando um fato somente nem de uma experiência pratica somente com diálogos, trata-se de unir conteúdo, pratica, analise e reflexão sobre um objeto de estudo, levando a construção do conhecimento

Alguns autores estudados para o entendimento dos desafios do ensino por investigação, que se encontram nos referenciais, são:

Ana Maria Pessoa de Carvalho

- As condições de diálogo entre professor e formador para um ensino que promova a enculturação científica dos alunos.
- Conhecimento Físico no Ensino Fundamental
- Investigar e Aprender Ciências

Afonso, A. M. (2011)

- Alfabetização Científica dos alunos e as ações do professor que corroboram com este processo.

Almeida, A. G. F. (2013)

- As ideias balizadoras necessárias para o professor planejar e avaliar a aplicação de uma Sequência de Ensino Investigativa.

No artigo “Fundamentos Teóricos e Metodológicos do Ensino por Investigação” de Ana Maria Pessoa de Carvalho (CARVALHO, 2018), a autora argumenta que,

> “Definimos como ensino por investigação o ensino dos conteúdos programáticos em que o professor cria condições em sua sala de aula para os alunos: pensarem, levando em conta a estrutura do conhecimento; falarem, evidenciando seus argumentos e conhecimentos construídos; lerem, entendendo criticamente o conteúdo lido; escreverem, mostrando autoria e

> clareza nas ideias expostas. Em consequência disso, quando avaliamos o ensino que propomos, não buscamos verificar somente se os alunos aprenderam os conteúdos programáticos, mas se eles sabem falar, argumentar, ler e escrever sobre esse conteúdo" (CARVALHO, 2018).

Nos textos de Carvalho (2018) e Almeida (2014) os autores indicam que a diretriz principal de uma atividade investigativa é o cuidado do professor com o grau de liberdade intelectual dado ao aluno e com a elaboração do problema. É necessário diferenciar o "problema" proposto para os alunos resolverem nas aulas de laboratório, nos problemas abertos de lápis e papel, e mesmo nas questões propostas em outras atividades como, por exemplo, a que envolve História das Ciências de questões problematizadoras, muitas vezes propostas no início das sequências investigativas para dar um sentido social ao ensino. Nas aulas de Ciências, do ensino Fundamental I ao ensino Médio, a existência de problemas abertos (nível 3 e 4 de liberdade intelectual) aponta para uma atividade inovadora, principalmente no ensino das atividades experimentais e na resolução de problemas de lápis e papel (CARVALHO, 2018).

Um parâmetro muito investigado no ensino de ciências é o construtivismo, ou seja o ensinar ciência sob a concepção construtivista de aprendizagem, assim como proposto por grandes teóricos da aprendizagem Piaget (1973), Ausubel, Novak, Hanesian (1980) e Vygotsky (1988) (*in Lima* 2015) como colocado nos trabalhos Cachapuz et al (2011).

Diversos autores discutem o ensino de Ciências sob a ótica construtivista; para o presente trabalho escolheu-se como referencial teórico alguns trabalhos de Carvalho e Sasseron que desenvolvem pesquisas com Sequências de Ensino Investigativo (SEI) e discutem a enculturação científica que promove o entendimento das relações existentes entre ciência e sociedade, a compreensão da natureza da ciência e dos fatores éticos e políticos que circundam sua prática e a compreensão básica de termos e conceitos científicos fundamentais (Carvalho 2007).

Buscou-se referenciais que trabalhem o desenvolvimento cognitivo e que fomentem a construção do conhecimento do indivíduo, valorizando a percepção

pessoal, desenvolvendo o interesse para a busca por respostas consistentes e fundamentadas para fenômenos físicos observáveis.

Nas aulas de ciências a ciência deve ser apresentada como uma forma de produzir conhecimento sobre o mundo natural, sendo a lógica e a objetividade as bases da construção do conhecimento científico, dito isso é importante ressaltar que a ciência, assim como seus processos de composição são procedentes do contexto social e histórico, ou seja, se pautam em aspectos culturais.

A ciência também não se constitui apenas de uma linguagem falada, como um idioma, ela se estrutura a partir de uma linguagem própria, muitas vezes “expressa em linguagem formal e matemática, juntamente com infinitos teoremas demonstráveis a partir de leis”. A linguagem científica pode ser expressa de forma sintética, no entanto nem sempre é de simples compreensão, depende de fundamentação para construção de sua complexidade. No trabalho em sala de aula introduzir a linguagem cientifica é um esforço que se faz ao trabalhar com características particulares do fazer científico. Dessa maneira o aluno aprende conceitos próprios do saber científico e se apropria dos processos de construção que estruturam o fazer científico (Sasseron, 2015).

Nessa perspectiva justifica-se a necessidade de aplicação do método de alfabetização cientifica por entender-se que este pauta-se no objetivo de possibilitar aos estudantes acesso ao conhecimento das ciências, incluindo sua linguagem, para entendimento de situações e tomada de decisões e de posicionamento sobre elas. Sasseron (2015) ainda defende que a ideia de alfabetização cientifica está associada a uma nova cultura, que permiti ao estudante uma nova forma de ver o mundo e seus fenômenos, podendo modifica-lo e a si próprio através de uma pratica consciente propiciada por sua interação firmada em noções sobre conhecimentos científicos e sobre ciências, sendo um ponto importante que o aluno tenha contato com práticas da própria ciência.

Para que ocorra a alfabetização cientifica o planejamento das aulas deve contemplar três eixos que são considerados estruturantes:

- A compreensão de termos e conceitos cientificas básicos.

• O entendimento de que a ciência possui uma natureza e que fatores éticos, políticos e sociais influenciam sua prática e a construção do conhecimento científico.

• O reconhecimento das relações entre a Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente (CTSA) sendo essencial a percepção de que cada um dos itens influencia a geração do outro diretamente.

Há, para a avaliação do processo de alfabetização cientifica um conjunto de indicadores que podem ser utilizados para aferir a efetividade da apropriação das ideias de alfabetização cientifica. A avaliação com o uso de tais indicadores pode ocorrer durante o diálogo entre professor e aluno ou mesmo em uma produção escrita fruto das aulas de ciências. Os indicadores devem estar diretamente ligados à:

• O trabalho com as informações: seriando, classificando, organizando.

• O levantamento e teste de hipóteses para a solução de problemas, sejam eles empíricos ou mentais.

• A construção de explicações, justificativas e previsões sobre o assunto pesquisado/estudado

• Uso do raciocínio logico e proporcional, que são bases fundamentais do conhecimento científico (SASSERON E CARVALHO 2011)

> Alguns destes indicadores estão associados ao trabalho para a obtenção de dados, é o caso do levantamento e do teste de hipóteses em relação a uma situação qualquer; há outros indicadores ligados ao trabalho com estes dados para a classificação, seriação e organização das informações obtidas; também são indicadores da AC: a construção de uma explicação, o uso de justificativa para fundamentar uma ideia e o estabelecimento de previsão sobre o que pode decorrer desta situação; por fim, outros indicadores estão ligados mais diretamente a dimensões epistemológicas da construção do conhecimento, é o caso do uso do raciocínio lógico e do raciocínio proporcional como formas de organizar as ideias que se estão a construir. (SASSERON E CARVALHO, 2011)

Para o desenvolvimento da alfabetização cientifica a abordagem didática escolhida por Sasseron (2015) é o Ensino por Investigação. Que constitui a formação de vínculo entre professor, alunos e o fazer científico. Por esse motivo o presente trabalho procurou fazer uso das ideias de Sasseron e Carvalho durante o processo de construção e aplicação.

Como abordado neste item, o ensino por investigação, o construtivismo e alfabetização cientifica caminham de encontro a um ensino significativo, que e o objetivo deste trabalho, ao propor a construção de instrumentos para contextualizar o conteúdo sobre o som e os instrumentos musicais.

CAPÍTULO III

3. METODOLOGIA E ATIVIDADES EXPERIMENTAIS NO ENSINO INVESTIGATIVO.

As atividades que serão apresentadas foram desenvolvidas no nono ano de uma escola pública situada no município de Adamantina, no quarto bimestre letivo do ano de 2019, local onde o professor pesquisador trabalha. A escola não apresenta uma infraestrutura adequada para desenvolver atividades experimentais, o professor deve preparar atividades que possam ser realizadas em sala de aula.

3.1 Sequência de Ensino investigativo

Segundo Sasseron (2015) o Ensino por Investigação se argumenta que o Ensino por Investigação fortalece o vínculo entre professor, alunos e o fazer científico. Por esse motivo no presente trabalho os alunos foram divididos em grupos para investigarem os componentes de kits de instrumentos simples (tipos de xilofone), dialogar sobre sua possível utilização e realizar testes para, posteriormente, relacionar os diferentes sons emitidos pelos instrumentos, com os conceitos de acústica apresentados pelo professor.

Através do desenvolvimento de uma Sequência de Ensino Investigativo baseada no desafio de se construir um instrumento musical, os alunos puderam interagir com os elementos sonoros e as propriedades intrínsecas das ondas sonoras. Com esse processo espera-se que os participantes indiquem elementos fundamentais dos conceitos básicos da acústica para melhor apropriação no momento em que lhes forem apresentados os conceitos formais.

As habilidades da Base Nacional Comum Curricular que serão contempladas na SEI são:

(EF09CI05) Investigar os principais mecanismos envolvidos na transmissão e recepção de imagem e ***Som*** que revolucionaram os sistemas de comunicação humana.

(EF09CI07) Discutir o papel do avanço tecnológico na aplicação das radiações na medicina diagnóstica (raio X, ***ultrassom,*** ressonância nuclear magnética) e no tratamento de doenças (radioterapia, cirurgia ótica a laser, infravermelho, ultravioleta etc.).

A presente Sequência de Ensino Investigativo (SEI) teve como propósito constituir um produto educacional para ser utilizado nos anos finais do Ensino Fundamental. A produção dessa SEI atende a exigência do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, de se produzir um material de que subsidie as aulas de física no ensino regular para favorecer a apropriação por parte dos alunos dos conceitos relacionados aos diferentes fenômenos físicos.

3.2 Materiais e preparação dos Kis

Inicialmente a SEI foi estruturada para que a partir de objetos simples, encontrados em materiais que seriam reciclados, os alunos pudessem investigar fenômenos físicos, durante o processo de construção de instrumentos musicais simples, de forma a inferir conceitos pertencentes ao estudo da acústica pela construção e manipulação dos objetos investigados. Para que isso pudesse ocorrer os objetos utilizados foram obtidos a partir de uma visita à usina de triagem e reciclagem de lixo da cidade de Adamantina - SP e de uma propriedade rural no mesmo município. Para facilitar a reprodução do material.

Foram preparados três kits contendo diferentes materiais a partir dos quais foi possível construir de diferentes formas de um instrumento musical simples (xilofone). Esse processo permitiu aos alunos investigar a produção do Som bem como os alguns fenômenos físicos relacionados a ocorrência do Som.

Cabe ressaltar que os alunos receberam os materiais do kit, sem a informação do tipo específico do instrumento musical que seria produzido. O processo investigativo é que levou à dedução do produto final a ser obtido. Foram formados três grupos, dois com três integrantes e um com quatro. Os kits foram distribuídos, as orientações foram fornecidas e o tempo para elaboração do instrumento foi estimado em uma aula de 50 de minutos.

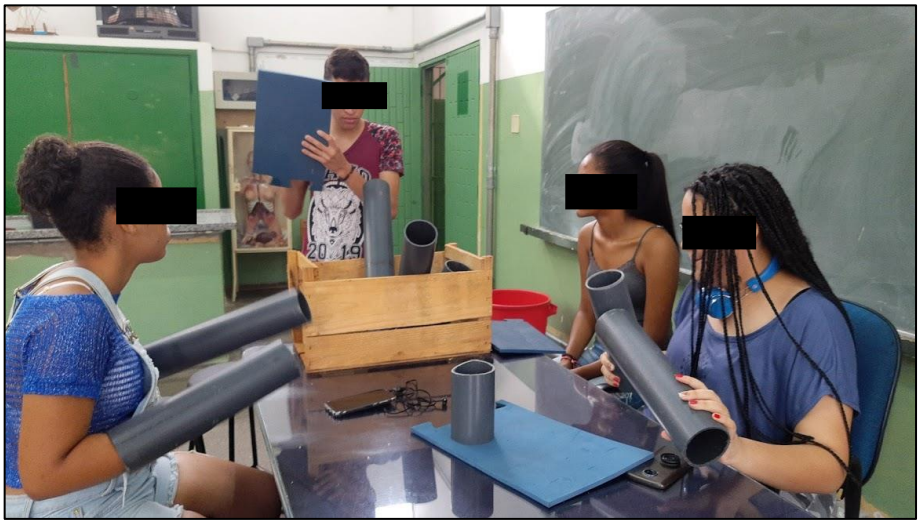
Esse processo vai permitiu aos alunos investigar a produção do Som bem como alguns fenômenos físicos relacionados a ocorrência do Som a partir da proposição de um problema: ***Que propriedades do Som podemos perceber durante a construção e utilização de um instrumento musical?***

3.2.1. Kit 1: Tubos de PVC e EVA

O Kit 1 era composto por 9 tubos de PVC com o mesmo diâmetro, porém comprimentos diferentes. A proposta foi a montagem de um “chinelofone”.

A figura 11 apresenta os alunos manuseando o material após o recebimento do kit, e na figura 12 o início da construção do instrumento.

Figura 11: Alunos e kit para realizar o experimento



Fonte: o autor

Figura 12: Iniciando a construção do instrumento

Fonte: o autor

Na figura 13 podemos observar os alunos apresentado o instrumento aos outros grupos.

Figura 13: Alunos apresentando e explicando o funcionamento do instrumento construído por eles

Fonte: o autor

3.2.2 Kit2: Garrafas de Vidro e haste de ferro

O kit 2 era composto por 7 garrafas de vidro grandes e 7 garrafas pequenas. A proposta foi a montagem de um xilofone. Cada garrafa poderia ou não ser preenchida com água. Na figura 14 temos os alunos manuseando as garrafas e na figura15 se observa os alunos preenchendo as garrafas de água de forma a que cada uma represente um determinado Som.

Figura 14: Mostra os alunos manuseando o material.

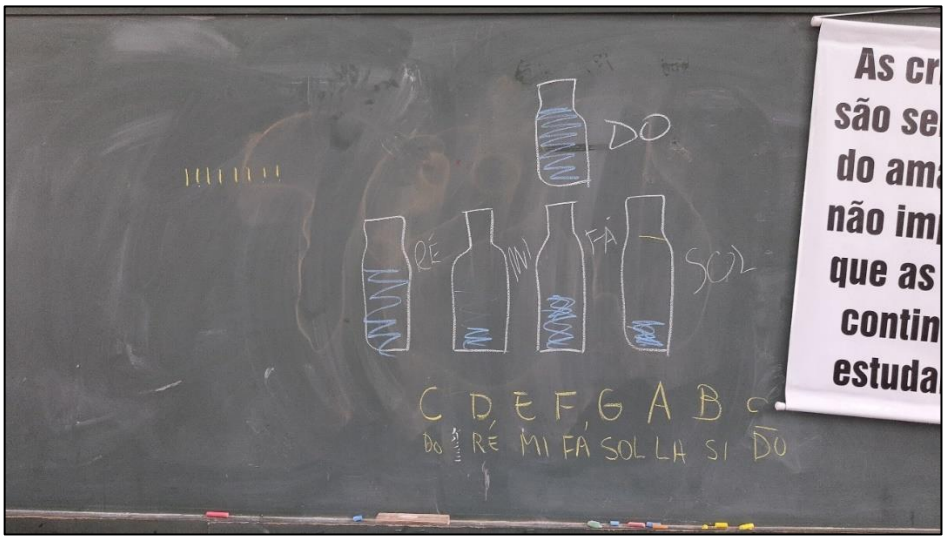
Fonte: o autor

Figura 15: Preenchimento das garrafas com água

Fonte: o autor

Após terminada a atividade, os alunos explicaram a relação entre o nível de água da garrafa e o Som emitido quando uma varinha de metal toca a garrafa, como apresentado na figura 16.

Figura 16: Apresentação dos alunos explicando a relação do volume de água e tipo de Som



Fonte: o autor

3.2.3. Kit 3: Bambu e Barbante

O terceiro Kit era composto por 8 pedaços de bambu, cilíndricos, com diferentes tamanhos, barbante e ripa. A proposta era a montagem de um xilofone de bambu. As figuras 17, 18 e 19 apresentam os alunos manuseando e realizando a montagem.

Figura 17: Mostra os alunos manuseando o Kit.

Fonte: o autor

Figura 18: Montagem do instrumento musical com os materiais do Kit 3

Fonte: o autor

Figura 19: Instrumento musical elaborado com o material do Kit 3.

Fonte: o autor

3.3 Textos para consolidação de conceitos e ideias

Para a consolidação dos conceitos, os textos à seguir foram elaborados como material de apoio à SEI. **Entretanto, na ocasião da aplicação do trabalho não foi possível fazer o uso do texto com os alunos participantes.**

3.3.1Texto 1: Conceitos importantes no estudo da acústica e os efeitos no organismo humano

O Som

O Som é uma sensação causada em nós por um tipo de onda, a onda sonora. As ondas sonoras são ondas longitudinais originadas a partir de vibrações de corpos materiais (lâminas, membranas, cordas, etc.). Essas ondas se propagam pela ação das partículas (átomos ou moléculas) do ar ou de outro meio material. Por isso elas não se propagam no vácuo: é preciso existir um número suficiente de partículas para haver uma onda de compressões e rarefações.

A orelha humana é capaz de captar somente as ondas que estão na faixa de cerca de 20 hertz a 20 quilo-hertz. Apenas ondas nesse intervalo são percebidas como sons. As ondas com frequência abaixo de 20 hertz são chamadas infrassons e as com frequência acima de 20 quilo-hertz (20 000 Hz) são chamadas ultrassons. Ondas nessas faixas não são captadas como sons por nós, mas podem ser captadas por alguns animais.

A Velocidade do Som

O Som se desloca com diferentes velocidades dependendo do meio em que ele está sendo propagado. Quando se altera a densidade e elasticidade do meio, altera-se a velocidade de propagação do Som. No alumínio, por exemplo, o Som se propaga a, aproximadamente, incríveis 6420 metros por segundo! Já na água o Som se movimenta a, aproximadamente, 1450 metros por segundo; no ar a velocidade é bem menor em função da baixa densidade, por volta de 340 metros por segundo. Todos os valores de velocidade do Som são aproximados, porque de acordo com a temperatura do meio em que o Som se propaga a velocidade pode variar.

A Frequência sonora

Sabemos que verificamos a frequência de qualquer fenômeno ou evento ao contarmos quantas vezes ele ocorre num intervalo de tempo, ciclos por unidade de tempo, a unidade de medida para frequência é o hertz (ciclos por segundo). No caso da frequência sonora sabemos que ela está relacionada com a altura do Som, ou seja corresponde a quão grave ou quão agudo um Som é. Sendo que sons agudos apresentam maiores frequências em relação a sons mais graves. Se imaginarmos uma reta com os sons audíveis aqueles que se aproximam dos 20 hertz serão os mais graves enquanto os que se aproximam dos 20000 serão os mais agudos. A frequência de um Som depende das características físicas do artefato que gera o Som, seja biológico como a laringe de um pássaro ou espontâneos como um trovão.

Intensidade Sonora

A intensidade sonora ou nível sonoro depende da amplitude das ondas sonoras, a relação se dá assim: Quanto maior a amplitude de uma onda sonora mais intensa ela será ou maior o nível sonoro, ou seja teremos sons mais fortes como aumentar o “volume” do Som. A intensidade é alterada pela quantidade de energia empregada na geração da onda sonora, quanto maior a energia empregada maior a intensidade sonora. Usa-se comumente a unidade decibel para medir a intensidade sonora, o aparelho utilizado para esse fim é conhecido como decibelímetro e o símbolo que representa a unidade de medida é o dB.

O Timbre

De todas as características do Som a mais marcante talvez seja o timbre. Quando ouvimos uma voz e distinguimos de outras, isso é possível por causa do timbre. Ao ouvirmos um violão, uma flauta ou um piano tocando a nota Ré com a mesma intensidade e frequência (altura) conseguimos diferenciar um instrumento do outro por causa do timbre de cada instrumento. O timbre é produzido pela combinação de várias ondas geradas por uma fonte, seja ela um instrumento, uma pessoa ou qualquer objeto capaz de produzir Som. Ao fazer vibrar as cordas vocais na laringe, um cantor projeta as ondas geradas pela sua garganta e sua cabeça (cavidades nasal e oral), o que gera uma série de ondas que Somam-se em uma onda resultante, que caracteriza o timbre de sua voz. Da mesma forma um piano ao fazer vibrar suas cordas também faz vibrar a madeira de sua estrutura gerando diferentes ondas que Somadas formam também uma onda resultante que se traduz em seu timbre.

Resumidamente: o timbre é o que permite distinguir sons de mesma altura e intensidade produzidos por diferentes fontes sonoras.

O Eco

Quem nunca entrou em uma grande sala ou quadra poliesportiva vazia e ao produzir um Som, seja com uma bola ou um grito percebeu o mesmo Som sendo repetido imediatamente depois. Isso é o que chamamos de eco. Não é Somente uma bola de sinuca ou nossa imagem no espelho que pode ser refletida, os sons também são refletidos, o entanto nem sempre percebemos. O eco só é percebido em condições específicas de propagação e percepção das ondas sonoras. Para que o eco aconteça a onda sonora gerada e a onda sonora refletida precisam chegar aos ouvidos do receptor com no mínimo 0,1 segundo de diferença assim o cérebro interpreta os dois sons separados, se o tempo entre as ondas for inferior a 0,1 segundo o eco não ocorre, porque os sons são percebidos como um único Som. Na natureza e na nossa tecnologia esse efeito do Som é usado de diversas formas, animais como morcegos e golfinhos fazem uso para localizar presas e obstáculos - o que chamamos de ecolocalização. De modo semelhante embarcações das mais diferentes proporções utilizam o sonar, aparelho que emite ultrassons, para determinar a profundidade de onde estão e localizar cardumes, por exemplo.

A Audição e Efeitos do Som sobre nós

Os seres humanos são dotados de um sofisticado sistema de captação de ondas sonoras composto pelo: ouvido externo, ouvido médio e ouvido interno. No ouvido interno encontra-se o pavilhão auditivo que recebe as ondas sonoras o meio e as conduza através do canal auditivo até o ouvido médio, onde encontra-se o tímpano e os ossículos bigorna, martelo e estribo, sua função é transferir as vibrações do tímpano para o ouvido interno, que tem como principal componente a cóclea. A cóclea é um órgão extremamente complexo que separa as ondas sonoras de acordo com sua frequência e transformando os impulsos mecânicos das ondas sonoras em impulsos elétricos, enviando esses impulsos para o nervo auditivo que por sua vez conduz essas informações para serem processadas pelo cérebro.

Agora vamos pensar por um instante nas seguintes questões: Por que um estrondo repentino dispara o nosso coração? Quando um batalhão se põem em marcha realmente é mais fácil marcar o ritmo com acompanhamento da percussão? Será que uma canção de ninar realmente ajuda um bebê a dormir? Em shows sons muito intensos realmente podem transferir grandes quantidades de energia para o público? Realmente existe música para todo estado de espírito? Será que nossos filmes e séries favoritos seriam tão prazerosos sem a trilha sonora?

Ao buscar respostas para essas perguntas passamos a ter um pouco mais de consciência do quanto Somos vulneráveis aos sons e isso nos ajuda a ser um pouco mais criteriosos e cuidadosos com o nosso ambiente sonoro. Enfim, vamos procurar esclarecer um pouco sobre essas questões.

A partir do momento que o forte estrondo de um trovão dispara ondas sonoras graves e cheias de energia em todas as direções elas podem atingir nosso corpo todo, no entanto possuímos ouvidos que captam essas ondas sonoras, eles fazem parte de um sofisticado sistema sensorial auditivo, altamente complexo, que se liga a uma rede intrincada de vias nervosas que fazem o link do meio externo com o meio interno do nosso organismo. O Som passa por todo ouvido interno que o transforma em sinais elétricos, estes por sua vez viajam pelos neurônios que através de suas sinapses carregam o Som, agora transformado em informação, essa informação percorre pelo menos dois caminhos no cérebro, um desses caminhos gera um reflexo de orientação, que faz com que uma pessoa, imediatamente após ouvir o trovão, interrompa o que estiver fazendo e se direcione para a origem do Som ou procure se proteger. Outro caminho que a informação sonora percorre passa por outras regiões do nosso cérebro um delas libera hormônios capazes de aumentar nossa frequência cardíaca.

Bandas marciais estão ganhando cada vez mais espaço no cenário cultural da atualidade, muitas de suas apresentações são em marcha, muito bem marcada pela percussão, as batidas em ritmo crescente interferem na condução dos impulsos nervosos que coordenam os movimentos, no ritmo cardíaco, respiratório entre outros, estas funções orgânicas tendem naturalmente a se sincronizar com a bateria, isso facilita enormemente os integrantes da banda marcarem o ritmo da marcha coletivamente.

Sons podem ter muitas conotações subjetivas para cada indivíduo, mas em todos os casos sons que nos agradam desencadeia no cérebro a liberação de dopamina, neurotransmissor responsável pela sensação de prazer. Ao ouvir uma canção de ninar o bebê relaxa porque seu ritmo embala as frequências respiratória e cardíaca, desacelerando. Além de liberar dopamina, que promove o efeito que acalma o bebê.

Ondas sonoras podem ter seu efeito modulado de várias formas, uma delas ocorre ao aumentarmos a intensidade das ondas sonoras, pois é necessário dispor de grande grande quantidade de energia, parte dessa energia é transferida aos espectadores nos shows de música através das ondas sonoras, a exposição excessiva pode causar efeitos danosos à saúde.

Além dos efeitos mencionados foi descoberto recentemente que a música sincroniza as ondas cerebrais das pessoas que a ouvem num mesmo evento ou situação, interessantemente esse efeito é mais poderoso a medida em que a música em questão é mais popular entre os ouvintes.

No caso dos bebês e das bandas marciais não é preciso fazer nenhum estudo adicional para perceber que os sons têm efeitos, relativamente, claros e até previsíveis na maioria das pessoas que estão expostas a eles.

Mas para além de ninar um bebê ou ritmar passos é possível verificar a ação dos sons no nosso estado de espírito, uma música pode nos deprimir, animar ou nos agitar mesmo se estivermos ouvindo pela primeira vez. Diferenciamos com facilidade um Som triste de um alegre, assim como sons que aumentam a ansiedade ou nos trazem a sensação de suspense.

O poder dos sons de interferir em nosso estado de espírito é inegável, esse efeito é quase universal, mesmo sem uma letra que carregue informações, apenas os sons já nos influenciam organicamente. Isso porque após o os elementos sonoros passarem pelo nosso ouvido, as inervações dirigem os sinais eletroquímicos, gerados no ouvido a partir dos sons, diretamente para centros cerebrais responsáveis pelas funções mais básicas em uma região denominada tronco cerebral, então esses impulsos são levados a regiões responsáveis pelo controle hormonal no hipotálamo e

emoções e no sistema límbico. Mas como isso ocorre imediatamente antes de passar pelo julgamento e o crivo consciente das regiões superiores do cérebro, uma trilha sonora modula vária funções orgânicas no nosso organismo sem que possamos esboçar qualquer reação consciente, isso acontece por último. Assim conhecendo a relação entre sons e emoções, os autores das trilhas sonoras e músicos sabem exatamente como trabalhar com as nossas emoções.

Essas informações podem nos dar a impressão de que Somos vulneráveis, de fato muitos estudos indicam que sim, portanto vale considerar que tipo de ambiente sonoro estamos nos expondo, porque sem que possamos escolher os sons nos influenciam e imprimem fortes marcas na nossa memória.

Resumindo, o Som percorre um longo caminho nos nosso cérebro antes que possamos fazer qualquer julgamento sobre ele, durante esse caminho ele promove a liberação de hormônios, o desencadeamento de emoções, motivação e interfere no ritmo cardíaco, tudo isso antes mesmo que possamos fazer qualquer julgamento consciente sobre aquilo que ouvimos. Devemos estar atentos.

3.3.2 Texto 2: Descobrindo o Som: Algumas considerações sobre o Som

O Som

Ouvir, uma das melhores maneiras de conhecer o que se passa em torno de nós. E falar, é uma maneira simples e fácil de comunicação. Sempre que falamos ou escutamos usamos para isso os sons. Uma notificação no celular, o estrondo de um travão, uma panela que cai, o canto dos passarinhos, uma melodiosa e harmônica sinfonia, cada um desses sons nos traz um significado através de nossa audição. Os sons contêm em si muita informação. No século XX e XXI houve incríveis avanços no conhecimento dos sons, suas aplicações e instrumentos de produção e propagação, seja em diagnósticos médicos, navegação, pesquisa em diversas áreas ou mesmo o desenvolvimento da indústria da música. O Som tem inúmeras aplicações e estudar os sons abre as portas para uma infinidade de conhecimentos e possibilidades.

O ouvido humano possui uma grande sensibilidade podendo detectar ondas sonoras de intensidade muito baixa, também é capaz de detectar uma infinidade de sons/ruídos do ambiente. Quando estudamos ondas mecânicas discutimos principalmente em termos de deslocamentos. No caso das ondas sonoras talvez seja mais apropriado, tratar em termos de flutuações de pressão (YOUNG E FREEDMAN, 2008).

O Som se propaga em meio sólido, líquido ou gasoso, nesse texto vamos tratar da propagação das ondas sonoras pelo ar. As ondas sonoras mais simples são ondas senoidais, que possuem valores definidos para amplitude, frequência e comprimento de onda (YOUNG E FREEDMAN, 2008). O ouvido humano é sensível a frequências compreendidas entre 20 e 20000hz, o que é chamado de intervalo audível. Nos casos em que se encontram frequências maiores ou menores se utiliza a terminologia ultrasSom e infrasSom, respectivamente, essas se situam fora do intervalo audível.

A propagação dos sons no ar

Os sons que ouvimos nos remete a algo que se move. Ao ouvirmos um forte ruído quando uma porta bate com violência ou um objeto de metal que cai no chão. Baquetas surrando uma bateria, ou pratos partindo em pedaços ao caírem no piso de uma cozinha. No entanto, nem sempre é tão fácil perceber o corpo sonoro, ou seja, aquilo que ao mover-se produz o Som ou ruído. Não vemos com nitidez quando as cordas de um piano ou violino estão produzindo Som, e apenas sentimos a vibração nas pontas dos dedos ao tocar o pequeno autofalante de um aparelho celular. Uma flauta ou um trompete não alteram sua aparência quando emitem uma nota ou quando se encontram em silencio. Mas ao soprar uma corneta, alguma coisa se move, que é invisível. Contudo, se ouvimos o caminhão do gás ou o doce canto de um pássaro canoro o que faz com que estes sons possam chegar aos nossos ouvidos? existe um veículo que realiza esse transporte do Som? Temos então um mesmo veículo que possibilita a produção e transporte dos sons, o ar.

A cerca de trezentos e cinquenta anos Robert Boyle, um dos maiores cientistas de sua época, amigo e rival de Sir Isaac Newton, químico e físico irlandês naturalizado britânico, empregou em algumas experiencia uma das primeiras bombas de vácuo que se construíram, demonstrando várias características importantes do ar.

Boyle colocou um relógio, que produzia um forte ruído ao funcionar, dentro de um globo de vidro e, utilizando a bomba de vácuo, foi retirando o ar do globo, enquanto ele e alguns espectadores observavam e escutavam atentamente. Conforme a quantidade de ar presente no globo ia diminuindo o tique-taque do relógio soava cada vez mais fraco até silenciar completamente. E a medida em que o ar era injetado novamente no interior do aparato o relógio gradativamente voltava a ser ouvido. Provando dessa forma o que muitos não haviam conseguido provar, até então, que o Som não se propaga sem o ar, e que sem ar não há Som. Por isso, de forma direta, não conseguimos ouvir nenhum Som que venha de qualquer lugar fora da Terra, por não existir ar no espaço entre a Terra e os astros para que a propagação dos sons seja possível. Talvez se existisse, ouviríamos as grandes tempestades e explosões que ocorrem no Sol.

As ondas

Para que seja possível a propagação do Som através do ar existe um comportamento peculiar das partículas que recebem a energia sonora e a transmitem para as partículas vizinhas, realizando o transporte do Som. Ocorrem oscilações na posição das partículas a essas oscilações sucessivas chamamos de ondas mecânicas. Halliday e Resnick (2016) colocam da seguinte forma: “As ondas mecânicas só podem existir em meios materiais e são governadas pelas leis de Newton. As ondas nas quais as partículas do meio oscilam na direção de propagação da onda são chamadas de ondas longitudinais.”

Esse comportamento ondulatório, ondas longitudinais, pode ser exemplificado se arremessarmos uma pedra à água tranquila de um lago, veremos pequenas ondas formarem círculos concêntricos que se afastam do ponto em que a pedra tocou a água. E se uma folha estiver boiando, ela se deslocará para cima e para baixo a

medida em que as ondas passam, indicando que o movimento se transmitiu da pedra à folha através das ondas. Depois que as ondas do lago tiverem desaparecido, a superfície da água voltará ao repouso e a folha ficará imóvel temos assim uma imagem em câmera lenta do que acontece quando ouvimos um súbito ruído. O estampido de um tiro agita o ar em volta, assim como a pedra agitou a água produzindo ondas que se propagam em todas as direções até que, ao chegar ao ouvido, transfere uma parte do movimento ao tímpano e então percebemos o ruído.

Quando se denomina esse fenômeno de onda aparentemente, parece tratar-se de algo que se move para cima e para baixo, mas ao ouvirmos um Som ininterrupto não temos nenhuma sensação de movimento. A pedra no lago torna-se ineficiente para exemplificar um Som contínuo, mas se em lugar de arremessar uma pedra à água, produzindo umas poucas ondas circulares mergulhássemos e retirássemos um bastão da água alternadamente em movimento uniforme repetindo o movimento durante um certo tempo. A superfície da água ficaria coberta de ondas que iriam se expandindo a partir da extremidade do bastão. Da mesma maneira uma nota prolongada desloca-se no ar em ondas sonoras da mesma forma que as ondas liquidas caminham na superfície da água tendo origem, nos dois casos, de um objeto que se move regularmente de um lado para outro. Essas ondas, portanto, tem origem em um corpo que vibra, se contarmos o número de vibrações a cada segundo teremos como resultado a *frequência de vibração.*

Frequência Sonora

Se no exemplo do bastão na água mergulhássemos e retirássemos o bastão da água três vezes por segundo a frequência do movimento do bastão e das ondas produzidas seria de três vibrações por segundo. A frequência, portanto, refere-se ao número de vezes que um evento acontece no intervalo de tempo de um segundo, no nosso exemplo, vibrações por segundo. A frequência é medida em hertz (Hz) em homenagem ao físico alemão Heinrich Rudolf Hertz (1857-1894). Pensando em frequência, vamos imaginar tocar a nota ré no centro do teclado de um piano. A corda do piano que emite esse Som tem a frequência de aproximadamente 294 Hz, o que quer dizer que acorda vibra de um lado para o outro 294 vezes por segundo. Isso

também significa que quando ouvimos essa nota, 294 ondas atingem nosso ouvido a cada segundo!

Toda essa energia e poder que procede das ondas sonoras ecoando em suas diversas frequências e amplitudes tem poder de nos tomar e invadir nossas mentes antes mesmo que possamos nos dar conta disso. Cada buzina que ouvimos, toque de smartfone, cada música cada voz cada vibração que chega em forma de ondas sonoras em nossos ouvidos nos influencia, vamos dar a partir de agora uma atenção especial para isso. Primeiro vamos analisar, ainda que de maneira rápida e concisa, o caminho dos sons até a nossa consciência, ou pelo menos a parte do cérebro onde ela está, o córtex pré-frontal, bem atrás das nossas testas que gerencia nossas escolhas, nossa linguagem, nosso eu.

O Som, já sabemos como ele funciona e a maneira como viaja no meio ambiente, mas para chegar a ser percebido e nos fazer dançar ou mesmo tapar os ouvidos ele precisa adentrar as nossas cabeças e ser processado no nosso cérebro. Para isso ele faz um caminho incrível! E passa por muitos processos.

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a montagem dos instrumentos musicais, foi realizado um questionamento sobre o tema proposto. O questionário era composto por 7 questões abertas com o objetivo de verificar a construção de conceitos físicos durante a atividade proposta. O quadro 2 mostra as questões propostas.

Quadro 2- Questões propostas para verificar o conhecimento dos alunos sobre o conteúdo relacionado com o Som

	Questionário
1	*O que é o Som?*
2	*O Som é matéria ou energia?*
3	*Como o Som chega aos nossos ouvidos?*
4	*A temperatura também influencia na propagação do Som?*
5	*Quando o Som pode ser prejudicial?*
6	*Todo Som produz uma vibração. Mas toda vibração produz um Som?*
7	*O que é um Som grave e o que é um Som agudo?*

Fonte: o autor

O quadro 3, mostra as respostas dos alunos. As respostas foram coletadas através de inquérito oral que foi filmado para registrar as respostas.

Os alunos sinalizados pela letra A1 a A4 são os alunos integrantes do grupo que recebeu o Kit 1. Da mesma forma os alunos que receberam o Kit 2 são sinalizados pelas letras de A5 a A7 e os alunos que receberam o Kit 3 são simbolizados pelas letras A8 e A9 (um dos alunos preferiu não responder ao questionário.

Quadro 3- respostas dos alunos sobre o Som

Questão	Alunos	Respostas
1	A1	*"Tudo aquilo que pode ser ouvido"*
	A2	*"Ondas de Vibração"*
	A5	*" O Som é tridimensional".*
	A8	*"O Som é uma vibração que pode te deixar mais irritado ou mais calmo. Depende do Som que você está ouvindo".*
2		
	A1	*"Ondas que se encontram em um só lugar e se propagam. Energia."*
	A3	*"Trilha sonora. Energia"*
	A4	*"As ondas sonoras são feitas com objetos, com corpo, com tudo. Tudo à nossa volta produz ondas sonoras. A vida é um cotidiano de Som. Energia".*
	A6	*"Não dá pra pegar. É energia".*
	A7	*Gesticulou uma onda com a mão. "É energia".*
	A8	*"É uma energia".*
3		
	A1	*"Assim como a onda do mar, que precisa de um meio para se propagar. Assim como o raio, que estronda depois da luz".*
	A2	*"Através de ondas que se propagam. Reverbera".*
	A6	*"Pelas ondas sonoras".*
	A8	*"É uma vibração e não sei como se propaga".*
4		
	A2	*"Quando o ar está frio, fica mais condensado e o Som mais grave".*

	A5	*“Se a agua da garrafa estivesse fria ou quente, isso iria influenciar”.*
	A8	*“A temperatura não altera esse negócio de ampliar o Som”.*
5	A1	*“ O celular avisa que o volume muito alto pode prejudicar o tímpano”.*
	A2	*“Muito alto sim. Pode afetar o ouvido de uma forma negativa”.*
	A4	*“Depende. Tem pessoas que gostam de ouvir o Som mais alto e isso faz bem pra elas”.*
	A5	*“Psicologicamente não”.*
	A6	*“Acho que não”.*
	A7	*“Se ele estiver alto, bem alto, pode prejudicar o ouvido. Numa frequência alta”.*
	A8	*“Se o Som estiver muito alto mesmo, estrondando, ele prejudica”.*
6	A1	*“Sim”.*
	A2	*“Sim”.*
	A3	*“Sim”.*
	A4	*“Sim”.*
	A5	*“Se não vibrar não vai ter Som”.*
	A6	*“Acho que precisa do ar para vibrar. Se eu estiver no espaço, sem ar, não vai ter o que vibrar para fazer o Som”.*
	A7	*“Acho que não”.*
	A8	*“Quase todas as vibrações produzem Som, a do corpo não”.*
7	A4	*“ Na verdade o agudo está na parte mais alta”. Pelo fato do tubo ser mais alto, o Som é mais agudo. Nas partes mais baixas, ele sai mais grave”.*
	A5	*A garrafa mais cheia tem o Som mais grave porque vibra menos. E a garrafa vazia vibra mais”.*
	A8	*“O Som agudo tem mais chance de aparecer. Ele pode machucar mais. O grave depende da altura.*

DISCUSSÃO

O contexto da antropologia do Som engloba dois elementos: o Som enquanto fenômeno físico e, simultaneamente, inserido em concepções culturais, e, do outro lado, a música propriamente dita, isto é, o Som "culturalmente organizado" pelo homem (*humanly organized sound*, cf. Blacking, 1973 apud PINTO, T. A (2001).

A proposta do trabalho com o Som é bastante aceita pelo público juvenil, uma vez que o link desse assunto com a música, representa um forte elo entre o indivíduo e a sociedade (Adaptado de SETTON, M., 2009). Assim sendo, durante a execução do trabalho, a maioria dos alunos mostrou-se motivada e disposta a contribuir com a atividade proposta. Buscou-se, dessa maneira, por parte dos alunos participantes, o desenvolvimento do trabalho com as informações: seriando, classificando, organizando; o levantamento e teste de hipóteses para a solução de problemas, sejam eles empíricos ou mentais; a construção de explicações, justificativas e previsões sobre o assunto pesquisado/estudado; e o do raciocínio logico e proporcional, que são bases fundamentais do conhecimento científico, seguindo importantes premissas de uma SEI como observam Sasseron e Carvalho (2011).

Dessa forma, a partir das referências utilizadas no desenvolvimento do trabalho, as discussões abaixo procuram demonstrar quais elementos relevantes de uma SEI estavam presentes, destes destacamos: **proposição de um problema: *Que propriedades do Som podemos perceber durante a construção e utilização de um instrumento musical?***; **atividade em grupo**; **resolução do problema; sistematização do conhecimento** e **atividade avaliativa**. Coube-nos o **planejamento da atividade investigativa**, a **proposição do problema** e a **aplicação da atividade avaliativa**, sendo esperado dos alunos a **resolução do problema** para que, no processo, pudesse ser observada a construção e a **sistematização do conhecimento**, possibilitando, assim, inferir o desenvolvimento cognitivo do participante.

A discussão das respostas às perguntas que avaliaram a presente SEI, pretende demonstrar pontos fortes e fragilidades do processo investigativo em questão, para munir o professor que pretende utilizá-la, com informações que permitam um melhor aproveitamento a cada aplicação da SEI proposta neste trabalho.

Discussão das respostas obtidas na pergunta 1 "*O que é o Som?*"

Nessa questão, procurou-se avaliar a sistematização do conhecimento dos alunos, sendo possível o entendimento de que há, por parte dos alunos, uma multiplicidade de concepções sobre o assunto. O aluno A1 em sua resposta: *"Tudo aquilo que pode ser ouvido"*, associou o Som diretamente com a audição, sendo, para ele, o ato de escutar o principal parâmetro para a identificação do Som.

Na perspectiva do participante A2 cuja resposta foi: *"Ondas de Vibração"*, é possível associar a investigação do instrumento construído à sua resposta, pois relacionou as ondas à vibração. Percebe-se aqui que houve a construção de conhecimento a partir do processo investigativo, uma vez que ele observou que em sua origem, o Som partiu da vibração do objeto que manipulava, e que essa vibração, poderia para ele, se propagar em ondas; uma associação lógica e pertinente, parte da intenção da aplicação do produto.

Na resposta do aluno A5: " o Som é "*tridimensional"*, pode-se inferir que na dificuldade de representa-lo como algo que se movimenta de um ponto a outro e com sua propagação percebida em todas as direções (expressão marcada pelos gestos do aluno), a palavra escolhida para essa representação é adequada, baseada em sua percepção pessoal e conectada com sua visão de fenômenos anteriormente observados, o que é desejável em uma SEI.
Percebe-se que para o aluno A8 cuja resposta foi *"O Som é uma vibração que pode te deixar mais irritado ou mais calmo. Depende do Som que você está ouvindo"* foi importante expor o efeito que o Som lhe causa. Observou-se uma associação direta, por parte desse aluno, ao seu contexto pessoal e qualitativo, por isso uma atribuição particular de significado, além das subjetividades em relação ao Som do bambu.

Discussão das respostas obtidas na pergunta 2 "*O Som é matéria ou energia?*"

A pergunta 2 buscou verificar, com o processo investigativo, a capacidade que os alunos têm de relacionar a interação *matéria e energia* à partir da produção do sons de forma elaborada e de diferenciarem a ação dos dois. Procurou-se instigar

respostas consistentes e fundamentadas para fenômenos físicos observáveis e detectáveis relacionados a acústica.

Para essa questão o aluno A1 respondeu: *“Ondas que se encontram em um só lugar e se propagam. Energia”*. Percebe-se, nessa resposta, que houve a percepção acertada de que as ondas se propagam e, que pelo fato de as ondas chegarem ao ouvido, o aluno em questão, relacionou a resposta da segunda pergunta com a resposta da primeira pergunta: “*as ondas se encontram em um só lugar...”* no caso, seus ouvidos. Isso reforça a proposta de que “o ouvir” é um dos parâmetro considerados, pelos alunos, para a classificação do Som.

Para o participante A3, que ainda não havia se manifestado, a resposta para a pergunta 2 foi *“Trilha sonora. Energia”*. Nessa resposta percebe-se subjetividade e a associação do Som com o conjunto sonoro que acompanha uma produção audiovisual. Seguindo essa lógica, a “*Energia*” que o aluno pondera deve ser no sentido mais abstrato, relacionada a emoção provocada pelo Som de uma *“trilha sonora”*. Nessa perspectiva, a resposta pode ser validada, uma vez que considera a associação que aluno foi capaz de realizar, pautada em sua percepção individual do fenômeno observado.

O mediador da proposta pode fazer uso desse tipo de conclusão dos alunos em benefício do resultado esperado, associando os pontos de possíveis concordância mesmo com diferentes visões. Nesse sentido, a energia mais abstrata de uma trilha sonora nos “move” para o contexto de espectador de uma produção audiovisual. A energia, como conceito físico, produz trabalho e, quando o professor expõe esse fato ao aluno, poderá fazê-lo associando o “mover” ao “trabalho” que contempla o movimento. Cabe-se ressaltar a necessidade de ser objetivo e direcionar a reflexão ao fenômeno empírico mensurável do movimento.

O aluno A4 fez a seguinte proposição com relação à questão 2: “*As ondas sonoras são feitas com objetos, com corpo, com tudo. Tudo à nossa volta produz ondas sonoras. A vida é um cotidiano de Som. Energia”.* Percebe-se aqui, uma observação mais generalizada, que inclui “*Tudo à nossa volta...”* como potencial gerador de sons. Essa observação é correta e nela é possível perceber uma generalização esperada em um processo de investigação. Também, pode-se verificar uma composição mais sistematizada na resposta, com referência à vida, ente que

percebe o Som e a visão do cotidiano inundado de ondas sonoras. Ainda que de forma abstrata, o aluno associa essa conclusão ao fato de que tudo, material, produz Som- percepção física- e conclui: *"Energia"*.

Seguindo essa linha de raciocínio é possível notar semelhança com a resposta do aluno A6: *"Não dá pra pegar. É energia"*, associando diretamente à energia por não ser possível contê-lo com as mãos. Isso também configura uma análise interessante e chama a atenção para o fato de não haver em nenhuma das respostas a diferenciação da matéria a energia a propriedades da matéria possuir massa.

O aluno A7 respondeu (após fazer o gesto de uma onda com a mão): *"É energia"*. A gesticulação pode ser associada com o entendimento de que o Som é energia. Para o aluno, as ondas em si são feitas de energia, em coerência com o movimento gerado por este fenômeno, retratado pelo seu gesto. Isso configura uma percepção pessoal e aparentemente não influenciada pelas respostas anteriores. O último aluno que desejou responder, afirmou: "*"É uma energia".* Observa-se, nessa resposta, que ele deixa aberta a possibilidade de haver outras formas de energia sendo o Som *"...uma energia"*. Ele monstra com isso a possibilidade de ter em mente outras formas de energia e que o Som tem propriedades que também o classifica como tal.

Ao analisar o conjunto das respostas da questão 2 percebe-se que deixar os alunos livres para responderem apenas quando se sentissem seguros para fazê-lo, teve um efeito muito positivo uma vez que não houve respostas em duplicidade ou mero assentimento da resposta anterior. Também observa-se a falta de conhecimentos prévios da maioria dos alunos, uma vez que as associações foram realizadas com simplicidade e carência de vocabulário científico esperado ao abordar o assunto com os termos: frequência, intensidade, eco, entre outros.

Discussão das respostas obtidas na pergunta 3 "*Como o Som chega aos nossos ouvidos?"*

A pergunta 3 teve como objetivo verificar se os participantes, ao manipularem os objetos construídos, foram capazes de compreender como o Som que saía do

instrumento chegava aos seus ouvidos, trabalhando o fenômeno de propagação do Som pelo ar.

O aluno A1 observou: *“Assim como a onda do mar, que precisa de um meio para se propagar. Assim como o raio, que estronda depois da luz”.* Nessa resposta, percebe-se que houve uma associação da ideia de onda transportada pela água do mar com o Som do raio, (possivelmente o aluno tenha se referido ao Som do trovão). Esses elementos comparam dois meios materiais distintos transportando dois tipos de ondas mecânicas distintas. Observa-se que o aluno pontuou o fato do estrondo surgir depois da luz proveniente do raio, mesmo julgando ser o raio a causa dos dois fenômenos.

Na resposta do aluno 2: *“Através de ondas que se propagam. Reverberam”*, o aluno fez uma associação verdadeira do fenômeno sonoro com o termo reverbera. Também mostrou o entendimento de que as ondas se propagam e que por meio delas o Som chega aos nossos ouvidos. No entanto, não se atentou ao fato de ser necessário para isso um meio material. Houve nesse caso uma associação mental que agregou o termo à investigação favorecendo seu desenvolvimento cognitivo.

O participante A6 respondeu: *“Pelas ondas sonoras”,* possivelmente acreditando, serem as ondas sonoras suficientes para que o Som chegasse aos nossos ouvidos. Essa resposta traz a hipótese de que, possivelmente, seria possível melhorar a pergunta para que houvesse uma associação mais próxima da movimentação do Som com o meio material.

O aluno A8 respondeu a questão 3 da seguinte forma: *“É uma vibração e não sei como se propaga”*. A constatação de não saber como o Som se propaga, a partir da pergunta, demonstra um caráter positivo da pergunta, quando torna o participante consciente de que há um meio pelo qual a vibração do Som se propaga e ele ainda não era capaz de esclarecer qual seria. Na análise das respostas referentes à questão 3, também percebe-se a falta de alguns conceitos científicos que poderiam ser tratados antes da construção do instrumento musical, o que poderia tornar mais proveitoso o processo da SEI, aumentando a possibilidade de consolidação de ideias acertadas e conceitos verdadeiros. Por isso, enfatiza-se a proposta da leitura dos textos contidos nessa dissertação.

Discussão das respostas obtidas na pergunta 4 "*A temperatura também influencia na propagação do Som?*"

A pergunta 4 foi realizada com o intuito de verificar a capacidade dos alunos relacionarem a variação da temperatura com a velocidade de propagação do Som. Sabe-se que a densidade do meio e sua elasticidade tem uma relação complexa com a velocidade de propagação do Som, e portanto, não era intenção verificar o entendimento dos alunos sobre isso ao questionar sobre a temperatura do meio, mas buscar da parte dos alunos de que maneira eles sistematizariam as informações que eles haviam observado e dos seus conhecimentos prévios pertinentes a questão para realizar o levantamento e teste de hipóteses.

Posto isso, verifica-se na resposta do aluno A2: *"Quando o ar está frio, fica mais condensado e o Som mais grave".* Uma relação da temperatura com uma possível ideia de aumento da densidade quando o aluno fala em um ar *"condensado"*, mas a relação apresentada a seguir sugere mudança de frequência ou altura do Som pois ele completa dizendo que a temperatura influenciaria em um "*Som mais grave*" caso fosse "*Quando o ar está frio...*", apesar de não observarmos uma concepção fundamentada em um pressuposto físico conceitual, percebe-se que a diminuição da velocidade é algo que o aluno relaciona com o Som mais grave. Isso sugere que sua interpretação advém do efeito que a baixa rotação, ou reprodução lenta, causa no Som tornando-o aparentemente mais grave, ou seja: o aumento de densidade causa lentidão a qual por sua vez, resulta em Som grave. Apesar de ser uma lógica simples e fundamentalmente simples, o professor em seu trabalho de mediação durante a SEI pode intervir valorizando a lógica que o aluno apresentou, que é válida nesse momento, e enxertando informações na sistematização das ideias do aluno de forma que ele mesmo possa, aos poucos, corrigir as distorções de seu raciocínio para a construção de conceitos mais sólidos e definidos.

Já o aluno A5 que realizou a construção do kit 2 respondeu: *"Se a água da garrafa estivesse fria ou quente, isso iria influenciar".* O entendimento é de que a temperatura da água iria influenciar na velocidade de propagação do Som e isso seria percebido através da mudança do Som produzido. Isso pode ser percebido pelo fato do aluno iniciar sua resposta citando seu modelo. Houve uma clara relação do que se experimentou com alguma experiencia pessoal, já que na ocasião do trabalho não foi

possível testar sua hipótese, tudo indica que o aluno o fez mentalmente, configurando resultado positivo na resposta da pergunta.

O aluno A8 disse: *"A temperatura não altera esse negócio de ampliar o Som"*. Nessa proposição, entende-se um certo ceticismo com relação ao que foi questionado. Este ceticismo pode ter, nesse caso, dois desfechos interessantes: a) se compreendermos sua afirmação como uma hipótese, seu teste posterior valoriza a SEI e b) se o desfecho for sem cunho investigativo, sua resposta não produziria frutos para o desenvolvimento cognitivo.

O trabalho do professor, em um caso semelhante, pode ser esmiuçar a pergunta exercitando com o aluno a fragmentação do seu raciocínio, por exemplo, caberia devolver ao aluno a pergunta: "O que você quis dizer com 'ampliar'?" Dependendo da resposta o professor tem a possibilidade de inserir no contexto os novos conceitos desejados, integrando o repertório cognitivo do aluno sobre tema.

Discussão das respostas obtidas na pergunta 5 "*Quando o Som pode ser prejudicial?*"

A pergunta 5 integra a relação entre a Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente (CTSA), por ter um viés claramente ligado a saúde, qualidade de vida e meio ambiente. Esperava-se que os alunos confrontassem suas compreensões a respeito da intensidade sonora, a quantidade de energia empregada na geração do Som e, também, as suas preferências musicais em contraponto com os efeitos no aparelho auditivo. Também poderia se verificar outras questões ambientais importantes no contexto social relacionadas a questão.

Para a pergunta 5 o aluno A1 respondeu: *"O celular avisa que o volume muito alto pode prejudicar o tímpano".* Na verdade, os avisos que surgem nos dispositivos, nessas situações, não utilizam o termo "tímpano" mas sem os termos "aparelho auditivo ou audição". A resposta do aluno indica algum entendimento sobre os componentes do sistema auditivo, mas, neste caso, sua resposta mostrou-se um pouco distante do objetivo do questionamento. Entretanto, como o seu processo cognitivo mostrou associação com a questão e tendo em vista que não está implícito na pergunta a relação entre maior intensidade e o maior o potencial prejudicial do

Som, pode-se inferir que se houvesse a leitura correta do questionamento, o aluno poderia elaborar uma resposta mais completa. Apesar de simplista, o raciocínio é valido e pode ancorar o conceito de intensidade sonora.

O aluno A2 responde à questão de uma forma mais completa: *"Muito alto, sim. Pode afetar o ouvido de uma forma negativa".* Percebe-se nessa resposta a associação frequente entre um Som intenso e um Som de volume alto. Observa-se ainda o entendimento de que sons muito intensos prejudicam a audição, mas em suas vivencias, parte dos alunos relatam que ao experimentar sons de "volume alto" em seus dispositivos, não perceberam perdas auditivas. Cabe nesse momento uma discussão sobre o aparelho auditivo e como a perda da audição pode ser gradativa.

O aluno A4 em sua resposta: *"Depende. Tem pessoas que gostam de ouvir o Som mais alto e isso faz bem pra elas"*. Aqui, o aluno não faz acepção entre o dano físico potencial causado pelo Som intenso e o efeito de satisfação pessoal e o prazer que muitos podem sentir ao ouvir uma música de grande intensidade. A interpretação apresentada pelo aluno mostra que a sua percepção pessoal interfere no modo com que analisa a questão, sugerindo a importância se trabalhar o conteúdo sob à optica cientifica.

Na resposta do aluno A5 *"Psicologicamente não"* nota-se um pensamento equivalente ao do aluno A4, mas no seu entendimento, caso haja prejuízos à audição, seu "psicológico" não será prejudicado. O aluno A6 diz: *"Acho que não"*, ou seja, sua resposta considera provavelmente que a pergunta era apenas voltada ao volume da música que podemos escutar. Em uma situação como esta é necessário intervir e esclarecer que um estrondo de uma explosão, de máquinas industriais, turbinas de avião e fenômenos semelhantes podem prejudicar irreversivelmente a audição, e que essa questão abrange todos esses tipos de sons.

O aluno A7 respondeu: *"Se ele estiver alto, bem alto, pode prejudicar o ouvido. Numa frequência alta"*. Na primeira parte de sua resposta, observa-se o senso comum já discutido, no entanto, o aluno faz uma relação equivocada da frequência com a intensidade. Acredita-se que o aluno não pretendia afirmar que além do Som precisar ser muito alto, ele também precisaria ser agudo. Na resposta do aluno A8 observa-se

novamente o senso comum: *"Se o Som estiver muito alto mesmo, estrondando, ele prejudica"*. Assim como na resposta anterior, pode-se inferir que, para ele, o nível sonoro precisaria ser muitíssimo alto para gerar danos auditivos.

Os textos propostos nessa dissertação ampliam o assunto que relaciona o Som e seus efeitos sobre o corpo. Na oportunidade de aplicar a SEI não foi possível fazer uso dos textos.

Discussão das respostas obtidas na pergunta 6 "*Todo Som produz uma vibração. Mas toda vibração produz um Som?"*

Essa questão busca instigar os alunos a exporem de que forma eles puderam observar a transferência de energia ocorrida na manipulação dos instrumentos ao produzir os sons, energia essa, originada em suas próprias mãos e transformada seguidas vezes, passando pelos diferentes meios materiais até que pudesse ser recebida em seus ouvidos. Buscou-se, ainda, verificar se houve a possibilidade de apropriação dos conceitos relacionados a geração e propagação de uma onda sonora: compressão e rarefação das partículas em função da transferência de energia pelo Som.

Para essa pergunta os alunos A1, A2, A3, e A4, concordaram prontamente e responderam a questão com um *"Sim"*. Acredita-se, nesse caso, que a associação entre o golpe no objeto, causando a vibração e culminando em um Som, tenha sido claramente percebida na investigação.

O aluno A5 ponderou, em sua resposta, a vibração com uma condição obrigatória para o Som. Ele respondeu: *"Se não vibrar não vai ter Som"*. O aluno A6 relacionou com a questão 3 e formulou a seguinte resposta: *"Acho que precisa do ar para vibrar. Se eu estiver no espaço, sem ar, não vai ter o que vibrar para fazer o Som"*. Essa resposta indica a progressão na associação de ideias e conceitos, e o desenvolvimento de um entendimento mais complexo e bem elaborado.

O aluno A7 respondeu: *"Acho que não"*. Possivelmente, em sua análise, a generalização foi abrangente demais, mostrando a importância do teste de sua

hipótese, com uma fonte sonora e um anteparo para que, se fosse possível, ele mesmo pudesse perceber a propagação do Som juntamente às vibrações.

O aluno A8, após fazer pequenos movimentos como se estivesse verificando o que estava dizendo, respondeu: *"Quase todas as vibrações produzem Som, a do corpo não"*.. Nessa resposta percebe-se que o aluno, pode ter atribuído, à alguns materiais, a possibilidade de absorver a vibração de forma que não produzisse Som algum. Como o teste foi realizado em seu corpo, esse elemento fez parte de sua resposta, uma lógica interessante e válida para o desenvolvimento dos saberes postos em discussão.
Nas respostas relacionadas a essa pergunta caberiam mais questionamentos, por exemplo: *"Se toda vibração produz um Som e todo Som produz uma vibração isso não geraria sons e vibrações sucessivas e infinitas?"* Essa pergunta permitiria ao professor a inclusão de elementos relacionados aos conceitos de conservação e transformação de energia.

Discussão das respostas obtidas na pergunta 7 "*O que é um Som grave e o que é um Som agudo?"*

A fase de avaliação foi encerrada com a pergunta 7 que envolve a frequência da vibração sonora (termo que já havia surgido em uma ou outra resposta, mas até então utilizado de forma equivocada). A pergunta sete buscou analisar se houve, por parte dos alunos, a percepção de que a forma das partes constituintes de seus instrumentos era preponderante no tipo de Som gerado, ou seja, na forma de propagação da onda sonora, e as suas associações com notas musicais.

Em sua resposta o aluno A4 afirmou: *"Na verdade o agudo está na parte mais alta. Pelo fato do tubo ser mais alto, o Som é mais agudo. Nas partes mais baixas, ele sai mais grave".* O aluno fez essa afirmação após golpear seu instrumento tentando provar a sua tese. No entanto houve uma inversão de termos, ele troca em sua fala o agudo pelo grave, e não responde diretamente a pergunta, mas faz associações que indicam a relação entre a forma do tubo e o Som produzido. Aqui, cabe ressaltar a

importância de se realizar uma mediação atenta e corrigir essas possíveis distorções de entendimento.

O aluno A 5, enquanto demonstrava com seu instrumento, respondeu: "*A garrafa mais cheia tem o Som mais grave porque vibra menos. E a garrafa vazia vibra mais"*. O "vibrar mais ou vibrar menos" pode ser associado à frequência e sugere a importância de se oportunizar a investigação e teste de hipótese, criando espaço para a consolidação de um aprendizado fundamental para a compreensão correta do fenômeno.

Em sua fala, o aluno A8 respondeu: *"O Som agudo tem mais chance de aparecer. Ele pode machucar mais. O grave depende da altura"*. É possível perceber a associação entre as respostas, comprovando a sistematização dos conhecimento e sua esperada organização na mente dos alunos. Ainda que em sua fala o aluno demonstre não ter domínio dos conhecimentos trabalhados, o encadeamento das informações que ele coloca mostra qualificação que, para ele está presente nos sons e enfatiza suas diferenças e efeitos. Pode-se perceber a importância de se consolidar os conceitos através de material didático associado a SEI, o que também poderia ter sido feito durante o processo de execução da atividade.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise dos resultados obtidos com a aplicação da sequência de ensino investigativo, mostra que devem ser considerados aspectos positivos e negativos.

Todos os alunos envolvidos na atividade mostraram grande interesse e participação, manipulando os objetos com curiosidade e atenção, formulando questionamentos sobre como o objeto produziria o Som e ao mesmo tempo socializando as possíveis respostas. Nesse processo, eles mesmos refutavam determinadas hipóteses. Tal fato, contribuiu para o desenvolvimento da capacidade de argumentação, levando ao desenvolvimento de um raciocínio mais complexo, característica importante para a aprendizagem por investigação.

A atividade também permite uma análise individualizada dos fenômenos: produção, propagação e percepção do Som. Ao manipular os objetos, os alunos questionavam-se como o Som seria produzido e ao serem questionados sobre como o Som se espalha pelo ambiente, avaliavam a necessidade de um meio de propagação. Ainda discutiram, sobre a percepção do Som pelos nossos ouvidos, e o tipo de informação que ele seria capaz de transportar.

Entretanto, nota-se a necessidade prévia da construção de conceitos básicos para melhor aproveitamento da atividade proposta, como exemplo, a composição do ar atmosférico como elemento fundamental para a propagação do Som.

Observou-se também a existência de pouco conhecimento sobre a escala musical, mesmo para a diferenciação de uma nota grave e outra aguda.

Tais observações da ausência de conhecimentos básicos, podem comprometer a eficácia da sequência de ensino investigativo. Uma avaliação diagnóstica anterior, torna-se fundamental para avaliar o nível de conhecimento dos alunos e a partir daí aplicar a sequência de ensino investigativo, a qual deverá suprir as defasagens apresentadas.

Ainda que os resultados mostrem um a aprendizagem significativa através do desenvolvimento da SEI, é notória a falta de interesse dos alunos na participação da aula que requer leitura de textos e análise. Em nosso caso isto também é observado em outras disciplinas.

De forma geral apesar das dificuldades dos alunos, usar uma SEI para trabalhar com acústica para o ensino fundamental produz a dedução de elementos importantes para o desenvolvimento dos conceitos e generalizações no nível dos alunos, manipular os objetos e extrair desse processo fenômenos observáveis e fundamentais provocou algo maior que a simples abstração de ideias e repetição de termos científicos poderiam fazer sozinhos. Conclui-se que o trabalho, com todas as suas limitações e imperfeições teve resultado positivo no entendimento da Acústica para os participantes, e pode ser uma ferramenta útil para ensinar Física no ensino fundamental.

Como proposta final nos atrevemos a indicar a SEI como uma alternativa metodológica importante para o desenvolvimento das habilidades de reflexão e compartilhamento de hipóteses sobre o objeto estudado.

REFERÊNCIAS

Afonso, A. M. **Alfabetização Científica dos alunos e as ações do professor que corroboram com este processo**. (Dissertação de Mestrado em Ensino de Ciências), Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

AIRES, M.M. **Fisiologia**. 2ª.ed. Guanabara Koogan, Cap. 24, p.239-246 Rio de Janeiro: Editora, 1999.

Almeida, A. G. F. (2014). **As ideias balizadoras necessárias para o professor planejar e avaliar a aplicação de uma Sequência de Ensino Investigativa**. (Dissertação de Mestrado em Ensino de Ciências), Universidade de São Paulo, São Paulo.

Available from <http://www.scielo.edu.uy/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2301-01262019000100070&lng=en&nrm=iso>. access on 20 Aug. 2019. http://dx.doi.org/10.29156/inter.6.1.7.

BARBOSA, D. P. **Imagem Anatomia do ouvido -** disponível em: https://fofuuu.com/blog/esatencao-inquietacao-e-coceira-conheca-os-sinais-da-infeccao-de-ouvido/ acesso; 20/08/2019

BRASIL . **Base Nacional Comum Curricular. Ensino Médio**. Brasília: MEC. Versão entregue ao CNE em 03 de abril de 2018. Disponível em: http://basenacionalcomum.mec.gov.br/wp.content/uploads/2018/04/BNCC_EnsinoMedio_embaixa_site.pdf. Acesso em: 12 ago, 2018.

BRASIL ESCOLA. **Tubos Musicais sonoros**. Canal do Educador. Disponivel em<https://educador.brasilescola.uol.com.br/estrategias-ensino/tubos-sonoros-musicais.htm> Data de acesso: 26.01.2020.

BRASIL, Secretaria de Educação Fundamental. **Parâmetros Curriculares Nacionais: introdução aos parâmetros curriculares nacionais / Secretaria de Educação Fundamental.** Brasília: MEC/SEF, 1998. 130 p.

CACHAPUZ, A. et al; **A necessária renovação do ensino das ciências. 2**. ed. São Paulo: Editora Cortez, 2011. 264 p.

CALIXTO, W P.; RODRIGUES, C. G. **Poluição sonora**. NUPENGE–Núcleo de Pesquisa em Engenharia, Universidade Católica de Goiás, Goiás, p. 1-105, 2004.

CARVALHO, A. M. P. de. **Fundamentos Teóricos e Metodológicos do Ensino por Investigação,** EDITORA RBPEC, V. 18, n 3, 2018

CARVALHO, A. M. P. de. **O ensino de Ciências e a proposição de sequências de ensino investigativas. In Ensino de Ciências por investigação: condições para implementação em sala de aula.** Organizado por Anna Maria Pessoa de Carvalho. São Paulo: Cengage Learning, 2013. p. 1-20

Carvalho, A. M. P., Barros, M. A., Gonçalves, M. E. R., Rey, R. C., & Vannucchi, A I. **Conhecimento Físico no Ensino Fundamental**. São Paulo: Scipione, 1998.

Carvalho, A. M. P., Oliveira, C., Sasseron. L. H., Sedano L., & Batistoni M. **Investigar e Aprender Ciências,** 5 volumes, São Paulo: Editora Sarandi, 2011

Carvalho, A. M. P.. **As condições de diálogo entre professor e formador para um ensino que promova a enculturação científica dos alunos**. In A. Dalben, J. Diniz, L. Leal, L. Santos (Org.). Convergência e Tensões no Campo do Trabalho Docente, (pp. 281–300). Belo Horizonte: Autêntica, 2010

Coutinho, C. Ruppenthal, R. Da rosa O. T. **Alfabetização científica na formação em ciências da natureza**. InterCambios, Montevideo, v. 6, n. 1, p. 70-82, June 2019.

FELIZ, J. **Instrumentos Sonoros e Alternativos: Manual de Construção e Sugestões de Utilização.** Campo Grande: Editora Oeste, 2002

GASPAR, A. **Física: Ondas, óptica e termodinâmica**. Volume 2. Editora Ática. São Paulo, 2000.

Halliday e Resnick. **Fundamentos de Física: Gravitação, Ondas e Termodinâmica** Volume 2. 10ª Edição Rio de Janeiro Editora LTC, 2016

LIMA, V. M. **Uma sequência de ensino investigativa em aulas de ciências do 9º ano de uma escola pública: reflexões e apontamentos sobre o aprendizado de conceitos, procedimentos e atitudes**. 2015. 143 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Ciências) – Instituto de Ciências Exatas e Biológicas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2015.

PINTEREST. **Xilofone com garrafas.** Disponível em: < https://br.pinterest.com/pin/477944579194258156/?lp=true> Data de acesso: 26.01.2020.

PINTO, Tiago de Oliveira. Som e música. Questões de uma antropologia sonora. *Rev. Antropol.* [online]. 2001, vol.44, n.1 [cited 2020-07-29], pp.222-286. Available from: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-77012001000100007&lng=en&nrm=iso>. ISSN 0034-7701. https://doi.org/10.1590/S0034-77012001000100007. Data de acesso: 29.07.2020.

RANDALL, D. et al. **O ouvido dos vertebrados. In: Fisiologia Animal: Mecanismos e Adaptações**. 4.ed., Ed. Guanabara-Koogan, Cap.7, p.201-229, Rio de Janeiro 2000.

RODRIGUES, F. (2010). **Fisiologia Sensorial**. Revista da Biologia. 5. 25-33. 10.7594/revbio.05.06.

RUI, L. R. **A física na audição humana / Laura Rita Rui**. – Porto Alegre: UFRGS, Instituto de Física, Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, 2007. 74p.: il. (Textos de apoio ao professor de física / Marco Antonio Moreira, Eliane Angela Veit, ISSN 1807-2763; v. 18, n. 1)

São Paulo (Estado) Secretaria da Educação. **Currículo do Estado de São Paulo: Ciências da Natureza e suas tecnologias** / Secretaria da Educação; coordenação geral, Maria Inês Fini; coordenação de área, Luis Carlos de Menezes. – 1. ed. atual. – São Paulo: SE, 2011.152 p.

Sasseron, L. H. **ALFABETIZAÇÃO CIENTÍFICA, ENSINO POR INVESTIGAÇÃO E ARGUMENTAÇÃO: RELAÇÕES ENTRE CIÊNCIAS DA NATUREZA E ESCOLA**. *Ens. Pesqui. Educ. Ciênc. (Belo Horizonte)*, Nov 2015, vol.17, no.spe, p.49-67. ISSN 1983-211

SECRETARIA DA EDUCAÇÃO DO ESTADO DE SÃO PAULO (SEESP). **Caderno do aluno:** Ciências Ensino Fundamental – 9° ano, volume 2 São Paulo: SEE, 2014

SECRETARIA DA EDUCAÇÃO DO ESTADO DE SÃO PAULO (SEESP). **Proposta Curricular do Estado de São Paulo: Ciências.** São Paulo: SEE, 2010.

SILVA, D. C. M. "Ondas periódicas"; *Brasil Escola*. Disponível em: https://brasilescola.uol.com.br/fisica/ondas-periodicas.htm. Acesso em 12 de fevereiro de 2020.

STOLFI, G. **Percepção Auditiva e Compressão de Áudio.** PTC2547 Princípios de Televisão Digital **–** EPUSP – 10 / 2016 http://www.lcs.poli.usp.br/~gstolfi/ptc2547downloads.html

Video**:** Como fazer FLAUTA de PVC ft. VINHETEIRO e ZÉ GRAÇA disponível em: **https://www.youtube.com/watch?v=vYKZ_tah9xE e pdf da flauta de pvc https://www.manualdomundo.com.br/wp-content/uploads/como-fazer-flauta-cano-pvc-caseira.pdf data do acesso 21/08/19**

Young, H.D.; Freedman, R.A., Física II: Termodinâmica e ondas, tradução e revisão técnica de Adir Moysés Luiz e colaboradores, 10ª ed. São Paulo: Addison Wesley, 2003.

YOUNG, H.D.; FREEDMAN, R. A., **FISICA IV - Otica e Física Moderna**, 12a ed. São Paulo, Addison Wesley, 2008

APENDICE

SUMARIO DO APENDICE

Produto Educacional apresentação 3

1- Fundamentação teórica 4

Ondas sonoras 4

2- Fenômenos ondulatórios do Som..... 9

Reflexão 9

Refração 10

Difração 11

Interferência 11

Intensidade 12

3- Fisiologia da audição 14

Periferia auditiva 14

A Cóclea 16

O caminho do Som 20

4- Ensino investigativo 23

O Som 23

A velocidade do Som 24

A frequência sonora 24

Intensidade sonora. 25

O timbre 25

O eco 26

5- Sequência de ensino investigativo 30

1º Momento 30

2º Momento 31

Construção e partes dos kits 31

3º Momento 33

PRODUTO EDUCACIONAL CONFECCIONADO COMO GUIA PARA O PROFESSOR

Programa de Pós-Graduação da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Unesp.

Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF).

Setembro de 2020

1. Fundamentação Teórica

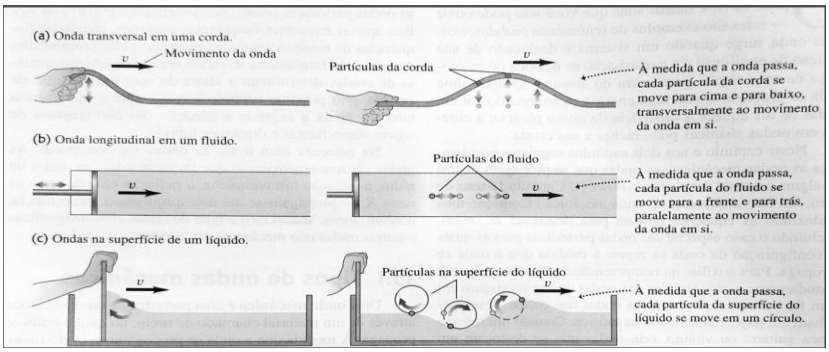
1.1 Ondas sonoras

A acústica representa um importante ramo de estudo da física que faz parte da vida do aluno, basta considerar todos os sons que nos cercam. Vivemos imersos em uma atmosfera sonora, cercados de sons de todo tipo, sons emitidos por pessoas, animais, máquinas, o vento que provoca uma infinidade de sons onde passa e, praticamente tudo o que se move produz algum tipo de Som. Dependendo das características podem ser ruídos ou sons agradáveis.

Diversas formas de produção e detecção de ondas sonoras são utilizadas, e a tecnologia nos disponibiliza uma infinidade de artefatos criados para esse fim, tudo cercado de importância econômica, biológica e social. Nosso aparato natural para detecção de ondas sonoras é uma das janelas conectada a nosso cérebro, e a partir dela, temos consciência da riqueza de informações presentes no mundo em que vivemos.

As ondas sonoras são ondas mecânicas, que precisam de um meio para se propagar, diferente das ondas eletromagnéticas que se propagam através do espaço vazio, como por exemplo a luz. Existe também uma outra classe de ondas: são as ondas associadas com o comportamento das partículas atômicas e subatômicas (YOUNG E FREEDMAN, 2003). As ondas mecânicas são perturbações que se propagam no meio material e à medida que a onda se propaga, as partículas do meio sofrem deslocamentos de formas diferentes. Se o deslocamento for perpendicular à propagação da onda, se diz que as ondas são ondas transversais, como mostra a figura 1a. Se o deslocamento da onda for na mesma direção da perturbação se diz que as ondas são longitudinais, como mostra a figura 1b. Também temos as ondas mistas como mostra a figura 1c., uma placa de vidro oscilando para frente e para trás, dentro de um tanque desloca a água produzindo ondas na mesma direção da perturbação e também na direção perpendicular (YOUNG E FREEDMAN, 2003).

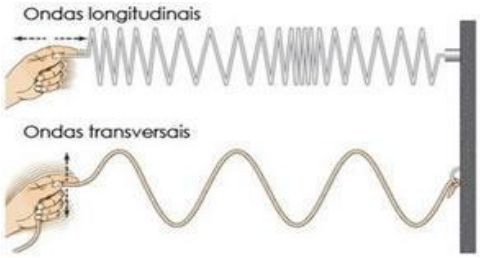
Figura 1*: Tipos de ondas mecânicas*



Fonte: (YOUNG E FREEDMAN, 2003)

Como complemento à figura 1, temos a figura 2 que apresenta as ondas longitudinais e transversais.

Figura 2: Ondas transversais e longitudinais.



Fonte: explicatorium.com.

Quando se fala de perturbação, queremos dizer que as partículas que compõem o meio vibram no seu ponto de equilíbrio, mas quem se desloca é a perturbação com uma velocidade **v** que depende da origem da perturbação e do meio onde acontece o deslocamento. Quando a perturbação se repete em tempos iguais se diz que a onda é periódica, como acontece quando balançamos a extremidade de uma corda com um movimento repetitivo. As partículas que compõem a corda também realizam um movimento periódico, neste caso o movimento além de ser periódico é oscilatório, ou seja, as partículas se deslocam para cima e para baixo do ponto da origem da perturbação, este é um movimento harmónico simples (MHS).

Segundo Young e Freedman (2008) “De todas as ondas mecânicas da natureza, as mais importantes são as ondas longitudinais que se propagam em um meio, em geral o ar, e são chamadas de ondas *sonoras*”. A definição mais geral de Som é a de “uma onda longitudinal que se propaga em um meio material”. Em sua propagação as ondas assumem um comportamento que lhe confere suas propriedades fundamentais, sendo:

A $amplitude\ y_m$ *é* o valor absoluto do deslocamento máximo sofrido por um elemento a partir da posição de equilíbrio quando a onda passa por esse elemento. Como y_m é um valor absoluto é sempre positivo seja ele medido para cima ou para baixo (HALLIDAY E RESNICK, 2016).

A $fase$ de uma onda é o argumento $kx - \omega t$ do seno. A função seno e a variação da *fase* da onda com o tempo correspondem à oscilação de um elemento quando a onda passa por esse elemento, e a amplitude da onda determina os extremos do deslocamento (HALLIDAY E RESNICK, 2016).

o $comprimento\ de\ onda\ \lambda,$ que de acordo com os autores supracitados, é a distância medida paralelamente a direção de propagação da onda) entre repetições da forma de onda. Um comprimento de onda típico é um instantâneo da onda no instante $t = 0$. O parâmetro k é chamado *número de onda* sendo: $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ a unidade do *número de onda* do SI é o radiano por metro ou m^{-1} .

O $período\ T$ de uma onda pode ser definido como o tempo que um elemento leva para realizar uma oscilação completa, quando a onda passa por esse elemento (HALLIDAY E RESNICK, 2016).

A $frequência\ angular$ é uma medida escalar da velocidade de rotação, a frequência angular é a magnitude da velocidade angular da quantidade do vetor, sendo apropriada para o dimensionamento de uma onda, representada pelo parâmetro ω, a unidade de frequência angular no SI é o radiano por segundo (rad/s), então tem- se:

$$\omega = \frac{2\pi}{T}$$

A $frequência\ f$ de uma onda é o número de oscilações de uma onda num determinado intervalo de tempo, é definida como $1/T$ e está relacionada à *frequência angular* ω pela equação:

$$f = \frac{1}{T} = \frac{\omega}{2\pi}$$

A $constante\ de\ fase\ \phi$ ou ângulo de fase depende do deslocamento e da velocidade (do campo elétrico ou pressão do ar), o valor pode ser escolhido de tal forma que a função forneça outro deslocamento e outra inclinação em $x = 0$ para $t = 0$. Pode-se generalizar introduzindo uma *constante de fase* ϕ na função de onda:

$$y = y_m sen(kx - \omega t) \Longrightarrow y = y_m sen(kx - \omega t + \phi)$$

Ao se propagar no sentido positivo de x, com toda forma de onda se deslocando de uma distância Δx nessa direção durante um intervalo Δt. A razão $\frac{\Delta x}{\Delta t}$ (ou, no limite infinitesimal dx/dt) é a $velocidade\ v\ da\ onda$.

Por existirem apenas em meios materiais, as ondas mecânicas são regidas pelas leis de Newton. Ondas mecânicas transversais como as que existem em uma corda esticada, são ondas em que a direção de propagação da onda ocorre perpendicular à oscilação das partículas que compõe o meio. As ondas em que a direção de propagação coincide com a direção do movimento oscilatório das partículas são chamadas de ondas longitudinais (HALLIDAY E RESNICK, 2016).

Uma onda senoidal que se propaga no sentido positivo do eixo x pode ser descrita pela equação:

$$y(x,t) = ym\ sen(kx - \omega t),$$

em que y_m é a amplitude (deslocamento máximo) da onda, k é o número de onda, ω é a frequência angular e $kx - \omega t$ é a fase. A relação entre o número de onda e comprimento de onda é dada por:

$$k = \frac{2\pi}{\lambda}$$

A relação entre a frequência angular, a frequência e o período é:

$$\frac{\omega}{2\pi} = f = \frac{1}{T}$$

A relação entre a velocidade *v* e os outros parâmetros de uma onda é:

$$v = \frac{\omega}{k} = \frac{\lambda}{T} = \lambda f$$

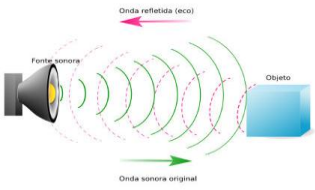
Toda função da forma:

$$y(x,t) = h(kx \pm \omega t)$$

pode representar uma onda progressiva que está se propagando com velocidade $v = \omega/k$, cuja forma é dada pela função h. O sinal positivo mostra que a onda se move no sentido negativo do eixo x, e o sinal negativo mostra que a onda se move no sentido positivo do eixo x (HALLIDAY E RESNICK, 2016)

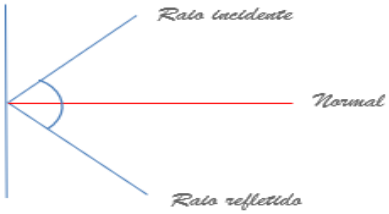
2.Fenômenos ondulatórios do Som

Reflexão



As ondas sonoras sofrem $reflexão$ ao atingir qualquer obstáculo, se uma frente de ondas planas, com comprimento de onda λ atingem um anteparo plano, elas se refletem e dão origem a novas frentes de ondas separadas pelo mesmo comprimento de onda λ. O raio incidente é perpendicular as frentes de ondas incidentes e o raio refletido é perpendicular as frentes de ondas refletidas. Portanto:

$\theta_A = \theta'_A$



O ângulo formado entre o raio incidente **i** e a normal ao anteparo é o ângulo de incidência, e o ângulo formado entre a normal e o raio refletido forma-se o ângulo de reflexão. Esse comportamento de reflexão de ondas sonoras dá origem ao fenômeno conhecido como *eco* o qual permitiu o desenvolvimento de várias aplicações tecnológicas.

Em geral em recintos de dimensões caseiras, a reflexão do Som emitido, isto é, o Som refletido se Soma ao emitido aumentando a sua intensidade, mas nem sempre isso ocorre, pois depende do intervalo de tempo em que o Som permanece audível no ambiente, fenômeno chamado de $tempo\ de\ reverberação$.

O *eco* caracteriza-se pela percepção distinta do Som emitido e refletido. Como ouvido humano só consegue distinguir dois sons quando o intervalo entre eles for no mínimo um 0,1s; o eco também só é percebido dentro dessa condição. Para que se perceba o *eco,* a distância entre o ponto em que o Som é emitido (e recebido) e o obstáculo em que ele se reflete depende da velocidade do Som no local (GASPAR, 2000).

Refração

Ainda de acordo com o autor supracitado, *refração* ocorre sempre que a onda atravessa a superfície de separação de meios em que a velocidade de propagação da onda é diferente. Mesmo a velocidade de propagação variando sempre que a onda passa de um meio para outro, o desvio na direção da trajetória só ocorre quando a incidência é oblíqua. Se a onda incide normalmente à superfície de separação dos dois meios, a direção de propagação não sofre desvio embora ocorra variação da velocidade. A característica típica da refração é mudança ou desvio de direção de propagação. Determina-se o

desvio matematicamente pela variação dos ângulos de incidência e refração com auxílio da $Lei\ da\ Refração$.

$$\frac{sen\ \theta_1}{sen\theta_2} = \frac{v_1}{v_2}$$

Substituindo os valores de velocidade tem-se

$$\frac{sen\ \theta_1}{sen\theta_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2}$$

Difração

Entende-se por $difração$ a tendência de uma onda contornar obstáculos, uma vez que certos fenômenos contrariam a propagação retilínea das mesmas. Assim, $difração$ é a capacidade que a onda tem de ultrapassar um obstáculo, tomar regiões onde não deveria propagar-se caso admitimos sua propagação retilínea apenas nos meios homogêneos, deixando de existir, dessa forma, o que seria a Sombra geométrica projetada pelo obstáculo. Graças ao fenômeno da $difração$ *é* possível ouvir uma pessoa que fala num recinto diferente daquele em que o indivíduo se encontra. É possível verificar que a *difração* depende do comprimento de onda λ, pois se o valor de λ for reduzido, a onda praticamente não contorna o obstáculo, porém se o valor de λ for aumentado, a *difração* irá se acentuando. (CALIXTO E RODRIGUES, 2004)

Interferência

Se os movimentos ondulatórios são de mesma frequência, a superposição de ondas determina efeitos peculiares e importantes, chamados de *Interferência de ondas individuais*, exemplo: quando movimentos ondulatórios de frequência e amplitude iguais se propagam na mesma direção, mas em sentido oposto, há uma interferência que resulta em uma onda estacionária.

Normalmente sabe-se a diferença de percurso e o comprimento de onda, portanto se o número obtido na divisão do percurso pelo comprimento de onda for um número natural, há $interferência\ será\ construtiva$. Abaixo temos:

$$\frac{\Delta S}{\lambda} = n\ com\ n = 0,1,2,3,4\ ...$$

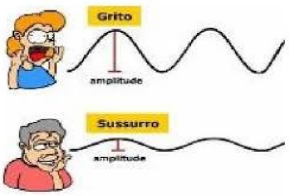
No caso de haver $interferência\ destrutiva$, a diferença de percurso deve ser a distância entre os pontos que oscilam em oposição de fase, efetua-se a divisão da diferença de percurso, ΔS , pelo comprimento de onda, obtendo um quociente de um número natural mais meio. Assim temos:

$$\frac{\Delta S}{\lambda} = n + \frac{1}{2}\ com\ n = 0,1,2,3,4\ ...$$

No caso de uma $interferência\ parcial$ a diferença de percurso não obedece à nenhuma das condições anteriores, veja:

$$n\ \neq \frac{\Delta S}{\lambda} \neq n + \frac{1}{2}\ com\ n = 0,1,2,3,4\ ...$$

Intensidade



A intensidade I de uma onda sonora em uma superfície é a taxa média por unidade de área com a qual a energia contida na onda atravessa a superfície ou é absorvida pela superfície. Matematicamente, tem-se:

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

em que *P* é a taxa de variação com o tempo da transferência de energia (ou seja, a potência) da onda sonora e *A* é a área da superfície que intercepta o Som. A amplitude do deslocamento no interior do ouvido humano varia de cerca de 10^{-5} m, para o Som mais alto tolerável, à cerca de 10^{-11} m para o Som mais fraco detectável, uma razão de 10^{6}.

A intensidade de um Som varia com o quadrado da amplitude, a razão entre as intensidades nesses dois limites do sistema auditivo humano é 1012. Isso significa que os seres humanos podem ouvir sons com uma enorme faixa de intensidades. Para lidar com um intervalo tão grande de valores, recorre-se aos logaritmos. Considere a relação:

$$y = log\, x,$$

em que x e y são variáveis. Uma propriedade dessa equação é que, se x é multiplicado por 10, y aumenta de 1 unidade. Para verificar se isso é verdade, basta escrever:

$$y' = log(10x) = log\, 10 + log\, x = 1 + y.$$

Da mesma forma, quando se multiplica x por 10^{12}, y aumenta apenas de 12 unidades.

Assim, em vez de tratar da intensidade I de uma onda sonora, é muito mais conveniente tratar do nível sonoro β, definido pela expressão:

$$\beta - (10dB)log\frac{I}{I_0}$$

em que *dB* é a abreviação de decibel, unidade de nível sonoro, um nome escolhido em homenagem a Alexander Graham Bell. O I_0 na equação é uma intensidade de referência (= 10^{-12} W/m^2), cujo valor foi escolhido porque está próximo do limite inferior da faixa de audição humana. Para $I = I_0$, a equação dá $\beta = 10\ log\ 1 = 0$, de modo que a intensidade de referência corresponde a zero decibel. O valor de β aumenta em 10 *dB* toda vez que a intensidade sonora aumenta de uma ordem de grandeza (um fator de 10). Assim, ***β = 40*** corresponde a uma intensidade 10^4 vezes maior que a intensidade de referência (HALLIDAY E RESNICK, 2016).

3- Fisiologias da Audição

A audição funciona a partir da detecção dessas variações de pressão produzidas pelo deslocamento de uma onda sonora. Ao passar pelo canal auditivo, uma onda sonora exerce uma pressão flutuante sobre um lado do tímpano, o ar do outro lado, é expelido pelo tubo de Eustáquio. A diferença de pressão entre os dois lados do tímpano faz com que o ar se movimente. Microfones e aparelhos similares também captam, em geral, diferença de pressão, não deslocamentos.

Seja $P\ (x,t)$ a flutuação instantânea da pressão uma onda sonora para cada ponto x em instante t. Ou seja, $P(x,t)$ é uma função que fornece a diferença entre a pressão da onda e a pressão atmosférica normal P_a. A flutuação de pressão acontece devido a variação entre deslocamentos de partículas vizinhas do meio (YOUNG E FREEDMAN, 2008).

Periferia auditiva

A audição atinge o máximo de desenvolvimento em aves e mamíferos, estando os órgãos auditivos entre os órgãos sensoriais mais complexos nesses animais

(AIRES, 1999). Nas linhas a seguir procura-se descrever as estruturas e eventos envolvidos na recepção dos sons e as vias nervosas envolvidas em seu processamento.

A estrutura da orelha externa age como um funil que coleta as ondas sonoras do ar de uma área maior e concentra a pressão aérea oscilante sobre uma superfície especializada, o *tímpano* da orelha ou *membrana timpânica*. As estruturas externas da orelha (alguns autores chamam de *hélice e trago*, outros autores denominam pavilhão auditivo) facilitam a captação das ondas sonoras (Figura1). A forma das estruturas externas que lembra uma concha, pode modificar a sensibilidade direcional do sistema auditivo. As propriedades acústicas da orelha externa amplificam os sons em faixas particulares de frequência. Além disso, a orelha humana enfatiza a distribuição espacial dos estímulos através da amplificação dos sons provenientes de algumas direções mais do que faz com sons de outras direções (RANDALL, 2000).

Como pode-se notar ouvido dos seres humanos é subdividido em três partes: ouvido externo, que ajuda a coletar as ondas sonoras e favorece sua condução até a membrana timpânica; o ouvido médio que contém um conjunto integrado de três pequenos ossos (bigorna, martelo e estribo) que transportam as vibrações coletadas na membrana timpânica até a terceira parte do ouvido, o ouvido interno, que é composto pela cóclea, um tubo que se enrola sobre si formando uma espiral preenchida por fluidos (AIRES, 1999).

As oscilações mecânicas produzidas no tímpano por uma onda sonora são transmitidas a uma abertura na cóclea conhecida como janela oval, por meios dos ossículos constituintes do ouvido médio. Esse sistema de pequenos ossos tem a importante função de tornar possível a transferência dessas oscilações entre dois meios com diferentes características acústicas: o ar e a perilinfa, o líquido que preenche a rampa vestibular. Se não houvesse esses ossículos as ondas sonoras ao atingirem a janela oval, em sua maior parte seriam refletidas. O sistema de alavancas formado pelos ossículos contribui para o que se denomina o “casamento de impedâncias” entre os diferentes meios.

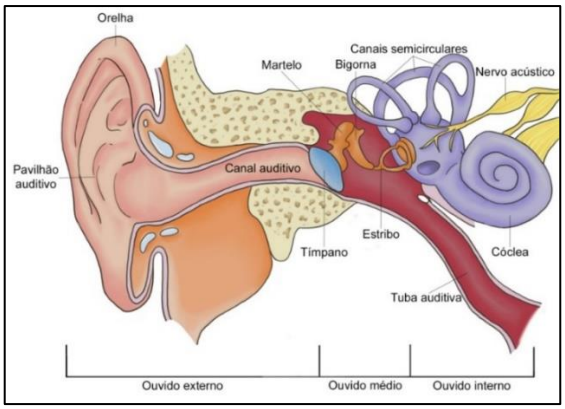
Outro fator importante é a relação entre as áreas da membrana timpânica e da janela oval: a energia sonora absorvida pela membrana timpânica de maior superfície,

é concentrada na menor superfície representada pela janela oval: aumentando a pressão transmitida (AIRES, 1999). Na orelha interna a primeira estrutura a receber o impulso mecânico é a janela oval que forma a superfície mais externa da cóclea, que contém as células receptoras ciliadas, na outra extremidade do compartimento está outra membrana a janela redonda.

Existem duas consequências importantes deste arranjo. Primeira, as propriedades do acoplamento mecânico, entre a membrana timpânica, os ossículos e a janela oval, amplificam o sinal cerca de 1,3 vez. Segunda, a pressão do sinal é muito amplificada entre a membrana timpânica e a janela oval porque o tímpano tem uma área de cerca de 0,6 cm^2, enquanto a área da janela oval é cerca de 0,032cm^2. Esta relação de cerca de 17:1 entre as áreas das duas membranas significa que a pressão sonora sobre o tímpano é concentrada sobre a área menor da janela oval, produzindo pressão muito maior, o que é importante porque a inércia do líquido coclear do outro lado da janela oval é muito maior que a do ar.

O aumento da pressão ajuda a transferir eficazmente as vibrações sonoras para o líquido coclear em consequência dessas duas características mecânicas, os sinais que chegam a membrana timpânica são amplificados por um fator de pelo menos 22 quando eles alcançam a cóclea (RANDALL, 2000).

Figura 3: Anatomia do ouvido

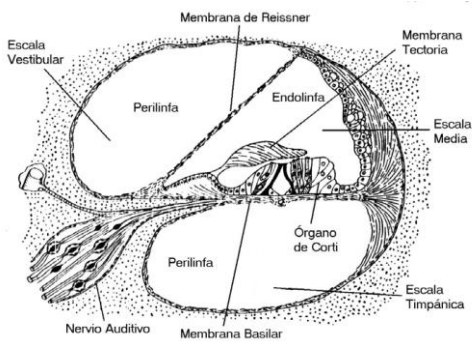


Fonte: (BARBOSA E PANNUNZIO, 2017)

A Cóclea

A cóclea, uma espiral de duas voltas e meia em torno do *modíolo*, é dividida em três compartimentos: a rampa vestibular, que continua a partir da janela oval; a rampa timpânica que se comunica a rampa vestibular por meio do helicotrema, terminando na janela redonda; e a rampa média ou ducto coclear, que se localiza entre os dois compartimentos anteriores. As oscilações transmitidas da membrana timpânica a janela oval, pelo conjunto de ossículos, produzem ondas de pressão que se propagam na perilinfa, a qual preenche a rampa vestibular. Essas ondas de pressão causam oscilações correspondentes na perilinfa e rampa timpânica, sendo também transmitidas a rampa média, que, por sua vez, contém em seu assoalho a (membrana basilar) o órgão de Corti, a estrutura responsável pelo processo de tradução sensorial (Figura 4).

Figura 4: Corte transversal de cóclea com seus principais componentes

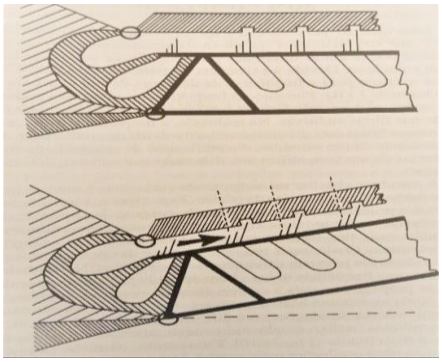


Fonte: (AIRES, 1999)

A cóclea, portanto, converte a pressão diferencial, que se estabelece entre as rampas vestibular e timpânica em movimentos oscilatórios da membrana basilar, culminando com processos excitatórios e inibitórios das células sensoriais do órgão de Corti. Essas células sensoriais, denominadas células ciliadas, são assim chamadas por exibir um conjunto de cílios em sua superfície apical, os *estereocílios.* Os estereocílios projetam-se, por sua vez, em direção a membrana tectória, fixando-se a ela (Figura 3). O movimento da membrana basilar, provoca então uma força de cisalhamento que age sobre os estereocílios, promovendo um deslocamento angular destes últimos (Figura 4).

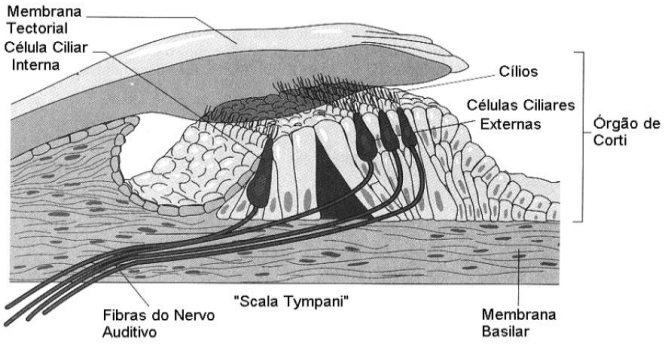
Esse deslocamento angular dos estereocílios também oscilatório, provoca a abertura e o fechamento de canais iônicos das células ciliadas resultando em oscilações de seu potencial de membrana que reproduzem as características ondulatórias das ondas originais. As células ciliadas, em resposta à oscilação de seu potencial de membrana, liberam moléculas de neurotransmissor que vão agir sobre as terminações periféricas de neurônios cujos corpos celulares localizam-se no gânglio espiral (AIRES,1999).

Figura 5: Órgão de Corti, compreendido entre as membranas tectória e basilar, no interior da rampa média



Fonte:*(STOLFI, 2016)*

Figura 6: Diagrama da forma de deslocamento do órgão de Corti

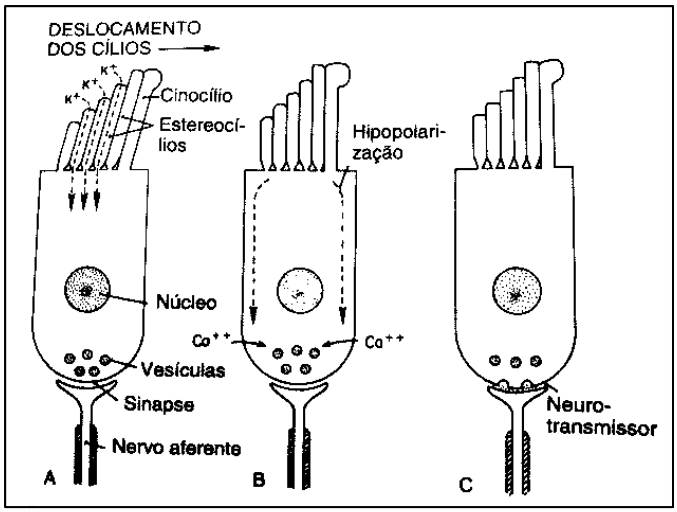


Fonte: (AIRES, 1999)

Os prolongamentos centrais desses neurônios irão constituir a porção auditiva do nervo vestíbulo-coclear, conduzindo a informação sensorial ao interior do sistema nervoso central.

Registros elétricos de vários locais da cóclea mostram flutuações no potencial elétrico que são semelhantes em frequência, fase e amplitude às das ondas sonoras que os produziram. Esses *potenciais microfônicos cocleares* resultam da Somação de correntes de receptores de numerosas células ciliadas que foram estimuladas pelos movimentos da membrana basilar. O evento de transdução ocorre quando uma perturbação da membrana basilar força as pontas dos estereocílios em uma inclinação lateral, porque a membrana basilar se moveu em relação a membrana tectória. Essa deflexão mecânica promove diretamente a abertura de canais iônicos na ponta dos estereocílios. Esse movimento produz uma hipopolarização da célula ciliada (A), os canais de Ca^{++} dependentes da voltagem se abrem (B), o Ca^{++} tem a função de introduzir a liberação de neurotransmissor pela célula ciliada (C), a sinapse ativará a fibra aferente (Figura 7).

Figura 7: Deflexão dos estereocílios produzindo a sinapse

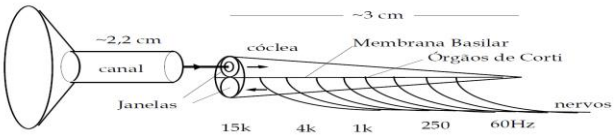


Fonte: (AIRES, 1999)

Vários fatores afetam a sensibilidade das células ciliadas. Cada célula ciliada da cóclea parece estar sintonizada a uma faixa particular de frequência sonora em consequência de propriedades mecânicas e de canal. Cada célula tem uma frequência de ressonância que é determinada pelo comprimento dos estereocílios no feixe de cílios. As células com cílios mais longos são mais sensíveis a sons de baixa

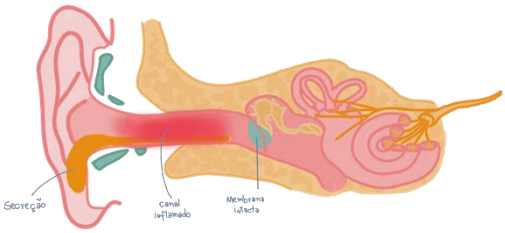
frequência, enquanto as células com cílios mais curtos estão sintonizadas para sons de alta frequência (Figura 6). Além disso, cada célula responde maximamente a uma frequência particular de estimulação elétrica. Essa frequência de ressonância elétrica é determinada pelo balanço das correntes através dos canais de Ca^{++} dependentes da voltagem e de canais de K^{+} sensíveis ao Ca^{++} na membrana basal (que está exposta a perilinfa) (RANDALL, 2000).

Figura 8: Representação esquemática do ouvido humano e a recepção das frequências sonoras



Fonte: (STOLFI, 2016).

O Caminho do Som

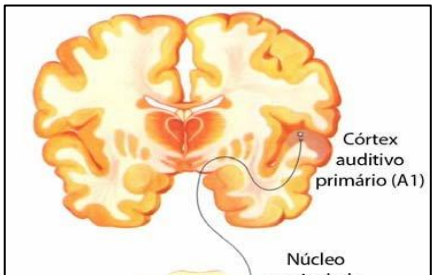


As eferências dos núcleos cocleares são conduzidas por três vias principais: a estria acústica dorsal, a estria acústica intermédia e, mais importante, o corpo trapezóide. Do corpo trapezóide partem projeções ipsilaterais e contralaterais para os núcleos olivares superiores, dos quais o superior medial está envolvido principalmente na localização espacial de sons por meio de comparações temporais. Neurônios presentes nesse núcleo recebem projeções cocleares bilaterais, e são sensíveis a diferenças nas fases de sons contínuos apresentados a ambos os ouvidos simultaneamente. Por sua vez o núcleo o núcleo olivar superior lateral está associado a diferenças na intensidade dos sons que alcançam os ouvidos. Projeções dos núcleos cocleares e olivares superiores por intermédio do lemnisco lateral, alcançam o colículo inferior, o qual recebe aferências binaurais, preservando a organização tonotópica. Do colículo partem axônios em direção ao tálamo ipsilateral. O principal núcleo talâmico da informação auditiva é o núcleo geniculado medial, que retransmite essa informação ao córtex auditivo primário ipsilateral, localizado no giro temporal superior (Figura 9).

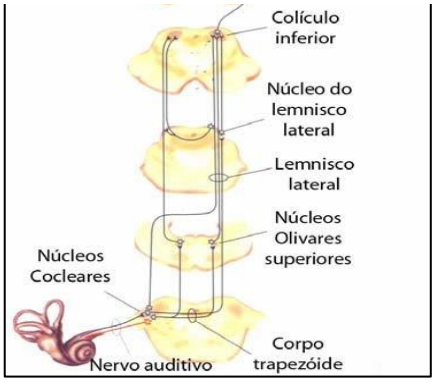
Figura 9: *Trajeto percorrido pelas fibras nervosas provenientes da cóclea até o cérebro*

A aferência tálamo-cortical não se constitui em uma projeção única e homogênea, mas se divide em múltiplas subdivisões, funcional e filogeneticamente distintas. Demonstrou-se, no entanto, que o córtex auditivo também se organiza tonotopicamente, possuindo vários mapas detalhados onde diferentes bandas de

frequências são representadas ao longo de regiões corticais distintas. Os tamanhos dessas regiões estão relacionados com a importância das frequências que representam, e não com a largura das bandas das frequências em questão, em semelhança cortical de outras modalidades sensoriais (AIRES, 1999).



Fonte: (RODRIGUES, 2010)



4- Ensino investigativo

Texto introdutório

Professor, a seguir temos as habilidades relacionadas à sequência de ensino investigativo e o texto introdutório para ser trabalhado com os alunos.

Habilidades da BNCC Relacionadas
(EF09CI05) Investigar os principais mecanismos envolvidos na transmissão e recepção de imagem e **Som** que revolucionaram os sistemas de comunicação humana.

(EF09CI07) Discutir o papel do avanço tecnológico na aplicação das radiações na medicina diagnóstica (raio X**, ultrasSom**, ressonância nuclear magnética) e no tratamento de doenças (radioterapia, cirurgia ótica a laser, infravermelho, ultravioleta etc.).

O Som

O Som é uma sensação causada em nós por um tipo de onda, a onda sonora. As ondas sonoras são ondas longitudinais originadas a partir de vibrações de corpos materiais (lâminas, membranas, cordas, etc.). Essas ondas se propagam pela ação das partículas (átomos ou moléculas) do ar ou de outro meio material. Por isso elas não se propagam no vácuo: é preciso existir um número suficiente de partículas para haver uma onda de compressões e rarefações.

A orelha humana é capaz de captar Somente as ondas que estão na faixa de cerca de 20 hertz a 20 quilo-hertz. Apenas ondas nessas frequências são capazes de serem percebidas como sons. As ondas com frequência abaixo de 20 hertz são chamadas **infrassons** e as com frequência acima de 20 quilo-hertz (20 000 Hz) são chamadas **ultrassons**. Ondas nessas faixas não são captadas como sons por nós, mas podem ser captadas por alguns animais.

A Velocidade do Som

O Som se desloca com diferentes velocidades dependendo do meio em que ele está sendo propagado. Quando se altera a densidade e elasticidade do meio, altera-se a velocidade de propagação do Som. No alumínio, por exemplo, o Som se propaga a, aproximadamente, incríveis 6420 metros por segundo! Já na água o Som

se movimenta a, aproximadamente, 1450 metros por segundo; no ar a velocidade é bem menor em função da baixa densidade, por volta de 340 metros por segundo. Todos os valores de velocidade do Som são aproximados, porque de acordo com a temperatura do meio em que o Som se propaga a velocidade pode variar.

A Frequência sonora

Sabemos que verificamos a frequência de qualquer fenômeno ou evento ao contarmos quantas vezes ele ocorre num intervalo de tempo, ciclos por unidade de tempo, a unidade de medida para frequência é o hertz (ciclos por segundo). No caso da frequência sonora sabemos que ela está relacionada com a altura do Som, ou seja corresponde a quão grave ou quão agudo um Som é. Sendo que sons agudos apresentam maiores frequências em relação a sons mais graves. Se imaginarmos uma reta com os sons audíveis aqueles que se aproximam dos 20 hertz serão os mais graves enquanto os que se aproximam dos 20000 serão os mais agudos. A frequência de um Som depende das características físicas o objeto que gera o Som, seja biológico como a laringe de um pássaro ou espontâneos como um trovão

Intensidade Sonora

A **intensidade sonora** ou nível sonoro depende da **amplitude** das ondas sonoras, a relação se dá assim: Quanto maior a amplitude de uma onda sonora mais intensa ela será ou maior o nível sonoro, ou seja teremos sons mais fortes como aumentar o “volume” do Som. A intensidade é alterada pela quantidade de energia empregada na geração da onda sonora, quanto maior a energia empregada maior a intensidade sonora. Usa-se comumente a unidade **decibel** para medir a intensidade sonora, o aparelho utilizado para esse fim é

conhecido como decibelímetro e o símbolo que representa a unidade de medida é o **dB.**

O Timbre

De todas as características do Som a mais marcante talvez seja o **timbre**. Quando ouvimos uma voz e distinguimos de outras, isso é possível por causa do timbre. Ao ouvirmos um violão, uma flauta ou um piano tocando a nota *Ré* com a mesma intensidade e frequência (altura) conseguimos diferenciar um instrumento do outro por causa do timbre de cada instrumento. O timbre é produzido pela combinação de várias ondas geradas por uma fonte, seja ela um instrumento, uma pessoa ou qualquer objeto capaz de produzir Som. Ao fazer vibrar as cordas vocais na laringe, um cantor projeta as ondas geradas pela sua garganta e sua cabeça (cavidades nasal e oral), o que gera uma série de ondas que Somam-se em uma **onda resultante**, que caracteriza o timbre de sua voz. Da mesma forma um piano ao fazer vibrar suas cordas também faz vibrar a madeira de sua estrutura gerando diferentes ondas que Somadas formam também uma onda resultante que se traduz em seu timbre. Resumidamente: o **timbre** é o que permite distinguir sons de mesma altura e intensidade produzidos por diferentes fontes sonoras.

O Eco

Quem nunca entrou em uma grande sala ou quadra poliesportiva vazia e ao produzir um Som, seja com uma bola ou um grito percebeu o mesmo Som sendo repetido imediatamente depois. Isso é o que chamamos de **eco**. Não é Somente uma bola de sinuca ou nossa imagem no espelho que pode ser refletida, os sons também são refletidos, o entanto nem sempre percebemos. O eco só é percebido em condições específicas de propagação e percepção das ondas sonoras. Para que o eco aconteça

a onda sonora gerada e a onda sonora refletida precisam chegar aos ouvidos do receptor com no mínimo 0,1 segundo de diferença assim o cérebro interpreta os dois sons separados, se o tempo entre as ondas for inferior a 0,1 segundo o eco não ocorre, porque os sons são percebidos como um único Som. Na natureza e na nossa tecnologia esse efeito do Som é usado de diversas formas, animais como morcegos e golfinhos fazem uso para localizar presas e obstáculos - o que chamamos de **ecolocalização.** De modo semelhante embarcações das mais diferentes proporções utilizam o **sonar,** aparelho que emite ultrassons, para determinar a profundidade de onde estão e localizar cardumes, por exemplo.

A Audição e Efeitos do Som sobre nós

Os seres humanos são dotados de um sofisticado sistema de captação de ondas sonoras composto pelo: **ouvido externo**, **ouvido médio** e **ouvido interno**. No ouvido interno encontra-se o **pavilhão auditivo** que recebe as ondas sonoras o meio e as conduza através do **canal auditivo** até o ouvido médio onde encontra-se o **tímpano** e os ossículos **bigorna, martelo e estribo**,sua função é transferir as vibrações do tímpano para o ouvido interno, que tem como principal componente a **cóclea**. A cóclea é um órgão extremamente complexo que separa as ondas sonoras de acordo com sua frequência e transformando os impulsos mecânicos das ondas sonoras em impulsos elétricos, enviando esses impulsos para o **nervo auditivo** que por sua vez conduz essas informações para serem processadas pelo cérebro.

Agora vamos pensar por um instante nas seguintes questões: Por que um estrondo repentino dispara o nosso coração? Quando um batalhão se põem em marcha realmente é mais fácil marcar o ritmo com acompanhamento da percussão? Será que uma canção de ninar realmente ajuda um bebê a dormir? Em shows sons muito intensos realmente podem transferir grandes quantidades de energia para o público? Realmente existe música para todo estado de espírito? Será que nossos filmes e séries favoritos seriam tão prazerosos sem a trilha sonora?

Ao buscar respostas para essas perguntas passamos a ter um pouco mais de consciência do quanto Somos vulneráveis aos sons e isso nos ajuda a ser um pouco mais criteriosos e cuidadosos com o nosso ambiente sonoro. Enfim, vamos procurar esclarecer um pouco sobre essas questões.

A partir do momento que o forte estrondo de um trovão dispara ondas sonoras graves e cheias de energia em todas as direções elas podem atingir nosso corpo todo, no entanto possuímos ouvidos que captam essas ondas sonoras, eles fazem parte de um sofisticado sistema sensorial auditivo, altamente complexo, que se liga a uma rede intrincada de vias nervosas que fazem o link do meio externo com o meio interno do nosso organismo. O Som passa por todo ouvido interno que o transforma em sinais elétricos estes por sua vez viajam pelos neurônios que através de suas sinapses carregam o Som, agora transformado em informação, essa informação percorre pelo menos dois caminhos no cérebro, um desses caminhos gera um **reflexo de orientação**, que faz com que uma pessoa, imediatamente após ouvir o trovão, interrompa o que estiver fazendo e se direcione para a origem do Som ou procure se proteger. Outro caminho que a informação sonora percorre passa por outras regiões do nosso cérebro um delas **libera hormônios** capazes de aumentar nossa frequência cardíaca.

Bandas marciais estão ganhando cada vez mais espaço no cenário cultural da atualidade, muitas de suas apresentações são em marcha, muito bem marcada pela percussão, as batidas em ritmo crescente interferem na condução dos impulsos nervosos que coordenam os movimentos, no ritmo cardíaco, respiratório entre outros, estas funções orgânicas tendem naturalmente a se sincronizar com a bateria, isso facilita enormemente os integrantes da banda marcarem o ritmo da marcha coletivamente.

Sons podem ter muitas conotações subjetivas para cada indivíduo, mas em todos os casos sons que nos agradam desencadeia no cérebro a liberação de dopamina, neurotransmissor responsável pela sensação de prazer. Ao ouvir uma canção de ninar o bebê relaxa porque seu ritmo embala as frequências respiratória e cardíaca, desacelerando. Além de liberar dopamina, que promove o efeito que acalma o bebê.

Ondas sonoras podem ter seu efeito modulado de várias formas, uma delas ocorre ao aumentarmos a intensidade das ondas sonoras,pois é necessário dispor de grande grande quantidade de energia, parte dessa energia é transferida aos espectadores nos shows de música através das ondas sonoras, a exposição excessiva pode causar efeitos danosos à saúde.

Além dos efeitos mencionados foi descoberto recentemente que a música sincroniza as ondas cerebrais das pessoas que a ouvem num mesmo evento ou situação, interessantemente esse efeito é mais poderoso a medida em que a música em questão é mais popular entre os ouvintes.

No caso dos bebês e das bandas marciais não é preciso fazer nenhum estudo adicional para perceber que os sons têm efeitos, relativamente, claros e até previsíveis na maioria das pessoas que estão expostas a eles.

Mas para além de ninar um bebê ou ritmar passos é possível verificar a ação do sons no nosso estado de espírito, uma música pode nos deprimir, animar ou nos agitar mesmo se estivermos ouvindo pela primeira vez. Diferenciamos com facilidade um Som triste de um alegre, assim como sons que aumentam a ansiedade ou nos trazem a sensação de suspense.

O poder dos sons de interferir em nosso estado de espírito é inegável, esse efeito é quase universal, mesmo sem uma letra que carregue informações, apenas os sons já nos influenciam organicamente. Isso porque após o os elementos sonoros passarem pelo nosso ouvido, as inervações dirigem os sinais eletroquímicos, gerados no ouvido a partir dos sons, diretamente para centros cerebrais responsáveis pelas funções mais básicas em uma região denominada tronco cerebral, então esses impulsos são levados a regiões responsáveis pelo controle hormonal no hipotálamo e emoções e no sistema límbico. Mas como isso ocorre imediatamente antes de passar pelo julgamento e o crivo consciente das regiões superiores do cérebro, uma trilha sonora modula vária funções orgânicas no nosso organismo sem que possamos esboçar qualquer reação consciente, isso acontece por último. Assim conhecendo a relação entre sons e emoções, os autores das trilhas sonoras e músicos sabem exatamente como trabalhar com as nossas emoções.

Essas informações podem nos dar a impressão de que Somos vulneráveis, de fato muitos estudos indicam que sim, portanto vale considerar que tipo de ambiente sonoro estamos nos expondo, porque sem que possamos escolher os sons nos influenciam e imprimem fortes marcas na nossa memória.

Resumindo, o Som percorre um longo caminho nos nosso cérebro antes que possamos fazer qualquer julgamento sobre ele, durante esse caminho ele promove a liberação de hormônios, o desencadeamento de emoções, motivação e interfere no ritmo cardíaco, tudo isso antes mesmo que possamos fazer qualquer julgamento consciente sobre aquilo que ouvimos.

Sequência de Estudo Investigativo

1º. Momento

Professor,

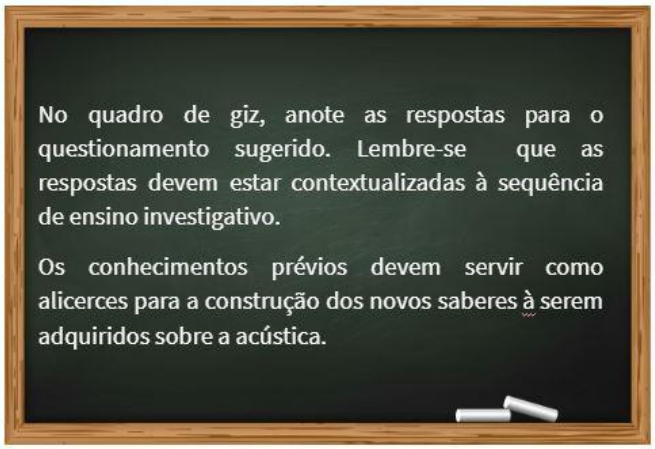
A sequência de ensino investigativo à seguir deverá ser trabalhada em 3 aulas. Na aula introdutória deverá ser realizado o **levantamento de conhecimentos prévios** dos alunos com relação ao assunto em questão. Poderão ser utilizados diversos artefatos sonoros, como exemplo: pandeiro, flauta, violão, microfone, caixa de Som, entre outros. Na ocasião, aproveite para obter o máximo de informações que os alunos trazem sobre o Som e a música.

Sugestão de perguntas

1.Para que serve o instrumento musical ou objeto?

2.Qual (ais) parte (s) do corpo foi (oram) utilizada (s) para percepção desses objetos e do Som que eles produzem?

3.Como esses objetos funcionam?



2º. Momento

Organizar a turma em **grupos** e distribuir os **Kits** para construção dos instrumentos musicais.

Cada grupo receberá **Kits** contendo diferentes **materiais reciclados** com os quais deverão construir um i**nstrumento musical (**xilofones **um tipo de xilofone)**. A construção desses instrumentos musicais deverá ser realizada de forma **intuitiva**.

À partir da **discussão** em grupo e da **investigação** das características dos materiais é que serão **construídos os novos conceitos e saberes,** diferentemente do seguir o "passo à passo" de um manual de instruções. Utilize a **proposição de um problema:** ***Que propriedades do Som podemos perceber durante a construção e utilização de um instrumento musical?***

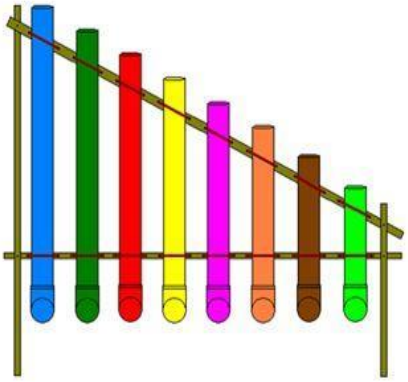
Construção e partes dos Kits

KIT 1-Chinelofone

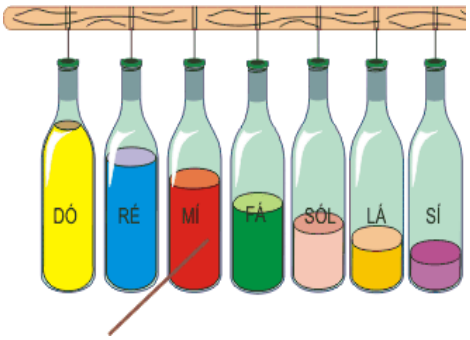
-8 tubos de PVC com o mesmo diâmetro, porém comprimentos diferentes.

- um pedaço de EVA (pode ser de tatame ou de chinelo).

A figura ao lado é uma representação esquemática dos tubos musicais.



KIT 2- Xilofone



-Um (1) engradado contendo 7 garrafas de vidro grandes ou 7 garrafas pequenas. Cada garrafa poderá ou não ser preenchida com água.

- uma haste de metal ou madeira.

KIT 3- Xilofone de bambu

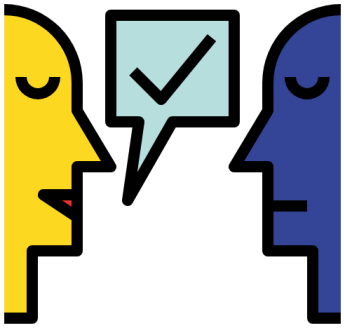
-8 pedaços de bambu, cilíndricos, com diferentes tamanhos

- barbante

- ripa.

Durante a construção dos instrumentos musicais, os alunos deverão buscar respostas para algumas questões.

Sugestão de questões:



1-O que você entende por “Som”?

2-O Som é matéria ou energia?

3-Como o Som chega aos nossos ouvidos?

4-A temperatura influencia na propagação do Som?

5-O Som pode ser prejudicial? Se sim, em quais condições?

6-Todo Som produz uma vibração. Mas será que toda vibração também produz um Som?

7-Você sabe diferenciar um Som grave de um Som agudo?

Após a atividade, os alunos deverão apresentar os resultados obtidos e comparar os sons emitidos por cada instrumento.

Espera-se que os alunos construam conceitos aproximados aos de: timbre, ressonância, reverberação, altura e intensidade sonora.

3º. Momento

Sugere-se a leitura compartilhada do texto apresentado a seguir, para a consolidação e apropriação dos conceitos.

Descobrindo o Som : Algumas considerações sobre o Som

Ouvir, é uma das melhores maneiras de conhecer o que se passa em torno de nós. E falar, é uma maneira simples e fácil de comunicação.

Sempre que falamos, e escutamos, fazemos uso dos sons. Uma notificação no celular, o estrondo de um trovão, uma panela que cai, passarinhos, uma melodiosa e harmônica sinfonia, nos traz um significado através da nossa audição. Os sons contêm em si muita informação.

No século XX e XXI houveram incríveis avanços no conhecimento dos sons, suas aplicações e instrumentos de produção e propagação, seja em diagnósticos médicos, navegação, pesquisa em diversas áreas ou mesmo o desenvolvimento da indústria da música. O Som tem inúmeras aplicações e o seu estudo abre as portas para uma infinidade de conhecimentos e possibilidades.

O Ouvido humano possui uma grande sensibilidade podendo detectar ondas sonoras de intensidade muito baixa. Também é capaz de detectar uma infinidade de sons/ruídos do ambiente. Quando estudamos as ondas mecânicas discutimos principalmente em termos de deslocamentos. No caso das ondas sonoras talvez seja mais apropriado, tratar em termos de flutuações de pressão.

O Som se propaga em meio sólido, líquido ou gasoso.

Nesse texto será abordada a propagação das ondas sonoras pelo ar. As ondas sonoras mais simples são ondas senoidais, que possuem valores definidos para amplitude, frequência e comprimento de onda. O ouvido humano é sensível a frequências compreendidas entre 20 e 20000hz, o que é chamado de intervalo audível. Nos casos em que se encontram frequências maiores ou menores se utiliza a terminologia ultrasSom e infrasSom, respectivamente, essas se situam fora do intervalo audível.

A propagação dos sons no ar

Os sons que ouvimos nos remete a algo que se move. Ao ouvirmos um forte ruído quando uma porta bate com violência ou um objeto de metal que cai no chão. Baquetas surrando uma bateria, ou pratos partindo em pedaços ao caírem no piso de uma cozinha. No entanto, nem sempre é tão fácil perceber o corpo sonoro, ou seja, aquilo que ao mover-se produz o Som ou ruído. Não vemos com nitidez quando as cordas de um piano ou violino estão produzindo Som, e apenas sentimos a vibração nas pontas dos dedos ao tocar o pequeno autofalante de um aparelho celular. Uma flauta ou um trompete não alteram sua aparência quando emitem uma nota ou quando se encontram em silêncio. Mas ao soprar uma corneta, alguma coisa se move, que é invisível. Contudo, se ouvimos o caminhão do gás ou o doce canto de um pássaro canoro o que faz com que estes sons possam chegar aos nossos ouvidos? existe um veículo que realiza esse transporte do Som? Temos então um mesmo veículo que possibilita a produção e transporte dos sons, o ar.

Há cerca de trezentos e cinquenta anos Robert Boyle, um dos maiores cientistas de sua época, amigo e rival de Sir Isaac Newton, químico e físico irlandês naturalizado britânico, empregou em algumas experiências, uma das primeiras bombas de vácuo que se construíram, demonstrando várias características importantes do ar.

Boyle colocou um relógio, que produzia um forte ruído ao funcionar, dentro de um globo de vidro e, utilizando a bomba de vácuo, foi retirando o ar do globo, enquanto ele e alguns espectadores observavam e escutavam atentamente. Conforme a quantidade de ar presente no globo ia diminuindo o tique-taque do relógio soava cada vez mais fraco até silenciar completamente. E a medida em que o ar era injetado novamente no interior do aparato o relógio gradativamente voltava a ser ouvido. Provando dessa forma o que muitos não haviam conseguido provar, até então, que o Som não se propaga sem o ar, e que sem ar não há Som. Por isso, de forma direta, não conseguimos ouvir nenhum Som que venha de qualquer lugar fora da Terra, por não existir ar no espaço entre a Terra e os astros para que a propagação dos sons seja possível. Talvez se existisse, ouviríamos as grandes tempestades e explosões que ocorrem no Sol.

As ondas

Para que seja possível a propagação do Som através do ar existe um comportamento peculiar das partículas que recebem a energia sonora e a transmitem para as partículas vizinhas, realizando o transporte do Som. Ocorrem oscilações na posição das partículas a essas oscilações sucessivas chamamos de ondas mecânicas. Halliday e Resnick (2016) colocam da seguinte forma: “As ondas mecânicas só podem existir em meios materiais e são governadas pelas leis de Newton. As ondas nas quais as partículas do meio oscilam na direção de propagação da onda são chamadas de ondas longitudinais.”

Esse comportamento ondulatório, ondas longitudinais, pode ser exemplificado se arremessaram uma pedra à água tranquila de um lago, veremos pequenas ondas formarem círculos concêntricos que se afastam do ponto em que a pedra tocou a água. E se uma folha estiver boiando, ela se deslocará para cima e para baixo a medida em que as ondas passam, indicando que o movimento se transmitiu da pedra à folha através das ondas. Depois que as ondas do lago tiverem desaparecido, a superfície da água voltará ao repouso e a folha ficará imóvel temos assim uma imagem em câmera lenta do que acontece quando ouvimos um súbito ruído. O estampido de um tiro agita o ar em volta, assim como a pedra agitou a água produzindo ondas que se propagam em todas as direções até que, ao chegar ao ouvido, transfere uma parte do movimento ao tímpano e então percebemos o ruído.

Quando se denomina esse fenômeno de onda aparentemente, parece tratar-se de algo que se move para cima e para baixo, mas ao ouvirmos um Som ininterrupto não temos nenhuma sensação de movimento. A pedra no lago torna-se ineficiente para exemplificar um Som contínuo, mas se em lugar de arremessar uma pedra à água, produzindo umas poucas ondas circulares mergulhássemos e retirássemos um bastão da água alternadamente em movimento uniforme repetindo o movimento durante um certo tempo. A superfície da água ficaria coberta de ondas que iriam se expandindo a partir da extremidade do bastão. Da mesma maneira uma nota prolongada desloca-se no ar em ondas sonoras da mesma forma que as ondas líquidas caminham na superfície da água tendo origem, nos dois casos, de um objeto que se move regularmente de um lado para outro. Essas ondas, portanto, tem origem

em um corpo que vibra, se contarmos o número de vibrações a cada segundo teremos como resultado a *frequência de vibração.*

Frequência Sonora

Se no exemplo do bastão na água mergulhássemos e retirássemos o bastão da água três vezes por segundo a frequência do movimento do bastão e das ondas produzidas seria de três vibrações por segundo. A frequência, portanto, refere-se ao número de vezes que um evento acontece no intervalo de tempo de um segundo, no nosso exemplo, vibrações por segundo. A frequência é medida em hertz (Hz) em homenagem ao físico alemão Heinrich Rudolf Hertz (1857-1894). Pensando em frequência, vamos imaginar tocar a nota ré no centro do teclado de um piano. A corda do piano que emite esse Som tem a frequência de aproximadamente 294 Hz, o que quer dizer que a corda vibra de um lado para o outro 294 vezes por segundo. Isso também significa que quando ouvimos essa nota, 294 ondas atingem nosso ouvido a cada segundo!

A percepção do Som

Toda essa energia e poder que procede das ondas sonoras ecoando em suas diversas frequências e amplitudes tem poder de nos tomar e invadir nossas mentes antes mesmo que possamos nos dar conta disso. Cada buzina que ouvimos, toque de smartfone, cada música cada voz cada vibração que chega em forma de ondas sonoras em nossos ouvidos nos influencia, vamos dar a partir de agora uma atenção especial para isso. Primeiro vamos analisar, ainda que de maneira rápida e concisa, o caminho dos sons até a nossa consciência, ou pelo menos a parte do cérebro onde ela está, o córtex pré-frontal, bem atrás das nossas testas que gerencia nossas escolhas, nossa linguagem, nosso eu.

O Som, já sabemos como ele funciona e a maneira como viaja no meio ambiente, mas para chegar a ser percebido e nos fazer dançar ou mesmo tapar os ouvidos ele precisa adentrar as nossas cabeças e ser processado no nosso cérebro. Para isso ele faz um caminho incrível! E passa por muitos processos...

REFERÊNCIAS INDICADAS PARA LEITURA

Araribá mais: Ciências 9. ano..Manual do professor. 1ed. São Paulo: Moderna. 2018.p.160

BioSom. Qual a diferença entre decibel e freqel em: <uência. Disponível em: <https://bioSom.com.br/blog/curiosidades/o-que-e-decibel-e-frequencia/> Data de acesso: 22;07.2020.

Ecoacústica. Efeitos do eco em habitações e recintos, Disponível em: <https://ecoacustika.com/efectos-del-eco-en-habitaciones-y-recintos-parte-1/> Data ade acesso: 22.07.2020.

Explicatorium. Características das ondas. Disponível em: <http://www.explicatorium.com/cfq-8/caracteristicas-das-ondas.html> Data de acesso: 16.02.2020

Flaticon.com. Icones livres. Disponível em: <https://www.flaticon.com/free-icon/suggestion_992644> Data de acesso: 22.07.2020

Gewandsznajder, Fernando. Projeto Teláris: ensino fundamental 2. Manual do Professor. 2 ed. São Paulo: Atica, 2015. pg 210.

Godoy, Leandro Pereira de. Ciencias: Vida e Universo, 9. ano. 1 ed. São Paulo: FTD, 2018. pg 69

Hiranaka, Roberta Aparecida Bueno. Inspire ciências: 9o. ano. Manual do Professor. 1 ed São Paulo: FTD, 2018. pg 132-137.

Madsen, J., Margulis, E.H., Simchy-Gross, R. *et al.* Music synchronizes brainwaves across listeners with strong effects of repetition, familiarity and training. *Sci Rep* 9, 3576(2019).Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41598-019-40254-w> Data de acesso: 22.07.2020

Oficina do músico. 10 efeitos da música sobre a nossa mente, coração e cérebro. Disponível em: <https://oficinadomusico.com.br/artigo/10-efeitos-da-musica-sobre-a-nossa-mente-coracao-e-saude>. Data de acesso: 22.07.2020

Ritmoexpansão. Benefícios e efeitos da música no cérebro. Disponível em< ehttp://ritmoexpansao.com.br/como-construir-e-fortalecer-seus-relacionamentos/musica-cerebro/> Data de acesso: 22.07.2020

Techcouver.com. Singular Software to Unveil AI-Powered Digital Hearing App at CES. Disponível em: <https://techcouver.com/2019/12/17/singular-software-digital-hearing-app/> Data de acesso: 22.07.2020.