

UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA

Lílian de Castro Corrêa Lima

Biofísica da Audição

Uma proposta interdisciplinar para o estudo de Acústica na Educação Básica

Juiz de Fora

2026

Lílian de Castro Corrêa Lima

Biofísica da Audição

Uma proposta interdisciplinar para o estudo de Acústica na Educação Básica

Dissertação apresentada ao Polo 24 do Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física da Universidade Federal de Juiz de Fora / Instituto Federal Sudeste de Minas Gerais como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física. Área de concentração: Física na Escola Básica.

Orientador: Dr. José Luiz Matheus Valle

Juiz de Fora
2026

Ficha catalográfica elaborada através do programa de geração automática da Biblioteca Universitária da UFJF, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Lima, Lillian de Castro Corrêa .

Biofísica da Audição : Uma proposta interdisciplinar para o estudo de Acústica na Educação Básica / Lillian de Castro Corrêa Lima. -- 2026.

158 f.

Orientador: José Luiz Matheus Valle

Dissertação (mestrado profissional) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Instituto Federal Sudeste de Minas Gerais, Instituto de Ciências Exatas. Programa de Pós-Graduação em Física, 2026.

1. Acústica. 2. Interdisciplinaridade. 3. Ensino de Física. I. Valle, José Luiz Matheus, orient. II. Título.

Lílian de Castro Corrêa Lima

Biofísica da Audição: Ensinando conceitos de Acústica para todos

Dissertação apresentada ao Polo 24 do Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física da Universidade Federal de Juiz de Fora / Instituto Federal Sudeste de Minas Gerais como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física. Área de concentração: Física na Escola Básica.

Aprovada em 07 de janeiro de 2026.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. José Luiz Matheus Valle- Orientador

Universidade Federal de Juiz de Fora

Prof. Dr. Wagner da Cruz Seabra Eiras

Instituto Federal Sudeste de Minas Gerais

Prof. Dr. Paulo Henrique Dias Menezes

Universidade Federal de Juiz de Fora

Juiz de Fora, 27/11/2025.



Documento assinado eletronicamente por **Wagner da Cruz Seabra Eiras, Usuário Externo**, em 21/01/2026, às 10:10, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Paulo Henrique Dias Menezes, Professor(a)**, em 22/01/2026, às 15:38, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Jose Luiz Matheus Valle, Professor(a)**, em 23/01/2026, às 08:20, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no Portal do SEI-Ufjf (www2.ufjf.br/SEI) através do ícone Conferência de Documentos, informando o código verificador **2766973** e o código CRC **800BF910**.

Dedico este trabalho aos 3 amores da minha vida: Ducastelo, Lucas e Mateus...

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus...

Agradeço a minha família, em especial ao meu esposo e aos meus filhos que sempre me deram força, me ajudaram muito e não deixaram que eu desistisse...

Agradeço aos colegas de trabalho que me ajudaram nessa jornada, em especial ao Ronaldo e a Wagner, que me apoiaram muito...

Agradeço ao meu orientador Dr. José Luiz pela dedicação e paciência...

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

Epígrafe

“Escutar também é um jeito de ver. Quando nós escutamos, imaginamos distâncias, construimos histórias.” (Bartolomeu Campos de Queirós).

RESUMO

Este trabalho apresenta como produto educacional, oficinas pedagógicas que abordam o conteúdo de Acústica para os visitantes do Centro de Ciências da Universidade Federal de Juiz de Fora - MG, facilmente reproduzível, a partir da confecção de: um *Jogo da Memória Auditiva*, que foi utilizado na Oficina Vamos produzir sons?, para alunos de 6 a 10 anos (Ensino Fundamental - Anos iniciais) e um *Modelo Analógico do Ouvido Humano*, que foi utilizado na Oficina Biofísica da Audição, para alunos de 11 a 17 anos (Ensino fundamental - Anos finais e Ensino Médio). Além do Jogo e do Modelo Analógico, foi utilizado na oficina um protótipo da Orelha Humana e dos 3 ossículos em tamanho real. Oferecemos como lembrança para os alunos, um chocalho confeccionado com diferentes tipos de materiais (Ensino Fundamental - Anos iniciais) e o Modelo dos ossículos com a Membrana Timpânica (Ensino fundamental - Anos finais e Ensino Médio). A implementação das oficinas tem como objetivo promover uma compreensão dos conceitos envolvidos, estimulando o desenvolvimento de habilidades de resolução de problemas e pensamento crítico. Além disso, proporcionar uma experiência educacional enriquecedora e inspiradora para alunos e visitantes. O conteúdo abordado tem caráter interdisciplinar (Ciências da Natureza), com enfoque teórico e prático, relacionando com o cotidiano dos alunos. A Pedagogia Museal embasou nosso trabalho pois os Centros de Ciências difundem a ciência sendo um espaço fundamental para a aproximação entre a produção do conhecimento científico e a sociedade. Para tal, nossas oficinas utilizaram o enfoque CTS (Ciência-Tecnologia-Sociedade), a partir da Metodologia dos Três Momentos Pedagógicos. Após as oficinas, os alunos preencheram uma avaliação, por meio de um questionário objetivo usando a Escala do tipo Likert para avaliar o grau de satisfação, absorção do conteúdo e motivação dos alunos. Tomando as 5 opções de resultados da avaliação da Escala Tipo Likert de 5 pontos, encontramos, em média: 88% Gostei e Gostei Muito, 11% de respostas neutras ou médias (Mais ou Menos) e 1% Não Gostei e Detestei. Podemos perceber a motivação da maioria dos alunos durante a visita o Centro de Ciências, curiosidade aguçada, atenção durante as explicações, envolvimento nas atividades propostas, ou seja, condizente com suas respostas na avaliação. De maneira mais ampla, a visita ao Centro de Ciências resguarda o direito de todos do acesso ao conhecimento e incentiva uma vivência científica.

Palavras-chave: Acústica, Interdisciplinaridade e Ensino de Física.

ABSTRACT

This study presents, as an educational product, pedagogical workshops addressing the content of Acoustics for visitors to the Science Center of the Federal University of Juiz de Fora – MG, designed to be easily replicated. The workshops were developed through the construction of: (1) an Auditory Memory Game, used in the workshop “Let’s Produce Sounds?” for students aged 6 to 10 (Elementary School – Early Years), and (2) an Analog Model of the Human Ear, used in the workshop “Biophysics of Hearing” for students aged 11 to 17 (Elementary School – Final Years and High School). In addition to the Memory Game and the Analog Model, a life-size prototype of the human outer ear and the three ossicles was also used. As souvenirs, students received a rattle made from different types of materials (Early Years) and a model of the ossicles with the tympanic membrane (Final Years and High School). The implementation of the workshops aimed to promote understanding of the concepts involved, while fostering problem-solving skills and critical thinking. It also sought to provide an enriching and inspiring educational experience for students and visitors. The content was interdisciplinary (Natural Sciences), combining theoretical and practical approaches and relating concepts to students’ everyday experiences. Museum Pedagogy underpinned this work, as Science Centers play a fundamental role in disseminating scientific knowledge and strengthening the connection between scientific production and society. The workshops adopted a Science-Technology-Society (STS) approach, based on the Three Pedagogical Moments methodology. After participating in the workshops, students completed an evaluation questionnaire using a five-point Likert scale to assess their level of satisfaction, content assimilation, and motivation. Considering the five response options of the Likert scale, the average results were: 88% “Liked” and “Liked Very Much,” 11% neutral responses (“So-so”), and 1% “Did Not Like” or “Disliked Very Much.” Most students demonstrated clear motivation during their visit to the Science Center, showing heightened curiosity, attentiveness during explanations, and active engagement in the proposed activities—results consistent with their evaluation responses. More broadly, visiting the Science Center helps ensure the right of access to knowledge for all and encourages meaningful scientific experiences.

Keywords: Acoustics; Interdisciplinarity; Physics Teaching.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A	Amplitude
3MP	3 Momentos Pedagógicos
B	bel
BNCC	Base Nacional Comum Curricular
CTS	Ciência-Tecnologia-Sociedade
dB	Decibel (Unidade de intensidade sonora)
DCN's	Diretrizes Curriculares Nacionais
EF1	Ensino Fundamental - Anos Iniciais
EF2	Ensino Fundamental - Anos Finais
f	Frequência Sonora
Hz	hertz (Unidade de Frequência)
I	Intensidade sonora
K ⁺	Íon Potássio
L	Comprimento do MAE
LDB	Leis de Diretrizes e Base
m	Metro (Unidade de Comprimento)
m ²	Metro quadrado (Unidade de área)
MAE	Meato Acústico Externo
MG	Minas Gerais
MNPEF	Mestrado Nacional Profissional de Ensino de Física
Na ⁺	Íon Sódio
NPS	Nível de Pressão Sonora
P	Potência
PCN's	Parâmetros Curriculares Nacionais
PLACTS	Pensamento Latino Americano em Ciência-Tecnologia-Sociedade
S	Área
SNC	Sistema Nervoso Central
T	Período
TEA	Transtorno do Espectro Autista

TOD	Transtorno Opositor Desafiador
UFJF	Universidade Federal de Juiz de Fora
v	Velocidade de propagação do som
V	Volt (Unidade de Tensão Elétrica)
W	Watt (Unidade de Potência)
λ	Comprimento de onda
ρ	Densidade do ar

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Compressão e rarefação do ar	40
Figura 2	Representação Gráfica dos tipos de frequências sonoras	43
Figura 3	Diagrama de Ondas	44
Figura 4	Espectro Sonoro	45
Figura 5	Representação gráfica das formas das ondas, de uma mesma nota musical, emitidas por três instrumentos diferentes.	49
Figura 6	Esquema representando a audição humana	50
Figura 7	Ouvido Externo	52
Figura 8	Músculos do Ouvido Médio	54
Figura 9	Ouvido Interno	58
Figura 10	A Cóclea	60
Figura 11	Canais Cocleares	61
Figura 12	Cóclea desenrolada	62
Figura 13	Órgão de Corti	63
Figura 14	Sistema Auditivo Humano	66
Figura 15	As diferenças entre as áreas demarcadas da Membrana Timpânica e da Janela Oval no Ouvido Médio	72
Figura 16	Esquema do Ouvido Médio	73
Figura 17	Efeito da alavanca interfixa	74
Figura 18	A resposta da membrana basilar ao som	78
Figura 19	Transdução Auditiva	80
Figura 20	Recursos Instrucionais para Oficinas do EF2 e Ensino Médio	89
Figura 21	Chocalho e seus materiais	90
Figura 22	Jogos da Memória Auditiva	91
Figura 23	Modelo Analógico da Orelha Humana	92
Figura 24	Instrumento de avaliação das oficinas	93
Figura 25	Oficina <i>O que é o som?</i>	97
Figura 26	Jogo da Memória Auditiva sendo utilizado na oficina	99
Figura 27	Oficina <i>Biofísica da Audição</i>	100

Figura 28	Oficina EF2 e EM	101
Figura 29	Apresentação de vídeo	102
Figura 30	Confecção do ouvido analógico	104
Figura 31	Amostras dos 15 pares de potes do Jogo da Memória Auditivo Ampliado	105
Figura 32	Jogo da Memória Auditivo Ampliado	106

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Participantes das aplicações da oficina para EF1
Tabela 2	Participantes das aplicações da oficina para EF2 e EM
Tabela 3	Resultado da avaliação do EF1
Tabela 4	Resultado da avaliação do EF2 e Ensino Médio

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	17
1.1. MOTIVAÇÃO E JUSTIFICATIVA	24
1.2. OBJETIVOS	25
1.2.1. Geral	25
1.2.2. Específicos	25
1.3. ESTRUTURA DO TRABALHO	26
2 REFERENCIAL TEÓRICO	27
2.1. OS 3 MOMENTOS PEDAGÓGICOS NO ENSINO DE FÍSICA	29
2.2. ENFOQUE CTS	33
2.3. PEDAGOGIA MUSEAL	37
3 REFLEXÕES A RESPEITO DE UMA ABORDAGEM DO ENSINO DE ACÚSTICA COM A BIOFÍSICA DA AUDIÇÃO	39
3.1. SOM E ACÚSTICA	40
3.2. ANATOMO-FISIOLOGIA DA ORELHA HUMANA	50
3.2.1. Ouvido Externo	52
3.2.2. Ouvido Externo	54
3.2.3. Ouvido Externo	58
3.2.4. Binauralidade	65
3.3. BIOFÍSICA DA AUDIÇÃO	67
3.3.1. Ouvido Externo	69
3.3.2. Ouvido Externo	71
3.3.3. Ouvido Externo	77
4 PRODUTO EDUCACIONAL	81
5 METODOLOGIA	84
5.1. OFICINAS	85

5.2. PÚBLICO ALVO	86
5.3. RECURSOS INSTRUCIONAIS	88
5.4. INSTRUMENTO DE AVALIAÇÃO DA OFICINA	92
5.5. ORIENTAÇÕES AOS MEDIADORES	93
6 APLICAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL	95
6.1. ENSINO FUNDAMENTAL - ANOS INICIAIS	96
6.2. ENSINO FUNDAMENTAL - ANOS FINAIS E ENSINO MÉDIO	100
6.3. PÚBLICO GERAL	105
7 ANÁLISE DA APLICAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL	107
7.1. ENSINO FUNDAMENTAL - ANOS INICIAIS	108
7.2. ENSINO FUNDAMENTAL - ANOS FINAIS E ENSINO MÉDIO	111
7.3. COMPARANDO OS DADOS: EF1 X EF2/EM	113
8 CONSIDERAÇÕES FINAIS	115
REFERÊNCIAS	117
APÊNDICE	123
PRODUTO EDUCACIONAL	124

1 INTRODUÇÃO

Ministrar os conteúdos de Física nos tempos atuais é um desafio para qualquer professor, principalmente pela infinidade de distratores externos e internos aos quais os estudantes estão expostos. A maioria dos estudantes se depara com um universo maçante, sem muito significado, com os conteúdos da sala de aula distante do seu cotidiano e com fórmulas e cálculos que não os estimulam para a principal finalidade do ensino: a aprendizagem. O ensino de Física, historicamente marcado por práticas expositivas e descontextualizadas, tem sido alvo de críticas e reformulações que buscam torná-lo mais significativo, crítico e conectado à realidade dos estudantes.

Diante dos desafios contemporâneos da educação científica, surgem propostas metodológicas que valorizam o protagonismo dos alunos, a articulação entre saberes e a problematização de temas socialmente relevantes. Na busca de conhecimento existe uma relação entre o binário sujeito e objeto de estudo, mas outro elemento se faz importante, o contexto. Para Fleck (2010):

A teoria comparada do conhecimento não deve considerar o processo do conhecimento como uma relação binária entre sujeito e objeto, entre o ator do conhecimento e algo a ser conhecido. O respectivo estado do saber, enquanto fator fundamental de cada conhecimento novo, deve entrar como o terceiro elemento nessa relação (Fleck, 2010, p. 98).

Portanto, o estado do saber não é algo individual com uma consciência predominantemente teórica, é o resultado de uma atividade social, pautada num contexto histórico, social, epistemológico e cultural, uma vez que tal estado ultrapassa os limites do indivíduo.

Com esse pano de fundo, desenvolvemos esse trabalho pautado nos processos de ensino e aprendizagem e tendo como elementos de destaque: o sujeito e o objeto, a partir de conteúdos de Física como um conhecimento científico sistematizado voltado para a compreensão do mundo, e estudo de seus fenômenos. Assim, de modo interdisciplinar, buscamos uma abordagem entre a Física e a Biologia, por possibilitar a promoção de um conhecimento amplo, inclusivo, ramificado, integrado, articulado e significativo sobre o conteúdo de acústica. Indo ao encontro aos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCNs):

A tendência atual, em todos os níveis de ensino, é analisar a realidade segmentada, sem desenvolver a compreensão dos múltiplos conhecimentos que se interpenetram e conformam

determinados fenômenos. Para essa visão segmentada contribui o enfoque meramente disciplinar que, na nova proposta de reforma curricular, pretendemos superar pela perspectiva interdisciplinar e pela contextualização dos conhecimentos (Brasil, 1999, p. 22).

Em conjunto com os PCNs, a Base Nacional Comum Curricular (BNCC) é um documento de caráter normativo primordial para embasar nosso trabalho, pois define: “o conjunto orgânico e progressivo de aprendizagens essenciais que todos os alunos devem desenvolver ao longo das etapas e modalidades da Educação Básica” (Brasil, 2018, p. 7).

Indo ao encontro da nossa proposta de trabalho, nos PCN's encontramos uma crítica ao disciplinarismo, isto é, a fragmentação do conhecimento escolar em áreas estanques, com disciplinas rígidas e desconectadas entre si, o que pode dificultar a compreensão global da realidade pelos alunos. Dessa forma, a escola acaba oferecendo um ensino que não dialoga com as experiências cotidianas do estudante nem favorece a construção de significados. Os PCNs defendem que a realidade é complexa e multifacetada, e, portanto, não pode ser entendida apenas a partir de um recorte disciplinar, limitando a aprendizagem (Brasil, 1999).

A origem das Diretrizes Curriculares Nacionais (DCNs) está na Lei de Diretrizes e Bases da Educação (LDB) (Brasil, 1996). De acordo com as DCNs (Brasil, 1998) é importante considerar a utilização de experimentos oportunizando a manipulação de materiais pelos estudantes ou a demonstração experimental pelo professor, e esta não precisa estar associada a um aparato sofisticado. Nesse contexto o que importa é o planejamento, a discussão e a reflexão sobre todas as etapas do experimento, o que propicia interpretar os fenômenos físicos e trocar informações durante a aula, seja ela na sala ou no laboratório.

No seu Capítulo 2, Art. 14, as diretrizes dizem que:

VIII - os componentes curriculares que integram as áreas de conhecimento podem ser tratados ou como disciplinas, sempre de forma integrada, ou como unidades de estudos, módulos, atividades, práticas e projetos contextualizados e interdisciplinares ou diversamente articuladores de saberes, desenvolvimento transversal de temas ou outras formas de organização;

IX - os componentes curriculares devem propiciar a apropriação de conceitos e categorias básicas, e não o acúmulo de informações e conhecimentos, estabelecendo um conjunto necessário de saberes integrados e significativos;

XIII - a interdisciplinaridade e a contextualização devem assegurar a transversalidade do conhecimento de diferentes componentes curriculares,

propiciando a interlocução entre os saberes e os diferentes campos do conhecimento.

Conforme tais diretrizes, os experimentos no ensino de Física constituem um importante aliado no processo de ensino e de aprendizagem. Neste sentido:

Utilizar experimentos como ponto de partida, para desenvolver a compreensão de conceitos, é uma forma de levar o aluno a participar de seu processo de aprendizagem, sair de uma postura passiva e começar a perceber e a agir sobre o seu objeto de estudo, relacionando o objeto com acontecimentos e buscando as causas dessa relação, procurando, portanto, uma explicação causal para o resultado de suas ações e/ou interações (Carvalho *et al.*, 1999, p. 42).

Ao tratar de fenômenos físicos fortemente presentes na experiência cotidiana, como o som e a audição, a experimentação assume um papel central, pois possibilita a articulação entre vivência sensorial, modelização científica e construção conceitual.

Ouvir é um dos cinco sentidos do corpo humano e para que uma pessoa escute, uma gama considerável de eventos precisam acontecer. Um som audível, para ser produzido, precisa se propagar em um dado meio para que chegue ao seu aparelho auditivo. Este deve funcionar e transmitir as informações do som (frequência, amplitude, timbre, localização da fonte sonora) para o nervo auditivo. Este último, por sua vez, deve conduzir tais informações, via células auditivas, para o córtex cerebral que interpretará os impulsos elétricos. Todas estas etapas constituem a audição. É um longo caminho que perpassa muitos fenômenos físicos (Rui, 2007).

O ser humano utiliza o som, em conjunto com outros tipos de estímulos, proveniente do ambiente para perceber o mundo a sua volta, o que faz com que emoções e sentimentos sejam despertados. A audição é, dentre todos os sentidos humanos, o primeiro a ter o desenvolvimento completo em termos de origem. O seu funcionamento tem início por volta das 16 semanas de gestação, quando já é possível o feto responder a estímulos provenientes do corpo materno e do ambiente externo (Silva, s.d., n.p.).

Passamos literalmente 24 horas por dia rodeados por ondas sonoras. A acústica está presente em praticamente tudo no nosso dia a dia, seja em diálogos, ouvindo música ou até mesmo no nosso trabalho. Mesmo o som sendo um fenômeno tão comum, poucos de nós realmente sabem a Física por trás dele (Falcão, 2021).

A Acústica é uma área da Física que estuda as ondas sonoras e os fenômenos ondulatórios que ocorrem durante a propagação dessas ondas, além de tratar da poluição sonora, uma ameaça invisível que pode influenciar diretamente nossa saúde, nosso bem estar físico, social e mental (Zamai, 2013).

No entanto, a audição humana não é abordada na maioria das vezes dessa forma no ensino médio, a começar pelos livros didáticos, onde se encontra de forma bem resumida e os conceitos físicos de ondas sonoras ainda são transferidos para os alunos de forma tradicionalista (Borges; Rodrigues, 2016).

Diante de tal afirmação, revisitamos alguns exemplares próprios de livros didáticos que já utilizamos na preparação de aulas para o Ensino Médio, a fim de exemplificar a fala de Borges e Rodrigues (2016) :

- Hewitt (2015): possui um capítulo de Vibrações e Ondas, e outros sobre Sons e Sons musicais. Não aborda a audição humana.
- Calçada e Sampaio (2012): no capítulo de Ondas há um item sobre o som, bem conciso, com um parágrafo sobre a condução do som e a transformação em impulsos elétricos. Além disso, aborda os conceitos básicos de timbre e altura do som, mas a maior parte trabalha com os sons da música ocidental.
- Villas Boas, Doca e Biscuola (2013): possui um capítulo sobre ondas e outro sobre acústica, sendo esse bem robusto (p. 164 a 192), trabalha termos como: reflexão, refração, interferência, ressonância, difração e Efeito Doppler. Além disso, aborda conceitos básicos como altura, e intensidade, mas no âmbito da música e com um texto de apoio sobre ecolocalização no mundo animal. Ainda com a música e instrumentos musicais como pano de fundo, trabalha cordas sonoras, timbre e tubos sonoros. Mas, não aborda sobre audição.
- Alvarenga e Máximo (2000): assim como Villas Boas (2013), aborda os conceitos básicos de acústica tomando como base instrumentos musicais e música, mas não trata sobre a audição humana.
- Amaldi (1997): aborda a produção da voz humana, velocidade do som, limites de audibilidade e as características diferenciadoras do som, além da reflexão do som (eco). Não trabalha sobre audição humana.

- Pietrocola *et al.* (2010): possui um capítulo com 60 páginas sobre som e música, aliando teoria e prática. Aborda a parte da audição humana de maneira bem detalhada, exemplificando que se uma pessoa reduzisse seu tamanho em cerca de 300 vezes e adentrasse em uma orelha humana acompanharia todo processo descrito no capítulo.

Já durante a graduação em Licenciatura em Física, duas coleções foram mais utilizadas nas aulas de física básica, que pelo acesso fácil a elas, analisamos brevemente o conteúdo de som e acústica. O volume 2 do livro Halliday, Resnick e Walker (2015) não aborda a parte de captação, amplificação e decodificação do som, somente velocidade do som, interferência, intensidade, nível sonoro, fonte de sons musicais, efeito Doppler, ondas de choque e velocidades supersônicas. Da mesma forma, o volume 2 do livro de Nussenzveig (2014) que possui um capítulo sobre ondas e outro sobre som, sendo esse bem robusto (p. 194 a 249), trabalhando termos como: reflexão, refração, interferência, ressonância, difração e Efeito Doppler, mas não aborda audição humana.

A releitura dessas 8 obras permite uma conclusão que a maioria dos livros didáticos ainda abordam o conteúdo de acústica desvinculado ao processo de audição humana, de maneira tradicional e concisa.

O sistema auditivo tem a capacidade de captar sons de intensidade bastante variada e reconhecer um extenso espectro de frequências (Zamai, 2013). Para tal, a anátomo-fisiologia da orelha humana está diretamente relacionada à biofísica da audição, pois fornece a estrutura e os mecanismos necessários envolvidos na análise dos processos físicos que nos permitem ouvir sons de variadas frequências.

Dessa forma, a biofísica da audição foi adotada nesse estudo como ferramenta didática para discutir ondulatória e acústica, de maneira contextualizada e centrada na realidade do aluno por fazer parte do seu dia a dia. Oferecendo um ambiente de aprendizagem mais atrativo e interessante para os estudantes, buscando uma compreensão mais ampla do papel da ciência na sociedade, por isso foi desenvolvido no Centro de Ciências da Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF). Cujas missão é atender estudantes de todos os níveis de ensino básico e ensino superior, bem como a sociedade em geral, contando com diversas exposições permanentes, temporárias e outros espaços de visitação, como o Planetário e o Observatório Astronômico.

Portanto, é um local propício para discussões sobre a influência da tecnologia na maneira como percebemos e interagimos com o som, questões de acessibilidade para pessoas com

deficiência auditiva, os impactos ambientais do ruído e o uso por tempo prolongado dos fones de ouvido. A partir dessa perspectiva, conteúdos como a biofísica da audição são organizados não como fins em si mesmos, mas como objetos de mediação pedagógica, selecionados e apresentados de modo a favorecer a aproximação dos visitantes com o conhecimento científico por meio de experiências sensoriais, interativas e culturalmente significativas.

Considerando a complexidade dos fenômenos envolvidos na audição já mencionados, que articulam processos físicos e biológicos, torna-se necessário um referencial pedagógico que possibilite a mediação desses conhecimentos em contextos educativos não escolares, representando coerentemente os objetivos deste estudo. Nesse sentido, a Pedagogia Museal constitui um campo teórico-prático voltado à compreensão e à orientação dos processos educativos desenvolvidos em museus e Centros de Ciências, entendidos como espaços de mediação entre ciência, cultura e sociedade (Marandino, 2013).

Levando em consideração o tema e o local onde o estudo foi desenvolvido, optamos por desenvolver oficinas pedagógicas como Produto Educacional, sendo ofertadas pelo Centro de Ciências da UJFJ às escolas de educação básica do município de Juiz de Fora e região. As oficinas pedagógicas são estratégias dinâmicas para promover a interação, o desenvolvimento de habilidades, a reflexão, a inovação e a integração entre teoria e prática, focando na construção coletiva de conhecimento por meio de atividades lúdicas e significativas (Silva *et al.*, 2025).

Como base teórica para o desenvolvimento do produto educacional, utilizamos o Enfoque CTS (Ciência, Tecnologia e Sociedade) que caracteriza-se por uma abordagem dos conteúdos científicos relacionados ao seu contexto social, levando em consideração aspectos e questões de natureza filosófica, sociológica, histórica, política, econômica, entre outras (Silva e Schwantes, 2018). Acreditamos que para o estudo da biofísica da audição, o Enfoque CTS enfatiza a interconexão entre os campos científicos e os aspectos sociais, éticos e tecnológicos, além da interdisciplinaridade entre os conteúdos de Ciências da Natureza: Física e Biologia.

As oficinas pedagógicas sobre biofísica da audição foram estruturadas com duração de 40 minutos, ajustadas para a idade dos estudantes e ofertadas durante a visita da escola ao Centro de Ciências. Contudo, podem ser desenvolvidas no ambiente formal de educação, isto é, na sala de aula, como atividades motivacionais, avaliativas, investigativas e etc.

O público alvo das oficinas pedagógicas, assim como do Centro de Ciências da UFJF, foram os estudantes do ensino básico: 11 turmas do Ensino Fundamental I - Anos Iniciais (EF1) e 6 turmas do Ensino Fundamental II - Anos Finais (EF2) e Ensino Médio, da rede pública do município de Juiz de Fora e região - MG. Durante a aplicação das oficinas foi estimulado uma reflexão crítica dos alunos sobre as interações entre Ciência, Tecnologia e Sociedade no âmbito da biofísica da audição, indo além do conhecimento científico do funcionamento da audição humana. Explorando as tecnologias relacionadas à audição, isto é, aparelhos auditivos, fones de ouvidos, dispositivos sonoros e etc., fomentando uma visão crítica e contextualizada sobre o desenvolvimento, acesso e uso de tais tecnologias.

A metodologia utilizada nas oficinas foi a dos 3 Momentos Pedagógicos (3MP), que se trata de uma transposição da pedagogia de Paulo Freire para a escola formal e, como tal, carrega concepções humanistas de aprendizagem, como a relação de empoderamento e de crítica que o estudante pode obter na escola básica, além da aprendizagem de conteúdos escolares. Trazendo ao universo escolar a possibilidade de extrapolar a superficialidade que tende a constituir os discursos dos estudantes, sendo apresentados como: Problematização Inicial, Organização do Conhecimento e Aplicação do Conhecimento (Delizoicov, Angotti e Pernambuco, 2002).

Para o público em geral que visita o Centro de Ciências, por demanda espontânea ou por agendamento no site (<https://www2.ufjf.br/centrodeciencias/agendamento/agendamento-e-roteiros/>), a temática de biofísica da audição também foi trabalhada, a partir da exposição dos protótipos em tamanho real da orelha humana e de seus ossículos, além da oportunidade de se divertirem com o Jogo da Memória Auditiva Ampliado. Permanecem expostos durante as visitações do Centro de Ciências, no Laboratório de Física, contando com a presença de mediadores que orientam os visitantes, cujo papel é servir de ponte entre o público e os saberes veiculados pelos espaços não formais, sendo considerados por Marandino (2013) como a “voz da instituição”.

Para a aplicação do nosso produto, algumas limitações devem ser reconhecidas, tanto no âmbito pedagógico quanto institucionais e logísticas, a fim de situar o estudo dentro de um contexto realista de aplicação. Do ponto de vista pedagógico, a heterogeneidade do público-alvo, com diferentes níveis de familiaridade com a linguagem científica, também representa um desafio à construção de oficinas que sejam, ao mesmo tempo, acessíveis e significativas para todos os alunos.

Algumas limitações institucionais e logísticas merecem destaque, pois a participação de escolas em visitas ao Centro de Ciências depende da autorização dos responsáveis, disponibilidade de transporte e compatibilidade com o calendário escolar. Aliado ao fato que, mesmo havendo a confirmação com a escola previamente, podem ocorrer imprevistos que impeçam a ida dos alunos, sem tempo hábil para o agendamento com outra escola.

Ao contrário das limitações, cabe destacar a estrutura física, o aporte tecnológico e o apoio técnico dos profissionais do Centro de Ciências da UFJF, que dispõe de laboratórios equipados, recursos materiais necessários para desenvolvimento das oficinas, estrutura física adequada para receber os alunos, responsáveis e ao público em geral de maneira digna e confortável.

1.1. MOTIVAÇÃO E JUSTIFICATIVA

A proposta deste trabalho surge da necessidade de tornar o ensino de Física mais acessível, significativo e contextualizado para estudantes do Ensino Fundamental e Médio, especialmente em relação a temas tradicionalmente negligenciados ou abordados de forma superficial no currículo escolar, como é o caso da Acústica.

A escolha do tema se justifica pela formação acadêmica da pesquisadora no curso de Enfermagem pela UFJF em 2001, atuando na área desde então, onde os temas relacionados ao corpo humano ganham uma curiosidade e interesse maior. Aliado a relevância da acústica ao cotidiano dos estudantes e pelo potencial de integrar conceitos da física, biologia e tecnologia, em uma abordagem interdisciplinar que favorece a compreensão de fenômenos acústicos, o funcionamento do sistema auditivo humano e as implicações sociais e tecnológicas da perda auditiva.

Apesar de sua forte presença no cotidiano, em fenômenos como a fala, a música, os ruídos urbanos, os instrumentos musicais e os sistemas tecnológicos de comunicação, o estudo do som costuma receber pouca ênfase nas aulas de Física, quando comparado a outros conteúdos como cinemática, eletricidade ou óptica. Esse descompasso entre relevância social e tratamento didático aponta para a necessidade de repensar as estratégias de ensino relacionadas à Acústica.

Ao desenvolver oficinas no Centro de Ciências, buscamos aliar o ensino de conceitos físicos a práticas educativas baseadas na experimentação, na interdisciplinaridade e na contextualização,

promovendo não apenas a aprendizagem conceitual, mas também o engajamento crítico em relação a temas como acessibilidade, inclusão e saúde auditiva. Além disso, o uso de oficinas como estratégia pedagógica favorece a participação ativa dos estudantes, estimula a curiosidade científica e promove um ambiente de aprendizagem mais dinâmico e investigativo, em consonância com as diretrizes da BNCC e com os PCN's (BRASIL, 1999 e BRASIL, 2018).

Por se tratar de um estudo vinculado ao Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), se justifica também pela sua aplicabilidade prática e pela possibilidade de ser replicado, adaptado e integrado ao planejamento pedagógico de professores da educação básica (fase inicial e obrigatória do ensino no Brasil, abrangendo crianças e adolescentes de 4 a 17 anos). A valorização de metodologias que integrem espaços não formais de ensino representa um avanço significativo nas práticas de ensino de Física, promovendo o diálogo entre ciência, escola e sociedade.

Dessa forma, este trabalho busca contribuir para a qualificação do ensino de Física, ampliando as possibilidades didáticas para o tratamento do conteúdo de Acústica e fortalecendo a formação científica de estudantes da Educação Básica, especialmente em contextos onde o ensino tradicional se mostra insuficiente para promover o engajamento e a compreensão conceitual dos alunos.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo Geral: investigar formas alternativas de abordagens interdisciplinares para o ensino de acústica na educação básica

1.2.2. Objetivos Específicos:

- Produzir e fornecer ferramentas didáticas para o processo de ensino e aprendizagem da Acústica a partir da biofísica da audição;
- Abordar temas científicos de maneira interdisciplinar, incentivando o pensamento crítico para além das fronteiras disciplinares;
- Contribuir no processo de ensino e aprendizagem dos conceitos científicos referentes ao processo da Biofísica da Audição Humana no Ensino Fundamental (Anos iniciais e finais) e Ensino Médio;
- Promover o direito de acesso à cultura, enriquecendo a vivência dos estudantes.

1.3. ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho é compreendido em oito partes. O capítulo 1 apresenta os tópicos discutidos de forma introdutória a fim de descrever a justificativa e motivação do estudo, além dos seus objetivos. No capítulo 2 é apresentada uma contextualização teórica que aborda os 3MP no Ensino de Física e o Movimento CTS.

O capítulo 3 aborda o referencial teórico, explorando os conceitos físicos relacionados ao Som e à Acústica, à anátomo-fisiologia da audição humana dividida entre Ouvido Externo, Médio e Interno, à Binauralidade e à biofísica da audição.

O produto educacional é apresentado no capítulo 4. Sendo apresentado no capítulo 5 os recursos metodológicos para o desenvolvimento da pesquisa: as oficinas, o público alvo, os recursos institucionais, o instrumento de avaliação da oficina e as orientações aos mediadores.

No capítulo 6 é apresentado como o produto educacional foi aplicado para os alunos do Ensino Fundamental - Anos Iniciais (1º ao 5º ano), Ensino Fundamental - Anos Finais (6º ao 9º ano) e Ensino médio (1º ao 3º ano), além do público em geral.

No capítulo 7 é feita uma análise da aplicação do produto, assim como seus resultados.

Por fim, no capítulo 8 são apresentadas as considerações finais e as propostas de continuidade do estudo.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

O ensino de Física, ao longo das últimas décadas, tem passado por profundas reflexões e reformulações, impulsionadas por demandas sociais, curriculares e educacionais que visam tornar o conhecimento científico mais significativo, contextualizado e crítico (Brasil, 1998, 1999 e 2018; Delizoicov, Angotti e Pernambuco, 2002). Nesse cenário, destacam-se duas abordagens fundamentais que orientam práticas docentes mais alinhadas com os objetivos do nosso estudo: os 3 Momentos Pedagógicos, concebidos no âmbito da pedagogia histórico-crítica, e o Enfoque Ciência-Tecnologia-Sociedade (CTS), de caráter interdisciplinar e sociocultural, com ênfase em sua proposta de articular conhecimentos científicos com dimensões sociais, tecnológicas e ambientais, visando à formação cidadã.

A **interdisciplinaridade** é um processo extremamente complexo que pode resultar em prejuízos para educação dependendo da maneira como for conduzida. De um lado, precisamos, enquanto professores, apresentar conceitos, entendimentos e discussões básicas das disciplinas das quais lecionamos. De outro, temos o compromisso de articular os assuntos e conteúdos com outras áreas que não são de nossa formação. A problemática se situa justamente na dosagem dessas duas medidas. Se atuarmos apenas de um lado, isto é, pautarmos nossas aulas somente nos conteúdos e assuntos das disciplinas que lecionamos estaremos, talvez, limitando e restringindo uma possível melhor compreensão dos estudantes com os assuntos. No outro extremo, ao abordamos ou sermos integralmente interdisciplinares podemos, talvez, apresentar de forma rasa e superficial os assuntos (Schwantes; Silva; 2018, p. 60).

Os 3 MP e o enfoque CTS contribuem cada um a seu modo, para a construção de um ensino de Física que ultrapasse a mera transmissão de conteúdos e promova uma formação mais ampla, crítica e contextualizada dos estudantes.

Embora tenham origens e fundamentos distintos, os 3MP e o enfoque CTS compartilham importantes princípios pedagógicos, pois defendem um ensino crítico, contextualizado e voltado para a transformação da realidade. Ambas as abordagens fornecem ferramentas metodológicas e epistemológicas para planejar, executar e analisar propostas de ensino que dialoguem com os desafios contemporâneos da sociedade e da escola. Além disso, alinham-se aos pressupostos da BNCC, que orienta o ensino por competências e enfatiza a articulação entre ciência, tecnologia, sociedade e meio ambiente.

Enquanto os 3MP enfatizam a organização dialética do processo educativo a partir da prática social dos alunos, o enfoque CTS propõe uma problematização das relações entre ciência, tecnologia e sociedade, também a partir do cotidiano e das vivências dos sujeitos. Dessa forma, desenvolver o estudo num centro de ciências faz muito sentido. Os museus e centros de ciências configuram-se como espaços educativos não formais fundamentais para a divulgação científica e para a aproximação entre o conhecimento científico e a sociedade.

No contexto brasileiro, tais instituições são legalmente reconhecidas por sua função educativa, cultural e social, assumindo o papel de conservação, comunicação e interpretação de bens científicos e culturais a serviço do desenvolvimento social. A educação museal, compreendida como um conjunto de práticas pedagógicas próprias desses espaços, caracteriza-se por especificidades relacionadas ao tempo, ao espaço, à centralidade dos objetos e às linguagens expositivas, distinguindo-se das dinâmicas escolares tradicionais.

Nesse cenário, a mediação educativa emerge como elemento central dos processos de aprendizagem, favorecendo a participação ativa dos visitantes, o diálogo e a construção de sentidos, especialmente em museus de ciências, nos quais a interatividade e a contextualização dos conteúdos científicos contribuem para o engajamento intelectual, emocional e social do público. Assim, a pedagogia museal consolida-se como um referencial teórico relevante para a compreensão das potencialidades educativas dos museus e para o desenvolvimento de propostas que articulem educação científica, cidadania e divulgação do conhecimento científico.

Nesse contexto, a articulação entre a pedagogia museal, o enfoque CTS e os 3MP fundamenta a proposta educativa desenvolvida nesta pesquisa, voltada ao tema da biofísica da audição no Centro de Ciências da UFJF. Essa integração favorece o engajamento dos participantes, a alfabetização científica e a formação de sujeitos críticos, reafirmando o potencial dos museus de ciências como espaços de educação não formal comprometidos com a cidadania.

2.1. OS 3 MOMENTOS PEDAGÓGICOS NO ENSINO DE FÍSICA

De acordo com Delizoicov, Angotti e Pernambuco (2002), a proposta dos 3MP insere-se no contexto da pedagogia histórico-crítica, partindo do princípio de que o processo de ensino-aprendizagem deve promover a apropriação crítica do conhecimento científico, relacionando-o com a realidade concreta dos estudantes. Surgindo da necessidade de associação entre o cotidiano e os conceitos desenvolvidos em sala de aula que, conforme Preto (2016) é um dos atuais desafios do ensino de Ciências e tem suscitado muitas pesquisas nessa área.

No ensino de Física, essa proposta se apresenta como uma alternativa à fragmentação do conteúdo e à descontextualização frequentemente observadas nas salas de aula. Ao partir da prática social, o professor considera o repertório dos estudantes e situa o conhecimento físico no mundo real. Além disso, essa metodologia favorece a superação do ensino meramente conteudista, contribuindo para a formação de sujeitos mais críticos e participativos. A problematização, por sua vez, visa mobilizar o pensamento crítico, ao passo que a instrumentalização introduz os conceitos científicos de forma sistematizada e significativa (Delizoicov, Angotti e Pernambuco, 2002).

Os 3MP dialogam com as ideias do educador e filósofo pernambucano Paulo Reglus Neves Freire, conhecido como Paulo Freire (1921-1997), pois com sua pedagogia crítica, influenciou fortemente a educação, promovendo uma educação mais crítica, dialógica e transformadora, onde o aluno é protagonista do seu aprendizado e agente de transformação social. Seu trabalho teórico envolve uma forte crítica da educação bancária comum em seu tempo, na qual o professor faz "depósitos" de conhecimento no aluno, que os recebe passivamente. Em vez disso, Freire propõe uma educação dialógica, isto é, fundamentada no diálogo. Tal educação é também problematizadora, pois induz os educandos a terem uma postura crítica ante a realidade que os oprime. Freire também é famoso por ter desenvolvido um método de alfabetização de adultos que busca desenvolver essa consciência crítica no momento da alfabetização (Ferrari, 2008).

Paulo Freire foi o mais célebre educador brasileiro, com atuação e reconhecimento internacionais, conhecido principalmente na alfabetização de adultos, em que ele desenvolveu um pensamento pedagógico assumidamente político, em que o objetivo maior da educação é a conscientização do aluno. Isso significa, em relação às parcelas desfavorecidas da sociedade, levá-las a entender sua situação de oprimidas e agir em favor da própria libertação (Ferrari, 2008, n.p.).

Paulo Freire distingue três momentos claros de aprendizagem:

O primeiro é aquele em que o educador se inteira daquilo que o aluno conhece, não apenas para poder avançar no ensino de conteúdos mas principalmente para trazer a cultura do educando para dentro da sala de aula. O segundo momento é o de exploração das questões relativas aos temas em discussão - o que permite que o aluno construa o caminho do senso comum para uma visão crítica da realidade. Finalmente, volta-se do abstrato para o concreto, na chamada etapa de problematização: o conteúdo em questão apresenta-se "dissecado", o que deve sugerir ações para superar impasses. Para Paulo Freire, esse procedimento serve ao objetivo final do ensino, que é a conscientização do aluno (Ferrari, 2008, n.p.).

Segundo Muenchen e Delizoicov (2014), os 3 MP surgiram no livro “Física” (1990), da Coleção Magistério do 2º Grau, e também tiveram sua disseminação, graças ao livro “Metodologia do Ensino de Ciências” (1990) – ambos de autorias dos professores Demétrio Delizoicov e José André Perez Angotti. Ambos autores publicaram novo livro, em 2002, com a participação da professora Marta Pernambuco, intitulado: “Ensino de Ciências: fundamentos e métodos” (Miquelin e Ferrasa, 2021).

Os 3MP se referem a uma transposição da pedagogia de Paulo Freire para a escola formal e, como tal, carrega concepções humanistas de aprendizagem, como a relação de empoderamento e de crítica que o estudante pode obter na escola básica, além da aprendizagem de conteúdos escolares. Estrutura-se em três etapas dialéticas: prática social inicial, problematização e instrumentalização teórica, seguidas da catarse e da prática social final (Muenchen e Delizoicov, 2014).

Em resumo, os 3MP foram muito disseminados em planejamentos/práticas escolares no sul do Brasil, sendo apresentados como: Problematização Inicial, Organização do Conhecimento e Aplicação do Conhecimento.

Primeiro Momento - Problematização Inicial: neste momento, apresentam-se questões ou situações reais em que os estudantes conhecem, presenciam e que estão envolvidas nos temas, sendo desafiados a expor o que pensam sobre as situações, a fim de que o professor possa conhecê-los.

Para Delizoicov, Angotti e Pernambuco (2002), a finalidade desse momento é propiciar um distanciamento crítico do estudante ao se defrontar com as interpretações das situações propostas para a discussão, no sentido de que sinta a necessidade da aquisição de outros conhecimentos que ainda não detém. Apresentam-se questões ou situações reais que os alunos conhecem e presenciam e que estão envolvidas nos temas. Mais do que simples motivação para se introduzir um conteúdo

específico, a problematização inicial visa à ligação desse conteúdo com situações reais que os alunos conhecem e presenciam, mas que não conseguem interpretar completa ou corretamente porque, provavelmente não dispõem de conhecimentos científicos suficientes.

O livro “Física” destaca a problematização que pode ocorrer, pelo menos, em dois sentidos. De um lado, estão as concepções alternativas dos alunos, aquilo de que o aluno já tem noções, fruto de aprendizagens anteriores. De outro, um problema a ser resolvido, quando o aluno deve sentir a necessidade de conhecimentos que ainda não possui (Muenchen e Delizoicov, 2014).

Na Problematização inicial, em que são apresentadas situações conhecidas do dia a dia dos alunos e que estejam vinculadas ao tema abordado, com a intenção de que os alunos se sintam desafiados a participar e responder questões sobre o assunto. A função do orientador da atividade neste momento é questionar posicionamentos e lança dúvidas sobre o assunto sem a obrigação de responder ou dar explicações, isso com vistas a fazer com que os alunos sintam a necessidade da aquisição de outros conhecimentos que ainda não detém (Delizoicov, Angotti e Pernambuco, 2002).

Segundo Momento - Organização do Conhecimento: momento em que, sob a orientação do professor, os conhecimentos escolares necessários para a compreensão dos temas e da problematização inicial são estudados. Com relação ao núcleo do conteúdo específico de cada tópico, Delizoicov, Angotti e Pernambuco (2002) afirmam que:

[...] será preparado e desenvolvido, durante o número de aulas necessárias, em função dos objetivos definidos e do livro didático ou outro recurso pelo qual o professor tenha optado para o seu curso. Serão ressaltados pontos importantes e sugeridas atividades, com as quais se poderá trabalhar para organizar a aprendizagem (Delizoicov; Angotti; Pernambuco; 2002, p. 30).

Do ponto de vista metodológico, para o desenvolvimento desse momento, o professor é aconselhado a utilizar as mais diversas atividades, como: exposição, formulação de questões, texto para discussões, trabalho extraclasse, revisão e destaque dos aspectos fundamentais, experiências.

Terceiro Momento - Aplicação do Conhecimento: se destina a abordar sistematicamente o conhecimento incorporado pelo estudante, para analisar e interpretar tanto as situações iniciais que determinaram seu estudo, quanto outras, que embora não estejam diretamente ligadas ao momento inicial, possam ser compreendidas pelo mesmo conhecimento.

Destina-se, sobretudo, a abordar sistematicamente o conhecimento que vem sendo incorporado pelo aluno, para analisar e interpretar tanto as situações iniciais que determinaram o

seu estudo, como outras situações que não estejam diretamente ligadas ao motivo inicial, mas que são explicadas pelo mesmo conhecimento. Com isso, pretende-se que, dinâmica e evolutivamente, o aluno perceba que o conhecimento, além de ser uma construção historicamente determinada, está acessível para qualquer cidadão e, por isso, deve ser apreendido, para que possa fazer uso dele (Delizoicov, Angotti e Pernambuco, 2002).

Ao longo dos anos, os 3MP foram sendo revistos e extrapolaram sua utilização inicial, tornando-se um parâmetro para o processo como um todo, fundamentalmente pelo aspecto dinâmico. Percebe-se que a participação do estudante e o seu cotidiano assumem um papel de destaque na prática educativa que utiliza os 3MP, proporcionando, à educação, um avanço no que se refere ao ensino tradicional.

Dentre as características da dinâmica dos 3MP está a apresentação dos assuntos, não como fatos a memorizar, mas como problemas a serem resolvidos, propostos a partir da experiência de vida dos estudantes. Possibilitando que, durante o período de escolarização, tais problemas sejam compreendidos por meio de conhecimento que os alunos ainda não possuem, quais sejam aqueles universais, tal como os das teorias da física (Muenchen e Delizoicov, 2014).

Ao problematizar, pretende-se que os conceitos sejam integrados à vida e ao pensamento dos alunos, ao invés da memorização de informações, com o enfrentamento dos problemas cotidianos. Contudo, conforme analisa Delizoicov, Angotti e Pernambuco (2002), um emprego estático e mecânico dos 3MP pode, simplesmente, manter uma perspectiva tradicional para o ensino de Física. Pois, por meio de uma estratégia didática que apenas usa o primeiro momento pedagógico como pretexto para introduzir no Segundo Momento, conteúdos tradicionalmente abordados sem um compromisso da problematização e da dialogicidade, que são características essenciais e estão na gênese da proposta dos 3MP.

2.2. ENFOQUE CTS NA EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS

Esse movimento nasceu por meio de críticas à ciência e à tecnologia, por uma perspectiva interdisciplinar entre as diversas áreas do conhecimento, surgindo no Hemisfério Norte em meados do século XX, como uma proposta para o ensino de Ciências, em decorrência de um sentimento crescente “de que o desenvolvimento científico, tecnológico e econômico não estava conduzindo linear e automaticamente ao desenvolvimento do bem-estar social”. (Auler; Delizoicov; 2015, p. 7).

Em alguns países da América Latina, em meados do século passado, surge o Pensamento Latino Americano em Ciência-Tecnologia-Sociedade (PLACTS), num momento histórico em que há vários questionamentos do modelo de industrialização.

O movimento CTS surge, então, de uma efervescência, insatisfação e descontentamento de uma parcela da população com relação a estes e outros feitos da ciência. Coloca-se como um movimento a fim de desmistificá-la e suscitar novas reflexões sobre o campo, buscando promover o espírito questionador da sociedade e uma atuação da mesma com maior criticidade (Schwantes; Silva; 2018, p. 55).

De acordo com Penha, Maciel e Costa (2018), para o ensino de Ciências, o enfoque CTS surgiu como proposta curricular na década de 1970 e como reflexo do agravamento dos problemas sociais e ambientais, levando a um aumento de discussões sobre a natureza do conhecimento científico e seu papel na sociedade. Esperava-se que o ensino de Ciências privilegiasse uma alfabetização científica, que explicitasse um conjunto de conhecimentos que facilitariam aos estudantes fazer uma leitura do mundo onde vivem, de modo a oportunizar aos alunos se tornarem agentes de transformação do mundo.

Assim, o enfoque CTS tende a favorecer uma atuação mais crítica dos estudantes, permitindo um exercício mais pleno e consciente de sua cidadania, constituindo um recurso capaz de promover a alfabetização científica e oferecer ao professor alternativas para uma atuação pedagógica diferenciada no ensino de Ciências, contribuindo para o processo de formação crítica dos estudantes. Mas, para que esta formação aconteça, é preciso que os professores desenvolvam uma consciência crítica com visão ética e social, capacitando-o a formar seus estudantes em uma perspectiva sistêmica e integradora.

Assim, o Movimento CTS surge com a proposta central de integrar o conhecimento científico aos contextos sociais, éticos, políticos e ambientais, reconhecendo que a ciência e a

tecnologia são construções humanas permeadas por valores e interesses. No campo do Ensino de Ciências, tem como objetivos principais: promover a alfabetização científica; desenvolver a capacidade crítica dos estudantes frente às inovações tecnológicas e seus impactos e estimular a tomada de decisões conscientes e fundamentadas.

Para Schwantes e Silva (2018), aplicar o enfoque CTS especificamente no ensino de Física, implica reorientar o planejamento das aulas para que os conteúdos sejam abordados a partir de problemas reais, questões sócio-técnicas ou debates contemporâneos. Buscando valorizar metodologias ativas e interdisciplinares, como projetos, estudos de caso, debates, oficinas e simulações, desenvolvendo não apenas o domínio conceitual de Física, mas também competências argumentativas, éticas e sociais nos alunos. Desta forma, o enfoque CTS constitui um movimento pedagógico capaz de produzir um determinado tipo de sujeito: reflexivo e atento.

Um ensino com o enfoque CTS caracteriza-se por esta abordagem dos conteúdos científicos relacionados ao seu contexto social; levando em consideração aspectos e questões de natureza filosófica, sociológica, histórica, política, econômica, entre outras. Abre-se, com um ensino parametrizado por esses pilares, a possibilidade de uma visão mais ampla e menos rígida e tecnocrática da CTS (Schwantes; Silva; 2018, p. 58).

O enfoque CTS no ensino de ciências caracteriza-se como um campo multifacetado, que está ligado, dentre outras coisas, com uma atitude mais interdisciplinar, na qual postula uma visão mais abrangente e menos isolada das disciplinas no processo educativo. Passando pelas disciplinas das ciências da natureza (Biologia, Física e Química), as aulas que abarcam discussões sobre a ciência, a tecnologia e seus desdobramentos sociais de forma articulada entre tais disciplinas, podem contribuir para que esta forma de ensino faça parte do contexto escolar e do processo de escolarização (Schwantes; Silva; 2018).

A ciência e a tecnologia produziram e produzem efeitos na sociedade e estão imbricadas no processo de construção do modelo de vida que temos e levamos. Tratar de ciência e tecnologia (CT) é voltar-se para os acontecimentos ao nosso redor, é olhar para as situações diárias e perceber que somos interpelados por elas, modificados por um campo de produção de conhecimento (Schwantes; Silva; 2018, p. 54)

A Ciência, Tecnologia e Sociedade estão inter relacionadas, sendo a tecnologia articulada à ciência, não como o seu resultado e aplicação, mas como a própria construção daquilo que é tido como científico. Equipamentos são, comumente, produzidos para a continuação ou iniciação do trabalho científico; bem como materiais/produtos são resultados de estudos e investigações de

cientistas. Já a sociedade, que compõe o terceiro elemento da tríade, visa promover a inclusão da mesma nas discussões sobre ciência e tecnologia; visa fazer com que a população passe a demarcar sua opinião, posição e intervir nos assuntos que envolvem ciência e tecnologia (Schwantes; Silva; 2018).

Espera-se que esse ensino favoreça a formação da autonomia de pensamento e de ação e possibilite a aprendizagem por meio da investigação, da comunicação e do debate de temas, fatos e ideias. Dessa forma, o ensino de Ciências promoverá um ensino democrático, crítico e contextualizado visando à formação de cidadãos autônomos e que propicie a reflexão acerca das concepções de Ciência e dos modos de desenvolvimento do conhecimento científico, buscando tornar os alunos aptos a participarem nas decisões que envolvem a inovação científica e tecnológica (Penha; Maciel; Costa, 2018).

De acordo com Auler e Delizoicov (2015), há três dimensões interdependentes acerca do enfoque CTS: a abordagem de temas de relevância social, a interdisciplinaridade e a democratização dos processos de tomada de decisão em temas envolvendo Ciência e Tecnologia. Sobre a abordagem de temas de relevância social, é um problema aberto, passando pela busca dos conhecimentos científicos e culminando com a ação de tomada de decisão. Já a interdisciplinaridade possui um caráter multidisciplinar, integrando a educação científica, tecnológica, social e ambiental, no qual, os conteúdos científicos devem ser tratados de modo a contemplar a discussão de aspectos históricos, éticos, políticos e socioeconômicos. Integrar o contexto tecnológico e social e as experiências cotidianas dos alunos com estes conteúdos, assim democratizando os processos.

Contudo, desafios e dificuldades podem ocorrer quando tal enfoque for implementado, como: pouca aceitação dos alunos, desconhecimento dos professores, falta de recursos materiais e estruturais das escolas. Atualizações e acompanhamento de avanços científicos e tecnológicos também podem ser um desafio, pois o enfoque CTS busca contribuir com a formação crítica dos estudantes diante das questões e desafios que surgem na sociedade, possibilitando sua participação nos processos decisórios que envolvem temas locais e globais, não como meros expectadores, mas como atores atuantes, influenciando deste modo a sua realidade de vida e da sociedade onde se insere.

Faz-se, assim, cada vez mais necessária a formação de educadores com essa nova visão da educação pautada em questões CTS, de forma a contextualizar o conhecimento e aproximá-lo do educando, a ponto de permitir que seja capaz de compreender aspectos relevantes da realidade social em que vive, disseminando seu conhecimento na população na qual se insere (Penha; Maciel; Costa, 2018, n.p.).

Assim, as razões que aparecem como desafios ao enfoque CTS no processo educacional estão diretamente relacionadas à formação docente, sendo: o teórico-epistemológico e o ético. No primeiro, a fragilidade epistêmica, a carência de postura investigativa e prática no processo formativo, além da formação disciplinar, têm levado a uma visão de mundo incapaz de dar conta da complexidade do trabalho docente; no segundo, a formação oferecida não é suficiente para desencadear no professor a decisão ética de assumir o compromisso com a construção da cidadania (Auler; Delizoicov, 2015).

Apesar dos esforços e das conquistas observadas no campo das pesquisas ao longo dos anos, a apropriação do enfoque CTS pelas instituições de ensino do Brasil se deu muito mais no campo discursivo do que verdadeiramente como um elemento incorporado ao processo educacional, particularmente na formação de professores de Ciências (Penha; Maciel; Costa, 2018).

Enfim, podemos dizer que um currículo que valorize a abordagem de questões sócio-científicas e que esteja apto a potencializar habilidades críticas na formação cidadã, deve tratar tais questões de forma a favorecer o enfoque CTS, contribuindo para aperfeiçoar significativamente a qualidade da educação científica oferecida aos estudantes (Penha; Maciel; Costa, 2018, n.p.)

Podemos concluir que a articulação entre os 3MP e o enfoque CTS constitui um alicerce teórico-metodológico potente para o desenvolvimento de oficinas de ensino de Física com temáticas contemporâneas e socialmente relevantes, como a Biofísica da Audição. Ambas as abordagens partem da valorização das experiências dos estudantes e propõem a problematização crítica da realidade como ponto de partida para a construção do conhecimento científico. No caso das oficinas desenvolvidas para um Centro de Ciências, os 3MP orientam a estrutura didática, iniciando pela prática social relacionada à experiência auditiva cotidiana, seguida da problematização de fenômenos acústicos e da sistematização conceitual com base na Física e na Biologia. Enquanto o enfoque CTS amplia o alcance da proposta ao inserir as discussões sobre tecnologias auditivas, acessibilidade e saúde pública. Assim, a integração entre essas abordagens favorece um ensino de Física mais contextualizado, reflexivo e socialmente engajado.

2.3. PEDAGOGIA MUSEAL

Os museus e centros de ciências desempenham papel fundamental na aproximação entre a produção do conhecimento científico e a sociedade, contribuindo para a divulgação científica e para a formação de uma cultura científica crítica. No Brasil, o crescimento desses espaços intensificou-se a partir da década de 1980, impulsionado por políticas públicas e iniciativas voltadas à popularização da ciência (Marandino, 2008; Borges; Imhoff; Barcellos, 2015).

Os museus contemporâneos são compreendidos como instituições culturais que extrapolam a função de guarda e conservação de objetos, assumindo um papel social, educativo e formativo. Nesse sentido, o museu atua como guardião da memória e da cultura, colocando-se a serviço da sociedade e de seu desenvolvimento, conforme destacado por Carlan (2008) .

No contexto brasileiro, essa concepção é formalmente estabelecida pela Lei nº 11.904/2009, conhecida como Estatuto de Museus, que define museus como instituições sem fins lucrativos responsáveis por conservar, investigar, comunicar, interpretar e expor conjuntos e coleções de valor histórico, artístico, científico ou cultural, com finalidades de preservação, estudo, pesquisa, educação, contemplação e turismo (Brasil, 2009).

Dessa forma, a educação museal pode ser compreendida como um conjunto de valores, conceitos, saberes e práticas voltadas ao desenvolvimento do visitante, apoiando-se em fundamentos pedagógicos e em processos de aprendizagem mediados pela experiência, pela linguagem expositiva e pelos objetos musealizados.

Já no campo teórico, Sardelich (2017) identifica cinco grandes tendências pedagógicas da educação museal: canônica, instrutora, por descoberta, construtivista e reconstrutora. Essas tendências refletem diferentes concepções de museu, de exposição e de educação, variando desde modelos centrados na transmissão unidirecional do conhecimento até propostas fundamentadas na pedagogia crítica e na construção coletiva de sentidos.

Nas abordagens mais contemporâneas, especialmente as construtivistas e reconstrutoras, o visitante é entendido como sujeito ativo do processo educativo, portador de saberes e experiências que dialogam com o discurso museal. Nessa perspectiva, o educador museal deixa de ser apenas um transmissor de informações e assume o papel de mediador, promovendo reflexões, problematizações e múltiplas leituras da exposição.

A mediação humana destaca-se como elemento central nos processos educativos desses espaços. O mediador é frequentemente considerado a “voz” da instituição, responsável por

estabelecer a ligação entre o discurso expositivo e o público visitante. Por essa razão, observa-se uma crescente preocupação com a formação desses profissionais, visando garantir a correção conceitual e, ao mesmo tempo, promover o engajamento, a curiosidade e o diálogo (MARANDINO, 2008).

Sendo assim, a educação em museus envolve processos específicos que diferem daqueles tradicionalmente associados ao ensino escolar, o que justifica a existência de uma pedagogia museal própria. Essa pedagogia apresenta características particulares relacionadas ao tempo, ao espaço, aos objetos e à linguagem. O tempo da aprendizagem no museu é curto, não sequencial e livre de avaliações formais; o espaço físico não se organiza a partir de carteiras ou salas de aula; os objetos assumem centralidade como mediadores do conhecimento; e a linguagem é híbrida, fortemente visual e multimodal (Marandino, 2008).

Além disso, as especificidades dos visitantes, suas idades, interesses, experiências prévias e contextos socioculturais, influenciam diretamente as formas de interação e aprendizagem no ambiente museal. Assim, a pedagogia museal deve considerar a diversidade do público e promover experiências significativas, dialógicas e acessíveis.

Outra característica relevante é a articulação entre museus e escolas, constituindo um campo fértil para a educação científica, desde que sejam respeitadas as especificidades de cada instituição. O museu não deve ser concebido como uma extensão da sala de aula ou como um laboratório substituto, mas como um espaço cultural amplo, capaz de abordar conteúdos que extrapolam os componentes curriculares escolares. Por tal motivo, a relação entre museu e educação é um eixo recorrente nas pesquisas acadêmicas, especialmente no campo da Educação em Ciências, evidenciando o fortalecimento do conceito de educação museal no país (Krupczak; Aires; Silveira, 2021).

Mediante pedagogia museal vem sendo amplamente discutida no campo da Educação em Ciências, especialmente em estudos voltados a museus e centros de ciência e tecnologia. Esses espaços assumem crescente protagonismo na divulgação científica, na formação cidadã e no fortalecimento de práticas educativas não formais, reafirmando seu papel social e educativo no contexto contemporâneo.

3 REFLEXÕES A RESPEITO DE UMA ABORDAGEM DO ENSINO DE ACÚSTICA COM A BIOFÍSICA DA AUDIÇÃO

Iniciaremos nossas reflexões partindo de alguns tópicos que consideramos relevantes rumo à compreensão da Biofísica da Audição, objetivando o desenvolvimento de oficinas sobre o tema. A fim de abordar conteúdos com caráter interdisciplinar, as oficinas tiveram a finalidade de fomentar o pensamento crítico dos alunos, contribuindo para a formação de conteúdos conceituais, experimentais e cotidianos.

Para o desenvolvimento de oficinas sobre Biofísica da Audição é necessário o conhecimento de conceitos Físicos básicos, tais como: som, frequência, comprimento de onda, altura, timbre, intensidade, velocidade do som e amplitude, além da Anátomo-fisiologia da Orelha Humana.

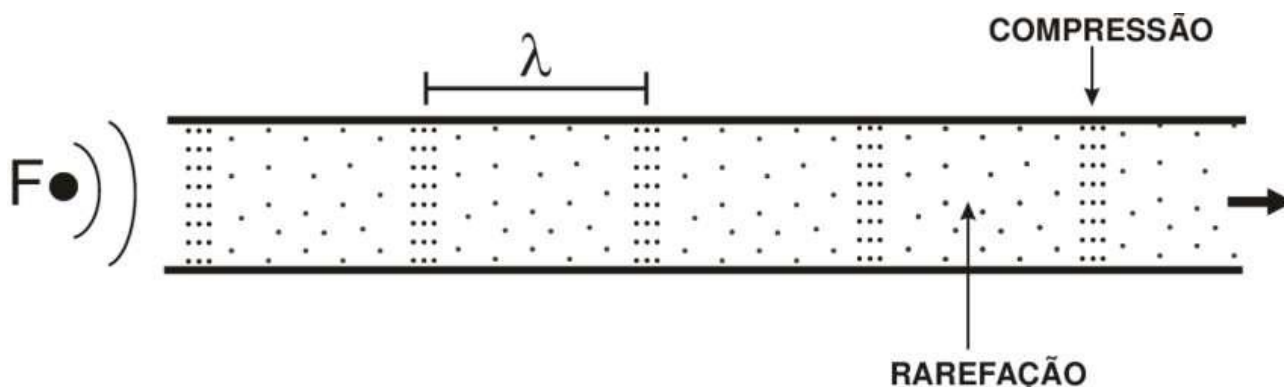
Os tópicos supracitados foram apresentados individualmente em 3 seções, a partir de artigos referenciados no corpo do texto e de livros de: Física (Ensino Médio e Superior), de Anatomia e Fisiologia Humana (Ensino Superior) e de Biofísica, que advogam a importância de tais conhecimentos na formação dos alunos, na interdisciplinaridade (Física + Biologia), assim como para os cuidados necessários para se manter e prevenir problemas relacionados a audição.

Acreditamos que as linhas que se seguem apresentam os aportes teóricos necessários para sustentar as discussões levantadas por esse trabalho, bem como fornecem elementos que contribuem de forma significativa para a análise e discussão dos dados por ele gerado.

3.1 SOM E ACÚSTICA

O som é uma sensação auditiva que nossos ouvidos são capazes de detectar, são variações audíveis na pressão do ar. Esta sensação é produzida pelo movimento organizado das moléculas que compõem o ar. Na propagação de uma onda sonora, as moléculas do ar em algumas regiões, estão mais concentradas e em outras, estão mais rarefeitas, conforme figura 1. São estas regiões de compressão e rarefação que viajam pelo ar e constituem a onda sonora. “ [...] o som provoca no ouvido humano, sensações auditivas individuais (características psicológicas) não mensuráveis, que variam de pessoa para pessoa (subjectivas)” (Costa, 2008, p. 68).

Figura 1: Compressão e rarefação do ar



Fonte: https://www.researchgate.net/figure/Figura-51-Compressoes-e-rarefacoes-no-ar-provocados-por-uma-onda-sonora_fig23_343431173

A variação de pressão produz o deslocamento da camada de ar contígua, e assim por diante. No caso do ruído, essa regularidade não existe, ele corresponde a um abalo mecânico isolado, ou seja, sua produção é causada por uma brusca variação de pressão em determinado instante sem repetição. Isso significa que as ondas sonoras com alturas definidas correspondentes a frequências regulares e periódicas, são denominadas som, já as vibrações sem alturas definida, não periódicas e sem regularidade, são denominadas ruído (Zamai, 2013).

O som constitui um movimento ondulatório, caracterizado por uma intensidade, uma frequência e uma velocidade de propagação, sendo representado graficamente por ondas periódicas e estas são caracterizadas em função do tempo.

O som é produzido pelas vibrações de corpos materiais. Portanto, sempre que escutamos um som é porque há um corpo material vibrando. Quando uma pessoa fala, ela está fazendo com que suas pregas ou cordas vocais vibrem. Ao vibrarem, o ar ao redor das cordas também vibra, sendo transmitida de molécula a molécula do ar até chegar aos nossos ouvidos (Borges; Rodrigues, 2016). “[...] pode-se definir o som como a parte audível do espectro de vibrações acústicas, da mesma forma que se define a luz como a parte visível do espectro de vibrações eletromagnéticas” (Chaix, 2016, n.p.).

Ainda na mesma temática, o pianista clássico e compositor, José Miguel Wisnik apresenta uma definição de som, no livro *O som e o sentido – uma outra história das músicas*, bem completa: “Sabemos que som é onda, que os corpos vibram, que essa vibração se transmite para a atmosfera sob a forma de uma propagação ondulatória, que o nosso ouvido é capaz de captá-la e que o cérebro a interpreta, dando-lhe configurações e sentidos” (Wisnik, 1989, p.17).

Sendo assim, para haver som é necessário fazer vibrar um meio, gerando zonas de maior e menor pressão, respectivamente zonas de compressão e rarefação, num movimento de vaivém, pois o meio é elástico. Logo, as partículas do meio não se transmitem junto com o som pelo ambiente, o que se propaga é a energia de vibração que deu origem ao som. Contudo, todo som gera uma vibração no meio pelo qual se propaga, mas nem toda vibração produz som audível, ou seja, existem sons que não podemos ouvir.

O segmento da Física que interpreta o comportamento das ondas sonoras audíveis frente aos diversos fenômenos ondulatórios é a Acústica. Existem várias maneiras de se estudar cientificamente o fenômeno sonoro, sendo que as disciplinas estão interligadas, mas cada uma enfoca um aspecto específico do fenômeno: “ [...] a acústica física estuda a parte material do fenômeno sonoro, enquanto a psicoacústica trata da percepção do fenômeno sonoro pelos sentidos” (Lazzarini, 1998, p.5.).

A ondulatória é a parte da física que estuda os fenômenos que se apresentam em formas de ondas. As ondas sonoras são classificadas como ondas mecânicas, longitudinais e tridimensionais, portanto necessitam de um meio físico para se propagar (são mecânicas), a vibração ocorre na mesma direção da propagação (longitudinais) e se propagam em todas as direções no espaço (tridimensionais). As ondas mecânicas do tipo longitudinais são as mais presentes no nosso cotidiano, incluindo como principais exemplos: as ondas sonoras, as ondas em molas (tipo slinky),

as ondas sísmicas P, os ultrassons e as ondas de pressão em fluidos. Sendo as ondas sonoras a mais importante delas, se propagando em geral no ar e desempenhando papel primordial no processo da audição de humana.

Desde a produção de um som, como: de um bate estaca, de um instrumento musical, de um motor de carro acelerando, da fala humana, de um latido de um cachorro e etc. até a decodificação em nosso córtex cerebral, todas as partes do ouvido / orelha possuem uma função específica e de suma importância no processo de audição. De acordo com Falcão (2021),

Uma onda sonora é uma onda mecânica longitudinal que causa variações de pressão ao mover as partículas do meio que ela está utilizando para se propagar. Falamos que a onda é longitudinal porque o movimento das partículas é paralelo à direção de propagação da onda. Ela se propaga através do ar com uma velocidade de aproximadamente 344 m/s em uma temperatura de 20°C sendo capaz também de se propagar em outros meios como a água, aço, concreto e também através de outros gases, porém com velocidades diferentes (Falcão, 2021, n.p.).

De uma maneira mais concisa, pois ainda trataremos de maneira mais detalhada na seção 3.2.,

[...] quando uma onda sonora entra no ouvido humano, ela produz vibrações do tímpano que, por sua vez, produzem oscilações nos minúsculos ossos do ouvido médio, chamados de ossículos, uma cadeia de três pequenos ossos no ouvido médio. Essas oscilações são finalmente transmitidas ao ouvido interno (cheio de líquido, principalmente); o movimento desse fluido perturba as células capilares no ouvido interno, as quais transmitem impulsos ao nervo que se liga ao cérebro, transportando a informação de que existe um som (Sears et al., 2015, p. 157).

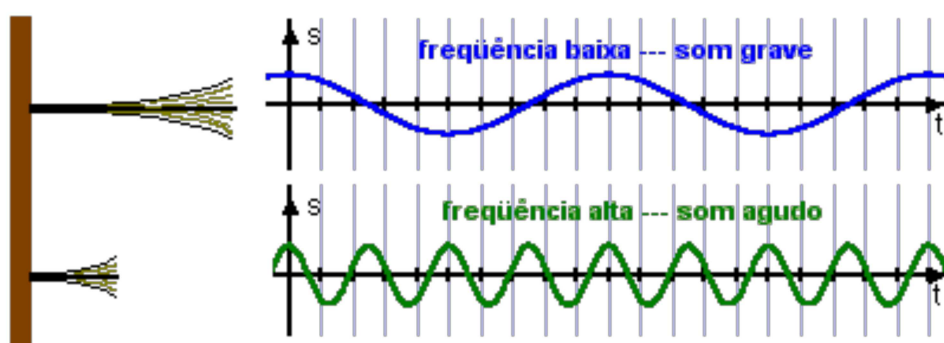
Os fenômenos ondulatórios podem ser estudados em sua forma mais simples, descrita por funções harmônicas do tipo senoidal, que possuem uma característica periódica, isto é, repetem-se em um certo intervalo de tempo (Lazzarini, 1998). Antes de iniciarmos a discussão sobre as características físicas envolvidas no processo de audição, alguns conceitos são importantes serem elucidados, como: frequência, comprimento de onda, amplitude, intensidade, timbre e altura.

A Frequência Sonora (**f**) é definida como o número de ciclos por unidade de tempo para processos cíclicos, tais como oscilações ou ondas, indicada pela letra **f**. No Sistema Internacional de Unidades (SI), a unidade de medida da frequência é o hertz, em homenagem ao físico alemão Heinrich Rudolf Hertz (1857-1894) (Zamai, 2013). Já o Período (**T**), cuja unidade no SI é o

segundo (s), é o tempo correspondente a um ciclo completo, e é dado pelo inverso da frequência (Areias, 2014).

A frequência se refere à velocidade na qual as ondas são geradas no ar, por meio de vibrações, as quais podem ser mais espaçadas ou mais intensas, formando o que conhecemos como ruídos agudos e graves. Os sons graves são denominados baixos pois vibram em frequências baixas, gerando ondas com uma oscilação lenta do ar. Enquanto sons agudos são fortes, vibram em frequências altas, gerando oscilações mais rápidas no ar, como demonstrado na Figura 2 (Oliveira, Velt e Schneider, 2022).

Figura 2 - Representação Gráfica dos tipos de frequências sonoras



Fonte: Oliveira, Velt e Schneider (2002).

Portanto, o conceito de frequência aplicado às ondas quando os pulsos (perturbações) são produzidos de maneira uniforme corresponde ao número de oscilações por segundo.

O comprimento de onda (λ) é a distância percorrida pela onda em uma oscilação completa, sendo correspondente à distância entre duas cristas ou dois vales, isto é, a distância entre quaisquer duas partes idênticas e sucessivas da onda (Hewitt, 2015).

Os sons graves tem grandes comprimentos de onda e, inversamente, os sons agudos têm comprimentos de onda pequenos. É particularmente importante para os fenômenos de percepção espacial dos sons e para a sua propagação, em recintos fechados, saber a ordem de grandeza do comprimento de onda, relativamente às dimensões dos objetos (Costa, 2008, p. 80).

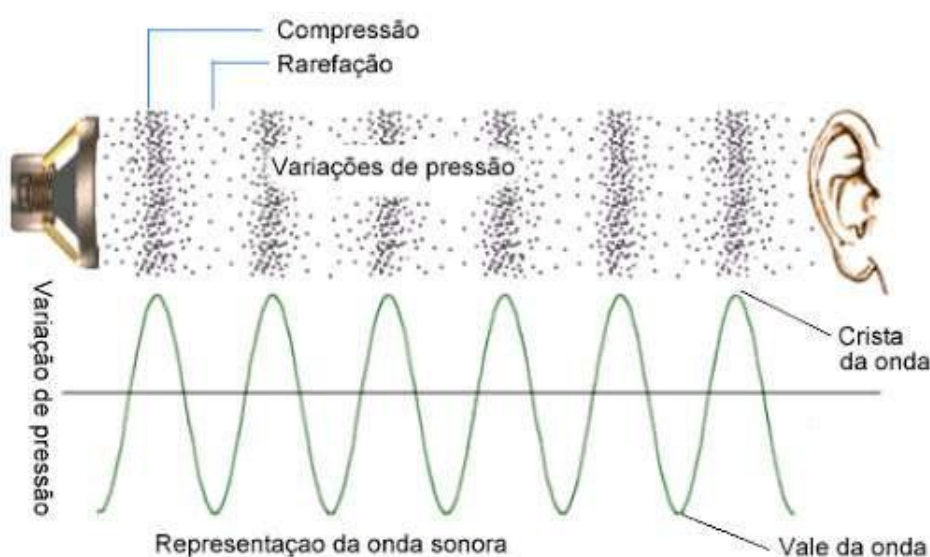
A frequência e o comprimento de onda são conceitos importantíssimos para um bom entendimento de como a onda sonora se comporta. Entender este conceito faz com que consigamos analisar profundamente a natureza de um som, questões de timbre e tantas outras características. Mas a frequência não é a única característica importante neste nosso estudo, precisamos estar atentos também à amplitude da onda sonora.

A Amplitude (**A**) da onda sonora define a sua intensidade, ou a quantidade de energia que essa onda carrega consigo, que também pode ser entendida como o “volume do som”. Sendo definida como a distância entre o eixo central e o ponto mais alto (crista) ou mais baixo da onda (vale). “Portanto, a amplitude é igual ao máximo afastamento em relação ao equilíbrio” (Hewitt, 2015, p. 359). Sua unidade de medida no Sistema Internacional é o metro (m).

“A amplitude, medida da magnitude da onda sonora, relaciona-se directamente com a percepção de intensidade sonora; por exemplo, sons mais intensos serão resultado de uma maior amplitude, ou seja, um deslocamento maior das moléculas” (Costa, 2008, p. 77).

O som quando se propaga na atmosfera, provoca um deslocamento de ar e variações de pressão no ambiente, criando áreas de compressão e rarefação (Figura 3). Sendo essa diferença de pressão em acústica conhecida como Nível de Pressão Sonora, ou **NPS**, e dada em decibel (**dB**). Para ler os níveis de pressão sonora utiliza-se um equipamento chamado sonômetro, também popularmente conhecido como decibelímetro.

Figura 3 - Diagrama de Ondas



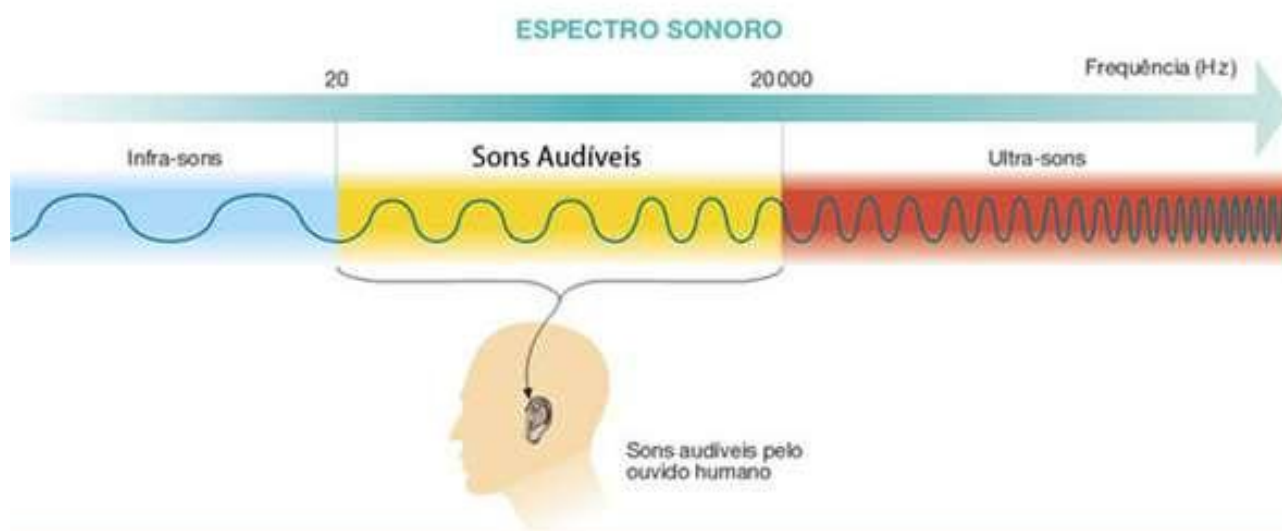
Fonte: WEB Física

O ouvido humano possui uma sensibilidade impressionante, o intervalo audível é delimitado a frequências compreendidas entre 20 e 20.000 hz. A sensibilidade do sistema auditivo humano às ondas sonoras pode variar de uma pessoa para outra e ainda conforme a idade. Utiliza-se a palavra ultrassom no caso de frequências maiores do que 20.000 hz e infrassom no caso de frequências menores do que 20 hz (Sears, 2015).

Existem dois fatores principais que determinam se um som será ouvido. Primeiramente, [...], é preciso que a vibração aumente ate atingir uma frequência determinada para que o som seja audível. Há também um segundo fator. A amplitude de vibração é fundamental para a audibilidade (Pietrocola, 2010, p. 411).

As ondas sonoras no ar se propagam em todas as direções a partir da fonte, com amplitudes que dependem da direção e da distância entre o ouvinte e a fonte. A pressão dessas ondas flutuam acima e abaixo da pressão atmosférica, em uma variação senoidal com a mesma frequência que os movimentos das partículas do ar. Devido a esse fato, as ondas sonoras também podem ser descritas em termos de variações de pressão em vários pontos. Assim, o ouvido humano funciona captando essas variações do ambiente, com o auxílio da pavilhão auricular e do conduto auditivo (Figura 4).

Figura 4: Espectro Sonoro



Fonte: https://www.researchgate.net/figure/Figura-2-Localizacao-da-audicao-humana-no-espectro-sonoro_fig1_381760100

Pietrocola (2010) destaca que por meio das sensações causadas pelo som, podemos perceber diferentes características, também chamadas de qualidades de um som musical, que são sua Intensidade, Altura e Timbre.

A Intensidade (**I**) do som corresponde à amplitude de vibração de uma onda sonora, assim os sons podem ser fraco (pequena amplitude) ou forte (grande amplitude). A unidade de intensidade é W/m^2 . “ Mais precisamente, a intensidade é definida como a energia que, durante 1s, atravessa perpendicularmente uma superfície de 1m^2 ” (Amaldi, 1997, p. 220).

A intensidade é causada pela pressão exercida pela onda de pressão sobre o ouvido ou algum instrumento medidor, como por exemplo, um decibelímetro ou um dosímetro (Borges; Rodrigues, 2016). É a qualidade que permite distinguir um som forte de um som fraco, sendo relacionada ao volume e a energia de vibração de uma fonte sonora.

Uma onda sonora transporta energia, distribuindo-a em todas as direções do espaço. A uma dada distância da fonte sonora, quanto maior for a potência P (energia por unidade de tempo) da fonte, maior será a intensidade do som. Para obter a intensidade (**I**) é preciso levar em conta também a área S perpendicular à direção de propagação da onda sonora.

Matematicamente $I = P / S$, cuja unidade no Sistema Internacional de unidades é watt por metro quadrado (W / m^2). Pode ser definida também como sendo a variação de energia sonora que atravessa a unidade área (S) de uma superfície disposta perpendicularmente à direção de propagação, na unidade de tempo (1).

$$I = \frac{\Delta E}{S \cdot \Delta t} \quad (1)$$

O ouvido humano é capaz de detectar sons na faixa de 0 a 120 decibéis. Acima de 120 dB, o som pode induzir uma sensação dolorosa. A menor intensidade de som que o ouvido humano pode detectar é da ordem de $10^{-12} \text{ W} / \text{m}^2$. Já a maior intensidade suportável situa-se em torno de $1 \text{ W} / \text{m}^2$. Usa-se uma unidade especial para expressar essa grande variação de intensidades percebidas pelo ouvido humano: o bel (B). A unidade de medida é o **bel** em homenagem a Alexander Graham Bell.

O significado dessa unidade é que dois sons diferem de 1 B quando a intensidade de um deles é 10 vezes maior (ou menor) que a do outro, diferem de 2 B quando essa intensidade é 100 vezes maior (ou menor) que a do outro, de 3 B quando ela é 1000 vezes maior (ou menor) que a do outro, e assim por diante. Na prática, usa-se o decibel (dB), que corresponde a 1/10 do bel: 1dB = 0,1 bel (Rui, 2007, p. 16).

A percepção da intensidade pelo ouvido humano não é linear, mas sim logarítmica, isto significa que o ouvido só percebe variações de intensidade como lineares, se as amplitudes variarem exponencialmente. As intensidades sonoras **I** também são quantificadas através do nível de intensidade sonora β , medido em decibéis (2):

$$\beta = 10 \cdot \log \frac{I}{I_0} \quad (2)$$

Onde **I** é a intensidade da onda sonora (W/m^2) e I_0 é 10^{-12} W/m^2 (Duran, 2003).

No intervalo de audição humana (20 a 20.000 Hz), sons com intensidade em torno de 1dB mal podem ser ouvidos, uma conversação normal gira em torno de 60 a 70 dB; acima de 100 dB causam desconforto e intensidades em torno de 120 dB causam dor.

A sensibilidade auditiva não é a mesma para todas as frequências, pois quanto mais grave for o som, maior a intensidade necessária para percebê-lo. Por outro lado, a sensibilidade aumenta muito para os sons com frequências em torno de 1800 hertz. Mesmo sons com nível de intensidade cerca de 0 dB (10^{-12} W / m^2) podem ser percebidos nessa frequência. Os valores da intensidade, do nível de intensidade e da frequência correspondente à sensibilidade da audição humana são relativos, pois varia de pessoa para pessoa, assim quanto maior a idade menor a sensibilidade para ouvir os sons de maior frequência, e o nível de intensidade sonora deve aumentar para que um som seja percebido pelo ouvido.

A contínua exposição a sons muito intensos por um determinado tempo, acima de 80 dB, pode causar danos irreversíveis ao sensível órgão de Corti, causando doenças graves tais como neurose, insônia e, conseqüentemente, queda de produtividade física e mental.

A Legislação Brasileira, Portaria 3214/78 na Norma Regulamentadora nº 15 do Ministério do Trabalho, estabelece os limites de tolerância para ruídos contínuos ou intermitentes (com equipamento de proteção): 85 dB para uma exposição máxima de 8 horas por dia e 115 dB para uma exposição máxima de 7 minutos por dia. A legislação também prevê que uma exposição contínua a ruídos superiores a 85 dB pode causar perdas permanentes de audição e, apenas 5 dB acima disso (90 dB), exige que o tempo de exposição seja reduzido à metade (4 horas). Esses limites nos fazem perceber que os danos à audição não dependem somente da intensidade do ruído, mas também do tempo de exposição (Brasil, 1978).

A Altura (**tom**) do som é definida como a propriedade que permite ao ouvido diferenciar sons graves de sons agudos, isto é, a qualidade fisiológica do som, dependendo apenas da sua frequência (f). Som agudo apresenta alta frequência enquanto som fraco corresponde a baixa frequência. A sensação de altura depende essencialmente da zona da membrana basilar que é mais excitada. A unidade “mel” é usada para quantificar a sensação subjetiva de altura, deriva da palavra melodia. Um som de 1 kHz equivale a 1000 mel (Areias, 2014).

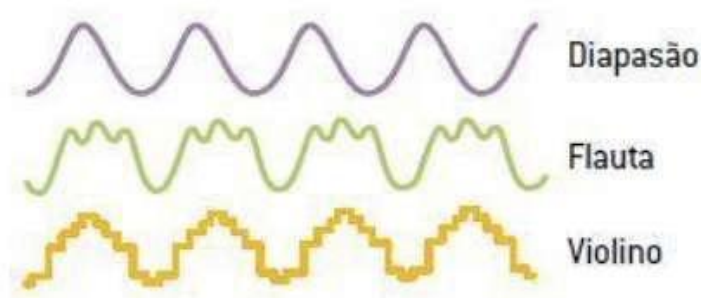
A relação entre altura e frequência foi comprovada experimentalmente por Hooke em 1681, apertando um cartão contra os dentes de uma roda dentada em rotação: quanto mais rápida a rotação, mais agudo era o som assim produzido. O mesmo princípio é usado nas sirenes, onde um disco com perfurações gira diante de um jato de ar sob pressão, que sai através das perfurações quando elas passam em frente ao jato (Nussenzveig, 2014, p. 165).

O Timbre ou “cor sonora” é a característica que permite ao ouvido diferenciar sons de mesma altura e intensidade, emitidos por fontes diferentes, correlacionada com a forma da onda (Figura 5). Permite identificar a voz das pessoas e identificar uma mesma nota musical tocada por diferentes instrumentos. Geralmente os sons que se percebem não são sons puros, mas sim uma combinação de frequências relacionadas harmonicamente, como por exemplo o som produzido por um instrumento musical.

As diferenças de timbre de dois sons musicais, explicam-se pelo facto de que estes sons não são simples. É difícil encontrar um som realmente simples, contudo existem casos em que se produzem sons puros, como por exemplo o som de um diapasão. A decomposição de um som periódico em série de Fourier corresponde a uma realidade para o ouvido, uma vez que é

capaz de funcionar como um analisador harmónico e ouvir os sons que compõem o sinal completo (Areias, 2014, p. 23).

Figura 5: Representação gráfica das formas das ondas, de uma mesma nota musical, emitidas por três instrumentos diferentes.



Fonte: Cola da Web (<https://www.coladaweb.com/fisica/ondas/qualidades-do-som>)

O timbre é uma característica subjectiva do som, que resulta da correlação de todas as propriedades do som que não tem influência direta, assim é a mais complexa das características do som, por ser extremamente difícil de quantificar.

Em música, chama-se timbre à característica sonora que permite distinguir sons da mesma frequência produzidos por fontes sonoras conhecidas, diferenciando-as. O que permite diferenciar os dois sons é o timbre instrumental. O timbre está directamente relacionado com a habilidade de analisar frequências e depende das combinações de frequências e de intensidades no modelo físico da estimulação acústica (Costa, 2008, p. 78).

Outra característica que deve ser descrita é a velocidade de propagação do som (v) que depende das propriedades físicas do meio material através do qual se propaga. A velocidade é definida como $v = \lambda / T$, onde T é o período sendo que é o inverso da frequência, assim, $v = \lambda f$. “A propagação do som não é instantânea. É necessário certo tempo para que as ondas acústicas provenientes da fonte sonora atinjam certa distância.” (Amaldi, 1997, p. 216).

“A velocidade do som depende da massa e da elasticidade do meio de propagação, as quais dependem da temperatura. Verifica-se que a velocidade de propagação do som no ar aumenta, aproximadamente, 0,6 m/s por cada grau celsius” (Costa, 2008, p. 80).

3.2 ANATOMO-FISIOLOGIA DA ORELHA HUMANA

Os ouvidos, além de responsáveis pela audição sendo um dos cinco sentidos do ser humano, também controlam o equilíbrio humano. Uma das funções do ouvido é captar ondas mecânicas, geralmente fracas, que se propagam no ar e convertê-las em estímulos nervosos que serão decodificados e interpretados por uma região do cérebro conhecida como córtex auditivo. “A orelha humana, responsável pela audição, detecta e analisa o som por um mecanismo de transdução que é o processo de conversão de ondas sonoras em impulsos eletroquímicos.” (Bevilacqua *et al.*, 2022, p. 10).

“O sistema auditivo é constituído por estruturas sensoriais e conexões centrais responsáveis pela audição. Esse sistema pode ser referido em duas porções distintas, inter-relacionadas, definidas como sistema auditivo periférico e sistema auditivo central” (Bevilacqua *et al.*, 2022, p. 2). A porção periférica é dividida em três partes: os ouvidos externo, médio e interno, sendo que também encontramos em várias literaturas o termo orelha ao invés de ouvido.

No processo de audição ocorrem processos mecânicos no ouvido externo e médio, e processos mecânicos e elétricos no ouvido interno. Fato esse, que explica porque o ouvido interno é o mais complexo de todos, ligado diretamente ao encéfalo pelo nervo auditivo. Dessa forma, o encéfalo faz parte do sistema auditivo, já que é ele que decodifica os impulsos elétricos gerados no ouvido interno. Sem o encéfalo os sons não teriam sentido para nós.

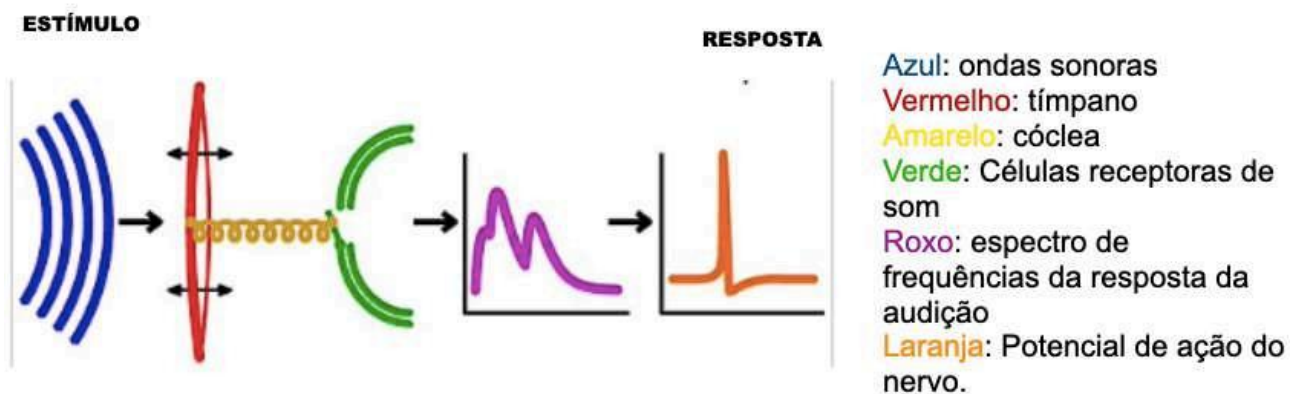
O sistema auditivo consegue perceber os estímulos sonoros, através da orelha externa, que estão em toda a sua volta, em qualquer direção da profundidade, altura e largura do ambiente. Portanto, além da captura de sons, a orelha consegue desenvolver a consciência do espaço, assim, a audição contribui para que o ser humano desenvolva o senso de localização e equilíbrio, uma vez que o indivíduo consegue localizar-se e orientar-se no espaço (Silva, s.d.).

A audição é um sistema sensorial, um dos cinco sentidos mais complexos que envolve várias transduções. A energia das ondas sonoras no ar se torna vibrações mecânicas em estruturas do ouvido e, depois, ondas no líquido da cóclea. As ondas do líquido abrem canais iônicos em células sensoriais especializadas, os receptores da audição no ouvido interno. O fluxo de íons para dentro das células (despolarização) gera um sinal elétrico que libera um neurotransmissor e, por um sinal químico, dispara potenciais de ação nos neurônios auditivos que levarão a informação para centros especializados no Sistema Nervoso Central (Urbinati, 2022).

O ouvido humano tem a capacidade de ouvir sons complexos de dois modos: analítico, ouvindo as componentes isoladamente, e global, sem perceber essas componentes (Costa, 2008).

De uma maneira didática, conforme a Figura 6, abordaremos as características anátomo-fisiológicas da audição humana por cada tipo de ouvido: externo, médio e interno, e sobre a relação entre os dois ouvidos, chamada de binauralidade.

Figura 6: Esquema representando a audição humana



Fonte: Wikipédia (<https://pt.wikipedia.org/wiki/Som>)

3.2.1. Ouvido Externo

O ouvido externo é formado pelo Pavilhão Auditivo e pelo Canal Auditivo ou Meato Acústico Externo (MAE), conforme a Figura 7.

Figura 7: Ouvido Externo



Fonte: Rui (2007)

O pavilhão auditivo é constituído de cartilagem revestida de pele, com formato cheio de curvas, sulcos e elevações que agem como um “funil”, direcionando e canalizando as ondas sonoras pelo canal auditivo mediante reflexões, sendo levadas até a membrana timpânica, já no ouvido médio. O pavilhão auditivo, popularmente chamado de orelha, tem a função de acentuar certas frequências e nos ajudar a localizar as fontes sonoras. A sua forma ajuda o ouvido a perceber se o som está a frente ou atrás do ouvinte com boa acuidade, e também acima ou abaixo, com menor precisão (Lazzarini, 1998).

Ainda sobre o pavilhão, possui a função de coletar e encaminhar as ondas sonoras até a orelha média, amplificar o som, auxiliar na localização da fonte sonora e proteger a orelhas média e interna (Bevilacqua *et al.*, 2022). “Nos seres humanos, o pavilhão tem uma posição mais ou menos

fixa, mas os animais, como gatos e cavalos, possuem controle muscular considerável sobre a posição de seu pavilhão e podem orientá-lo em direção a uma fonte de som” (Bears, 2017, p. 373).

O som pode entrar diretamente pelo canal auditivo ou ser refletido pelo pavilhão auditivo, cujo formato é essencial para que ocorram essas reflexões. Conforme Rui (2007), a diferença entre o tempo do som que chega diretamente e do som refletido pelo pavilhão auditivo não existe, pois são percebidos simultaneamente, sutilmente e mudam conforme a posição ou o movimento da fonte sonora. Isso faz com que localizemos as fontes de som, um exemplo disso é a localização de carros de polícia e ambulância devido ao som emitido por eles (sirenes).

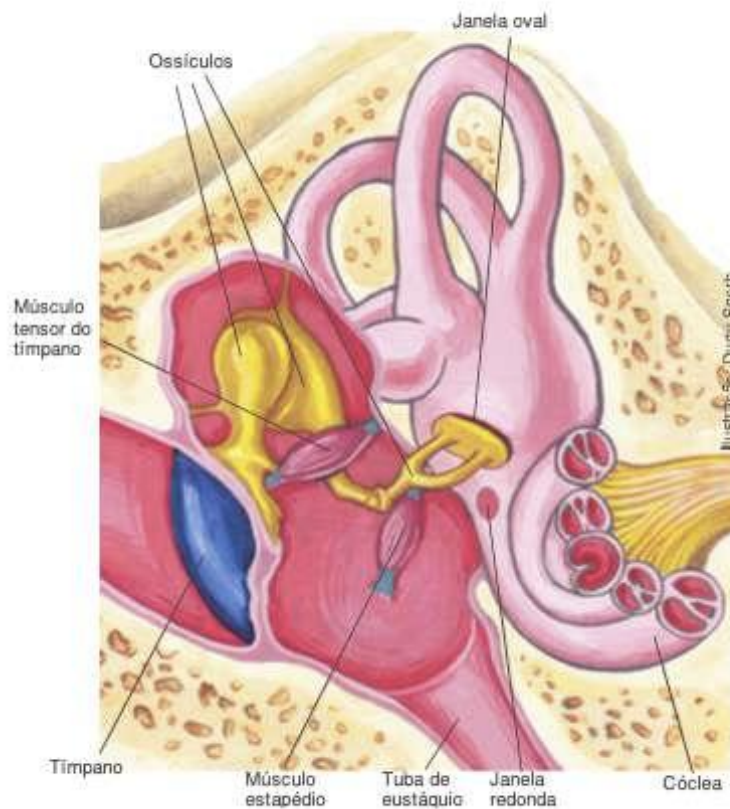
O canal auditivo ou MAE estruturalmente é um tubo fechado, em forma de S, com aproximadamente 2,5 cm de comprimento e 8mm de diâmetro, tem pêlos e cerúmen que agem como filtros, protegendo o ouvido da entrada de sujeira do exterior. Na sua porção final, encontra-se a membrana timpânica, que com um pequeno toque nela, gera uma dor insuportável (Pietrocola, 2010). A forma curva do MAE impede que água ou outros corpos estranhos se acumulem nele. A porção externa do meato é cartilaginosa e a interna é óssea.

Uma importante função do MAE é a produção de uma secreção, de cor amarela ou marrom, conhecida como cera ou cerúmen, que protege o ouvido médio. Além de manter um certo equilíbrio de temperatura e umidade necessários à preservação da elasticidade da membrana timpânica. Contribuem para essas funções as glândulas sebáceas e ceruminosas produtoras de cerúmen, os pêlos e a migração epitelial da região interna para a externa (Guyton, 2017).

3.2.2. Ouvido Médio

O ouvido médio é representado pela cavidade timpânica, um espaço irregular, comparado à forma de um hexágono, escavado no osso temporal e preenchido por ar (Bevilacqua *et al.*, 2022). Sua participação começa quando as ondas sonoras atingem a membrana timpânica fazendo-a vibrar, e termina quando o estribo pressiona a janela oval, já no ouvido interno, atuando como um transformador acústico.

Figura 8: Músculos do Ouvido Médio



Fonte: Rui (2007)

Trata-se de uma fenda preenchida por ar, comunica-se com a nasofaringe através da tuba auditiva. Possui em seu interior a cadeia ossicular, composta por: martelo (é o mais extenso, está inserido na camada intermédia da membrana timpânica em contato direto); bigorna (é caracterizado por ser o mais pesado da cadeia e por ser o único que não tem um músculo associado e estribo

(menor osso do corpo humano, pesando cerca de 2 mg, possui um músculo associado, o músculo estapédio e está em contato com a cóclea através da janela oval) (Guyton, 2017; Areias, 2014). “Os três ossos estão conectados um ao outro por estruturas semelhantes a dobradiças” (Silverthorn, 2010, p. 329).

Seu papel mais importante é a equalização das impedâncias da orelha média (vibrações aéreas que invadem a membrana timpânica) e da interna (variações de pressão nos compartimentos líquidos da orelha interna).

O tímpano assemelha-se a um tambor, é uma membrana elástica, bastante fina e semitransparente (translúcida), apresenta forma aproximadamente circular, com cerca de 0,1 mm de espessura e entre 9 e 10 mm de diâmetro, sendo fortemente esticada (Areias, 2014). “Sua forma cônica faz com que a energia concentre-se no centro da membrana, local onde se faz o contato com o martelo” (Errobidart, 2014, p. 2).

O som empurra e puxa o tímpano, num movimento contínuo, já que as ondas sonoras são formadas por regiões de compressão e rarefação das partículas do ar. Essas perturbações do tímpano são transmitidas, via ossículos, à janela oval num movimento de pistão.

Os três ossículos da orelha média são muito leves, com menos de 55 mg e tem menos de um cm de comprimento cada, estão conectados entre si, formando uma cadeia mecânica. Estas conexões não são rígidas. O martelo é conectado ao tímpano para se mover com ele. Do outro lado, o estribo está conectado a uma membrana chamada janela oval. Trata-se de uma fenda preenchida por ar, comunica-se com a nasofaringe através da tuba auditiva. Possui em seu interior a cadeia ossicular, composta por: martelo (em contato direto com a membrana timpânica); bigorna e estribo (em contato com a cóclea através da janela oval).

As ondas sonoras captadas pelo ouvido externo fazem vibrar o tímpano, que mobiliza a cadeia ossicular do ouvido médio. Através da platina do estribo, colocada sobre a janela do vestíbulo, a vibração é transmitida à perilinfa coclear.

Ocorre então a transformação do estímulo mecânico em energia hidrodinâmica. Os estímulos são conduzidos até o vestíbulo pela janela oval, onde existe a perilinfa, se desloca pela rampa vestibular e atinge a helicotrema, retornando pela rampa timpânica. Ao chegar na janela oval, os estímulos são direcionados à caixa timpânica. A diferença de pressão hidrostática é aplicada sobre a membrana basilar (Silva, s.d.).

Mesmo que os sons que pressionam o tímpano sejam fortes, o tímpano sofre apenas movimentos microscópicos. Esses movimentos não são suficientes para estimular o órgão de Corti (ouvido interno), que é preenchido completamente por líquidos (perilíngua e endolíngua). Para que as vibrações das ondas sonoras atinjam eficientemente o ouvido interno, estimulando o órgão de Corti, o som é amplificado ainda no ouvido médio por um conjunto de ossículos: o martelo, a bigorna e o estribo. Sendo necessária uma pressão maior para fazer vibrar um líquido do que para fazer vibrar o ar e são tais ossículos os responsáveis por tal amplificação.

Há casos que os ruídos já chegam ao tímpano muito intensos e não podem ser ainda mais amplificados, sob pena de danificar o sistema auditivo, para tal possuímos dois músculos que atuam atenuando tal intensidade sonora.

Tais músculos, que estão juntos ao crânio, enrijecem e diminuem o movimento dos ossículos à medida que a intensidade do som aumenta (conforme figura 7). Um deles, o músculo tensor do tímpano, liga o osso da cavidade do ouvido médio ao martelo e retém o tímpano, reduzindo sua capacidade de vibração. O outro, o músculo estapédio, afasta o estribo da janela oval, que é o ponto de contato com o ouvido interno.

Quando esses músculos se contraem, acionados por um som muito forte como em festas, shows ou com fones de ouvido com som forte, ocorre o Reflexo de Atenuação. Após um tempo de exposição, esse reflexo fica “saturado” e quando saímos para longe do som, ouvimos um zumbido constante. No entanto, o reflexo de atenuação ocorre entre 50 e 100 milissegundos após o som ter alcançado o ouvido; esse retardo de tempo possibilita que haja prejuízo ao ouvido interno, principalmente se o som for repentino e muito intenso, como por exemplo, uma explosão.

Em geral, sons agudos e intensos causam lesão no ouvido interno e podem causar lesões no ouvido médio (ossículos) e sons graves e intensos podem não causar lesão, mas há perda de discriminação de frequências graves necessárias para entender a fala humana.

A pressão dentro do ouvido médio é mantida igual à pressão atmosférica através da Trompa de Eustáquio (ou tuba auditiva). A pressão do ar sobre ambos os lados da membrana timpânica deve ser equivalente à pressão atmosférica, para que a transmissão do som seja adequada. A Trompa de Eustáquio é um canal que conecta a cavidade do ouvido médio ao nariz e garganta. A tuba se encontra normalmente fechada e se abre quando engolimos ou assoamos o nariz. Quando ocorrem

grandes variações na pressão atmosférica, se abre permitindo entrada ou saída de ar (Borges; Rodrigues, 2016).

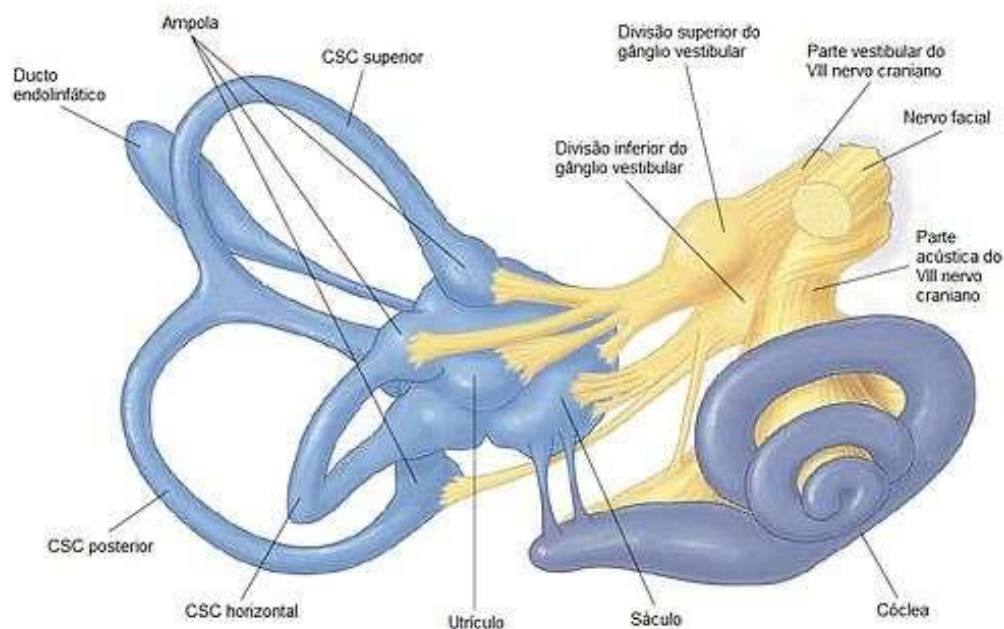
Durante a descida dos aviões, ou viagens com subida ou descida de serras, muitos passageiros sentem desconforto no ouvido justamente pela mudança na pressão atmosférica: quando nos dirigimos a regiões de maior altitude, a pressão atmosférica diminui. Durante viagens com mudança de altitude, é possível que a pressão atmosférica exterior fique diferente da pressão interna no ouvido médio, causando desconforto. Uma leve tossida pode igualar essa diferença de pressão, fazendo com que uma quantidade de ar entre ou saia do ouvido médio através da Tuba de Eustáquio, aumentando ou diminuindo a pressão neste e igualando-a assim à pressão atmosférica.

3.2.3. Ouvido Interno

O ouvido interno é uma estrutura complexa, conforme Figura 9, cheia de líquido, que consiste de duas partes importantes: cóclea (órgão da audição) e sistema vestibular (órgão do equilíbrio). Está contido na parte pedrosa do osso temporal, é composta pelo labirinto auditivo e vestibular (Bevilacqua *et al.*, 2022). O labirinto que nada tem a ver com a audição, apenas com a manutenção do equilíbrio do corpo, tem formato tortuoso. Nela se situa também a cóclea, a qual está localizada numa cavidade do osso temporal, que é parte do sistema auditivo responsável pela transformação do som em sinal neural.

O ouvido interno agrupa 2 órgãos sensoriais distintos: o vestíbulo, órgão do equilíbrio e a cóclea, órgão da audição. Tendo a mesma origem embrionária estes dois órgãos partilham propriedades morfológicas e fisiológicas como o líquido endolinfático, as células ciliadas e as suas propriedades de transdução (Chaix, 2016, n.p.).

Figura 9: Ouvido Interno



Fonte: Rui, 2007.

A cóclea é preenchida por líquido, sendo que dentro dela, localiza-se o órgão de Corti, que contém cerca de 20.000 células especializadas, denominadas células ciliadas. Essas células são compostas por pequeníssimos filamentos (cílios), que se estendem para dentro do líquido. As vibrações sonoras fazem com que o líquido e os cílios da cóclea vibrem, estes por sua vez, fazem com que as células ciliadas enviem sinais através dos nervos para o cérebro, que interpreta os sinais nervosos como som (Hamiter, 2023).

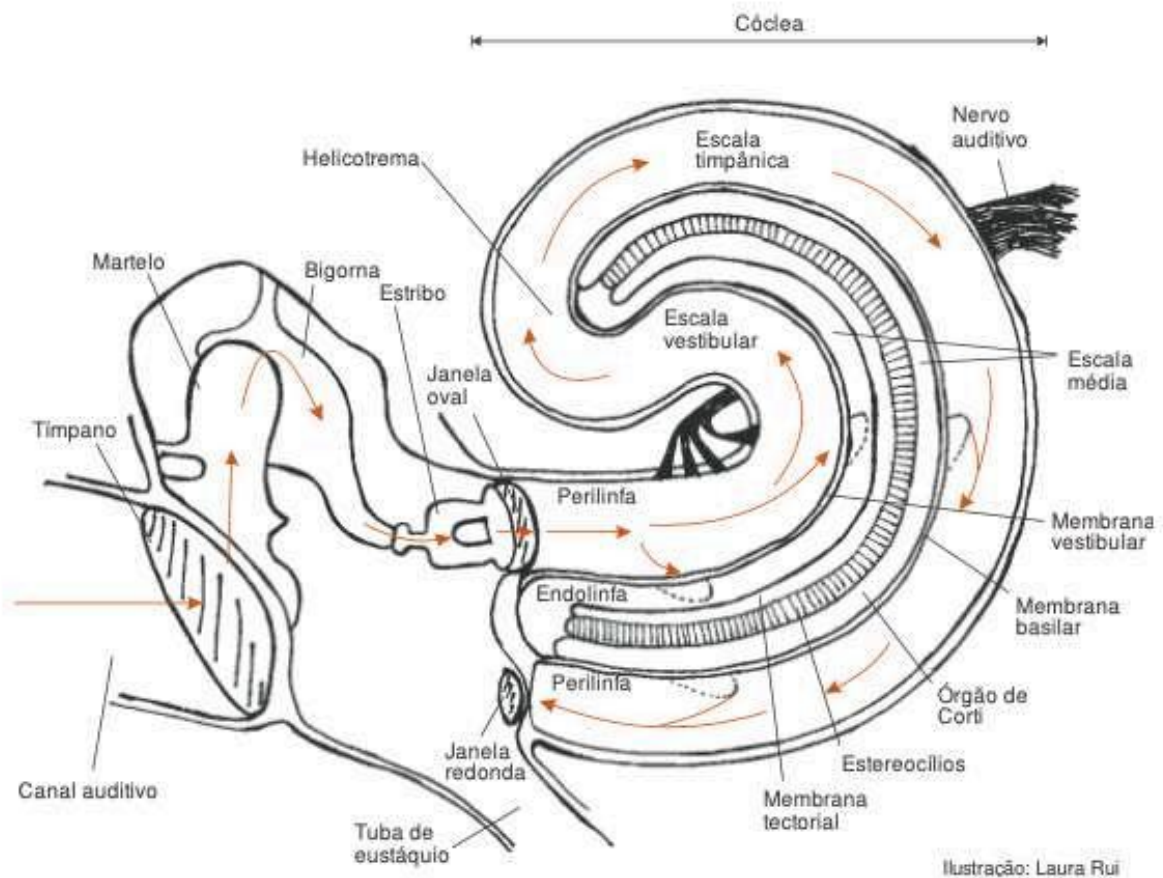
A cóclea ou caracol é uma estrutura helicoidal, conforme Figura 10, com 2 giros mais $\frac{2}{3}$, representa a parte auditiva do ouvido interno, localizado no osso temporal. A origem do seu nome se dá pelo seu enrolamento em espiral, semelhante a concha de um caracol (Bevilacqua *et al.*, 2022).

A cóclea comunica com o ouvido médio através de dois orifícios fechados por membranas, a janela oval, localizada junto à base da rampa vestibular e sobre a qual se articula o estribo e a janela coclear ou redonda que limita a base da rampa timpânica e que serve de escape de pressão. “O vestíbulo, parte central do ouvido interno, com forma oval, é uma cavidade óssea, dentro da parte petrosa do osso temporal” (Costa, 2008, p. 49).

Quando a pressão sonora se transmite aos fluidos do ouvido interno através do estribo, a onda de pressão vai deformar a membrana basilar num local concreto que é dependente da frequência do referido som. As frequências agudas (altas) atuam sobre a membrana basilar da base da cóclea e as frequências graves (baixas) sobre a região apical. Esta distribuição de frequências denomina-se Tonotopia coclear.

As células ciliadas possuem função sensorial, destinadas à transformação das ondas sonoras em impulsos nervosos, sendo diferenciadas de acordo com a posição ao longo do dueto coclear em internas e externa (Figura 10).

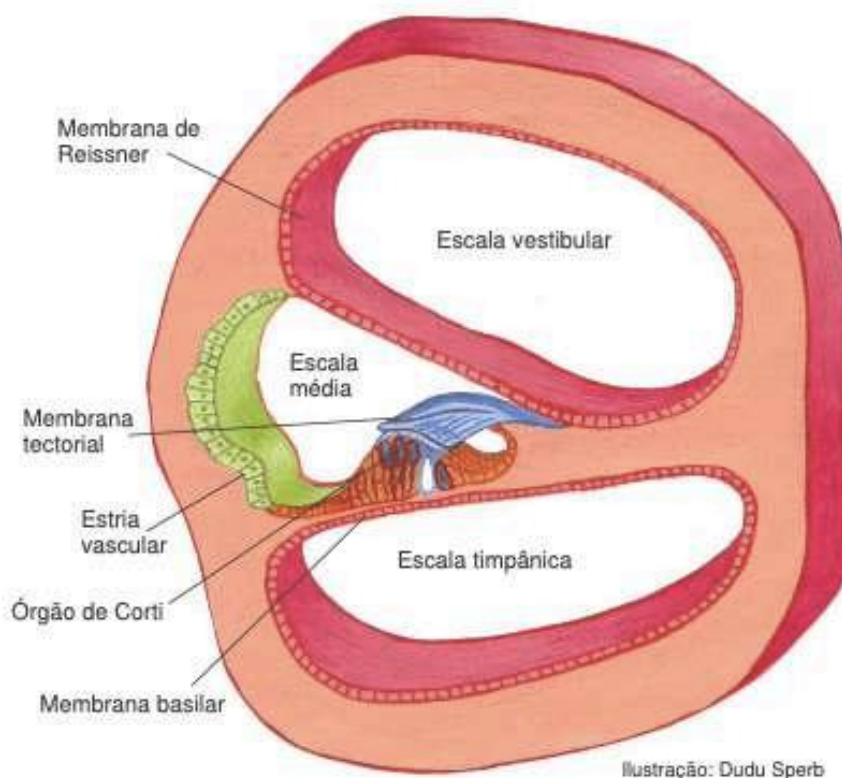
Figura 10: A Cóclea



Fonte: Rui, 2007.

A cóclea é aproximadamente do tamanho de uma ervilha e consiste de um canal ósseo espiralado, dividido (incompletamente) por finas lâminas ósseas em três canais separados, chamados de escala vestibular, escala média e escala timpânica (Figura 11), totalmente preenchidas por líquidos incompressíveis. Possui um formato de caracol com dois tipos de fluidos: a endolinfa (que possui grande concentração de potássio e baixa de sódio) e a perilinfa (que possui grande concentração de sódio e baixa de potássio).

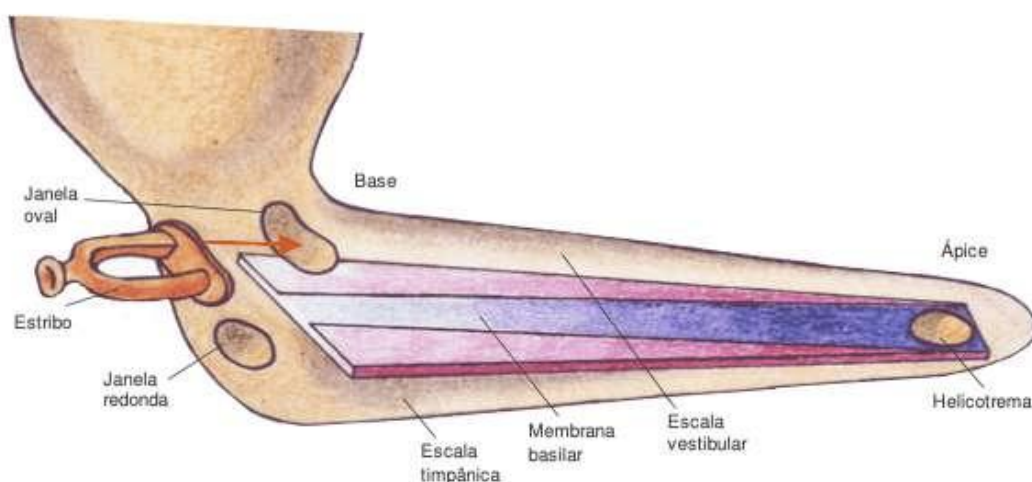
Figura 11: Canais Cocleares



Fonte: Rui, 2007.

A perilinfa percorre as escalas vestibular e timpânica, em sentidos contrários, transmitindo os movimentos à membrana de Reissner e à membrana basilar, que são as “paredes” da escala média, e conseqüentemente à endolinfa. A representação da cóclea desenrolada, como mostra a Figura 12 a seguir, cumpre a função de visualizarmos a localização e diferença morfológica da membrana basilar dentro da cóclea, ao longo dos seus aproximados 34 mm.

Figura 12: Cóclea desenrolada



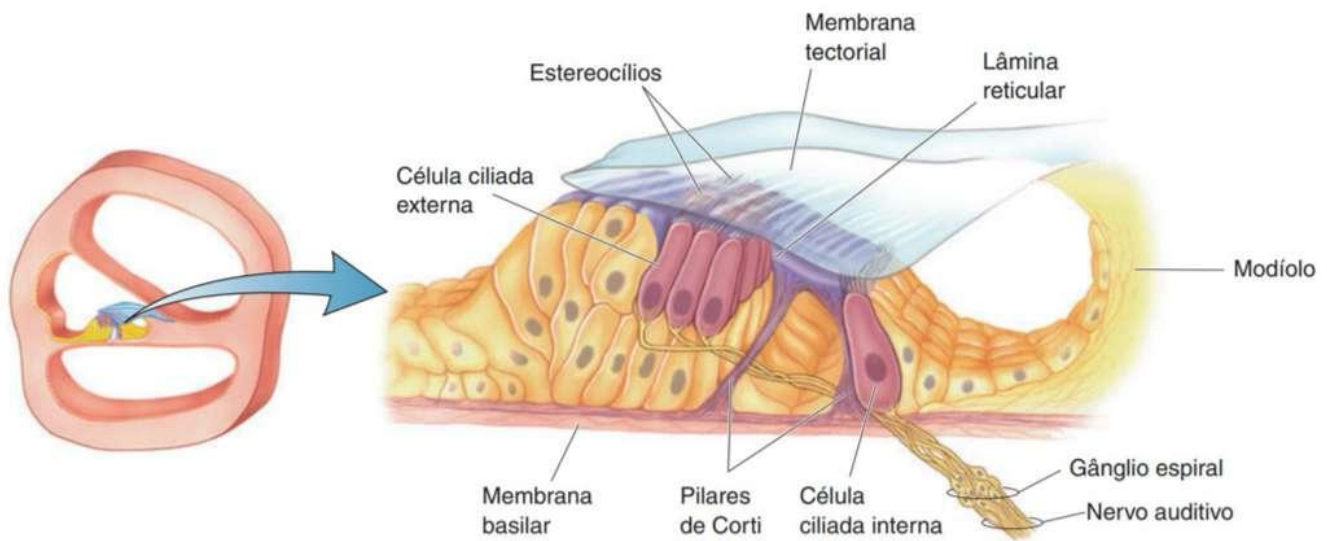
Fonte: Rui, 2007.

A membrana basilar é particularmente importante, por dois motivos: é sobre ela que está o órgão sensorial da audição: o órgão de Corti, e é nessa membrana que os sons agudos e graves são distinguidos, conforme mostra a Figura 13. As diferenças de pressão resultantes, através da divisão coclear, entre as duas escalas flexibilizam (deslocam) a membrana basilar para cima e para baixo, colocando-a em movimento como uma bandeira tremulante.

Os movimentos da membrana basilar estimulam o sensível órgão de Corti, que se estendem sobre a membrana, por todo o seu comprimento. A posição da ondulação de maior amplitude na membrana basilar determinará qual parte do órgão de Corti será ativada, transformando as informações em impulsos elétricos para serem enviados ao encéfalo, via nervo auditivo. A membrana basilar propriamente não aparece, pois fica localizada abaixo da estrutura que é o órgão de Corti. Estes são formados por células ciliadas externas, células ciliadas internas e seus estereocílios.

As células ciliadas internas estão dispostas em uma única fileira e somam aproximadamente 3 500 células. As células ciliadas externas estão dispostas em três fileiras que, juntas, têm entre 15 000 e 20 000 células. Tais células são assim chamadas, pois cada uma possui aproximadamente 100 estereocílios (em média com 5 μm de comprimento) que se projetam para fora da membrana reticular.

Figura 13: Órgão de Corti



Fonte: Bear, Connors e Paradiso (2017).

Os estereocílios das células ciliadas internas estão suspensos na endolinfa. Dessa forma, a membrana basilar transmite os movimentos aos estereocílios das células ciliadas internas e externas de maneira diferenciada:

- as extremidades dos estereocílios das células ciliadas externas em contato com a membrana tectorial movem-se de acordo com o deslocamento desta;
- as extremidades livres dos estereocílios das células ciliadas internas movem-se de acordo com a velocidade da endolinfa.

As células ciliadas externas agem como pequenos motores que amplificam o movimento da membrana basilar durante a percepção de um som de baixa intensidade, sendo conhecidas como amplificadores cocleares. Devido a essa amplificação, as células ciliadas internas deslocam-se mais e os processos eletroquímicos que ocorrem nelas produzem uma maior resposta no nervo auditivo.

Desse modo, as células ciliadas externas são receptores auxiliares e causadoras de processos eletroquímicos responsáveis pela amplificação do impulso elétrico. Concluímos que qualquer dano às células ciliadas externas deve reduzir severamente a audição, ainda mais para os sons menos intensos.

Por outro lado, a alta sensibilidade desses chamados “amplificadores cocleares” faz com que a maioria das pessoas com audição normal percebam sons (conhecidos como tinidos), mesmo em ambiente excepcionalmente silencioso. Alguns ouvidos, geralmente com cócleas danificadas, podem chegar a gerar sons pelo deslocamento súbito da musculatura do ouvido médio. Estes podem ser tão intensos, que são percebidos por outra pessoa que esteja próxima. Quando um som é emitido espontaneamente pelo ouvido (na ausência de qualquer estímulo exterior), é chamado de emissão otoacústica.

Assim como as funções desempenhadas nos demais órgãos do corpo humano, o encéfalo tem uma participação fundamental no processo da audição: é ele que interpreta e seleciona os sinais sonoros recebidos pelo ouvido. Diferentes regiões dele processam, analisam e interpretam diferentes propriedades do som.

É através do encéfalo que os sons fazem sentido para nós, mesmo que escutemos muito bem, quando ouvimos alguém falar uma língua que não conhecemos, os sons não são interpretados significativamente pelo encéfalo, e não entendemos nosso interlocutor. Mesmo durante o sono o encéfalo atua sobre os sons que ouvimos: uma pessoa pode dormir com o barulho de uma televisão e, apesar disso, acorda prontamente ao chamado de um despertador ou telefone.

Já o sistema vestibular consiste em dois sacos cheios de líquido, chamados de sáculo e utrículo, e de três tubos cheios de líquido chamados de canais semicirculares. Esses sacos e tubos reúnem informações a respeito da posição e movimento da cabeça de um lado para o outro (horizontal), percebem a aceleração, o movimento para cima e para baixo (vertical) e percebem a gravidade. O cérebro usa essa informação para ajudar a manter o equilíbrio.

Os canais semicirculares ficam em ângulos retos com relação aos outros e percebem a rotação da cabeça. A rotação da cabeça faz com que o líquido se mova nos ductos. De acordo com a direção para a qual a cabeça se mova, o movimento do líquido é maior em um dos canais do que nos outros. Esses canais contêm células ciliadas, que respondem a esse movimento do líquido. As células ciliadas iniciam os impulsos nervosos que informam ao cérebro a direção para a qual a cabeça está se movendo, para que possa ser adotada a ação apropriada para manter o equilíbrio (Hamiter, 2023).

3.2.4. BINAURALIDADE

A binauralidade é a capacidade das duas orelhas na localização dos sons, ou seja, é o poder de reconhecer de qual direção provém o som, isto é, ao processamento do som pelos dois ouvidos. As duas orelhas estão separadas por uma distância de aproximadamente 21 cm e é necessário que se possua duas orelhas para sabermos de onde provém o som. Não é preciso que uma pessoa perca totalmente a audição de uma orelha para não localizar uma fonte sonora, basta que haja uma diferença significativa na acuidade entre as duas orelhas para que o indivíduo não consiga mais localizar a procedência do som (Borges; Rodrigues, 2016).

Esta determina a forma como as informações codificadas por um ouvido interagem com as informações codificadas pelo outro ouvido. Se o som incidir rigorosamente na direção do eixo frontal da cabeça, as ondas sonoras atingirão os dois ouvidos exactamente ao mesmo tempo (Costa, 2008, p. 88).

De acordo com Costa (2008), existem três fatores independentes e não auto-suficientes que contribuem para a localização de uma fonte sonora: o efeito do tempo, o efeito da fase e o efeito da intensidade:

- Efeito do tempo: as duas orelhas não estão localizadas à mesma distância de uma fonte sonora, ocorrendo uma diferença no tempo de chegada do som à duas orelhas;

- Efeito da fase: quando o som atinge as duas orelhas existe uma diferença de fase no som recebido por cada orelha. A crista da onda sonora atinge uma orelha antes da outra, promovendo a localização do som;

- Efeito da intensidade: a cabeça representa um obstáculo de interferência ao som criando uma sombra acústica, a qual faz com que o som atinja as orelhas com intensidades diferentes.

O processo de Audição Humana apresenta três mecanismos de transdução, isto é, a transformação dos estímulos físicos em potencial elétrico pelos receptores sensoriais, envolvendo estruturas anatômicas específicas, sendo eles:

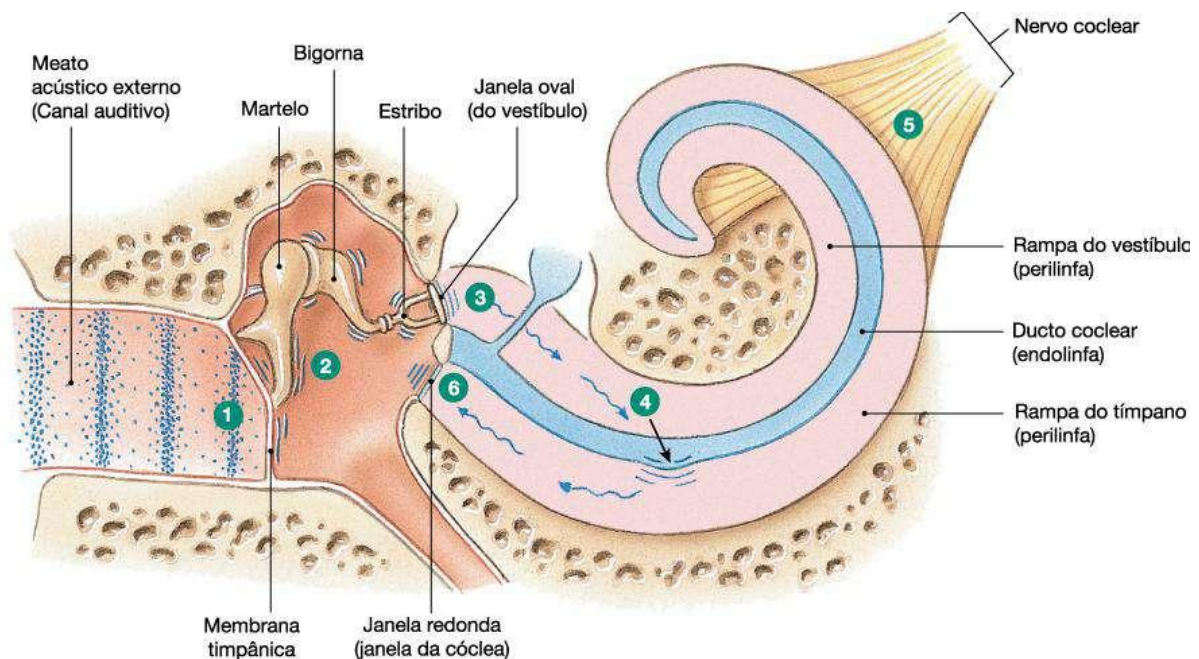
- 1 - Transdução Sonora Acústica do Meato Acústico - Tímpano: Transformação da energia acústica das ondas sonoras entrando no ouvido passando para a energia mecânica na cadeia ossicular.

2 - Transdução Sonora Mecânica dos Ossículos - Janela oval: Transformação da energia mecânica na cadeia ossicular para a energia hidráulica no fluido da cóclea.

3 - Transdução Sonora Hidráulica do Vestíbulo-Cóclea: Transformação da energia hidráulica no fluido da cóclea para a energia elétrica dos impulsos que viajam para o Sistema Nervoso Central.

Esses mecanismos descritos podem ser representados pela Figura 14:

Figura 14: Sistema Auditivo Humano



- | | | | | | | | | | | | |
|---|--|---|---|---|--|---|---|---|--|---|--|
| 1 | As ondas sonoras atingem a membrana timpânica e se tornam vibrações. | 2 | A energia da onda sonora é transferida para os três ossos da orelha média, os quais vibram. | 3 | O estribo está conectado à membrana da janela oval (do vestibulo). As vibrações da janela oval geram ondas no líquido do interior da cóclea. | 4 | As ondas do líquido empurram as membranas flexíveis do ducto coclear. As células pilosas (ciliadas) se curvam e os canais iônicos se abrem, gerando um sinal elétrico que altera a liberação do neurotransmissor. | 5 | O neurotransmissor liberado nos neurônios sensoriais gera potenciais de ação que trafegam pelo nervo coclear até o encéfalo. | 6 | A energia das ondas é transferida do ducto coclear para a rampa do tímpano, e se dissipa de volta para a orelha média na janela redonda (da cóclea). |
|---|--|---|---|---|--|---|---|---|--|---|--|

Fonte: Silverthorn (2010)

3.3 BIOFÍSICA DA AUDIÇÃO

A Física explica boa parte do funcionamento do nosso corpo através da Biofísica que, segundo Duran,

[...] como área de conhecimento interdisciplinar, tem estado em constante evolução nas últimas décadas, porque pesquisas e estudos mais recentes na ciência da vida levam a novos questionamentos. Na biofísica são estudados em escala macroscópica e microscópica os fenômenos físico-biológicos que envolvem organismos vivos e, em nível molecular, os comportamentos resultantes dos vários processos da vida, além da interação e da cooperação entre os sistemas altamente organizados de macromoléculas, organelas e células. Os pré-requisitos para seu estudo são conhecimentos fundamentais de física, biologia, química [...]” (Duran, 2003, p. V).

A Física é uma ciência composta por métodos e modelos, que apesar da complexidade do sistema biológico, são propostos alguns modelos físicos bastante simplificados que explicam seu comportamento. Nesse contexto, a Biofísica, antes de abordar determinados comportamentos de um sistema biológico, introduz previamente uma série de conhecimentos básicos e de métodos e modelos Físicos.

Partindo desses pressupostos, abordaremos os conteúdos Físicos que envolvem cada parte do processo da Audição Humana, de acordo com cada ouvido (externo, médio e interno), mas somente para efeito didático, pois na prática acontece da seguinte forma (Guyton, 2017):

- Ondas sonoras: As ondas sonoras, que são perturbações mecânicas que se propagam através de um meio, entram no canal auditivo do ouvido.
- Vibração do tímpano: As ondas sonoras fazem com que o tímpano, uma membrana fina e sensível, vibre. A frequência das vibrações corresponde à frequência da onda sonora, que determina a altura do som.
- Ossículos do ouvido médio: O tímpano transmite as vibrações para os ossículos (martelo, bigorna e estribo), que são três pequenos ossos conectados entre si no ouvido médio. Esses ossículos amplificam e transmitem as vibrações.
- Ouvido interno: As vibrações são então transmitidas para o ouvido interno, que contém a cóclea, uma estrutura em forma de caracol cheia de líquido.
- Células capilares: O movimento do líquido na cóclea atinge as células capilares (ciliadas), que são células sensoriais que detectam as vibrações.
- Impulsos elétricos: As células capilares convertem as vibrações mecânicas em impulsos elétricos.

- Nervo auditivo: Os impulsos elétricos são transmitidos pelo nervo auditivo ao cérebro.
- Processamento cerebral: No cérebro, o córtex auditivo processa os impulsos elétricos, permitindo-nos ouvir e interpretar os sons.

3.3.1. Ouvido Externo

O ouvido externo como um todo, formado pelo Pavilhão Auditivo e Meato Acústico Externo (MAE), ajuda a modificar o som que o penetra, devido a efeitos de ressonância, principalmente no MAE, cuja frequência de ressonância é por volta de 4KHz. Esse efeito pode ser explicado devido a forma tubular do MAE, também chamado de Canal Auditivo. Assim, o MAE funciona como um tubo fechado, isto é, com uma extremidade fechada pela membrana timpânica e a outra aberta, que é visível no Pavilhão Auditivo.

Por ser essencialmente um tubo, o MAE tem uma extremidade aberta e a outra fechada pela Membrana timpânica, comportando-se como uma frequência de ressonância (F) dada pela fórmula $F = v / 4 L$, em que “v” é a velocidade do som (340.000 mm/s) e “L” é o comprimento do MAE. O pavilhão e o MAE atuam, portanto, como um filtro redutor de frequências baixas, ressonador de frequências médias (ênfatizando frequências de 2.000 a 7.000 Hz) e um filtro dependente de direção em frequências altas que aumenta a percepção espacial (Bevilacqua *et al.*, 2022, p. 04).

Quando uma onda sonora entra no canal auditivo ou MAE exerce uma pressão flutuante sobre a membrana externa do tímpano; o ar do outro lado, já na orelha média, expelido pela tuba auditiva, está com valores da pressão atmosférica. Portanto, essa diferença de pressão dos dois lados do tímpano põe o ar em movimento. A energia associada à perturbação do ar (meio em que o som se propagava) é transmitida à membrana, fazendo-a vibrar de acordo com a frequência e amplitude do som que a atingiu. “Esse fenômeno biofísico que se dá através da vibração do tímpano, quando este é submetido à diferença de pressão sonora ($\Delta P_{\text{máximo}}$), é proporcional a amplitude da intensidade da onda sonora” (Silva, 2015, p. 76).

De acordo com Souza *et al.* (2019) grande parte da energia da onda sonora captada pelo pavilhão auricular e conduzida pelo MAE é transferida para o tímpano. “A energia sonora é conduzida pelo canal auditivo externo até a membrana timpânica, onde é transformada em energia mecânica, que por sua vez, é comunicada aos ossículos do ouvido médio” (Areias, 2014, p. 07). Sendo assim, a energia de uma onda sonora está diretamente associada à frequência da onda.

Sob o impacto de ondas sonoras sucessivas, a membrana timpânica vibra no seu todo, deslocando-se para dentro e para fora da orelha média (fases de compressão e de rarefação), como

um pistão, juntamente com o cabo do martelo, ao qual está intimamente fixado. Seu padrão de vibração é bastante complexo e depende da frequência e da intensidade do som recebido. Para frequências baixas, o tímpano vibra como um corpo quase rígido e para frequências maiores do que 2.400 Hz o padrão de vibração é segmentar. Vibrando segmentariamente, o tímpano pode reduzir a sua área de vibração para 60 a 75% de sua área total.

3.3.2. Ouvido Médio

O ouvido médio humano tem sido descrito como um sistema linear, quando aplicada uma intensidade do som regular do nível de audição, para transmissão acústico-mecânico do tímpano até à cóclea. Desta maneira, os materiais do sistema do ouvido médio foram assumidos com comportamento elástico linear. Tal comportamento de um material, descreve a sua resposta à forças externas dentro de uma faixa de deformação, onde a relação entre a tensão e a deformação é proporcional e reversível. Em outras palavras, se as forças forem removidas, o material volta à sua forma original, sem deformações permanentes (Halliday; Resnick; Walker, 2015).

O ouvido médio serve para corrigir a perda que ocorre na transmissão da onda sonora do meio aéreo para o meio líquido da cóclea, que ocorre devido a: Mecanismo Hidráulico e Mecanismo de Alavanca Martelo-bigorna.

O **Mecanismo Hidráulico** é explicado devido a relação de superfície, entre a área de vibração útil da membrana timpânica (55 mm^2) e a área da platina do estribo ($3,2 \text{ mm}^2$), que é de 17/1, o que significa um aumento de pressão que chega à janela oval de 17 a 25 vezes (aproximadamente 26 dB).

Tal estimativa pode ser feita considerando que o estribo tem aproximadamente o raio de um grão de arroz, 1 mm, e que o tímpano tem cerca de 5 mm de raio.

$$\text{ÁREA DE UM CÍRCULO: } S = \pi r^2$$

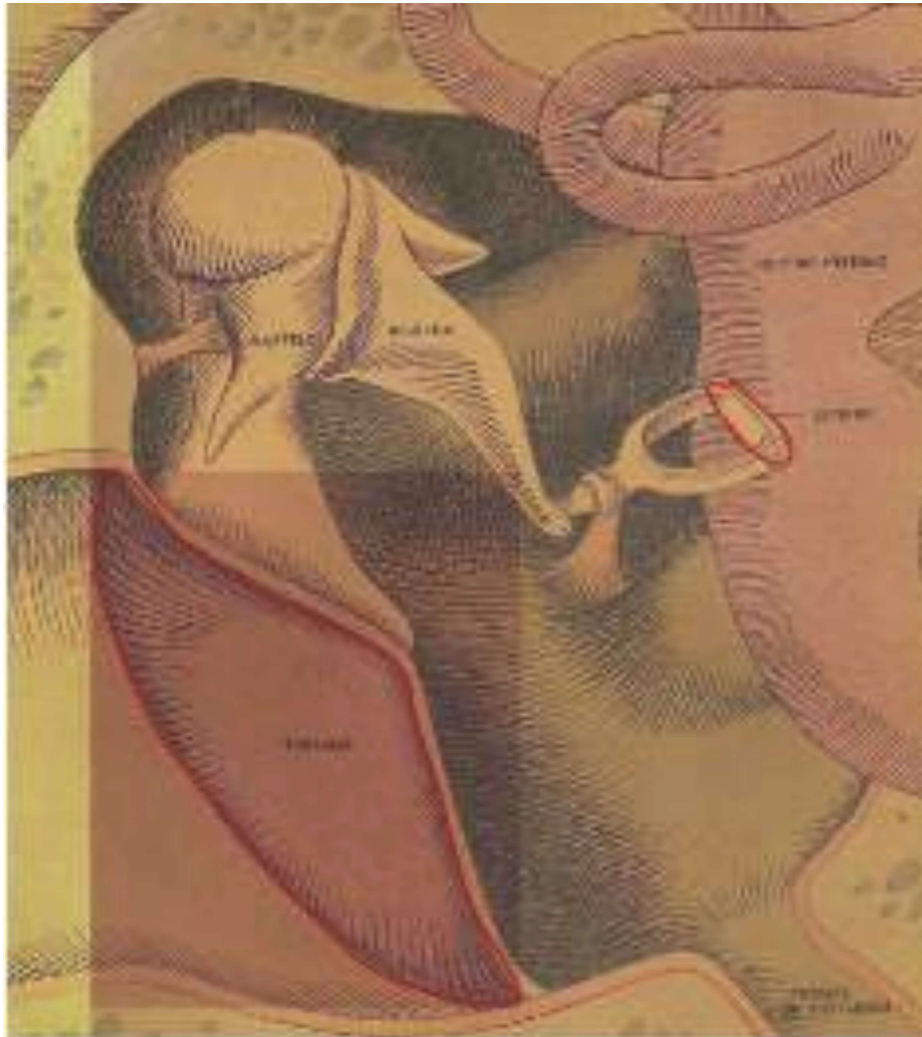
$$\text{ÁREA DO TÍMPANO: } 3,14 \times (5\text{mm})^2 = 3,14 \times 25 = 78,5\text{mm}^2$$

$$\text{ÁREA DO ESTRIBO: } 3,14 \times (1\text{mm})^2 = 3,14 \times 1 = 3,14\text{mm}^2$$

$$\text{RAZÃO: } S_{\text{TIM}} / S_{\text{EST}}: 78,5 / 3,14 = 25$$

Concluimos que a área do estribo é, aproximadamente, 25 vezes menor do que a área do tímpano, conforme a Figura 15, por isso a pressão que o estribo faz sobre a janela oval é aproximadamente 25 vezes maior que a pressão que o tímpano faz sobre o martelo. Dessa forma, os ossículos amplificam os sons.

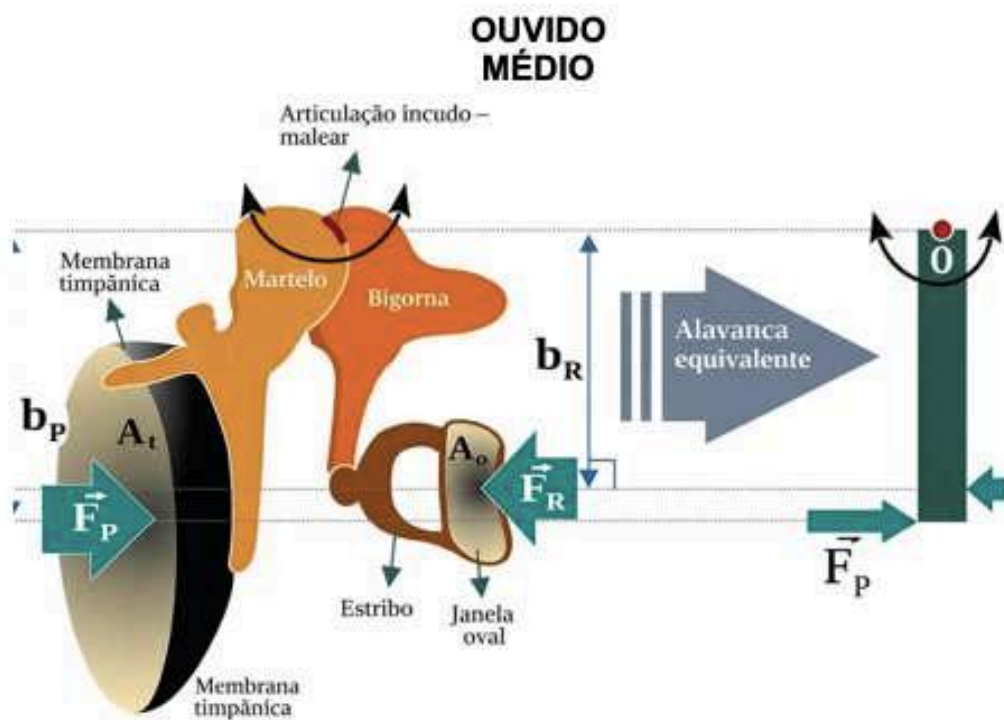
Figura 15: As diferenças entre as áreas demarcadas da Membrana Timpânica e da Janela Oval no Ouvido Médio



Fonte: Rui (2007)

A pressão (força sobre área) na janela oval pode tornar-se maior do que a pressão no tímpano, conforme figura 16, se: a força sobre a janela oval for maior do que a força no tímpano, ou se a área da janela oval for menor que a área do tímpano. A membrana do tímpano é fina e elástica, formando a divisão entre ouvido externo e ouvido médio. Ela converte as variações de pressão do ar, que constituem as ondas sonoras, em vibrações mecânicas no ouvido médio (Lazzarini, 1989).

Figura 16: Esquema do Ouvido Médio



Ação de alavanca

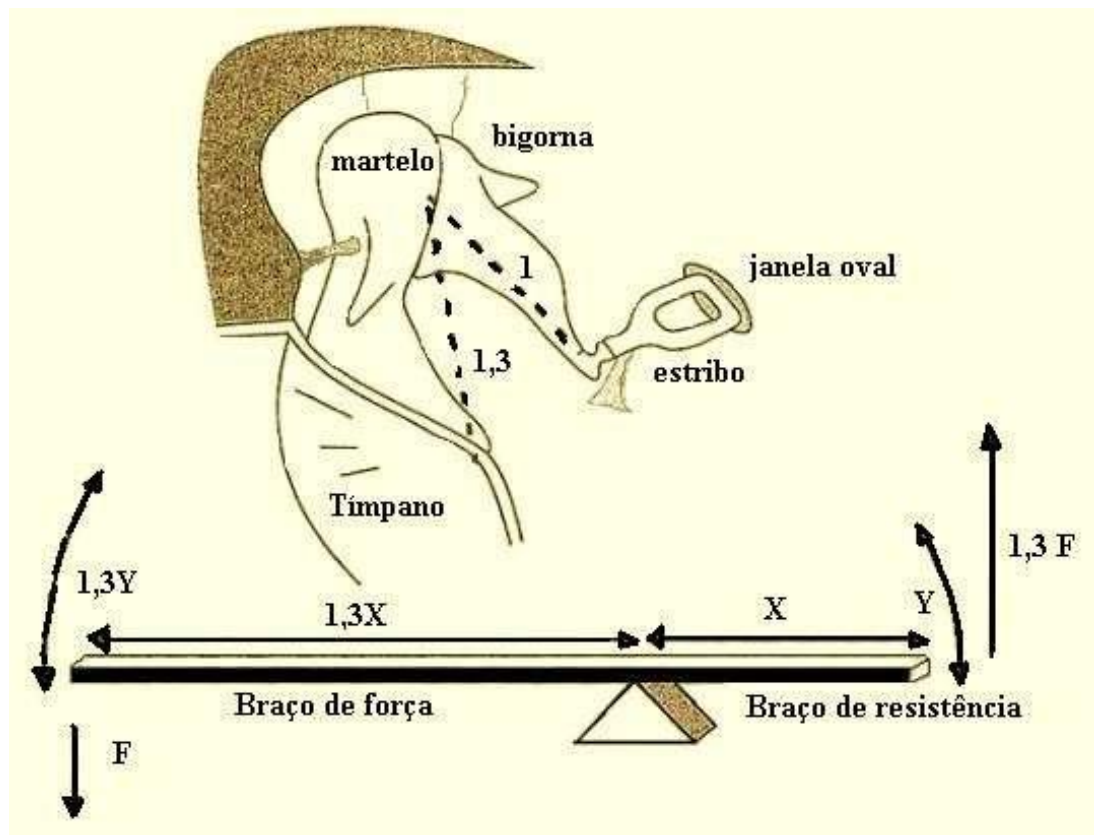
O ouvido médio atua como um transformador de impedância ou intensificador de pressão que aumenta a pressão das ondas sonoras na janela oval.

Fonte : Vetores (<https://pt.vecteezy.com/arte-vetorial/13104721-acao-de-alavanca-do-ouvido-medio-o-ouvido-medio-atua-como-um-transformador-de-impedancia-ou-intensificador-de-pressao-que-aumenta-a-pressao-das-ondas-sonoras-na-janela-oval#>)

O outro, **Mecanismo de alavanca martelo-bigorna**, vibram em conjunto em torno do seu eixo de rotação, conforme Figura 17. O ramo longo da bigorna, que é menor que o cabo do martelo faz com que as ondas sonoras transmitidas à janela oval aumentem a pressão acústica numa relação de 2/1 (2,5 dB). A articulação entre os ossículos faz com que funcionem como uma alavanca interfixa.

A alavanca é uma das máquinas simples estudadas na antiga Grécia, sendo constituída de um corpo rígido, normalmente linear, denominado de haste ou travessão da alavanca. Esta haste é capaz de girar ao redor de um eixo horizontal que é fixo em relação ao solo. Este eixo é ortogonal à haste da alavanca, sendo denominado de fulcro ou de ponto de suspensão da alavanca. Pode ser comparada a uma balança de braços iguais, só que com a possibilidade de colocar os pesos a distâncias diferentes do fulcro (Assis, 2014).

Figura 17: Efeito da alavanca interfixa



Fonte: Errobidart *et al.*, 2014.

O martelo representa o braço de força da alavanca; a bigorna, o braço da resistência e o ponto fixo é representado pela articulação incudo-maleolar. O cabo do martelo é aproximadamente 1,3 vezes maior que a bigorna, o que permite um ganho de força na mesma proporção da relação entre o braço de força e o de resistência. O braço de alavanca formado pelo martelo ($1,3X$), mais longo que o braço formado pela bigorna (X), transforma o movimento junto ao tímpano, de maior amplitude ($1,3Y$) e menor força (F), em um movimento de menor amplitude (Y) e maior força ($1,3F$) na janela oval. Essa força de maior intensidade faz com que a bigorna impulsione alternadamente o estribo para dentro e para fora da janela oval (Errobidart *et al.*, 2014).

Com relação à movimentação do estribo, destacam-se dois tipos de vibração: um movimento de pistão para intensidades moderadas, ao longo do eixo transversal, e um deslizamento ao longo do eixo

longitudinal para sons de intensidade elevadas (Bevilacqua *et al.*, 2022, p. 06).

Os ossículos agem na transformação da impedância acústica do sinal que entra no ouvido, isto é necessário pela diferença entre os meio externo (o ar) e o meio líquido do ouvido interno, e conseqüentemente, a diferentes resistências a propagação da onda. A resistência do fluido do ouvido interno é mais alta que aquela do ar, por isso os ossículos têm que atuar como conversores de impedância. Isso é realizado devido aos dois mecanismos: o efeito alavanca entre o martelo e a bigorna, devido ao seu arranjo espacial; e a diferença entre as áreas do tímpano e da parte do estribo que está em contato com a janela oval, o que concentra a energia imposta no sistema. Esse efeito tende a resultar, para o ouvido interno, em uma aumento de 30 dB entre os níveis de pressão sonora no tímpano e na janela oval (Lazzarini, 1998).

Além do mecanismo de alavanca dos ossículos, contribui também para o ganho de pressão a relação entre as superfícies das áreas do tímpano e da janela oval. Como área do tímpano é cerca de 25 vezes maior que a da janela oval, e tomando por base o Princípio de Pascal, pode-se concluir que a pressão exercida em uma superfície, por uma força constante, será maior quanto menor for a área de contato com essa superfície. A força 1,3 maior aplicada à reduzida área da janela oval produz uma amplificação do sinal que chega até o ouvido interno, mais especificamente na cóclea, órgão do ouvido interno, local onde ocorre a percepção sensorial e a discriminação do som (Errobidart *et al.*, 2014, p. 3).

A relação entre as áreas do tímpano e da platina do estribo, e da relação das alavancas gera uma amplificação sonora com um fator multiplicador. Este valor deve ser utilizado com precaução devido às suas características mecânicas, o comportamento e a "eficácia" do ouvido médio variam muito com a frequência do som. O funcionamento do ouvido médio, como o de qualquer sistema mecânico, depende do atrito das articulações, da massa da cadeia ossicular, do volume do ar e da rigidez das membranas e dos ligamentos (Chaix, 2016).

A amplificação global da pressão transmitida da membrana do tímpano até a platina do estribo é de 25 vezes, correspondendo a 27-35 dB. Portanto, a adaptação da impedância entre o meio aéreo e a cóclea é indispensável à boa transmissão sonora. Sem este mecanismo de adaptação de impedâncias, haveria uma perda auditiva de aproximadamente 30 dB.

Assim, sabendo que o tímpano representa uma cavidade ressonante, com frequência (f) fundamental de 430 Hz e, usando a equação matemática

$$I = 2\pi^2 \rho v f^2 A^2 \quad (3),$$

em que se tem a relação entre amplitude (A) e intensidade (I) da onda sonora, para a densidade do meio (ρ), neste caso, o ar e a velocidade do som no ar (v), é possível calcular a amplitude do deslocamento máximo e mínimo do tímpano, que estão associados a intensidade máxima e mínima da audição humana (Silva, 2015, p. 76-77). Tal relação demonstra que a intensidade é diretamente proporcional ao quadrado da amplitude ($I \propto A^2$). Isso significa que, se a amplitude da onda sonora (o deslocamento máximo das moléculas de ar) dobrar, a intensidade do som quadruplicará.

Aplicando os dados a equação 3, se encontra que a máxima amplitude de deslocamento é igual a $1,1 \cdot 10^{-5} \text{m}$ e a mínima amplitude de deslocamento vale $1,1 \cdot 10^{-11} \text{m}$. Dessa forma, para deslocamentos do tímpano acima da amplitude mínima de deslocamento o ser humano começa a escutar o som, e para deslocamentos acima do valor máximo de amplitude do deslocamento do tímpano, tem-se o aparecimento de lesões no órgão e, conseqüentemente a sensação de dor nessa região (Silva, 2015, p. 77).

Se o som for agudo, o tímpano vibra mais rapidamente do que se o som fosse grave; se o som for forte (alta amplitude), o tímpano vibra com movimentos maiores do que se o som fosse fraco (baixa amplitude). O ouvido humano não percebe todas as frequências com a mesma intensidade. Na faixa de 2.000 a 5.000 Hz, a sensibilidade é máxima, exigindo menor intensidade (I) para a mesma percepção sonora. A intensidade do som que ouvimos depende não apenas da força com que as partículas do ar vibram (A), mas também da rapidez com que vibram (f), sendo o quadrado da amplitude o fator de maior impacto direto na energia percebida pelo ouvido.

O ouvido médio transmite a energia acústica do tímpano ao ouvido interno realizando uma adaptação de impedância entre o meio aéreo e o meio líquido. O ouvido médio é um adaptador de pressões: desta forma "recupera-se" a energia acústica disponível no meio aéreo e aumenta a amplitude dos estímulos mecano-acústicos no ouvido interno (Chaix, 2016).

3.3.3. Ouvido Interno

A função do ouvido interno é a transformação da energia mecânica, associada aos processos biofísicos que ocorrem no ouvido externo e no ouvido médio, em pulsos elétricos, que contém informações sobre a frequência, intensidade e timbre do som. Tal fenômeno acontece através da compressão do Órgão de Corti, existente na Cóclea, pelo gradiente de pressão da onda sonora (Silva, 2015, p. 77).

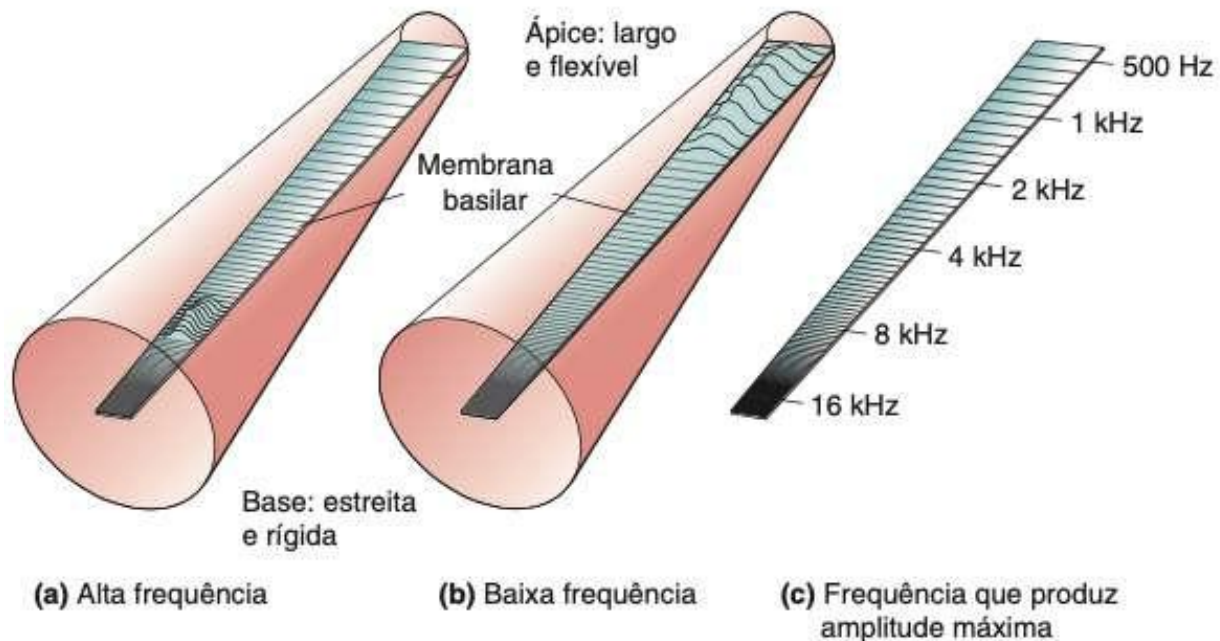
As escalas vestibular e timpânica se comportam como um único sistema hidrodinâmico pelo fato de estarem conectadas no ápice da cóclea por um orifício chamado Helicotrema. A transmissão integral da pressão da perilínfa, que é um líquido incompressível, através dessas escalas é explicada pelo Princípio de Pascal, que afirma que a pressão aplicada a um fluido incompressível se transmite igualmente para todos os pontos do fluido (Halliday, 2015).

O princípio de Pascal no ouvido humano se aplica à transmissão da pressão do tímpano para a janela oval da cóclea, que é um sistema hidráulico. A força do tímpano, ao vibrar, é concentrada na menor área da janela oval, resultando em maior pressão e, conseqüentemente, transmissão do sinal sonoro para os órgãos da audição na cóclea. Ele garante que a pressão do tímpano seja ampliada e transmitida de forma eficiente para a cóclea, permitindo que a audição seja possível.

A membrana basilar está localizada na cóclea, é uma estrutura flexível e ressonante, serve de base para o órgão de Corti, onde as células ciliadas estão localizadas e respondem à vibração da membrana, convertendo o movimento mecânico em impulsos elétricos, conforme Figura 168 (Guyton, 2017).

A membrana vibra de acordo com as frequências dos sons, sendo que cada parte da membrana responde de forma mais acentuada a uma frequência específica. Isso se deve a duas propriedades estruturais que ela possui: é cerca de cinco vezes mais larga no ápice do que na base e, conseqüentemente, a rigidez do ápice é muito menor do que na base (fator 100 ou 10.000, respectivamente).

Figura 18: A resposta da membrana basilar ao som.



Fonte: Bears (2017).

Se a frequência for alta, a base mais rígida da membrana vibrará muito, dissipando a maior parte da energia e a onda não propagará para muito longe. Sons de baixa frequência, contudo, geram ondas que se propagarão até o ápice flexível da membrana antes que a maior parte da energia tenha se dissipado. Portanto, para cada frequência existe uma região de estimulação máxima, ou região de ressonância, na membrana basilar (Bear *et al*, 2002).

No vestíbulo, que é 17 vezes menor que a membrana timpânica, é produzido um aumento de 22 vezes na pressão da onda sonora. Com isso, temos uma onda produzida no líquido do caracol (cóclea). As milhares de fibras basilares podem ser sensibilizadas pelas ondas nesse líquido. No entanto, elas são diferenciadas, e cada uma delas é sensível a uma frequência específica. Assim, somente algumas serão acionadas de acordo com as características do som produzido (Pietrocola, 2010, p. 417).

O movimento dos estereocílios das células ciliadas dá início a uma série de processos eletroquímicos nessas células. Para entender como esses processos eletroquímicos ocorrem, a composição química da perilinfa e da endolinfa, líquidos que preenchem a cóclea, devem ser levados em consideração.

A perilinfa (líquido na escala vestibular e timpânica), semelhante ao líquido extracelular, tem baixas concentrações de K^+ (0,007 mol) e altas concentrações de Na^+ (0,14 mol). Já a endolinfa (líquido na escala média), semelhantemente ao líquido intracelular, tem altas concentrações de K^+ (0,15 mol) e baixas concentrações de Na^+ (0,001 mol). A membrana de Reissner separa os dois líquidos, mas por ser muito delgada (tem a espessura de duas células) permite que Na^+ da perilinfa seja absorvido pela estria vascular, que secreta K^+ na endolinfa. Esse processo deixa a endolinfa com um potencial elétrico cerca de 0,08 volts (80 mV) mais positivo que a perilinfa (Guyton, 2017).

O processo de geração do sinal elétrico que será enviado ao encéfalo através dos neurônios auditivos, inicia quando os estereocílios se curvam devido ao movimento da membrana basilar e da endolinfa, abrindo e fechando o escoamento de K^+ (altamente concentrado na endolinfa) para dentro da célula ciliada. Esse processo é chamado de Transdução Auditiva, conforme mostra a Figura 19.

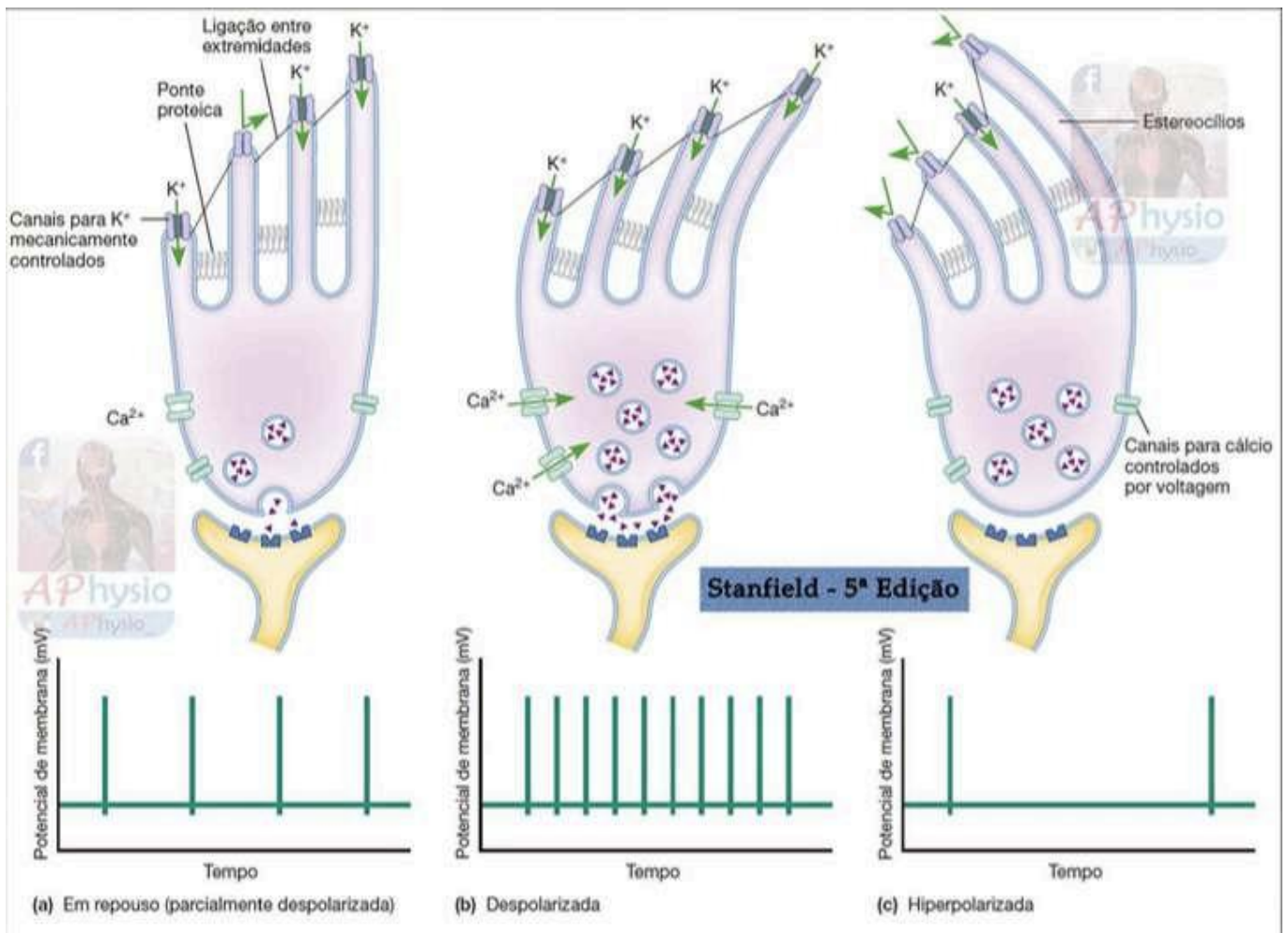
Um som extremamente forte provoca o maior deslocamento da membrana basilar e conseqüentemente dos estereocílios: aproximadamente 20 nm ($1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$). Um som extremamente fraco desloca os estereocílios apenas 0,3 nm, diâmetro aproximado de um átomo.

Para ajudar a prevenir danos às células ciliadas, os músculos do ouvido médio se contraem para diminuir o movimento dos ossículos causado por ruídos fortes, esta resposta é chamada reflexo acústico. No entanto, apesar desse reflexo protetor, ruídos fortes ainda podem danificar e destruir as células ciliadas. Quando alguma dessas células é destruída, ela não é substituída. A exposição contínua a ruídos fortes destrói mais e mais células ciliadas, que acaba por resultar em perda auditiva e, frequentemente, em ruído ou zumbido nos ouvidos (acufeno).

Quando os estereocílios deslocam-se em uma direção, a célula ciliada despolariza e quando se deslocam na outra, a célula hiperpolariza, com isso as células ciliadas geram um potencial de receptor que despolariza e hiperpolariza alternadamente a partir do potencial de repouso de 70 mV (Guyton, 2017).

A mudança de potencial na célula ciliada gera o sinal elétrico que é enviado ao encéfalo através dos neurônios auditivos (células do gânglio espiral). Esses neurônios, estimados na ordem de 35 000 a 50 000, são a unidade fundamental de processamento e transmissão dos sinais gerados nas células ciliadas ao encéfalo.

Figura 19: Transdução Auditiva



Fonte: Stanfield, 2013.

A impedância acústica é uma medida que descreve a oposição que um meio oferece à propagação de ondas sonoras (Guyton, 2017). Na orelha interna, a impedância de entrada da energia sonora depende da pressão acústica do estribo na janela oval e do volume de perilinfa deslocado por unidade de tempo. Os movimentos do estribo são limitados pela inércia da perilinfa e pela extensibilidade da membrana basilar.

Portanto, a impedância auditiva da orelha interna é resistiva, isto é, refere-se à resistência que um meio oferece à passagem do som. Essa resistência é medida em ohms e pode afetar a qualidade do som e a transmissão de energia acústica (Guyton, 2017). Como consequência da resistividade da impedância auditiva, toda a energia acústica incidente dissipa-se na cóclea e as ressonâncias que aparecem na orelha média são amortecidas.

4 PRODUTO EDUCACIONAL

O Produto Educacional é uma produção técnico-científica, voltada para a melhoria da prática docente e da aprendizagem na Educação Básica. Deve ser aplicável, reutilizável por outros professores, e pode assumir formas diversas como sequências didáticas, manuais, softwares, jogos ou vídeos.

O foco na ação do docente é uma das características principais de um produto educacional, pois esse serve como um recurso concreto para facilitar e inovar o ensino, no caso dessa pesquisa, o Ensino de Física interdisciplinarmente ao de Biologia, baseado em fundamentação teórica sólida. Sendo assim, o produto educacional produzido pelos mestrandos do MNPEF deve ser um material viável e aplicável em diferentes contextos escolares, atuando como um produto de ligação entre o mestrando e a comunidade escolar.

A versão completa do Produto Pedagógico: “OFICINAS PEDAGÓGICAS SOBRE BIOFÍSICA DA AUDIÇÃO: UMA PROPOSTA INTERDISCIPLINAR PARA A EDUCAÇÃO BÁSICA”, encontra-se no apêndice da dissertação, adaptada para Educação Básica em diferentes contextos escolares. A seguir, o produto descrito trata-se de Oficinas Pedagógicas sobre a Biofísica da Audição de maneira interdisciplinar, desenvolvidas para alunos da Educação Básica quando estes visitavam o Centro de Ciências da UFJF.

O público alvo da pesquisa foi os estudantes de 6 a 17 anos, regularmente matriculados no Ensino Fundamental (Anos iniciais e finais) e Ensino Médio, de Juiz de Fora e região. Devido a idade dos alunos e o ano/série que estão na escola, foram oferecidas duas oficinas:

- Para Ensino Fundamental - Anos Iniciais (6-10 anos): Vamos produzir sons?
- Para Ensino Fundamental - Anos Finais e Ensino Médio (11-17anos): Biofísica da Audição

As oficinas foram implementadas pela pesquisadora, com o acompanhamento e colaboração dos mediadores do Centro de Ciências, num total de 17 aplicações, com duração de 40 minutos cada, perfazendo um total de 327 estudantes participantes. Para tal atividade, foram utilizados alguns recursos didáticos que estão descritos no capítulo a seguir e como foram fabricados está detalhadamente descrito no apêndice da dissertação.

O acesso às visitas ao Centro de Ciências se deu a partir de divulgação em grupos de Whats zap de professores da região de Juiz de Fora, onde lançávamos as datas e horários das visitas

disponíveis, para aplicação do produto. As datas iam sendo ofertadas de acordo com a disponibilidade da pesquisadora, do orientador e do Centro de Ciências, que já tem sua rotina de visitas.

Após a manifestação positiva dos professores ou diretores, encaminhávamos o link do Centro de Ciências para que os mesmos fizessem a inscrição e que tomassem ciência do roteiro da visita e de todas as orientações pertinentes. O roteiro da visita seguiu o mesmo já realizado no Centro de Ciências, a saber:

1. Recepção dos alunos com video da UFJF e com bate papo com os estudantes
2. Visita ao Planetário com apresentação de um vídeo
3. Pausa para lanche
4. Divisão da turma em dois grupos: uma turma ia para oficina sobre Acústica e a outra metade, para outra oficina já oferecia pelo Centro de Ciências. Depois, as turmas trocavam de laboratório.

A pesquisadora acompanhou as escolas em todas as etapas da visita, como uma forma de ir conhecendo os estudantes e familiarizando com cada turma. Todas as oficinas que aplicamos o produto pedagógico foram mediadas pela pesquisadora, com o suporte dos mediadores.

Cabe ressaltar o total apoio do Centro de Ciências da UFJF, que nos propiciou todos os recursos disponíveis para o desenvolvimento das oficinas. Destaca-se como um espaço não formal de educação científica, vinculado a UFJF, que tem como meta atender estudantes de todos os níveis de ensino, bem como a sociedade em geral. Conta com diversas exposições permanentes, temporárias e outros espaços de visitação, como o Planetário e o Observatório Astronômico, estando aberto para visitas agendadas e espontâneas. O roteiro das visitas para escolas e grupos consiste em uma sessão do Planetário e duas oficinas compatíveis, sendo das seguintes áreas: Astronomia, Biologia, Física, História, Matemática e Química.

As visitas que ocorrem pela manhã ou tarde tem a duração total de 2h30, contando uma pausa na metade do roteiro para que os alunos façam um lanche (providenciado pela escola/grupo) caso queiram. As visitas noturnas duram 2h e não há pausa para lanche.

A missão do Centro de Ciências da UFJF é levar os visitantes a perceberem a importância da prática de investigação científica ao longo da história da humanidade, despertando um olhar para a ciência com mais curiosidade, consciência, rigor e espírito crítico. Dessa forma, chegar a conclusão que a ciência não é constituída de respostas prontas, mas resultado de muito trabalho de observação, experimentação, análise e investigação. Tendo como prioridade estabelecer elos e parcerias entre a

UFJF e escolas de ensinos básico e superior, e quaisquer outras instituições que mostrem interesse em apresentar projetos compatíveis com as atividades e objetivos do Centro de Ciências.

A divulgação e disseminação da Ciência e Tecnologia é o objetivo principal do Centro de Ciências da UFJF, de modo a contribuir para o despertar de vocações, bem como fazer da popularização da Ciência uma forma de tornar nossa sociedade mais consciente de suas potencialidades. Destaca-se também outros objetivos:

- Desenvolver atividades relacionadas à Educação Científica em todos os níveis de ensino, com a participação de docentes e acadêmicos de diversas Unidades Acadêmicas da UFJF;
- Contribuir para a formação inicial de professores para a Educação Básica em todas as áreas do conhecimento, apoiando atividades de Educação Científica e o trabalho docente em geral.
- Oferecer atividades, cursos e programas, desenvolvendo atividades relacionadas à Educação Científica não formal e à divulgação das Ciências e da Cultura Científica, dirigidas tanto ao público escolar quanto à sociedade como um todo.
- Realizar eventos e facultar o uso de suas instalações e recursos disponíveis para as Escolas de Educação Básica, além dos diversos cursos e áreas da UFJF e de outras instituições.
- Investigar questões relacionadas à Educação Científica e desenvolver inovações, recursos e materiais pedagógicos, fomentando o interesse na população e nos estudantes pela atividade científica, despertando talentos e facilitando ações de divulgação e popularização da ciência, tecnologia e cultura.

Com base na missão, objetivos, estrutura física, organização, corpo docente e administrativo do Centro de Ciências da UFJF, desenvolver a pesquisa e aplicar o produto pedagógico foi uma experiência muito enriquecedora e valorosa, a qual almejo dar prosseguimento no doutorado.

5 METODOLOGIA

A presente pesquisa caracteriza-se como qualitativa, de cunho interventivo, e teve como objetivo a elaboração, aplicação e avaliação de um produto educacional. Esse produto consistiu em oficinas didáticas sobre Som e Acústica, desenvolvidas e implementadas com estudantes do ensino básico, abrangendo o Ensino Fundamental (Anos Iniciais e Anos Finais) e o Ensino Médio. As oficinas foram realizadas no Centro de Ciências da UFJF, configurando-se como uma proposta pedagógica que articula conteúdos de Física com atividades experimentais e interativas, visando favorecer o engajamento dos estudantes e a construção de conhecimentos científicos.

Esta pesquisa se caracteriza como uma pesquisa qualitativa de natureza aplicada, inserida na perspectiva da pesquisa-ação, uma vez que envolve a intervenção do pesquisador no contexto educacional com o objetivo de transformar práticas pedagógicas e investigar seus efeitos. O foco está na compreensão dos processos de aprendizagem e de engajamento dos estudantes durante a realização de oficinas didáticas em um ambiente não formal de ensino (Minayo, 2012).

As oficinas foram concebidas com o objetivo de promover a aprendizagem de conceitos fundamentais de Som e Acústica, por meio de atividades experimentais, interativas, interdisciplinares e contextualizadas. A escolha metodológica por oficinas interativas visou não apenas à transmissão de conteúdos, mas à criação de experiências significativas e contextualizadas, que aproximassem os estudantes da Física e da Biologia, a partir de situações vivenciadas fora do ambiente tradicional de sala de aula.

A escolha pela realização das atividades no Centro de Ciências da UFJF decorreu da intenção de explorar um ambiente não formal de ensino, capaz de ampliar as possibilidades de motivação, participação ativa e construção de significados pelos estudantes. Em vez de apenas ouvir sobre conceitos científicos, os alunos puderam interagir com experimentos e exposições, o que torna o aprendizado mais memorável, estimulando o interesse deles sobre o mundo e desenvolvendo habilidades de resolução de problemas e pensamento crítico e colaborativo.

Ao longo de todo o processo, foi considerado primordial importância a interação entre a pesquisadora, os mediadores e os estudantes, do diálogo com os saberes prévios dos alunos e da valorização de abordagens que favorecessem a problematização e a reflexão sobre fenômenos sonoros presentes no cotidiano.

Dentro da perspectiva dos 3MP e do Enfoque CTS, de se opor ao ensino tradicional, as atividades desenvolvidas durante o planejamento e a implementação das oficinas evidenciaram indícios de apreensão de conhecimentos de uma maneira não tradicional, que uniu indivíduos em diferentes anos/séries da educação básica, fora da sala de aula, na busca por desenvolver conteúdos de Física e Biologia através da abordagem de um tema contextual e não tradicional.

5.1. OFICINAS

Nosso produto educacional foi implementado a partir de oficinas pedagógicas, sendo uma das possibilidades de abordar conteúdos científicos, como uma alternativa a superar o ensino tradicional e fragmentado apontado pelos documentos oficiais (Brasil, 1999, 2018). Em cada oficina podemos perceber que os estudantes tiveram a oportunidade de construir novos conhecimentos, ao possibilitar interação com as atividades, ao relacionar os conteúdos de Física com a realidade, aproximando-os do seu dia a dia, e que podem desencadear aprendizados válidos ao presente e ao futuro, desenvolvendo conhecimentos, atitudes e valores. “A oficina traz ao universo escolar a possibilidade de extrapolar a superficialidade que tende a constituir os discursos dos estudantes. Para isso a pesquisa aposta na base teórica definida pelos 3MP” (Preto, 2016, p. 13).

As oficinas foram planejadas com base nos 3MP (Delizoicov; Angotti; Pernambuco, 2002) e no enfoque CTS (Auler; Delizoicov, 2015) articulando o conteúdo científico à realidade dos estudantes e às implicações sociais da Biofísica da Audição, envolvendo as seguintes etapas:

- Prática social inicial: levantamento dos conhecimentos prévios sobre som, a partir da pergunta: O que é o som?, já no início da oficina.
- Problematização: apresentação de situações reais, como o impacto da poluição sonora, o uso prolongado de fones e introdução de objetos no conduto auditivo externo.
- Instrumentalização: explanações dialogadas, experimentos e atividades interativas sobre propagação do som, frequência, intensidade sonora, estrutura do ouvido humano e tecnologias (tipos de fones de ouvido).
- Prática social final: retomada crítica da realidade à luz dos conhecimentos construídos.

Construímos uma apresentação para ser projetada durante a oficina, de maneira concisa, objetiva e bem ilustrativa, para ser utilizada nas oficinas com o intuito de servir como um roteiro, padronizando os temas que deverão ser abordados e garantindo que os objetivos pedagógicos sejam alcançados. Essa apresentação também conta com vídeos curtos, com linguagem acessível e coerente com a faixa etária dos alunos, abordando como se dá o processo de audição humana, os malefícios do som forte e como funciona o Modelo Anatômico da Orelha Humana.

5.2. PÚBLICO ALVO

As oficinas foram realizadas no Centro de Ciências, um espaço de educação não formal que recebe turmas de Ensino Regular da rede pública (Municipal, Estadual e Federal) e privada. Participaram das atividades estudantes com idades entre 6 e 17 anos.

Para as oficinas de EF1 contamos com a participação de 219 alunos de 3 escolas municipais, com um total de 11 aplicações da oficina “Vamos produzir sons?”, conforme Tabela 1.

Tabela 1 - Participantes das aplicações da oficina para EF1

ESCOLA	TURMA	TOTAL DE ESTUDANTES NA VISITA	ESTUDANTES NA 1ª APLICAÇÃO	ESTUDANTES NA 2ª APLICAÇÃO
EMAM	3º ANO	42	21	NÃO HOUVE REVEZAMENTO
EMAM	1º E 2ª ANO	40	18	22
EMDJB	2º ANO	33	16	17
EMDJB	2º E 3º ANO	42	21	21
EMDJB	4º ANO	44	22	22
EMPOS	2º E 3º ANO	39	21	18
TOTAL DE ESTUDANTES PARTICIPANTES			219	

FONTE: Própria autora

Tais escolas se localizam na região leste de Juiz de Fora, não sendo proposital a escolha. O critério de escolha das escolas foi pela de ordem contato com a pesquisadora. De uma maneira geral, a população atendida por essas 3 escolas é composta majoritariamente por famílias de baixa renda, com uma grande parcela de trabalhadores assalariados e empregos informais. A diversidade dos arranjos familiares é uma característica marcante entre os alunos, que vivem em diferentes configurações familiares, com avós, tios, apenas um dos pais, ou outros parentes.

A Zona Leste de Juiz de Fora é uma das regiões mais populosas da cidade, abrigando áreas tradicionais e densas. Caracteriza-se por forte perfil residencial e comercial, com razoável infraestrutura, fácil acesso ao centro e presença de populações de classe média e baixa, com alta densidade demográfica em certos bairros. Há uma forte presença de população jovem e perfis socioeconômicos diversificados, gerando demandas ativas por infraestrutura educacional

Nos chamou a atenção nas 11 aplicações realizadas para o EF1, foi a presença de pelo menos 1 (um) aluno com alguma alteração de ordem mental, sendo o mais comum encontrado foi o Transtorno do Espectro Autista (TEA), sem haver a necessidade de alterar o roteiro proposto da oficina. Pelo contrário, além de participarem ativamente, conseguiram acompanhar, se divertir e jogar.

Para as 6 aplicações da oficina “Biofísica da Audição” para estudantes do EF2 e EM, contamos com a participação de 108 alunos, de 2 escolas municipais de Juiz de Fora, conforme a Tabela abaixo:

Tabela 2 - Participantes das aplicações da oficina para EF2 e EM

ESCOLA	TURMA	TOTAL DE ESTUDANTES NA VISITA	ESTUDANTES NA 1ª APLICAÇÃO	ESTUDANTES NA 2ª APLICAÇÃO
EMQP	8º ANO	43	21	23
EMQP	1º ANO EM	30	15	15
EMPOS	8º E 9º ANO	35	18	19
TOTAL DE ESTUDANTES PARTICIPANTES			108	

FONTE: Própria autora

Assim como as escolas participantes do EF1, as do EF2 e EM também foram da zona leste de Juiz de Fora. Sendo que uma das escolas participou tanto da oficina para EF1, quanto para EF2. Nas 6 aplicações da oficina “Biofísica da Audição” contamos com a participação de um aluno com TEA, um com Transtorno Opositor Desafiador (TOD) e um com déficit motor na mão direita, fato que não os prejudicaram em nada na vivência da oficina, nem nas atividades desenvolvidas.

Em cada aplicação da oficina contamos com a presença dos professores que acompanhavam os estudantes, sendo oferecido a eles a possibilidade de participarem e ajudarem, principalmente na divisão dos grupos, durante o jogo e na avaliação. A maioria dos professores participou ativamente das atividades que foi de grande valia para o desenvolvimento das oficinas.

O agendamento das escolas participantes se deu a partir de disponibilização de datas, via grupos de WhatsApp de professores da Secretaria Municipal e Estadual de Educação de Juiz de Fora. Após a confirmação das escolas, os responsáveis faziam a inscrição no site do Centro de Ciências, comparecendo a visita com aproximadamente 40 alunos, com o seguinte roteiro proposto:

- Recepção de boas vindas e apresentação da UFJF a partir de um curto vídeo institucional
- Apresentação do planetário
- Pausa para lanche
- Revezamento entre duas oficinas de 40 minutos para 20 alunos por oficina, sendo uma delas a Oficina sobre Som e Acústica e a outra uma de escolha da escola.

5.3. RECURSOS INSTRUCIONAIS

Para implementação do nosso produto educacional, foram utilizados vários recursos, conforme figura 20, cujos quais podemos elencar didaticamente da seguinte forma:

- Recursos de Apoio Tecnológico: caixa de som com subwoofer, rede Wi-Fi, computador e projetor Datashow.

- Recursos Concretos: cotonetes, mola maluca, corda de nylon, rolo de plástico filme doméstico, pirex de vidro redondo de 30cm de diâmetro, de fita crepe, durex e tesouras sem ponta.
- Recursos Didáticos Representacionais: Modelo Anatômico, em tamanho real, do Ouvido Humano e dos 3 Ossículos do Ouvido Médio (Martelo, Bigorna e Estribo).

Figura 20: Recursos Instrucionais para Oficinas do EF2 e Ensino Médio



FONTE: Própria autora

- Recursos audiovisuais: 4 vídeos curtos, cujo acesso é por QR Code disponível no apêndice da dissertação. Tais vídeos apresentam o conteúdo trabalhado de forma sucinta e objetiva, aproximando a sala de aula do cotidiano dos alunos, aumentando as possibilidades de aprendizagem sobre o funcionamento do sistema auditivo

O vídeo é um recurso que torna as aulas de Física mais produtivas, quando utilizado em consonância com o objetivo da oficina, sempre questionando qual sua intenção, o que espera que os alunos observem e compreendam ao assistir cada vídeo.

O vídeo parte do concreto, do visível, do imediato, próximo, que toca todos os sentidos. Mexe com o corpo, com a pele nos toca e “tocamos” os outros, estão ao nosso alcance através dos recortes visuais, do close, do som estéreo envolvente. Pelo vídeo sentimos, experienciamos sensorialmente o outro, o mundo, nós mesmos (Moran, 1995, n. p.).

Os vídeos foram utilizados nas oficinas como recurso didático, com objetivo de um ensino mais dinâmico, objetivando sensibilizar os alunos para o estudo do sistema auditivo. No capítulo 6,

apontaremos em qual momento cada vídeo foi apresentado e com qual objetivo. Esse recurso foi indispensável para o estudo sobre o assunto, pois abre um leque de possibilidades, estimula a utilização dos canais de comunicação, permitindo que o aluno observe o funcionamento desse sistema, o que sem o vídeo não seria possível.

- Recursos Experimentais: Chocalhos, Jogo da Memória Auditiva e Modelo Analógico da Orelha Humana.

Destacamos os Recursos Experimentais utilizados com os alunos nas oficinas do Ensino Fundamental - Anos Iniciais, construímos previamente um chocalho com copos de papel com tampa de 50ml e materiais de baixo custo: areia fina, arrebites metálicos, brita fina, giz de quadro picados e palitos de dentes, conforme figura 21. Tal dispositivo foi construído com a finalidade de ser uma lembrança para as crianças e de separá-las em grupos, pois foi entregue a cada criança um chocalho e a orientação foi que se agrupassem de acordo com os sons semelhantes. Além de servir como lembrança da oficina, pois cada criança levou seu chocalho, poderá posteriormente ser utilizado na escola, com a mesma finalidade de dividir a turma em grupos de maneira aleatória ou poderá ser decorado pelas crianças.

Figura 21: Chocalho e seus materiais



Fonte: Própria autora

Ainda para a mesma oficina para os alunos dos Anos Iniciais, idealizamos e construímos 5 Jogos da Memória Auditiva (Figura 22), para serem jogados em grupo, compostos por 5 pares de potes (potes de 120ml com tampa), dispostos em uma caixa com 10 divisórias de MDF, contendo os seguintes materiais em seu interior: areia fina, arrebites metálicos, brita fina, giz de quadro picados e palitos de dentes. Sendo que ao serem agitados, produzem sons com diferentes timbres.

Figura 22: Jogos da Memória Auditiva



Fonte: Própria autora

O conteúdo dos potes foi pesado e/ou quantificado, com o objetivo de possuírem a mesma massa, para que quando forem agitados produzam sons semelhantes. Aliado a esse cuidado, como as tampas dos potes são de rosca, portanto os potes podem ser abertos, colocamos uma fita transparente sobre toda a abertura de cada pote. Assim, evitamos acidentes (extravasamentos, introdução ou ingestão dos materiais internos), além das crianças poderem conferir se os pares formados estão certos.

Já para as oficinas do Ensino Fundamental - Anos Finais e Ensino Médio foi construído por cada aluno o Modelo Analógico da Orelha Humana, conforme figura 23. Para tal utilizamos os seguintes materiais permanentes: pirex de vidro redondo com 30cm de diâmetro e folha de papel A4 quadriculada (2 x 2 cm). Para construção dos ossículos e da membrana timpânica foi utilizado: canudo dobrável de plástico biodegradável, durex, isopor de bandejas de alimentos (retângulo de 3 x 2 cm), plástico filme doméstico e fita crepe. Sendo que este, foi oferecido aos alunos como lembrança da oficina. Para produção do som, utilizamos uma caixa de som subwoofer.

Figura 23: Modelo Analógico da Orelha Humana



FONTE: Própria autora

5.4. INSTRUMENTO DE AVALIAÇÃO DA OFICINA

O instrumento utilizado para avaliação de forma qualitativa e subjetiva das oficinas foi um questionário com 5 afirmações seguindo os preceitos da Escala tipo Likert (Figura 24), a partir de respostas com emojis e de maneira anônima. Tal dispositivo tem o objetivo de avaliar percepções dos alunos quanto à clareza dos conteúdos, relevância do tema, organização das atividades, engajamento e satisfação com a metodologia utilizada (da Costa Júnior *et al.*, 2024).

Essa abordagem permitiu uma análise quantitativa das percepções dos alunos, oferecendo subsídios para reflexão sobre o alcance e efetividade pedagógica das oficinas.

Figura 24: Instrumento de avaliação das oficinas

Use os emojis para representar sua opinião:

😊 Gostei muito 😊 Gostei 😐 Mais ou Menos
 😞 Não gostei 😡 Detestei

O QUE ACHARAM DA OFICINA SOBRE SOM?

1. Entendi as explicações sobre Som e Saúde Auditiva.

😊 😊 😐 😊 😊

2. Cuidarei melhor da minha Saúde Auditiva.

😊 😊 😐 😊 😊

3. Aprendi coisas novas sobre Som.

😊 😊 😐 😊 😊

4. Achei a oficina divertida.

😊 😊 😐 😊 😊

5. Irei aplicar o que aprendi na oficina na minha vida.

😊 😊 😐 😊 😊

Fonte: Própria autora

5.5. ORIENTAÇÕES AOS MEDIADORES

Os mediadores são figuras-chave no processo educativo que acontece nos Centros de Ciências, sendo fundamentais para o desenvolvimento das oficinas que foram realizadas, contribuindo para aproximação entre os estudantes do Ensino Regular e os conteúdos da Física. Esses educadores atuam como facilitadores do processo de aprendizagem, adaptando a linguagem científica, conduzindo experimentos e promovendo o engajamento por meio de interações dialógicas e acolhedoras (Marandino, 2013).

Para que essa atuação seja eficiente foi confeccionado um documento com orientações acerca do conteúdo das oficinas, com embasamento teórico sobre Física: Som e Acústica, além da parte anátomo-fisiológica da Orelha Humana com suas implicações Físicas (Biofísica da Audição). Ainda nesse documento, a fim de padronizar o conteúdo que será ministrado nas oficinas, redigimos orientações em cada página do documento de apresentação das oficinas.

Para haver uma padronização das oficinas e um nivelamento de conteúdo para todos mediadores, elaboramos uma orientação para os mesmos, com conteúdo necessário para aplicação das oficinas e com orientações para as oficinas. Tal material também serve como base de pesquisa para os professores que desejam aplicar as oficinas em sala de aula. Seguem as orientações disponibilizadas:

- **Orientações mediadores EF1:** https://drive.google.com/file/d/1hUUN8DB2wr43_TMbxowu0dSD8jgkxSDc/view?usp=share_link
- **Orientações mediadores EF2 e EM:** https://drive.google.com/file/d/1LRphILt2VwLGWijREGged-GX_Qx8sz2V/view?usp=share_link

Antes de iniciarmos as oficinas com os alunos, apresentamos aos mediadores do Centro de Ciências da UFJF a proposta de cada oficina, trabalhando com eles como se fossem os alunos visitantes, buscando aperfeiçoar a oficina, discutir a metodologia utilizada, confeccionar experimentos para que eles possam orientar de maneira mais eficiente e balizar tempo utilizado. Apresentamos a eles também o material confeccionado que servirá de orientação aos mesmos, discutindo conceitos Físicos envolvidos, pois nem todos os mediadores são da área de exatas.

6 APLICAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL

Cada aplicação da oficina no Centro de Ciências da UFJF teve a duração de 40 minutos para aproximadamente 20 estudantes. A visita ao Centro de Ciências dura aproximadamente 3 horas, sendo que cada escola leva em torno de 40 estudantes. Portanto, aplicamos uma oficina duas vezes, primeiro para a metade da turma, depois para outra metade. Dessa forma, em cada visita, os estudantes além de conhecerem o planetário, participam de 2 oficinas com temas diferentes, que são escolhidos pelos professores ou diretores das escolas

A metodologia que foi utilizada é a dos 3MP que apresenta uma temática de ensino na qual conhecimento está estruturado em três momentos. O primeiro é a **Problematização inicial**, em que foram apresentadas situações conhecidas do dia a dia dos alunos e que estejam vinculadas ao tema Biofísica da Audição, com a intenção de que os alunos se sintam desafiados a participar e responder questões como: o que é som?, cabendo ao mediador da oficina a função de questionar posicionamentos e lançar dúvidas sobre o assunto, sem a obrigação de responder ou dar explicações, com o objetivo de fazer com que os alunos sintam a necessidade da aquisição de outros conhecimentos.

O segundo momento é a **Organização do conhecimento**, através do estudo sistemático sobre o Som, sua classificação de acordo com a harmonia, intensidade e frequência, além do processo de Audição Humana e os cuidados para uma boa Saúde Auditiva, possibilitando uma melhor compreensão dos temas e das situações envolvidas no cotidiano dos alunos.

Já o terceiro momento pedagógico é a **Aplicação do conhecimento**, cuja intenção foi de incentivar o estudante a empregar sua bagagem de conhecimento, juntamente com o que se apropriou na oficina, para analisar e interpretar situações propostas.

Como critério de avaliação da oficina, solicitamos as crianças que preenchessem uma pesquisa de satisfação anônima, por meio de um questionário contendo 5 afirmações objetivas, com 5 alternativas de respostas, a partir de emojis. Tal avaliação segue as orientações da Escala Likert, por ser fácil de criar, popular, confiável de medir opiniões, percepções e comportamentos. Além de avaliar o grau de satisfação, estima a absorção do conteúdo apresentado e a motivação dos alunos (da Costa Júnior *et al.*, 2024).

Numa perspectiva CTS avaliou se os resultados estão integrados ao Processo de Ensino e aprendizagem, a partir do entendimento do tema abordado, em relação ao uso de tecnologias (por exemplo, fones de ouvido) de maneira correta e menos prejudicial a saúde auditiva, enfatizando o possível potencial multiplicador de conhecimento dos alunos. Não sendo utilizado somente para fins acadêmicos, mas também para orientar aos familiares, amigos e demais pessoas a que possa interessar.

6.1. ENSINO FUNDAMENTAL - ANOS INICIAIS

A oficina *Vamos produzir sons?* foi oferecida aos alunos do Ensino Fundamental - Anos Iniciais, com idade entre 6 a 11 anos, sendo conduzida de acordo com os 3MP. Sendo projetado por Datashow uma apresentação para servir como um roteiro e para todos os mediadores poderem se guiar, tendo a certeza que todo o conteúdo será apresentado para todas as oficinas. Segue o link da apresentação utilizada:

https://drive.google.com/file/d/1EHGpWMI3bglOg6639HLzplAGAdbpzA3T/view?usp=share_link

Iniciamos a oficina dando boas vindas a todos, convidando as crianças a produzirem sons (sirene de ambulância, trovão, miado de um gato, cochicho, latido de um cachorro e etc.) e as indagando sobre *O que é o som?* (Problematização Inicial). A partir do conhecimento prévio demonstrado pelas crianças sobre a temática, introduzimos brevemente alguns termos, como onda, frequência, intensidade e harmonia. A seguir convidamos as crianças a produzirem alguns sons: trovão, bomba, cochicho, canto de uma música, latido de um cachorro, sirene de ambulância e instrumento musical, a fim de classificá-los quanto a intensidade (alto e baixo), frequência (agudo e grave) e harmonia (harmonioso e desordenado).

Durante a aplicação dessa oficina para 11 turmas de EF1 pela pesquisadora, conforme Figura 25, alguns fatos nos chamaram a atenção, pela riqueza agregada à oficina, pela capacidade adaptativa de alguns alunos com alguma deficiência motora e pela demonstração de carinho de alguns alunos ao término da oficina. Na primeira oficina contamos com a presença de um aluno de 8 anos, que usava um implante coclear, devido a surdez congênita. Quando iniciamos a oficina, ao questionarmos sobre o que é o som, ele avidamente explicou sobre a característica ondulatória do

som, a medida que outras perguntas eram feitas, o mesmo respondia tudo, de maneira correta e com termos técnicos.

Outro fato relevante foi um aluno portador de TEA, muito arredio e que tinha dificuldades com barulho, que no final da oficina largou a mão da professora auxiliar e correu até mim e me abraçou. A professora auxiliar se mostrou surpresa com a ação do aluno, o qual participou ativamente da oficina, fazendo questão de preencher a avaliação.

Figura 25: Oficina *O que é o som?*



Fonte: Própria autora

Utilizamos um vídeo curto (1min41s) sobre a Audição Humana (Smile and Learn, 2020), com uma linguagem bem acessível, bem colorido e divertido, desde a captação do som até a decodificação do cérebro (Organização do Conhecimento), disponibilizado pelo link: https://drive.google.com/file/d/1aBDiT3CuYnzbSdITikxyL44JfoJan-9_/view?usp=share_link.

Logo em seguida, além de discutirmos sobre o vídeo que aborda o funcionamento da orelha e seus órgãos principais, foi exposto um protótipo da Orelha Humana em tamanho real, assim como de seus ossículos. Durante o contato dos estudantes com estruturas corporais em tamanho real podemos observar a surpresa deles e a curiosidade de querer ver de perto e tocar.

Abordamos a temática Saúde Auditiva, logo após as crianças já terem conhecido mais sobre a anátomo-fisiologia da Orelha Humana, destacando o não uso de cotonetes, a exposição a ruídos fortes, a não introdução de objetos / alimentos no conduto auditivo e sobre o uso correto de fones de ouvido.

A seguir, foi entregue a cada criança um chocalho, já previamente confeccionado. Orientamos para que cada criança prestasse bastante atenção no som produzido pelo colega para identificar os sons semelhantes produzidos dos chocalhos, a fim de formar 5 grupos, cada qual com seus sons particulares. Em seguida, acomodamos cada grupo na ponta de cada bancadas, o mais distantes possível, para não haver mistura de sons e um grupo atrapalhar o outro.

Cada grupo formado recebeu um Jogo da Memória Auditiva, conforme Figura 26, que analogamente ao Jogo da Memória de Cartas, tem como objetivo encontrar os pares com sons semelhantes. Indagamos aos estudantes se já haviam jogado o Jogo da Memória de Cartas, que consiste em encontrar pares de cartas iguais embaralhadas e viradas para baixo. Onde cada jogador vira duas cartas por vez; se forem iguais, recolhe o par e joga novamente. Se forem diferentes, vira-as para baixo na mesma posição, passando a vez. O vencedor é quem obtiver mais pares.

Dessa forma, orientamos aos estudantes a jogar o Jogo da Memória Auditiva em grupos de 3 a 5 alunos, a partir da experiência prévia com Jogo da memória de cartas. Além da pesquisadora e de um mediador explicarem as regras do jogo, a partir de uma encenação de uma partida passo a passo:

- Preparação: Embaralhe os potes e coloque-os no suporte de MDF, cada um em um nicho.
- O primeiro jogador pega um pote de cada vez e o agita, tentando encontrar dois potes com sons semelhantes. Todos os jogadores devem prestar atenção no som produzido e no local onde está cada pote.

- Em caso de acerto: Se os sons forem iguais, o jogador recolhe o par para si e tem direito a jogar novamente.
- Em caso de erro: Se os sons forem diferentes, o jogador deve recolocar os pots no mesmo lugar onde estavam. A vez passa para o próximo jogador.
- O jogo continua até que todos os sons sejam combinados. O vencedor é quem tiver acumulado o maior número de pares.
- Dicas Importantes: Tente memorizar a posição de cada pote com determinado som, mesmo na vez dos adversários. O jogo pode ser jogado sozinho ou com 2 ou mais pessoas.
- Recurso experimental da oficina “Vamos produzir sons?” : como foi para estudantes de 6 a 10 anos, o jogo foi confeccionado com 5 pares de sons para facilitar.

Figura 26: Jogo da Memória Auditiva sendo utilizado na oficina



Fonte: Própria autora

6.2. ENSINO FUNDAMENTAL - ANOS FINAIS E ENSINO MÉDIO

A oficina *Biofísica da Audição* foi oferecida aos alunos do Ensino Fundamental - Anos Finais e Ensino Médio, com idade entre 12 a 17 anos, sendo conduzida pela pesquisadora, conforme figura 27, de acordo com os 3MP, para 6 turmas, num total de 108 estudantes.

Figura 27: Oficina *Biofísica da Audição*



Fonte: Própria autora

Foi projetado por Datashow uma apresentação para servir como um roteiro e para todos os mediadores poderem se guiar, tendo a certeza que todo o conteúdo será apresentado para todas as oficinas. Segue o link da apresentação utilizada:

https://drive.google.com/file/d/1vrkuhy1QFTk6tXr1wtNRjtXWPb3caFbp/view?usp=share_link

Iniciamos a oficina dando boas vindas a todos, apresentando a oficina de Biofísica da Audição e indagando sobre *O que é o som?*. A partir do conhecimento prévio demonstrado pelos alunos sobre a temática, introduzimos brevemente alguns conceitos, como: onda, meio de propagação, vibração e frequência (Figura 28). A seguir classificamos as ondas sonoras de acordo

com: direção de propagação, natureza de propagação e dimensão, fazendo com que os alunos concluam que o som é uma onda mecânica, longitudinal e tridimensional.

Figura 28: Oficina EF2 e EM



Fonte: Própria autora

Trabalhamos também as propriedades do som, a partir de um slide, no que tange a: duração do som (som longo e som curto), altura do som (som agudo e som grave), timbre ou tom e intensidade sonora (som de volume fraco e som de volume forte).

Utilizamos um vídeo curto, de 34s, (Como a audição funciona, 2024) sobre o processo da Audição Humana (Figura 29), cujo link para acesso é: https://drive.google.com/file/d/18Ydez-bRuUxpKXDkZS2Y7uBxXpCLZxLt/view?usp=share_link, logo em seguida além de discutirmos sobre o funcionamento da orelha e seus órgãos principais, foi exposto um protótipo da Orelha Humana em tamanho real, assim como de seus ossículos.

Figura 29: Apresentação de vídeo



Fonte: Própria autora

Abordamos a temática Saúde Auditiva, logo após os alunos já terem conhecido mais sobre a anátomo-fisiologia da orelha humana, destacando o não uso de cotonetes, a exposição a ruídos fortes, a não introdução de objetos / alimentos no conduto auditivo e sobre o uso correto de fones de ouvido. Nesse momento os estudantes participaram ativamente, contando experiências, fazendo questionamentos e se colocando como multiplicadores das informações aos familiares e amigos.

A seguir, apresentamos um outro video curto intitulado: “Som alto” (2024) de 32s sobre os malefícios da exposição ao som forte por tempo prolongado, cujo link para acesso é: https://drive.google.com/file/d/1xZ47VedmSRLc_dPzk14NwjbpoxxS-719/view?usp=share_link, abordando também uso de fones de ouvido e poluição sonora. Ressaltamos a importância do uso correto de uma das propriedades do som: a intensidade, pois o título do video deveria ser: Som forte ou Som

mais intenso. Contudo, o uso popular do termo “som alto” é muito comum, indicando que o que é alto é o volume do som, e não sua intensidade.

Os estudantes ficaram surpresos com uma explicação científica dos malefícios da exposição prolongada a sons com volumes altos. Alguns comentaram que suas mães sempre disseram que fazia mal, mas achavam que elas diziam isso para que eles não ouvissem música ou usassem fones de ouvidos, mas a partir da explicação científica do vídeo e da pesquisadora/mediadora, se convenceram.

Com base em todos os conceitos trabalhados, convidamos os alunos a construir um Modelo Analógico da Orelha Humana, conforme é mostrado na Figura 28. Para tal apresentamos os materiais utilizados, as etapas para confecção e um vídeo produzido pela autora de 31s sobre a utilização do modelo (link para acesso: https://drive.google.com/file/d/1SEswD53D6wV7WvAEBkTV2J5dW-T6l2BN/view?usp=share_link).

Destaco a participação de um aluno, com má formação das mãos, que participou ativa e individualmente da confecção do Modelo Analógico da Orelha Humana, sendo que em alguns passos, terminava primeiro que os demais.

Com o auxílio dos mediadores do Centro de Ciências da UFJF, a confecção se deu de maneira tranquila e sem dificuldades, independente da série/ano dos estudantes (Figura 30). Após a confecção individual do modelo, cada aluno o testou e pode perceber a vibração da água a partir de ondas sonoras produzidas por uma caixa de som com subwoofer, conectada por bluetooth a um celular. Colocamos para o teste uma música utilizada para teste de som automotivo, disponibilizada no YouTube (link para acesso: <https://youtube.com/playlist?list=PLRhFKzaj5YTHPVZYzr8wSIMBDTzx1bY3e&si=qV1xDxpEg4AZBYdC>).

Figura 30: Confeção do ouvido analógico



Fonte: Própria autora

6.3. PÚBLICO GERAL

Como se trata de um estudo desenvolvido num Centro de Ciências, onde há exposições interativas, atividades educativas e eventos que exploram diversos campos da ciência, como Física, Química, Biologia, Astronomia e Matemática, criamos um Jogo da Memória Auditiva Ampliado com 15 sons diferentes (Figura 31).

Figura 31: Amostras dos 15 pares de potes do Jogo da Memória Auditivo Ampliado



Fonte: Própria autora

O jogo fica exposto no Laboratório de Física, durante a visita aberta ao público (Figura 32), onde os visitantes tem a oportunidade de se divertirem, de aguçar seus sentidos e colocarem em prática seus conhecimentos sobre o som. Os mediadores orientam aos visitantes sobre as regras de como jogar e como os potes ficam lacrados, em caso de dúvidas ou curiosidade, mostram as amostras do conteúdo de cada pote. Pois além de formarem os pares com os sons semelhantes, há um interesse em saber qual o conteúdo de cada pote que gera determinado som.

Figura 32: Jogo da Memória Auditiva Ampliado



Fonte: Própria autora

Além do jogo, no Laboratório de Física ficam expostos os protótipos em tamanho real da Orelha Humana e de seus ossículos, com a finalidade dos visitantes conhecerem a anatomia da Orelha Humana, aproximando os conceitos de Biofísica da Audição da realidade dos visitantes.

A visitação é acompanhada pelos mediadores que auxiliam os visitantes na interação com as exposições e jogos interativos, estimulando o interesse e a curiosidade científica da população e promovendo a acessibilidade científica.

Mesmo não sendo foco da pesquisa, tal jogo foi criado com o intuito de que todos que visitam o Centro de Ciências possam ter contato com o tema Biofísica da Audição. Não houve uma coleta de dados formal para esse jogo, mas de uma maneira empírica, podemos observar uma boa aceitação e interesse pelo jogo por parte dos visitantes infantis, adolescentes e adultos. Até mesmo, pelos mediadores e funcionários do Centro de Ciências.

7 ANÁLISE DA APLICAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL

Como critério de avaliação das oficinas, solicitamos a todos os alunos que preenchessem uma pesquisa de satisfação anônima, por meio de um questionário contendo 5 afirmações, com 5 alternativas de respostas, a partir de emojis com os seguintes significados: 😄 Gostei muito (Concordo totalmente), 😊 gostei (concordo), 🤔 mais ou menos (Neutro), 😐 não gostei (Discordo) e 😞 detestei (Discordo totalmente). Mesmo nas avaliações impressas possuem legenda, conforme a Figura 22 mostra, na hora da aplicação, reforçávamos que os emojis representavam suas opiniões, com os significados descritos anteriormente nesse parágrafo.

Tal avaliação segue as orientações da Escala Tipo Likert, por ser fácil de criar, popular, confiável de medir opiniões, percepções e comportamentos. Além de avaliar o grau de satisfação, estima a absorção do conteúdo apresentado e a motivação dos alunos (da Costa Júnior *et al.*, 2024).

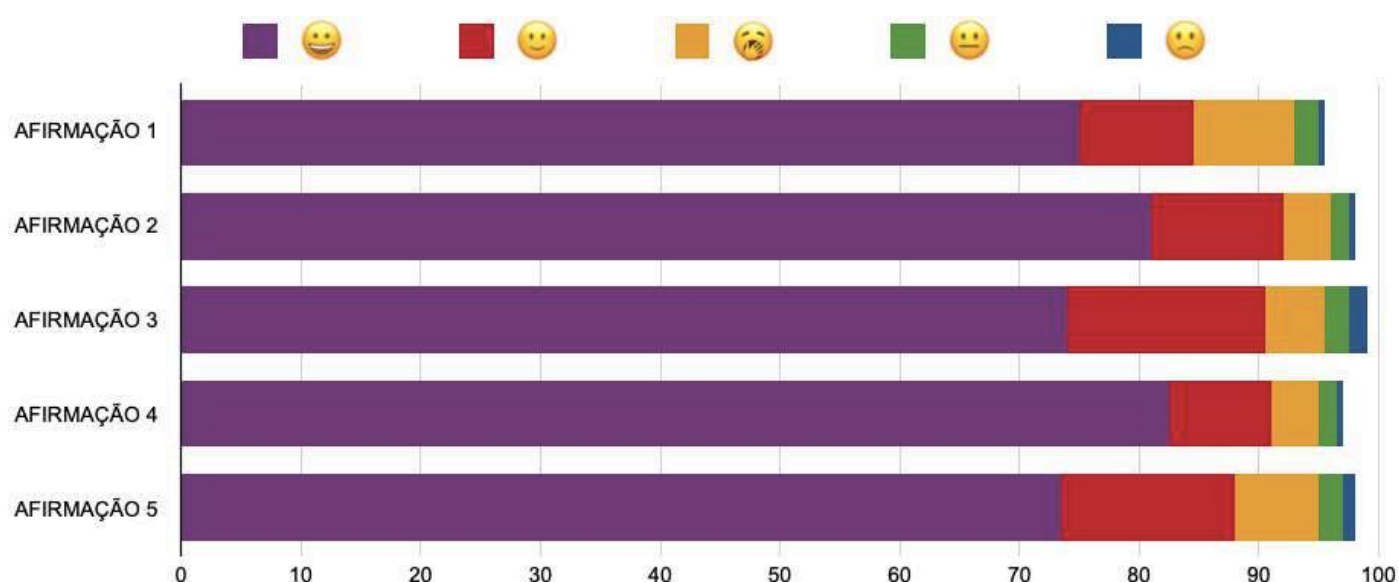
Analizamos as respostas de forma quantitativa (numérica), considerando a frequência absoluta, a frequência relativa e a distribuição das respostas. Além disso, analisamos de forma qualitativa à luz da interpretação dos resultados, do contexto da escala tipo Likert e outras formas de dados, que no nosso caso utilizamos a observação direta dos participantes. Contudo, independente da forma que os dados foram analisados, foram interpretados com base nos objetivos da pesquisa e do contexto da escala.

7.1. ENSINO FUNDAMENTAL - ANOS INICIAIS

Para os estudantes do EF1, com idades entre 6 e 10 anos, fomos lendo as perguntas em voz alta e dando um tempo para os mesmos irem marcando suas respostas. Ratificando a necessidade de serem verdadeiros, para marcarem somente uma resposta a cada pergunta e que fizessem a avaliação individualmente. Alguns alunos conseguiam fazer a avaliação até sozinhos, mas na maioria das turmas era necessário uma leitura, com eles acompanhando pergunta a pergunta.

Obtivemos um total de **219** avaliações, com os resultados apresentados a partir da Tabela 3:

Tabela 3: Resultado da avaliação do EF1



FONTE: Própria autora

Legenda:

Afirmação 1: Entendi as explicações sobre Som e Saúde Auditiva.

Afirmação 2: Cuidarei melhor da minha Saúde Auditiva.

Afirmação 3: Aprendi coisas novas sobre Som.

Afirmação 4: Achei a oficina divertida.

Afirmação 5: Irei aplicar o que aprendi na Oficina na minha vida.

Analisando quantitativamente, a tabela acima mostra a média de cada opção de resposta para cada afirmação, fornecendo-nos uma visão geral do grau de concordância e satisfação com relação a cada item. Podemos observar uma predominância de: Gostei muito (Concordo totalmente) para todas as afirmações, sinalizado pela cor roxa, com 81%. Anulamos alguns resultados pois foram marcadas duas respostas, mesmo com o nosso empenho de ler junto com os alunos e orientar a marcação de uma única resposta. O percentual médio de respostas anuladas foi de 2,5%, portanto a soma das médias não é 100%.

Na afirmação 1, tivemos 165 alunos que afirmaram que entenderam as explicações sobre som, em oposição a 1 que não entendeu. Para afirmação 2, 178 alunos afirmaram que cuidarão melhor de sua saúde auditiva, contra 1 que não. Na afirmação 3, 162 alunos afirmaram ter aprendido informações novas sobre som, contra 3 que não. Na afirmação 4, 181 alunos acharam a oficina divertida, contra 1 que não achou. Já na afirmação 5, 161 alunos afirmaram que irão aplicar o que aprenderam, contra 2 que não.

De forma geral, os resultados quantitativos apontam para um alto índice de aprovação e concordância, com variação mínima entre as questões. A maior diferença ocorre na afirmação 5, sugerindo que a disposição para aplicar o conhecimento no cotidiano, embora alta, é ligeiramente inferior ao nível de satisfação e compreensão alcançados nas demais dimensões.

Analisando de maneira qualitativa, podemos concluir que à luz das respostas encontradas, os resultados indicam elevado grau de concordância e satisfação dos participantes, pois as respostas se mantiveram em sua maioria no Concordo Totalmente / Gostei muito e Concordo / Gostei. Aliado ao fato do conteúdo ter sido trabalhado de maneira interdisciplinar e experimental, que foi um de nossos objetivos. Contudo, observações realizadas durante as oficinas, registros em diários de campos e conversas entre a pesquisadora e os mediadores após cada aplicação de oficina, indicaram elevado engajamento, manifestado pela participação ativa, pelo interesse contínuo e pelo desejo de prolongamento das atividades. A presença dos alunos ao Centro de Ciências, com a participação nas atividades propostas, enriquece a vivência escolar dos mesmos, incentivando atividades extra-muros e promovendo o direito ao acesso a cultura, que é um de nossos objetivos também.

De acordo com a Tabela 1 podemos observar que as respostas estão concentradas na cor roxa (emoji 😊), que representa a opção de maior satisfação e concordância. Isso indica que, qualitativamente, os alunos do EF1 avaliaram a oficina de forma muito positiva, em todos os

aspectos: compreensão, aprendizado, diversão e aplicação prática. Com quase unanimidade na resposta mais positiva para afirmação 1 (Entendi as explicações sobre Som e Saúde Auditiva.), nos sugere que o tema foi abordado de forma clara. Da mesma forma, a afirmação 3 (Aprendi coisas novas sobre Som.), que investiga a aquisição de novos conhecimentos sobre som, sugere que a oficina contribuiu para a ampliação do repertório conceitual dos alunos foi atingido.

A afirmação 2 (Cuidarei melhor da minha Saúde Auditiva.), relacionada ao cuidado com a saúde auditiva, mostra que a oficina também conseguiu sensibilizar e conscientizar os estudantes sobre práticas de preservação da audição, aspecto fundamental para a aplicação social do conhecimento.

Apesar de manter uma alta avaliação, a afirmação 5 (Irei aplicar o que aprendi na Oficina na minha vida.) apresenta uma presença um pouco maior de respostas intermediárias (mais ou menos / neutro), sugerindo que transformar o aprendizado em ação prática pode ser desafiador. Isso sugere que, para alguns alunos, a transposição do conteúdo aprendido para a prática diária pode depender de fatores adicionais, como hábitos pré-existentes, contexto familiar ou oportunidades concretas de aplicação.

Também muito bem avaliada, as respostas à afirmação 4 (Achei a oficina divertida.) indicam que o aspecto lúdico foi atingido, favorecendo o engajamento e a participação positiva. Mesmo com predominância positiva, há pequenas faixas de respostas neutras ou negativas (cores amarela, verde e azul). Isso pode indicar que alguns alunos não se identificaram plenamente com a oficina, por fatores pessoais, dificuldades de compreensão ou tempo da atividade.

De modo geral, os resultados qualitativos apontam que a oficina não apenas cumpriu seus objetivos: fomentar o pensamento crítico dos estudantes, contribuindo com a formação de conteúdos conceituais, experimentais e cotidianos dos alunos referentes ao processo da Biofísica da Audição Humana, mas também foi capaz de proporcionar aos estudantes uma experiência enriquecedora, motivadora e significativa para a compreensão e valorização da audição humana.

A avaliação do EF1 demonstra que a oficina “Vamos produzir sons?” atendeu plenamente às expectativas e objetivos estabelecidos da pesquisa, evidenciando clareza na comunicação, relevância dos conteúdos e alto nível de engajamento dos estudantes durante a oficina. Ainda que pequenas variações nas respostas apontem para desafios na aplicação prática dos conhecimentos no

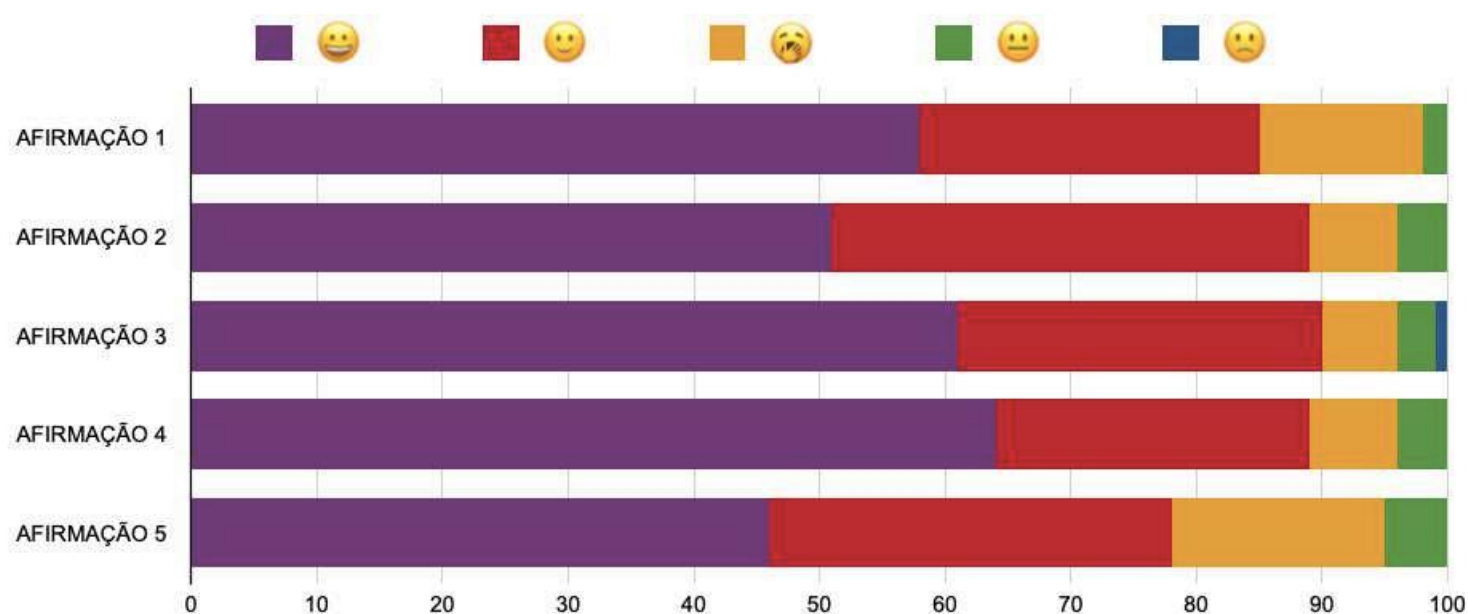
cotidiano, o conjunto dos dados reforça a eficácia da proposta e indica potencial para ampliação e replicação em outros contextos educacionais.

7.2. ENSINO FUNDAMENTAL - ANOS FINAIS E ENSINO MÉDIO

Para os alunos do EF2 e Ensino Médio, com idade entre 11 e 17 anos, utilizamos o mesmo instrumento de avaliação, sendo orientados no início do preenchimento, conforme as mesmas orientações do EF1, sendo que todos preencheram sozinhos, sem dificuldades e bem rápido.

Obtivemos um total de **108** avaliações, com os resultados apresentados a partir da Tabela 4:

Tabela 4: Resultado da avaliação do EF2 e Ensino Médio



FONTE: Própria autora

Legenda:

Afirmação 1: Entendi as explicações sobre Som e Saúde Auditiva.

Afirmação 2: Cuidarei melhor da minha Saúde Auditiva.

Afirmação 3: Aprendi coisas novas sobre Som.

Afirmação 4: Achei a oficina divertida.

Afirmação 5: Irei aplicar o que aprendi na Oficina na minha vida.

A tabela acima mostra a média de cada opção de resposta para cada pergunta, fornecendo-nos uma visão geral do grau de concordância e satisfação com relação a cada item. Podemos observar uma predominância de: Gostei muito (Concordo totalmente) para todas as perguntas, sinalizado pela cor roxa, com 64%. Não foi anulado nenhuma resposta.

Na afirmação 1, tivemos 63 alunos que afirmaram que entenderam as explicações sobre som, em oposição a ninguém que não entendeu. Para afirmação 2, 55 alunos afirmaram que cuidarão melhor de sua saúde auditiva. Na afirmação 3, 61 alunos afirmaram ter aprendido informações novas sobre som contra 1 que não. Na afirmação 4, 69 alunos acharam a oficina divertida contra 1 que não achou. Já na afirmação 5, 50 alunos afirmaram que irão aplicar o que aprenderam na oficina.

As três primeiras afirmações mantêm proporções muito próximas, com forte predominância positiva e pouca variação. Já nas afirmações 4 e 5 apresentam menor índice de avaliação máxima e maior dispersão para categorias intermediárias, especialmente na intenção de aplicar o conteúdo no cotidiano (Afirmação 5).

A avaliação realizada com estudantes do EF2 e do Ensino Médio revela uma percepção positiva sobre a oficina de Biofísica da Audição, mas com maior distribuição das respostas entre as categorias intermediárias em comparação ao grupo do EF1. Em todas as questões, a opção de maior satisfação/concordância (😊) se mantém predominante, porém com menor intensidade, variando aproximadamente entre 45 e 60% das respostas.

Na afirmação 1 (Entendi as explicações sobre Som e Saúde Auditiva.) e na afirmação 3 (Aprendi coisas novas sobre Som.), as altas proporções de respostas positivas indicam que os objetivos relacionados à clareza e ao aprendizado conceitual foram alcançados. Entretanto, a presença de respostas intermediárias (mais ou menos / neutro) e, em menor escala, negativas, sugere que parte dos alunos percebeu lacunas ou dificuldades na compreensão, o que pode estar relacionado ao nível de aprofundamento exigido por alunos mais velhos, que tendem a avaliar com maior criticidade.

A afirmação 2 (Cuidarei melhor da minha Saúde Auditiva.) confirma que a oficina também foi eficaz na conscientização, mas a menor concentração na avaliação máxima indica que, embora a maioria reconheça a importância do tema, nem todos se sentem plenamente motivados a mudar comportamentos.

A afirmação 4 (Achei a oficina divertida.) apresenta queda mais significativa na avaliação máxima, sugerindo que os elementos lúdicos e interativos, que tiveram grande impacto no EF1, podem ter sido percebidos como menos atrativos para o público mais velho. Isso reforça a necessidade de ajustarmos estratégias metodológicas para esse perfil etário, valorizando desafios cognitivos e discussões aprofundadas.

Por fim, a afirmação 5 (Irei aplicar o que aprendi na Oficina na minha vida.) evidencia uma postura mais cautelosa: embora a intenção de aplicar o conteúdo ainda seja majoritária, há um aumento notável nas respostas intermediárias. Essa postura pode refletir uma visão mais realista sobre a viabilidade de incorporar novos hábitos no dia a dia, característica de adolescentes e jovens.

7.3. COMPARANDO OS DADOS: EF1 X EF2/EM

Comparando com os dados encontrados do EF1 com o EF2/EM, percebemos que os dados do EF1 apresentam proporções mais concentradas na avaliação máxima (acima de 70%), enquanto no EF2/EM há maior distribuição para as respostas intermediárias. Isso sugere que alunos mais velhos tendem a ser mais críticos ou cautelosos ao avaliar, especialmente no que diz respeito à aplicação prática do conhecimento. O público adolescente pode ser mais exigente na percepção de engajamento lúdico e mais realista sobre transformar conhecimento em ação.

Os resultados revelam que a abordagem por oficinas, ancorada nos 3MP e no enfoque CTS, promoveu um alto nível de engajamento dos estudantes, especialmente por tratar de um tema que faz parte do cotidiano deles e que envolve aspectos corporais, sociais e tecnológicos. Durante a etapa de prática social inicial, os alunos demonstraram grande interesse ao relatar experiências pessoais com ruídos, fones de ouvido e problemas auditivos em familiares e pessoais, o que favoreceu o envolvimento nas etapas seguintes.

Na problematização, os debates sobre o que é som, suas características e classificações dos tipos de onda, os limites do ouvido humano, os riscos do volume excessivo e as desigualdades no acesso a tecnologias auditivas estimularam a participação ativa e reflexões críticas. Na fase de instrumentalização, as atividades experimentais e os recursos visuais e sonoros facilitaram a compreensão de conceitos como frequência, intensidade sonora, timbre e funcionamento da orelha

interna. Na prática social final espera-se que os alunos possam ser capazes de ressignificar suas compreensões iniciais, expressando preocupações com a saúde auditiva e reconhecendo o papel social da ciência e da tecnologia.

As análises indicaram ainda que a estrutura dos 3MP contribuiu para uma progressão conceitual organizada, enquanto o enfoque CTS ampliou as possibilidades de contextualização e debate ético e social. Esses elementos, em conjunto, mostraram-se eficazes para promover uma aprendizagem mais significativa da Física, em especial no que diz respeito à sua interface com a Biologia e com questões sociais contemporâneas.

Do ponto de vista metodológico, a realização de oficinas apresenta desafios relacionados à avaliação da aprendizagem. A natureza prática e experiencial das atividades pode dificultar a aplicação de instrumentos avaliativos objetivos e padronizados, exigindo o uso de estratégias qualitativas, como observações. Por isso, nos chamou muito a atenção a reação de alguns alunos, seus olhares brilhantes, vários questionamentos, contação de casos pessoais, a vontade de participar das atividades, aliada a ajuda entre eles mesmo, não partindo de nós.

Espera-se que a experiência contribua para o enriquecimento do repertório científico-cultural dos estudantes, especialmente no que se refere à compreensão do processo biofísico da audição humana. Almejamos perceber um aumento da motivação dos alunos em aprender durante a utilização de protótipos e das atividades extra-muros escolares, além de demonstrarem, a partir das respostas do questionário, que se divertiram, sentiram mais motivação, que aplicarão o que aprenderam e que não perceberam que estão aprendendo enquanto visitam o Centro de Ciências.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A anátomo-fisiologia da orelha humana constitui base fundamental para a compreensão da Biofísica da Audição, uma vez que fornece a estrutura e os mecanismos responsáveis pelos processos físicos que possibilitam a percepção sonora. Ao articular esses fundamentos científicos às suas implicações tecnológicas e sociais, como a poluição sonora, o uso de fones de ouvido e as tecnologias assistivas para correção de déficits auditivos, a temática evidencia seu potencial formativo sob a perspectiva do Enfoque CTS, aproximando o conhecimento científico das vivências cotidianas dos estudantes.

Nesse sentido, ao considerar a Biofísica da Audição como um campo integrador entre Ciência, Tecnologia e Sociedade, torna-se imprescindível que sua abordagem pedagógica esteja ancorada em estratégias que favoreçam a problematização, o pensamento crítico e a construção ativa do conhecimento. A metodologia dos Três Momentos Pedagógicos configurou-se, portanto, como elemento estruturante do produto educacional desenvolvido, ao possibilitar a contextualização inicial do conteúdo, a organização conceitual e a aplicação dos conhecimentos em situações socialmente relevantes.

A implementação das oficinas pedagógicas no Centro de Ciências da UFJF evidenciou impacto positivo no engajamento e na aprendizagem dos participantes. Observou-se motivação, participação ativa nas discussões e envolvimento nas atividades experimentais, indicando que a proposta favoreceu a compreensão conceitual de forma significativa e contextualizada. A análise dos instrumentos avaliativos demonstrou elevado índice de aceitação entre estudantes de diferentes etapas de ensino, os quais reconheceram a relevância do cuidado com a saúde auditiva e demonstraram disposição para aplicar os conhecimentos construídos em seu cotidiano.

Além disso, o produto educacional apresenta viabilidade de replicação, uma vez que utiliza materiais de baixo custo e de fácil acesso, permitindo sua adaptação às diversas realidades da Educação Básica, mediante adequação da linguagem e do aprofundamento conceitual. Essa característica reforça sua pertinência no âmbito do Mestrado Profissional, ao oferecer uma proposta aplicável, contextualizada e potencialmente transformadora da prática docente.

Reconhece-se, contudo, algumas limitações da pesquisa. O número de participantes e o contexto específico de aplicação (um espaço não formal de ensino), podem restringir a generalização dos resultados. Ademais, a avaliação concentrou-se predominantemente em

percepções e indicadores de engajamento, não contemplando, de forma longitudinal, a consolidação dos conhecimentos construídos ao longo do tempo. Tais aspectos indicam a necessidade de investigações futuras que ampliem o escopo da análise e explorem outros contextos educacionais.

Como desdobramentos possíveis, sugerem-se estudos que aprofundem a abordagem dos processos biofísicos envolvidos na transdução mecanoelétrica na cóclea, ampliando a discussão sobre a transformação da energia mecânica das ondas sonoras em impulsos elétricos interpretados pelo sistema nervoso. Também se apresenta como perspectiva promissora a aplicação da proposta em outros públicos, como estudantes da Educação de Jovens e Adultos, possibilitando a análise de sua efetividade em diferentes perfis formativos.

Por fim, entende-se que o ensino da Física, frequentemente percebido como abstrato e distante da realidade, pode tornar-se mais significativo quando contextualizado e articulado às dimensões sociais e tecnológicas do conhecimento científico. A proposta desenvolvida reafirma que a Biofísica da Audição constitui um campo fértil para essa integração, contribuindo para a formação de sujeitos mais críticos, conscientes e capazes de relacionar ciência e vida cotidiana.

REFERÊNCIAS

ALVARENGA, B.; MÁXIMO, A. **Curso de Física** - Volume 2. São Paulo, Ed. Scipione, 2000.

AMALDI, U. **Imagens da Física** – As idéias e as Experiências do Pêndulo aos Quarks. Curso Completo / Volume Único. 1ª Edição. Scipione, São Paulo, 1997.

AREIAS, B. A. F. **Simulação biomecânica do ouvido humano, incluindo patologias do ouvido médio**. Dissertação do MIEM (Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica) - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Jun de 2014. Disponível em: <[https://www.academia.edu/30945021/Simulação_biomecânica_do_ouvido_humano_incluindo_patologias_do_ouvido_médio](https://www.academia.edu/30945021/Simula%C3%A7%C3%A3o_biomec%C3%A2nica_do_ouvido_humano_incluindo_patologias_do_ouvido_m%C3%A9dio)>. Acesso em: 10/05/2025.

ASSALI, L. V.C. **Física II**. IFUSP. 1º Semestre / 2019. Disponível em: <https://portal.if.usp.br/scam/sites/portal.if.usp.br.scam/files/Aula18_TG_Lucy_Assali_2023.pdf>. Acesso em: 10/05/2025.

ASSIS, A.K.T.A. e MAGNAGHI, C.P. **O método ilustrado de Arquimedes**. Instituto de Física-UNICAMP. Campinas, 2014.

AULER, D.; DELIZOICOV, D. **Investigação de temas CTS no contexto do pensamento latino-americano**. Universidade Federal de Santa Catarina. Linhas Críticas, Brasília, DF, v.21, n.45, p. 275-296, mai./ago. 2015. Disponível em: <<https://periodicos.unb.br/index.php/linhascriticas/article/view/4525/4133>>. Acesso em: 10/06/2024.

BEAR, M.F.; CONNORS, B.W.; PARADISO, M.A. **Neurociências** - Desvendando o Sistema Nervoso - Artmed, São Paulo, 2017. Disponível em: <<https://www.passeidireto.com/arquivo/65416479/bear-cap-11-fono>>. Acesso em: 10/05/2025.

BEVILACQUA, M.C. *et al.* **Tratado de Audiologia**. São Paulo: Santos, 2022. Disponível em: <<https://repositorio.usp.br/item/002690416>>. Acesso em: 10/05/2025.

BORGES, R.M.R., IMHOFF, A.L. e BARCELLOS, G.B.. **Educação e cultura científica e tecnológica : centros e museus de ciências no Brasil**. Porto Alegre : EDIPUCRS, 2015. 361 p. Disponível em: <<http://www.pucrs.br/edipucrs/>>. Acesso em: 01/04/2024.

BORGES, A.N.; RODRIGUES, C.G. **Introdução a Física Acústica**. PUC Goiás. 2016. Disponível <<https://professor.pucgoias.edu.br/SiteDocente/admin/arquivosUpload/6284/material/Acustica-Teoria.pdf>>. Acesso em 25/02/2024.

BRASIL. **Portaria 3214/78** na Norma Regulamentadora nº 15 do Ministério do Trabalho, 1978. Disponível em: <<https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/pt-br/aceso-a-informacao/participacao-social/conselhos-e-orgaos-colegiados/comissao-tripartite-partitaria-permanente/normas-regulamentadora/normas-regulamentadoras-vigentes/norma-regulamentadora-no-15-nr-15>>. Acesso em: 09/01/2025.

BRASIL. **Resolução n. 2, de 7 abril de 1998**. Institui as Diretrizes Curriculares Nacionais para o Ensino Fundamental. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 1998. Disponível em: <https://portal.mec.gov.br/dmdocuments/resolucao_ceb_0298.pdf>. Acesso em: 09/02/2025.

BRASIL. **Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional**. Lei n. 9.394, de 20 de dezembro de 1996. Brasília, Brasil. Disponível em: <https://portal.mec.gov.br/seesp/arquivos/pdf/lei9394_ldbn1.pdf>. Acesso em: 09/01/2025.

BRASIL. Ministério de Educação, Secretaria de Educação Média e Tecnológica. **Parâmetros Curriculares Nacionais: Ensino Médio**. Brasília: MEC, 1999. Disponível em: <<http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/livro01.pdf>>. Acesso em 20/04/2024.

BRASIL. **Linguagens, códigos e suas tecnologias**. Secretaria de Educação Básica. Brasília : Ministério da Educação, Secretaria de Educação Básica, 2006. 239 p. (Orientações curriculares para o ensino médio ; volume 1). Disponível em: <https://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/book_volume_01_internet.pdf>. Acesso em: 21/04/2025.

BRASIL. **Lei nº 11.904 de janeiro de 2009. Institui o Estatuto de Museus e dá outras providências**. Brasília, DF, 14 jan. 2009. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2009/Lei/L11904.htm>. Acesso em: 20 mar. 2024.

BRASIL. Ministério da Educação. **Base Nacional Comum Curricular**. Brasília: MEC, 2018. Disponível em: <<http://basenacionalcomum.mec.gov.br/>>. Acesso em: 24/10/2024.

CALÇADA, C. S.; SAMPAIO, J. L. **Física Clássica**. Termologia, Óptica e Ondas. Volume 2. 1ª ed. São Paulo: Atual, 2012.

CARLAN, C.U. **Os museus e o patrimônio histórico: uma relação complexa**. V.27, n.2, 2008. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/his/a/ZMYTZstWXQmcpBJdz6fxtBQ/?format=pdf&lang=pt>>. Acesso em: 24/10/2024

CARVALHO, A. M. P. *et al.* **Ensino de Ciências: Unindo a Pesquisa e a Prática**. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2004.

CHAIX, A.L.B.; CUNHA, N.T. **O som**. 2016. (n.p.) Disponível em: <<http://www.cochlea.eu/po/som>>. Acesso em: 27/02/2025.

COSTA, M. F. G. **Estudo biomecânico do ouvido médio**. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Janeiro: 2008. Disponível em: <[https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/12401/2/Texto integral.pdf](https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/12401/2/Texto%20integral.pdf)>. Acesso em: 27/02/2025.

DA COSTA JÚNIOR, J. F.; CABRAL, E. L. dos S.; DE SOUZA, R. C.; BEZERRA, D. de M. C.; E SILVA, P. T. de F. **Um estudo sobre o uso da escala de Likert na coleta de dados qualitativos e sua correlação com as ferramentas estatísticas**. CONTRIBUCIONES A LAS CIENCIAS SOCIALES, [S. l.], v. 17, n. 1, p. 360–376, 2024. DOI: 10.55905/revconv.17n.1-021. Disponível em: <https://ojs.revistacontribuciones.com/ojs/index.php/clcs/article/view/4009>. Acesso em: 1 mar. 2026.

DELIZOICOV, D.; ANGOTTI, J. A.; PERNANBUCO, M. M. **Ensino de Ciências: fundamentos e métodos**. São Paulo: Cortez, 2002.

DURAN, J.E.R. **Biofísica** – fundamentos e aplicações. São Paulo: Prentice Hall, 2003.

ERROBIDART, H. A. *et al.* **Ouvido mecânico**: um dispositivo experimental para o estudo da propagação e transmissão de uma onda sonora. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 36, n. 1, 1507, ano: 2014. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rbef/a/Gstn6D57S7FChW4cGnY4YMz/?lang=pt>>. Acesso em: 25/02/25.

FALCÃO, L.C.L. **Amplitude e frequência**: o que é uma onda sonora?, 2021. Disponível em: <<https://www.concepcaoacustica.com/post/amplitude-e-frequencia-o-que-e-uma-onda-sonora>>. Acesso em: 29/02/2024.

FERRARI, M. **Paulo Freire, o mentor da Educação para a consciência**. Nova Escola, 2008. Disponível em: <<https://novaescola.org.br/conteudo/460/mentor-educacao-consciencia>>. Acesso em: 29/02/2024.

FLECK, L. **Gênese e Desenvolvimento de um Fato Científico**. Tradução de Georg Otte e Mariana Camilo de Oliveira. 1. ed. Belo Horizonte: Fabre factum, 2010, 224p.

GUYTON, A.C.; HALL, J.E. **Tratado de Fisiologia Médica**. Editora Elsevier. 13a ed., 2017.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de Física**. Volume 2: Gravitação, Ondas e Termodinâmica. 9ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2015.

HAMITER, M. **Considerações gerais sobre o ouvido interno**. New York Presbyterian Columbia, 2023. Disponível em: <<https://www.msmanuals.com/pt/casa/disturbios-do-ouvido-nariz-e-garganta/disturbios-do-ouvido-interno/consideracoes-gerais-sobre-o-ouvido-interno>>. Acesso em: 09/06/2024.

HEWITT, P.G. **Física Conceitual**. 12ª Edição. Porto Alegre, Bookman, 2015.

KRUPCZAK, C., AIRES, J.A. e SILVEIRA, C. **As definições de museu e a relação com a educação museal em dissertações e teses brasileiras**. *Revista Exitus*, Santarém/PA, Vol. 11, p. 01 - 23, e020132, 2021. Disponível em: <<https://portaldeperiodicos.ufopa.edu.br/index.php/revistaexitus/article/view/1536>>. Acesso em 01/04/24.

LAZZARINI, V.E.P. **Elementos de Acústica**. *Music Department National University of Ireland, Maynooth*, Jul. 1998. Disponível em: <https://hugoribeiro.com.br/biblioteca-digital/Lazzarini-Elementos_Acustica.pdf>. Acesso em: 07/03/2024.

MARANDINO, M.(org). **Educação em museus: a mediação em foco**. Geenf · Grupo de Estudo e Pesquisa em Educação Não-formal e Divulgação em Ciência. Universidade de São Paulo. 2008. Disponível: <<http://www.geenf.fe.usp.br/v2/wp-content/uploads/2012/10/MediacaoemFoco.pdf>>. Acesso em 01/04/24.

MARANDINO, M. **Estudando a dimensão epistemológica da Pedagogia Museal**. Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo/Brasil. IX CONGRESO INTERNACIONAL SOBRE INVESTIGACIÓN EN DIDÁCTICA DE LAS CIENCIAS. Girona, 9-12 de septiembre de 2013. Disponível em: <<https://core.ac.uk/download/pdf/132090324.pdf>>. Acesso em: 07/03/2024.

MINAYO, M. C. S. **Análise qualitativa**: teoria, passos e fidedignidade. Ciênc. saúde coletiva, Rio

de Janeiro , v. 17, n. 3, p. 621-626, mar. 2012. Disponível em: <<https://www.scielo.org/pdf/csc/2012.v17n3/621-626/pt>>. Acesso em: 16 abr. 2025.

MIQUELIN, A. F.; FERRASA, I. A. C. **Os “Três Momentos Pedagógicos” e as “Oito fases de Ensino”**: um estudo sobre o planejamento no Ensino de Ciências. XIII Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências – XIII ENPEC ENPEC EM REDES – 27 de setembro a 01 de outubro 2021. Disponível em: <https://www.editorarealize.com.br/editora/anais/enpec/2021/TRABALHO_COMPLETO_EV155_MD1_SA110_ID206_23062021154333.pdf>. Acesso em: 07/03/2024.

MORAN, J. M. **O vídeo na sala de aula**. São Paulo: ECA-Ed. Moderna, Artigo publicado na revista Comunicação & Educação. São Paulo, ECA-Ed. Moderna, [2]: 27 a 35, jan./abr. de 1995. Disponível em: <<https://moran.eca.usp.br/wp-content/uploads/2014/03/vidsal.pdf>>. Acesso em: 13 mai. 2025.

MUENCHEN, C.; DELIZOICOV, D. Os três momentos pedagógicos e o contexto de produção do livro “Física”. Ciênc. Educ., Bauru, v. 20, n. 3, p. 617-638, 2014. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/ciedu/a/y3QT786pHBdGzxcRtHTb9c/?format=pdf&lang=pt>>. Acesso em: 01/03/2024.

NUSSENZVEIG, H. M. **Curso de Física Básica - Fluidos, Oscilações e Ondas, e Calor**. Vol. 2. 5ª edição. Editora Edgard Blucher Ltda., São Paulo, 2014.

OLIVEIRA, L. M.; VELT, E. A.; SCHNEIDER, C. **Frequência: Altos e baixos**. CREF - Instituto de Física - UFRGS, Março de 2002. Disponível em: <<https://www.if.ufrgs.br/cref/ntef/som/freq.html>>. Acesso em: 27/02/2024.

PENHA, P. X.; MACIEL, M. D.; COSTA, C. L. S. P. **Contribuições do enfoque CTS e a necessidade de mudanças no processo de formação do professor de ciências**. VII SITRE – Simpósio Internacional Trabalho, Relações de Trabalho, Educação e Identidade, realizado no período de 28 a 30 de maio de 2018 na FAE- UFMG no campus da Pampulha. Disponível em: <<https://www.ifmg.edu.br/sic/edicoes-antiores/resumos-2018/contribuicoes-do-enfoque-cts-e-a-necessidade-de-mudancas-no-processo-de-formacao-do-professor-de-ciencias.pdf>>. Acesso em: 28/02/2024.

PIETROCOLA, M. et al. **Física em Contextos: Pessoal, social e histórico**. Energia, calor, imagem e som: vol. 2. 1ª ed. São Paulo: FTD, 2010.

PRETO, C. R. **O estudo e viabilidade dos Três Momentos Pedagógicos na implementação de oficinas em aulas de Química do Ensino Médio**. UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS - Centro de Ciências Químicas Farmacêuticas e de Alimentos - Curso de Licenciatura em Química. Pelotas, 2016. Disponível em: <<https://wp.ufpel.edu.br/licenciaturaquimica/files/2018/04/O-estudo-e-viabilidade-dos-Três-Momentos-Pedagógicos-na-implementação-de-oficinas-em-aulas-de-Química-do-Ensino-Médio-Carolina-Preto.pdf>>. Acesso em: 28/02/2024.

RUI, L.R.; STEFFANI, M.H. **A Física na Audição Humana**. Porto Alegre: UFRGS, Instituto de Física, Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, 2007.

SANTOS, L.M.M.; TEOTONIO, D.P.; PEREIRA, J.G. **A Matemática e a audição humana**.

Revista Foco - Curitiba (PR), 2023 - v.16 - n.2 - e1196 - p.01-10. Disponível em: < <https://ojs.focopublicacoes.com.br/foco/article/view/1196>>. Acesso em: 23/02/2024.

SARDELICH, M. E. **Desafios contemporâneos para a educação museal**. INTERFACES DA EDUCAÇÃO, 2017, 182–207. Disponível em: <<https://doi.org/10.26514/inter.v8i23.1956>>. Acesso em: 23/02/2024.

SCHWANTES, L.; SILVA, P. F. K. **O enfoque CTS no campo educacional: As concepções de futuros professores de Ciências**. Cadernos da Pedagogia. São Carlos, Ano 12 v. 12 n. 23 jul/dez 2018. Disponível em: < <https://www.cadernosdapedagogia.ufscar.br/index.php/cp/article/view/1178/419>>. Acesso em: 23/02/2024.

SEARS, F.; YOUNG, H. D.; ZEMANSKY, M. W.; FREEDMAN, R. A. **Física II**. Vol. 2: Termodinâmica e Ondas. 14. ed. São Paulo: Pearson, 2015.

SILVA, E. M. **Biofísica**, 3 ed. Fortaleza: EdUECE, 2015. Disponível em: <https://educapes.capes.gov.br/bitstream/capes/176664/2/Livro_Ciencias_Biologicas_Biofisica.PDF>. Acesso em: 23/02/2024.

SILVA, M.A. **Audição**. Info escola. s.d., n.p. Disponível em: <<https://www.infoescola.com/anatomia-humana/audicao/>>. Acesso em: 04/03/2024.

SILVA, P.F.K.; SCHWANTES, L. **O enfoque CTS no campo educacional: As concepções de futuros professores de Ciências**. Cadernos da Pedagogia. São Carlos, Ano 12 v. 12 n. 23 jul/dez 2018. Disponível em: < <https://www.google.com.br/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjejeYHktuEAXUtqZUCHf6gAVEQFnoECBEQAw&url=https://www.cadernosdapedagogia.ufscar.br/index.php/cp/article/download/1178/419#:~:text=Um%20ensino%20com%20o%20enfoque,pol%C3%ADtica%2C%20econ%C3%B4mica%2C%20entre%20outras.&usg=AOvVaw09B5PgMgJyCpi6VvQ1GdsU&opi=89978449>>. Acesso em: 04/03/2024.

SILVA, S. M. S. da et al. **A importância das oficinas pedagógicas na educação infantil**. *Revista Contemporânea*, 2025, e8637. Disponível em: <<https://doi.org/10.56083/RCV5N7-082>>. Acesso em: 04/03/2024

SILVERTHORN, D.U. **Fisiologia humana: Uma abordagem integrada**. Porto Alegre: Artmed, 2010. 992p.

SMILE AND LEARN. **O funcionamento do ouvido - Como funciona o ouvido? - A viagem do som**. Youtube, 06/02/2020. Disponível em: < <https://www.youtube.com/watch?v=TfC2AKRuh1Q&t=26s>> Acessado em: 29/08/2023.

SOUZA, I. L. L. et al. **O Papel da Biofísica no processamento da audição humana**. Anais do EICEA 2019 - XI Encontro de Iniciação Científica da Estácio Amazônia. Anais. Boa Vista(RR) Estácio da Amazônia, 2019. Disponível em: <<https://www.even3.com.br/anais/xieicea/217806-O-PAPEL-DA-BIOFISICA-NO-PROCESSAMENTO-DA-AUDICAO-HUMANA>>. Acesso em: 23/02/2024.

STANFIELD, C. L. **Fisiologia Humana**. 5ª. ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2013.

URBINATI, E.C. **Biofísica da Audição**. FCAV/UNESP, 2022, n.p.. Disponível em: < <https://www.fcav.unesp.br/Home/departamentos/morfologia/ELISABETHCRISCUOLOOURBINATI/materialdidatico/aula-6-audicao-bio-2022.pdf> >. Acesso em: 25/02/2024.

VILLAS BÔAS, N.; DOCA, R.H.; BISCUOLA, G.J. **Física 2**. Termologia - Ondulatória Óptica. 2ª Edição. São Paulo: Saraiva, 2013.

WISNIK, J. M. **O som e o sentido** - Uma outra história das músicas. 2ª edição. São Paulo: Companhia das Letras, 1989. Disponível em: < https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/269/o/WISNIK_-_O_Som_e_o_Sentido.pdf >. Acesso em: 25/11/2024.

ZACK D. FILMS. **Como a audição funciona**. Youtube, 21 fev. 2024. Disponível em: <<https://www.youtube.com/shorts/H3ZxZvo2cQ4> >. Acesso em: 25/04/2024.

ZACK D. FILMS. **Som Alto**. Youtube, 22 set. 2024. Disponível em: <https://youtube.com/shorts/H3ZxZvo2cQ4?si=6iwF_Z1WQYhCu2oA >. Acesso em: 25/07/2024.

ZAMAI, I.A. **Acústica no Ensino Médio**: Uma reflexão sobre a saúde auditiva. OS DESAFIOS DA ESCOLA PÚBLICA PARANAENSE NA PERSPECTIVA DO PROFESSOR PDE - Produções Didático-Pedagógicas, Universidade Federal de Maringá - PA, SEED (Secretaria de Estado da Educação), Volume II, 2013. Disponível em: < http://www.diaadiaeducacao.pr.gov.br/portals/cadernospde/pdebusca/producoes_pde/2013/2013_unicentro_port_pdp_serli_rech_moleta.pdf >. Acesso em: 23/02/2024.

APÊNDICE

PRODUTO EDUCACIONAL

José Luiz Matheus Valle
Lílian de Castro Corrêa Lima

PRODUTO EDUCACIONAL

OFICINAS PEDAGÓGICAS SOBRE BIOFÍSICA DA AUDIÇÃO:
UMA PROPOSTA INTERDISCIPLINAR PARA A EDUCAÇÃO BÁSICA

Juiz de Fora
2026

Lílian de Castro Corrêa Lima

OFICINAS PEDAGÓGICAS SOBRE BIOFÍSICA DA AUDIÇÃO:
Uma proposta interdisciplinar para a Educação Básica

Este produto educacional é parte integrante da dissertação: BIOFÍSICA DA AUDIÇÃO: UMA PROPOSTA INTERDISCIPLINAR PARA O ESTUDO DE ACÚSTICA NA EDUCAÇÃO BÁSICA, desenvolvida no âmbito do Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, polo 24 – UFJF / IF Sudeste-MG, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador: Dr. José Luiz Matheus Valle

Prefácio

O presente trabalho reúne e detalha o produto educacional, desenvolvido no âmbito da dissertação de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, um conjunto de oficinas interativas sobre a temática “Biofísica da Audição: Uma proposta interdisciplinar para o estudo de Acústica na Educação Básica”, aplicadas no Centro de Ciências da Universidade Federal de Juiz de Fora - MG, para alunos do Ensino Fundamental Anos Iniciais e Anos Finais e Ensino Médio, além de visitantes por demanda espontânea.

O material aqui apresentado foi elaborado com base em referenciais teóricos e metodológicos, contemplando a Pedagogia Museal, o enfoque CTS (Ciência-Tecnologia-Sociedade) e a Metodologia dos Três Momentos Pedagógicos. A partir desses fundamentos, as atividades foram planejadas para integrar conteúdos de Física e Biologia de maneira contextualizada, interdisciplinar e acessível, privilegiando a experimentação, a ludicidade e o protagonismo do estudante.

O texto a seguir contém descrições completas das oficinas, objetivos de aprendizagem, fundamentação teórica, lista de materiais, roteiros detalhados de execução, orientações para mediadores, estratégias de avaliação e sugestões para adaptação a diferentes realidades escolares e não escolares. Sua estrutura visa possibilitar que professores e mediadores de ciência possam replicar, adaptar e ampliar as propostas, fortalecendo a conexão entre a pesquisa acadêmica e a prática pedagógica.

Este produto educacional reafirma o compromisso do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física com a produção de materiais que articulem teoria e prática, aproximando o conhecimento científico da comunidade escolar e da sociedade em geral.

Sumário

1. Fundamentação Teórica	5
2. Apresentação do Produto	6
3. Roteiros das Oficinas	8
Oficina 1: Vamos produzir sons?	8
Oficina 2: Biofísica da Audição	10
4. Roteiros de Construção de Materiais	12
4.1. Jogo da Memória Auditiva (exposição)	12
4.2. Chocalhos	14
4.3. Modelo Analógico do Ouvido Humano	16
4.4. Protótipo em Tamanho Real da Orelha e Ossículos	18
4.5. Jogo da Memória Auditiva (Oficina para EF1)	20
5. Apresentações utilizadas nas oficinas	23
6. Vídeos utilizados nas oficinas	24
7. Material para os mediadores	25
8. Sugestões e adaptações	26
9. Referências	27
10. Anexo	29

1. Fundamentação Teórica

O ensino de Física, especialmente em conteúdos como Acústica e Ondulatória, enfrenta o desafio de ser percebido pelos estudantes como abstrato e distante do cotidiano. Abordagens tradicionais, centradas em fórmulas e definições, muitas vezes não despertam interesse ou engajamento dos estudantes.

A proposta aqui apresentada parte de três pilares principais:

- Pedagogia Museal: valoriza o uso de espaços não formais, como centros e museus de ciência, para aproximar o estudante do conhecimento científico de forma lúdica e interativa (Marandino, 2013).
- Enfoque CTS (Ciência–Tecnologia–Sociedade): relaciona o conteúdo científico a contextos sociais e tecnológicos, estimulando a reflexão crítica sobre o uso da ciência e suas implicações (Schwantes; Silva, 2018).
- Metodologia dos Três Momentos Pedagógicos (3MP): estrutura o ensino em três etapas: Problematização Inicial, Organização do Conhecimento e Aplicação do Conhecimento, favorecendo a participação ativa e a construção significativa do saber (Delizoicov; Angotti; Pernambuco; 2002).

A temática Biofísica da Audição foi escolhida por permitir a integração de conceitos de Física e Biologia, conectando-os a situações do dia a dia, como a percepção de sons, a saúde auditiva e o uso de tecnologias como fones de ouvido e aparelhos auditivos.

2. Apresentação do Produto

O Produto Educacional foi desenvolvido como parte integrante da dissertação: **BIOFÍSICA DA AUDIÇÃO: UMA PROPOSTA INTERDISCIPLINAR PARA O ESTUDO DE ACÚSTICA NA EDUCAÇÃO BÁSICA**, onde elaboramos e aplicamos Oficinas Pedagógicas no Centro de Ciências da UFJF para alunos do Ensino Básico.

Objetivo Geral: Promover a aprendizagem de conceitos de Acústica e Ondulatória a partir da temática Biofísica da Audição, por meio de oficinas práticas e interativas.

Objetivos Específicos:

- Relacionar conceitos físicos ao funcionamento do sistema auditivo humano.
- Desenvolver habilidades de observação, experimentação e análise crítica.
- Integrar conteúdos de Física e Biologia em atividades interdisciplinares.
- Estimular a curiosidade científica e o interesse pelo estudo de Ciências.

Público-alvo: Alunos do Ensino Fundamental I (6 a 10 anos), Ensino Fundamental II e Ensino Médio (11 a 17 anos), e visitantes do Centro de Ciências.

Duração: Cada oficina para os alunos tem duração média de 40 minutos. Já para os visitantes, o Jogo da Memória Auditivo Ampliado fica exposto no Laboratório de Física.

Organização: As oficinas pedagógicas podem ser aplicadas em visitas agendadas ao Centro de Ciências, em salas de aula ou em feiras de ciências. No caso do Centro de Ciências da UFJF, o agendamento das escolas participantes se deu a partir de disponibilização de datas, via grupos de *WhatsApp* de professores da Secretaria Municipal de Juiz de Fora e da Secretaria Estadual de Educação do Estado de Minas Gerais. Após a confirmação das

escolas, os responsáveis faziam a inscrição no site do Centro de Ciências, comparecendo a visita com aproximadamente 40 alunos, com o seguinte roteiro proposto:

- Recepção de boas vindas a partir de um curto vídeo institucional
- Apresentação do planetário
- Pausa para lanche
- Revezamento entre duas oficinas de 40 minutos para 20 alunos por oficina

3. Roteiros das Oficinas

Oficina 1 – Vamos Produzir Sons?

(Ensino Fundamental I – 6 a 10 anos)

Objetivos específicos:

- Reconhecer diferentes fontes sonoras e características do som.
- Compreender que o som se propaga por meio de vibrações.
- Desenvolver percepção auditiva e memória sonora.

Conteúdos abordados:

- Produção e propagação do som.
- Conceitos de intensidade, frequência, altura e timbre.

Materiais necessários:

- Jogo da Memória Auditiva (5 pares de potes com conteúdo diferentes)
- Chocalhos confeccionados com materiais variados
- Protótipo em tamanho real da orelha e ossículos
- Apresentação no Power Point com vídeos curtos
- Datashow

Preparação prévia:

- Montar o Jogo da Memória Auditiva

- Montar os chocalhos com antecedência.
- Dispor o material em mesas acessíveis às crianças.

Desenvolvimento:

- Problemática Inicial: perguntar aos alunos como o som é produzido e pedir exemplos do dia a dia.
- Exploração: apresentar os chocalhos, permitir que as crianças os manipulem e descrevam as diferenças sonoras.
- Jogo da Memória Auditiva: formar grupos com 4 alunos com o objetivo é encontrar os pares pelo som, não pela aparência.
- Discussão: conversar sobre as diferenças percebidas e relacioná-las aos conceitos de timbre e intensidade.

Avaliação sugerida:

- Participação ativa nas atividades.
- Capacidade de identificar diferenças sonoras.
- Roteiro de avaliação com 5 perguntas (Anexo).

Oficina 2 – Biofísica da Audição

(Ensino Fundamental II e Ensino Médio – 11 a 17 anos)

Objetivos específicos:

- Relacionar as partes do ouvido humano aos fenômenos físicos de propagação sonora.
- Compreender a função de estruturas como tímpano, ossículos e cóclea.
- Refletir sobre tecnologias auditivas e saúde do ouvido.

Conteúdos abordados:

- Ondas sonoras: frequência, comprimento de onda e amplitude.
- Funcionamento do sistema auditivo humano.

Materiais necessários:

- Modelo Analógico do Ouvido Humano
- Protótipo em tamanho real da orelha e ossículos
- Apresentação no Power Point com vídeos curtos
- Datashow

Preparação prévia:

- Montar os modelos e dispor em local visível.
- Preparar perguntas-guia para os alunos.

Desenvolvimento:

1. **Problematização Inicial:** exibir sons de diferentes frequências e questionar por que alguns sons são mais agudos ou graves.
2. **Exploração:** apresentar os modelos anatômicos, explicando o trajeto do som no ouvido.
3. **Discussão:** relacionar cada parte do ouvido com um fenômeno físico (ex.: amplificação mecânica pelos ossículos).
4. **Aplicação:** debater situações como uso de fones de ouvido e perda auditiva.

Avaliação sugerida:

- Respostas a perguntas sobre a função das estruturas auditivas
- Roteiro de avaliação com 5 perguntas (Anexo)
- Participação nas discussões.

4. Roteiros de Construção dos Materiais

A seguir, são apresentadas instruções detalhadas para construção dos recursos utilizados nas oficinas, de modo que possam ser facilmente reproduzidos por professores.

4.1. Jogo da Memória Auditivo Ampliado (exposição)

Objetivo: estimular a percepção auditiva dos visitantes e trabalhar conceitos de timbre e intensidade sonora.

Materiais:

- 30 potes, copos ou frascos plásticos com 50ml opacos e idênticos.
- Materiais variados para preencher os potes (grãos, areia, brita, parafusos, tampinhas metálicas, algodão, palitos de dente, giz, tecido, botões, miçangas, cereais e etc.), conforme Figura 1.
- Fita adesiva para vedação.
- Tabuleiro de MDF com 30 nichos para acondicionar os potes, para facilitar, no caso do não acerto do par, recolocar no lugar. O tabuleiro da Figura 2 foi feito com tampa para acondicionar os potes no final da exposição. Além disso, foi feito na media de 60 x 65cm para mantermos 4 nichos maiores laterais, para acondicionar os potes quando forem se formando os pares. Dessa forma, sugerimos ser jogado por até 4 pessoas.

Figura 1: Conteúdo dos potes



Fonte: Própria autora.

Figura 2: Jogo da Memória Auditiva Ampliado (exposição)



Fonte: Própria autora.

Montagem:

1. Formar 15 pares de potes, cada par com o mesmo material e quantidade.
2. Vedá-los bem para evitar vazamento.
3. Numere ou codifique os pares, no fundo dos potes, para facilitar a conferência da formação dos pares.

Aplicação:

- Dispor os potes sobre o tabuleiro, cada um em um nicho.
- Explicar que a dinâmica do jogo segue as mesmas orientações do Jogo da Memória com cartas.
- Os visitantes escolhem 2 potes, os agita e tentam encontrar os pares pelo som semelhante.

- Encontrando o par de mesmo som, eles serão retirados e ficarão nas laterais do tabuleiro.
- Se não encontrar o par, retorna com os potes para o mesmo lugar.
- O jogo acaba quando todos os pares forem encontrados.

4.2. Chocalhos

Objetivo: explorar timbre, intensidade e variações sonoras.

Materiais:

- Copos de papel de 100ml com tampa (Figura 3).

Figura 3: Copo de papel



Fonte: Própria autora.

- Materiais para os chocalhos: Brita ou pedra fina, palitos de dente partidos ao meio, areia fina, arrebites e giz para quadro negro partidos (Figura 4).

Figura 4: Materiais para os chocalhos



Fonte: Própria autora.

Montagem Prévia:

- Encher parcialmente os copos com diferentes materiais.
- Fechar e vedar com fita adesiva.
- Verificar a quantidade de alunos e quantos grupos deseja formar, de acordo com os materiais. Se deseja formar 5 grupos com 4 alunos cada, faça 20 chocalhos sendo 4 de areia, 4 de brita, 4 de palitos de dente, 4 giz e 4 de arrebitos.

Aplicação:

- Dispor os potes nas bancadas e cada aluno pegará um.
- Os alunos deverão formar grupos com chocalhos que possuem o mesmo som. Portanto, formaremos o grupo da areia, da brita, do giz e etc.
- Os chocalhos são lembranças para os alunos, que poderão enfeitá-los em casa ou na escola, ou poderão ser utilizados em sala de aula para formar grupos de maneira aleatória.

4.3. Modelo Analógico do Ouvido Humano (Oficina para EF2 e Ensino Médio)

Objetivo: demonstrar, de forma ampliada, as estruturas do ouvido e suas funções na audição.

Materiais (Figura 5):

- Aro de 2-3cm de largura de cano PVC 100cm
- Rolo de Plástico filme
- Fita durex e crepe
- Papel quadriculado
- Tesoura
- Caixa de som
- Canudo de plástico biodegradável dobrável
- Isopor fino (2x4cm)
- Vasilha transparente com água

Figura 5: Materiais utilizados



Fonte: Própria autora.

Montagem (Figura 6):

1. Passe plástico filme no aro.
2. Corte 7cm do canudo, dobre-o ao meio e encaixe na extremidade.
3. Coloque isopor na extremidade em V.
4. Cole o canudo no plástico filme com durex.
5. Coloque água na vasilha transparente, com papel quadriculado no fundo.
6. Apoie o aro num rolo de durex e deixe o isopor em contato com água.
7. Coloque a caixa de som na extremidade do aro.
8. Ligue o som! (Figura 7)

Figura 6: Passo a passo para montagem



Fonte: Própria autora.

Figura 7: Modelo Analógico do Ouvido Humano



Fonte: Própria autora.

4.4. Protótipo em Tamanho Real da Orelha Humana e Ossículos

Objetivo: auxiliar na visualização da anatomia real do ouvido.

Materiais: Impressão 3D ou modelos prontos podem ser adquiridos em lojas de materiais pedagógicos ou cirúrgicas (Figura 8 e 9).

Figura 8: Protótipo em Tamanho Real da Orelha Humana



Fonte: Própria autora.

Figura 9: Modelo anatômico dos 3 ossículos da orelha média em tamanho real



Fonte: Própria autora.

4.5. Jogo da Memória Auditiva (Oficina para EF1)

Objetivo: estimular a percepção auditiva dos visitantes e trabalhar conceitos de timbre e intensidade sonora.

Materiais:

- 10 potes, copos ou frascos plásticos opacos e idênticos.
- Materiais variados para preencher os potes (areia, brita, palitos de dente, giz e arrebites), conforme figura 10.
- Fita adesiva transparente para vedação.
- Tabuleiro de MDF com 10 nichos para acondicionar os potes, para facilitar, no caso do não acerto do par, recolocar o pote no lugar.

Figura 10: Conteúdos dos potes do Jogo



Fonte: Própria autora.

Montagem:

1. Formar 5 pares de potes, cada par com o mesmo material e quantidade.
2. Vedá-los bem para evitar vazamento (Figura 11).

Figura 11: Vedação dos potes



Fonte: Própria autora.

Figura 12: Jogo da Memória Auditiva



Fonte: Própria autora.

Aplicação:

- Formar os grupos com as crianças com os chocalhos.
- Distanciar os grupos o máximo possível.
- Dispor os potes sobre tabuleiro.
- Entregar um jogo para cada grupo (Figura 12).
- Os alunos deverão ser orientados a jogar, assim como o Jogo da Memória com cartas.
- Sacudir os potes aos pares e tentam encontrar os potes com sons iguais.
- Sugestão: Explicar o jogo com duas pessoas e ir jogando para eles verem.
- Termina o jogo quando todos os pares forem encontrados.
- Para nossa oficina produzimos 5 Jogos (Figura 13).

Figura 13: Jogos da Memória Auditiva



Fonte: Própria autora.

5. Apresentações utilizadas nas oficinas

Nas oficinas foi projetado por Datashow uma apresentação para servir como um roteiro e para todos os mediadores poderem se guiar, tendo a certeza que todo o conteúdo será apresentado para todas as oficinas. Seguem os links das apresentações utilizadas:

- **Apresentação EF1:** https://drive.google.com/file/d/1EHGpWMI3bglOg6639HLzplAGAdbpzA3T/view?usp=share_link
- **Apresentação EF2 e EM:** https://drive.google.com/file/d/1vrkuhy1QFTk6tXr1wtNRjtXWPb3caFbp/view?usp=share_link

6. Vídeos utilizados nas oficinas

Nas oficinas foi projetado por Datashow vídeos curtos de menos de 2 minutos, com a finalidade de uma melhor visualização do processo de audição humana. Nas apresentações do item 5, os vídeos estão inseridos também. Seguem os vídeos utilizados:

- **Vídeo oficina EF1 (O funcionamento do ouvido):** https://drive.google.com/file/d/1aBDiT3CuYnzbSdITIkxyL44JfoJan-9_/view?usp=share_link
- **Vídeo oficina EF2 e EM (Como a audição funciona):** https://drive.google.com/file/d/18Ydez-bRuUxpKXDkZS2Y7uBxXpCLZxLt/view?usp=share_link
- **Vídeo oficina EF2 e EM (Som alto):** https://drive.google.com/file/d/1xZ47VedmSRLc_dPzk14NwjbpoxxS-719/view?usp=share_link
- **Vídeo oficina EF2 e EM (Experimento - produzido pela pesquisadora):** https://drive.google.com/file/d/1SEswD53D6wV7WvAEBkTV2J5dW-T6l2BN/view?usp=share_link

7. Material para os mediadores

Para haver uma padronização das oficinas e um nivelamento de conteúdo para todos mediadores, elaboramos uma orientação para os mesmos, com conteúdo necessário para aplicação das oficinas e com orientações para as oficinas. Tal material também serve como base de pesquisa para os professores que desejam aplicar as oficinas em sala de aula. Seguem as orientações disponibilizadas:

- **Orientações mediadores EF1:** https://drive.google.com/file/d/1hUUN8DB2wr43_TMbxowu0dSD8jgkxSDc/view?usp=share_link
- **Orientações mediadores EF2 e EM:** https://drive.google.com/file/d/1LRphILt2VwLGWijREGged-GX_Qx8sz2V/view?usp=share_link

8. Sugestões de Adaptações

Algumas sugestões para possíveis adaptações do produto:

- Possibilidade de inclusão de estudantes com deficiência auditiva: trabalhar percepção de vibrações e peso dos potes, com a apresentação e vídeos com intérprete de libras.
- Possibilidade de inclusão de estudantes com deficiência visual: acompanhar os alunos, auxiliando-os durante as atividades da oficina, com a apresentação e vídeos com audio descrição.
- As oficinas podem ser utilizadas em sala de aula como encerramento do conteúdo de Som e Acústica ou como abertura do conteúdo, com a finalidade de motivação dos alunos.

Referências

BRASIL. Ministério da Educação. **Base Nacional Comum Curricular**. Brasília: MEC, 2018. Disponível em: <<http://basenacionalcomum.mec.gov.br/>>. Acesso em: 24/10/2024.

BRASIL. Ministério de Educação, Secretaria de Educação Média e Tecnológica. **Parâmetros Curriculares Nacionais: Ensino Médio**. Brasília: MEC, 1999. Disponível em: <<http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/livro01.pdf>>. Acesso em 20/04/2024.

DELIZOICOV, D.; ANGOTTI, J. A. P.; PERNAMBUCO, M. M. **Ensino de Ciências: fundamentos e métodos**. São Paulo: Cortez, 2002.

GUYTON, A.C.; HALL, J.E. **Tratado de Fisiologia Médica**. Editora Elsevier. 13a ed., 2017.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de Física**. Volume 2: Gravitação, Ondas e Termodinâmica. 9ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2015.

MARANDINO, M. **Estudando a dimensão epistemológica da Pedagogia Museal**. Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo/Brasil. IX CONGRESO INTERNACIONAL SOBRE INVESTIGACIÓN EN DIDÁCTICA DE LAS CIENCIAS. Girona, 9-12 de septiembre de 2013. Disponível em: < <https://core.ac.uk/download/pdf/132090324.pdf>>. Acesso em: 07/03/2024.

PIETROCOLA, M. et al. **Física em Contextos: Pessoal, social e histórico**. Energia, calor, imagem e som: vol. 2. 1ª ed. São Paulo: FTD, 2010.

SCHWANTES, L.; SILVA, P. F. K. **O enfoque CTS no campo educacional: As concepções de futuros professores de Ciências**. Cadernos da Pedagogia. São Carlos, Ano 12 v. 12 n. 23 jul/dez 2018. Disponível em: < <https://www.cadernosdapedagogia.ufscar.br/index.php/cp/article/view/1178/419>>. Acesso em: 23/02/2024.

SMILE AND LEARN. **O funcionamento do ouvido - Como funciona o ouvido? - A viagem do som**. Youtube, 06/02/2020. Disponível em: < <https://www.youtube.com/watch?v=TfC2AKRuh1Q&t=26s>>Acessado em: 29/08/2023.

ZACK D. FILMS. **Como a audição funciona**. Youtube, 21 fev. 2024. Disponível em: <<https://www.youtube.com/shorts/H3ZxZvo2cQ4>>. Acesso em: 25/04/2024.

ZACK D. FILMS. **Som Alto**. Youtube, 22 set. 2024. Disponível em: <https://youtube.com/shorts/H3ZxZvo2cQ4?si=6iwF_Z1WQYhCu2oA>. Acesso em: 25/07/2024.

ANEXO

MODELO DE AVALIAÇÃO DAS OFICINAS

Use os emojis para representar sua opinião:

 Gostei muito  Gostei  Mais ou Menos
 Não gostei  Não gostei muito

O QUE ACHARAM DA OFICINA SOBRE SOM?

1. Entendi as explicações sobre Som e Saúde Auditiva.



2. Cuidarei melhor da minha Saúde Auditiva.



3. Apreendi coisas novas sobre Som.



4. Achei a oficina divertida.



5. Irei aplicar o que aprendi na oficina na minha vida.

