



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CAMPUS BLUMENAU
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO MESTRADO PROFISSIONAL EM ENSINO DE
FÍSICA (MNPEF)

Janice Pockszevnicki

**O SOM E O SENTIDO DA AUDIÇÃO:
UMA PROPOSTA DE INTERDISCIPLINARIDADE ENTRE FÍSICA E
BIOLOGIA PARA O ENSINO MÉDIO.**

BLUMENAU

2021

Janice Pockszevnicki

**O SOM E O SENTIDO DA AUDIÇÃO:
UMA PROPOSTA DE INTERDISCIPLINARIDADE ENTRE FÍSICA E
BIOLOGIA PARA O ENSINO MÉDIO.**

Dissertação submetida ao Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física da Universidade Federal de Santa Catarina para obtenção do Grau de Mestre em Ensino de Física.
Orientadora: Prof^a. Dr^a. Lara Fernandes dos Santos Lavelli.

Blumenau

2021

FICHA DE IDENTIFICAÇÃO

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Pockszevnicki, Janice

Som e o sentido da audição: uma proposta de
interdisciplinaridade entre Física e Biologia para o Ensino
Médio / Janice Pockszevnicki ; orientadora, Lara Fernandes
dos Santos Lavelli, 2021.

160 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Catarina, Câmpus Blumenau, Programa de Pós-Graduação em
Ensino de Física, Blumenau, 2021.

Inclui referências.

1. Ensino de Física. 2. Aprendizagem Significativa. 3.
Audição. 4. Ondas. 5. Som. I. Fernandes dos Santos Lavelli,
Lara. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa
de Pós-Graduação em Ensino de Física. III. Título.

Janice Pockszevnicki

O SOM E O SENTIDO DA AUDIÇÃO:
UMA PROPOSTA DE INTERDISCIPLINARIDADE ENTRE FÍSICA E BIOLOGIA PARA
O ENSINO MÉDIO.

O presente trabalho em nível de mestrado foi avaliado e aprovado por banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Prof^ª. Lara Fernandes dos Santos Lavelli, Dra.
Instituição Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Marcelo Dallagnol Alloy, Dr.
Instituição Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. André Maurício Brinatti, Dr.
Instituição Universidade Estadual de Ponta Grossa

Certificamos que esta é a versão original e final do trabalho de conclusão que foi julgado adequado para obtenção do título de mestre em ensino de física pelo Programa Nacional de Mestrado Profissional em Ensino de Física (MNPEF).

Coordenação do Programa de Pós-Graduação

Prof^ª. Lara Fernandes dos Santos Lavelli, Dra.
Orientadora

Blumenau, 2021.

Dedico este trabalho a todos que de alguma forma me deram apoio ao longo desta jornada.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos professores do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, campus Blumenau, em especial à minha orientadora Prof^a. Dra. Lara Fernandes dos Santos Lavelli, que verificou cada detalhe desta dissertação, que me deu base e conhecimento científico, que exigiu o melhor de mim e com paciência e sabedoria me levou a chegar até este momento.

Agradeço a Universidade Federal de Santa Catarina por oportunizar a possibilidade de me aperfeiçoar através deste programa de mestrado, a Sociedade Brasileira de Física por investir na educação e conseqüentemente proporcionar este mestrado como forma de capacitação profissional bem como a CAPES pelo incentivo através dessa proposta.

Agradeço ao IFC – Instituto Federal Catarinense – campus Rio do Sul e seus alunos que participaram e apoiaram toda pesquisa.

Agradecimento especial a minha família, ao meu filho Enzo Gabriel, ao meu companheiro Rodrigo, por todo o apoio recebido. Aos amigos Jônatas e Sibelly, pela amizade, pelo companheirismo, pela atenção e pela insistência em me fazer permanecer no mestrado. Aos colegas de turma do mestrado, minha gratidão por todo o companheirismo.

E finalmente, agradecimento especial a Deus, por colocar em meu caminho pessoas tão especiais que me apoiaram, dando-me resiliência, incentivo, esperança e energia para finalizar esta dissertação e concretizar esse sonho.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

RESUMO

Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um produto didático voltado ao ensino do som e da audição para o Ensino Médio em uma perspectiva interdisciplinar e leva em consideração a teoria da aprendizagem significativa de David Ausubel. Os principais conceitos abordados são o som, a orelha humana, a propagação e a percepção do som. O produto consiste de uma sequência didática, composta por duas sugestões de roteiros de experimentos, somados a um de experimento virtual que consistem na exploração do som e sua propagação. O produto didático foi aplicado em duas turmas de segundo ano do Ensino Médio do Instituto Federal Catarinense – Campus de Rio do Sul - SC. A coleta de dados ocorreu por meio de gravação de áudio, registros de fotos, além de algumas atividades realizadas em sala. A sequência didática ocupou quatro aulas em um panorama de duas aulas semanais em sistema trimestral. Este trabalho possibilitou que os estudantes conhecessem o som e a audição de forma integrada nas disciplinas de Física e Biologia, o que tradicionalmente é abordado separadamente no Ensino Médio. Além disto, resultou em uma melhor interação entre professor-aluno e na participação mais efetiva dos estudantes. Os resultados obtidos são satisfatórios e indicam o potencial da proposta.

Palavras-Chave: Aprendizagem significativa; Audição; Ondas; Som.

ABSTRACT

This work presents the development of a didactic product aimed at teaching sound and hearing for high school in an interdisciplinary perspective and considers David Ausubel's theory of significant learning. The main concepts covered are sound, the human ear, the propagation and perception of sound. The product consists of a didactic sequence, consisting of two suggestions for experiment scripts, added to one of a virtual experiment that consist of the exploration of sound and its propagation. The didactic product was applied in two classes of second year of high school at the Federal Institute of Santa Catarina - Campus of Rio do Sul - SC. Data collection occurred through audio recording, photo records, in addition to some activities performed in the classroom. The didactic sequence took four classes in a panorama of two weekly classes in a quarterly system. This work made it possible for students to get to know sound and hearing in an integrated manner in the subjects of Physics and Biology, which traditionally is addressed separately in high school. In addition, it resulted in better teacher-student interaction and more effective student participation. The results obtained are satisfactory and indicate the potential of the proposal.

Key words: Meaningful learning; Hearing; Waves; Sound.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - REPRESENTAÇÃO DE ONDAS LONGITUDINAIS (A) E ONDAS TRANSVERSAIS (B).	18
FIGURA 2 - COMPRESSÕES E RAREFAÇÕES SE PROPAGAM (AMBAS COM A MESMA RAPIDEZ E NA MESMA DIREÇÃO) A PARTIR DO DIAPASÃO EM FORMA DE FORQUILHA ATRAVÉS DO AR DENTRO DO TUBO.....	19
FIGURA 3 - ESQUEMA DO MECANISMO DINÂMICO DE PROPAGAÇÃO DA ONDA.	19
FIGURA 4 - DISTÂNCIAS ENTRE DUAS ZONAS DE COMPRESSÃO DETERMINANDO O COMPRIMENTO DE ONDA (λ).	20
FIGURA 5 - PROPAGAÇÃO DO SOM NO AR.....	24
FIGURA 6 - DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DA ORELHA HUMANA.....	31
FIGURA 7 - A ORELHA HUMANA DIVIDIDA EM ORELHA EXTERNA, MÉDIA E INTERNA.	35
FIGURA 8 - TELA INICIAL DO APLICATIVO <i>MOZAIK EDUCATION</i>	43
FIGURA 9 - TELA INICIAL DO SIMULADOR SOBRE O SOM DO PHET COLORADO.....	44
FIGURA 10 - CONCEPÇÕES PRÉVIAS SOBRE O SOM.	56
FIGURA 11 - TURMA 2 C OBSERVANDO EXPERIMENTO SOBRE VISUALIZAÇÃO DE ONDAS SONORAS.	57
FIGURA 12 - TURMA 2 C INTERAGINDO COM O EXPERIMENTO SOBRE VISUALIZAÇÃO DE ONDAS SONORAS.	57
FIGURA 13 - TURMA 2 C OBSERVANDO EXPERIMENTO SOBRE VISUALIZAÇÃO DE ONDAS SONORAS.	58
FIGURA 14 – TURMA 2 E ACOMPANHANDO EXPLANAÇÃO SOBRE ONDAS.....	59
FIGURA 15 – ESTUDANTE DA TURMA 2 E INTERAGINDO COM O APLICATIVO “ <i>MOZAIK EDUCATION</i> ”.....	60
FIGURA 16 - TURMA 2 C INTERAGINDO COM O APLICATIVO “ <i>MOZAIK EDUCATION</i> ”.....	60
FIGURA 17 - ALUNO DA TURMA 2 E ASSISTINDO À ANIMAÇÃO DISPONIBILIZADA PELO APLICATIVO.	61
FIGURA 18 – EXPLANAÇÃO SOBRE A ORELHA HUMANA E SEU FUNCIONAMENTO NA TURMA 2 E.	62
FIGURA 19 – EXEMPLO 1 DE QUESTÃO SOBRE SOM E A ORELHA DISPONÍVEL NO APLICATIVO <i>MOZAIK EDUCATION</i>	63

FIGURA 20 – EXEMPLO 2 DE QUESTÃO SOBRE SOM E A ORELHA DISPONÍVEL NO APLICATIVO <i>MOZAIK EDUCATION</i>	63
FIGURA 21 – EXEMPLO DE RESPOSTA DA QUESTÃO 1 SOBRE SOM E A ORELHA DISPONÍVEL NO APLICATIVO <i>MOZAIK EDUCATION</i>	64
FIGURA 22 – EXEMPLO DE RESPOSTA DA QUESTÃO 2 SOBRE SOM E A ORELHA DISPONÍVEL NO APLICATIVO <i>MOZAIK EDUCATION</i>	64
FIGURA 23 - TURMA 2 C RESPONDENDO QUESTÕES SOBRE A ORELHA NO APLICATIVO.....	65
FIGURA 24 – SONDAÇÃO DOS CONHECIMENTOS PRÉVIOS SOBRE SOM E SUA PROPAGAÇÃO NA TURMA 2 C.....	66
FIGURA 25 – ATIVIDADES PARA VERIFICAÇÃO DA PROPAGAÇÃO DO SOM COM AS DEVIDAS INSTRUÇÕES.....	67
FIGURA 26 - INSTRUÇÕES DE UMA DAS ATIVIDADES.....	68
FIGURA 27 – ALUNOS DA TURMA 2 E REALIZANDO ATIVIDADE 1.....	68
FIGURA 28 - ALUNOS DA TURMA 2 E REALIZANDO ATIVIDADE 2.....	69
FIGURA 29 - ALUNOS DA TURMA 2 E REALIZANDO ATIVIDADE 3.....	69
FIGURA 30 - ALUNOS DA TURMA 2 C REALIZANDO ATIVIDADE 4.....	70
FIGURA 31 - ALUNOS DA TURMA 2 E REALIZANDO ATIVIDADE 5.....	71
FIGURA 32 - ALUNOS DA TURMA 2 C REALIZANDO ATIVIDADE 6.....	71
FIGURA 33 – TURMA 2 C NO LABORATÓRIO DE INFORMÁTICA.....	73
FIGURA 34 – TURMA 2 E NO LABORATÓRIO DE INFORMÁTICA.....	74
FIGURA 35 – ALUNO DA TURMA 2 C REALIZANDO ATIVIDADE NO <i>PHET COLORADO</i>	75
FIGURA 36 – TURMA 2 C REALIZANDO A ATIVIDADE.....	75
FIGURA 37 – ALUNA DA TURMA 2 E.....	76
FIGURA 38 – ALUNO DA TURMA 2 E.....	77
FIGURA 39 – ALUNO DA TURMA 2 E.....	77

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 - DISTRIBUIÇÃO DAS AULAS QUE COMPÕEM A SEQUÊNCIA DIDÁTICA, SEUS RESPECTIVOS PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS E OBJETIVOS.	39
QUADRO 2 - SUBSUNÇORES SOBRE O SOM E O SISTEMA AUDITIVO.	50
QUADRO 3 - SUBSUNÇORES SOBRE PROPAGAÇÃO DO SOM.	51
QUADRO 4 - SUBSUNÇORES SOBRE GRANDEZAS FÍSICAS ASSOCIADAS AO SOM.	52
QUADRO 5 - SUBSUNÇORES SOBRE VELOCIDADE DO SOM.	53

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - VELOCIDADE DO SOM PARA DIFERENTES MEIOS.....	25
TABELA 2 - VELOCIDADE DO SOM NO AR EM FUNÇÃO DA TEMPERATURA.....	26

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina

IFC – Instituto Federal Catarinense

PCN – Parâmetros Curriculares Nacionais

PCN+ – Parâmetros Curriculares Nacionais

PPC – Projeto Pedagógico Curricular

LISTA DE SÍMBOLOS

λ = comprimento de onda

f = frequência

v = velocidade

ΔS = variação da distância

Δt = variação do tempo

T = período

γ = constante adiabática

ρ_0 = densidade do meio

B = módulo da compressibilidade do meio

P = pressão

F = força

A = área

V = volume

K = Kelvin

P_t = pressão no tímpano

P_{j0} = pressão na janela oval

F_t = força no tímpano

F_{j0} = força na janela oval

A_t = área do tímpano

A_{j0} = área da janela oval

ω = frequência

β = intensidade sonora

U = amplitude da onda de deslocamento das partículas do meio

I = intensidade da onda sonora

δ = variação de densidade

Hz = Hertz

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	9
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E PERCURSO METODOLÓGICO.....	11
2.1 TEORIA DA APRENDIZAGEM DE DAVID PAUL AUSUBEL	11
2.1.1 Aprendizagem Significativa	12
2.1.2 Assimilação	14
2.2 SEQUÊNCIA DIDÁTICA	15
3 DISCUSSÃO DOS FENÔMENOS FÍSICOS ABORDADOS	17
3.1 A NATUREZA ONDULATÓRIA DO SOM.....	17
3.2 PROPAGAÇÃO DO SOM NO MEIO	21
3.2.1 Velocidade do Som	22
3.2.2 Evolução dos conceitos acerca do som	26
3.3 A ORELHA HUMANA E A AUDIÇÃO.....	31
3.4 A PERCEPÇÃO DO SOM.....	34
3.5 ALGUMAS APLICAÇÕES DO SOM.....	37
4 DESCRIÇÃO DO DESENVOLVIMENTO DO PRODUTO.....	39
4.1 SEQUÊNCIA DIDÁTICA	39
4.2 VANTAGENS DA APLICAÇÃO DESSA SEQUÊNCIA.....	44
5 ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	46
5.1 REALIDADE EDUCACIONAL DO LOCAL DE APLICAÇÃO	46
5.1.1 A instituição	46
5.1.2 As turmas envolvidas na aplicação	48

5.2 APLICAÇÃO DO PRODUTO DIDÁTICO	49
5.2.1 Momento 1- Identificação de Subsunçores	49
5.2.2 Momento 2 - Momentos da Aplicação	56
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	80
REFERÊNCIAS	83
ANEXO A – QUE ANIMAIS ENXERGAM POR MEIO DE SONS E COMO ELES CONSEGUEM FAZER ISSO?	87
APÊNDICES	90
APÊNDICE A – VISUALIZAÇÃO DE ONDAS SONORAS.....	91
APÊNDICE B – EXPLORANDO O MECANISMO DA AUDIÇÃO ATRAVÉS DO APLICATIVO MOZAIK EDUCATION.....	93
APÊNDICE C – PROPAGAÇÃO DO SOM NOS DIFERENTES MEIOS MATERIAIS.	96
APÊNDICE D – PERCEPÇÃO DO SOM E A ORELHA.	98
APÊNDICE E – QUESTIONÁRIO PARA A PRÉ-APLICAÇÃO DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA. .	100
APÊNDICE F – PRODUTO EDUCACIONAL	101

1 INTRODUÇÃO

Nas disciplinas de Física do Ensino Básico, estudantes se deparam com um universo maçante, sem muito significado para ele, com fórmulas e cálculos que não estimulam para a principal finalidade do ensino: a aprendizagem. O processo tradicional de ensino acaba por acarretar um distanciamento entre o cotidiano e a sala de aula. Tanto que é comum ouvir estudantes questionando: “Por que eu devo estudar Física se eu não pretendo ser cientista?”. No atual contexto, o desconhecimento dessa ciência poderá excluí-lo de diversas atividades da vida moderna. Dessa forma, uma das funções do professor é aproximar a Física da sala de aula com o que é vivenciado no dia a dia.

De forma geral, os conhecimentos obtidos em sala de aula muitas vezes não são ministrados de forma a promover uma aprendizagem significativa, sendo pouco contextualizados e, assim, logo são esquecidos. Para que isso não ocorra, o ensino de Física deve ser mais motivador, pois como é abordado nos Parâmetros Curriculares Nacionais, memorizar fórmulas e resolver exercícios não são recursos instigadores para o desenvolvimento da aprendizagem dos estudantes (PCN+, 2006).

No entanto, quando o processo de ensino aprendizagem ocorre de uma maneira mais contextualizada e centrada na realidade do aluno, o conhecimento adquirido por ele não cai facilmente no esquecimento. Ainda de acordo com o PCN+ (2006), o conhecimento não deve ser apenas informativo, mas que exerça a função de mudar a forma de como o aluno pensa e age, ou seja, o estudante não deve aprender Física por aprender ou simplesmente porque trata-se de mais uma matéria escolar a ser vencida na grade curricular.

Conforme o exposto até então, sente-se a necessidade de tornar a aula atrativa, uma vez que é de fundamental importância que haja interesse por parte do aprendiz no conteúdo a ser ensinado, ou seja, o aluno deve querer acrescentar esse conteúdo a sua estrutura cognitiva (AUSUBEL, 2000).

Dessa forma, percebe-se que a Física do som se trata de um assunto de grande importância e que pode despertar o interesse dos estudantes. Entretanto, o desenvolvimento desse conteúdo em sala de aula acaba sendo comprometido pela complexidade da matemática que está envolvida no mesmo. Assim, uma das alternativas para atrair o aluno é abordar tal conteúdo através de outras vias, demonstrando que a Física é uma ciência de investigação relacionada com outras disciplinas, não se limitando somente às equações matemáticas. Então, é possível adotar a Biofísica da audição como uma ferramenta didática para ensinar ondulatória,

com a finalidade de que os estudantes possam compreender a Física como uma ciência aplicada a outras ciências e que os estudantes percebam que a Física faz parte do cotidiano.

Neste trabalho, foi desenvolvido um produto didático, direcionado aos professores de Física do Ensino Médio, para auxiliá-los na abordagem de conceitos acerca do som e da audição. Este produto foi aplicado em duas turmas do segundo ano do Instituto Federal Catarinense - IFC -, campus de Rio do Sul – SC. Esta dissertação está organizada em cinco capítulos. Os referenciais teóricos de ensino e aprendizagem utilizados no trabalho bem como uma revisão dos conceitos físicos relacionados ao assunto compõem o primeiro capítulo e o segundo capítulo respectivamente. O terceiro e quarto capítulos são dedicados, respectivamente, a descrição do desenvolvimento do produto educacional e o relato de sua aplicação. No quinto capítulo, encontram-se as considerações finais do trabalho. Uma cópia do produto educacional desenvolvido e aplicado, bem como respectivos anexos compõem o apêndice desta dissertação.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E PERCURSO METODOLÓGICO

Buscando um ensino que envolva os alunos de forma crítica e ativa, o professor deve se preocupar com a metodologia na qual vai se apoiar. Dessa forma, tem-se necessidade de que os alunos estabeleçam pontes concretas entre o conhecimento que já possuem com os novos conhecimentos adquiridos. Partindo dessa necessidade, o presente trabalho tem como base a teoria da aprendizagem significativa de David Ausubel.

2.1 TEORIA DA APRENDIZAGEM DE DAVID PAUL AUSUBEL

David Paul Ausubel (1918-2008) foi um psicólogo norte-americano que cresceu insatisfeito com a educação que recebeu. Perante os castigos e humilhações que passou na escola, afirmava que a educação era violenta e reacionária. Então, resolveu dedicar-se à educação objetivando buscar as melhorias imprescindíveis ao verdadeiro aprendizado. Completamente contra a aprendizagem puramente mecânica, tornou-se um representante do cognitivismo, propondo intensificar a aprendizagem. A ideia era que fosse um processo de armazenamento mental de informações que possa ser utilizada de forma adequada, através da organização e integração dos conteúdos aprendidos significativamente. Assim, tornou-se especialista em psicologia educacional, desenvolvendo uma teoria de aprendizagem chamada de Aprendizagem Significativa (DISTLER, 2015).

A teoria da aprendizagem significativa descreve o processo de aprendizagem como um processo de integração e organização do material dentro da estrutura cognitiva do aluno. Nesse processo, os conceitos já aprendidos formam uma âncora para os novos e ao mesmo tempo são modificados por eles. Ou seja, a aquisição de novos conteúdos depende daqueles já existentes e a partir destes, o estudante relaciona e compreende os novos. Nesse processo, o professor deve levar em consideração os conteúdos já adquiridos pelo aluno para que assim as novas informações possam atuar na base do conhecimento já estruturado (MOREIRA, 2006).

Segundo a teoria de David Ausubel, para que um material seja considerado significativo, ele deve estar organizado no processo de ancoragem de forma que ampare a aprendizagem e proporcione a aquisição de significados por interação.

A teoria de aprendizagem pode se distinguir em três tipos diferentes: cognitivas, psicomotoras e afetivas. A teoria da aprendizagem cognitiva é aquela que resulta da organização

das informações armazenadas no cérebro e da estrutura cognitiva que é conhecido como conjunto resultante dessas informações e suas interações. A teoria da aprendizagem psicomotora é aquela desenvolvida por respostas musculares de treino ou prática. E a teoria da aprendizagem afetiva envolve principalmente estímulos de sentimentos e emoções, como prazer e dor, euforia e desânimo, alegria e tristeza, satisfação ou descontentamento, entre outras (MOREIRA, 2011).

Neste contexto, a teoria da aprendizagem significativa de Ausubel focaliza primordialmente a classe da teoria cognitivista, uma vez que ilustra o processo de aprendizagem através da estrutura cognitiva do aluno.

Sendo um representante do cognitivismo, Ausubel propõe uma explicação teórica do processo de aprendizagem. Para ele, “aprendizagem significa organização e integração do material na estrutura cognitiva” (MOREIRA, 2011). Está baseado na premissa de que existe uma estrutura na qual essa organização e integração se processam. Assim como ocorre na sala de aula no dia a dia, a atenção de Ausubel está direcionada para a aprendizagem e considera que o fator que mais influencia a aprendizagem é aquilo que o aluno já sabe, cabendo ao professor buscar e ensinar a partir disso.

Novas ideias e informações podem ser aprendidas e retidas na medida em que conceitos relevantes e inclusivos estejam adequadamente claros e disponíveis na estrutura cognitiva do indivíduo e funcionem, dessa forma, como ponto de ancoragem às novas ideias e conceitos (MOREIRA, 2011).

No entanto, a experiência cognitiva não está restrita à influência direta dos conceitos já aprendidos sobre a nova aprendizagem, mas abrange modificações relevantes da estrutura cognitiva influenciados pelo novo material. Existe assim, um processo de interação onde os conceitos mais relevantes interagem com o novo material, funcionando como ancoragem.

2.1.1 Aprendizagem Significativa

O tema central da teoria defendida por Ausubel é o de aprendizagem significativa. Para ele, “aprendizagem significativa é um processo pelo qual uma nova informação relaciona-se com um aspecto especificamente relevante da estrutura de conhecimento do indivíduo”. Em outras palavras, “este processo envolve a interação da nova informação com uma estrutura de conhecimento específica, a qual Ausubel define como conceito subsunçor” (MOREIRA, 2011).

Além do mais, a aprendizagem significativa não é sinônimo de aprendizagem correta, pois as concepções espontâneas interferem muito na aprendizagem, no que diz respeito do conhecimento e de sua construção (PEDUZZI et al., 1992). Usando exemplos como força e campo, na Física, se esses conceitos já existem na estrutura cognitiva do aluno, servirão de subsunçores para as novas informações relacionadas a certos tipos de força, como força gravitacional e campo gravitacional. Esse processo de ancoragem da nova informação é resultado de crescimento e modificação do conceito subsunçor. Uma ideia intuitiva de força e de campo no exemplo supracitado, serviria como subsunçor para as novas informações relacionadas a força e campo eletromagnético e nuclear. Porém, se a aprendizagem ocorre de maneira significativa, isso resulta em um crescimento e elaboração dos conceitos subsunçores iniciais, ou seja, tais conceitos de força e campo ficariam mais organizados e mais adequados para servir de subsunçores para as novas informações sobre força e campo (MOREIRA, 2011).

Contrariando a aprendizagem significativa, de acordo com Moreira (2011), para Ausubel a aprendizagem automática é definida como “a aprendizagem de novas informações com pouca ou nenhuma interação com conceitos relevantes existentes na estrutura cognitiva”. Neste caso, a nova informação é armazenada de forma que não existe interação entre o que o aluno já sabe e a nova informação. Assim, o conhecimento adquirido fica distribuído na estrutura cognitiva de forma arbitrária, não estabelecendo uma ligação aos conceitos subsunçores específicos. Um bom exemplo de aprendizagem mecânica é a memorização de fórmulas em Física sem estabelecer algum tipo de associação entre leis e conceitos. Na teoria ausubeliana,

(...) a aprendizagem só é significativa se o conteúdo descoberto ligar-se a conceitos subsunçores relevantes já existentes na estrutura cognitiva, ou seja, que por recepção ou por descoberta, a aprendizagem é significativa se a nova informação incorpora-se de forma não arbitrária à estrutura cognitiva (MOREIRA, 2011).

Além da conexão com novos conhecimentos, a aprendizagem significativa reorganiza a própria estrutura cognitiva, uma vez que o novo conceito aprendido se liga à estrutura cognitiva relacionando-se com ela e alterando-a de forma a integrar o novo conceito no corpo.

2.1.2 Assimilação

Entre o ensino e a aprendizagem em si existe o processo de assimilação dos conceitos, que do ponto de vista ausubeliano, pode ser altamente beneficiado na aprendizagem significativa, pois a assimilação dos conteúdos ocorre por meio de ideias ancoradas que já estão presentes na estrutura cognitiva. Essa conexão com as ideias previamente existentes expande o sentido daquilo que se aprende, e assim a aprendizagem se torna mais sólida e mais eficaz.

No entanto, conforme já mencionado, na aprendizagem significativa é importante que exista um elemento pré-existente na estrutura cognitiva chamado subsunçor, ou seja, as ideias prévias que o aluno tem armazenado sobre determinado tema e a partir daí é que as ideias posteriores seriam adquiridas e conectadas com a estrutura cognitiva. Dessa forma, a qualidade da aprendizagem é diretamente proporcional à qualidade da compreensão do subsunçor para o educando: quanto maior o entendimento que ele possui dentro da sua própria estrutura cognitiva melhor será a sedimentação dos novos conteúdos expostos (AUSUBEL, 2000).

Podemos explicar isso adotando o conceito de som. Na Física, dentro da acústica, podemos classificar o som como uma onda mecânica longitudinal. Porém, para que o conceito de som seja aprendido de forma significativa, é necessário a existência do subsunçor “onda”, do subsunçor “mecânica” e do subsunçor “longitudinal”, ou seja, as ideias pré-existentes sobre esses conceitos. Uma vez que a definição de som parte das ideias ancoradas, a qualidade com que cada aluno armazena esses subsunçores é de grande importância para que a aprendizagem do conceito “som” ocorra da melhor forma possível. Vale ressaltar ainda que, os subsunçores citados podem estar separados entre si na estrutura cognitiva do aluno. Porém, no ponto de vista de Ausubel, depois que o conceito de “som” foi sedimentado significativamente, o arcabouço cognitivo é alterado assimilando essas novas informações.

Contudo, pode acontecer que as ideias existentes na estrutura cognitiva do educando são excessivamente particulares e amplas, o que dificulta a aprendizagem significativa devido ao aumento da complexidade de conectar aquilo que o aluno deve saber com aquilo que ele já sabe. Nesses casos, para facilitar a aprendizagem significativa, Ausubel utiliza um recurso que denomina organizadores prévios, que são uma “estratégia pedagógica para a manipulação intencional da estrutura cognitiva, de forma a melhorar facilitação proativa ou minimizar a inibição proativa” (AUSUBEL, 2000). Em outras palavras, os organizadores prévios são práticas pedagógicas que filtram o que tem mais relevância na estrutura cognitiva do educando

para que a aprendizagem seja processada de uma forma mais fácil sendo direcionado às ideias mais pertinentes para compreender aquele conteúdo.

De acordo com Moreira (2014), uma vantagem dos organizadores prévios, é que eles funcionam como “pontes cognitivas”, uma vez que são apresentados em um maior nível de abstração, generalidade e inclusividade. Além do mais,

os organizadores prévios podem ser usados como fontes subsunçoras, de forma que através de exemplos e características mais genéricas ensinam-se elementos necessários para que a aprendizagem do conteúdo que se segue tenha subsunçores suficientes a fim de que seja significativa (MAZETI, 2017).

Desse modo, voltando ao conceito de som na Física, sendo uma onda mecânica longitudinal (quando se propaga em um fluido), pode-se utilizar um organizador prévio capaz de criar o subsunçor “onda” de forma que o seu conceito possa ser aprendido significativamente. Esse recurso pedagógico é muito eficaz, pois direciona o aluno para os conceitos que necessitam de aprendizagem significativa, além de estimular o aluno para essa aprendizagem, uma vez que é de fundamental importância que o aluno apresente interesse em aprender o conteúdo a ser ensinado, ou seja, mesmo que os organizadores prévios sejam eficientes e que o material de aprendizagem seja potencialmente significativo, o aluno deve querer acrescentar esse conteúdo a sua estrutura cognitiva. Do contrário, não ocorre a aprendizagem significativa.

Na perspectiva ausubeliana, deve-se escolher subsunçores e organizadores prévios como os mais gerais possíveis para materiais didáticos, pois terão maior probabilidade de serem encontrados na estrutura cognitiva levando em consideração a simplicidade e presença no dia a dia das pessoas em geral.

2.2 SEQUÊNCIA DIDÁTICA

Uma sequência didática pode ser entendida como uma proposta de metodologia que envolve atividades que estão dispostas de forma ordenada e que são desenvolvidas com um determinado objetivo educacional, tornando assim, a aprendizagem mais eficaz. De acordo com Zabala (1998), uma sequência didática é “planejada e desenvolvida para a realização de determinados objetivos educacionais, com início e fim conhecidos tanto pelos professores, quanto pelos alunos”. Nesse âmbito, para ensinar determinado tema para o aluno é necessário

criar uma estratégia seguida de passo a passo, para que ele consiga entender o conteúdo transmitido. Para isso, é muito importante criar e ter uma didática adequada para ser usada em sala de aula.

Dolz, Noverraz e Schneuwly (2004) definem sequência didática como “um conjunto de atividades escolares organizadas, de maneira sistemática, em torno de um gênero textual oral ou escrito.” Complementam ainda que a sequência didática “procura favorecer a mudança e a promoção dos alunos ao domínio dos gêneros e das situações de comunicação.”

Para Oliveira, sequência didática trata-se de:

(...) um procedimento simples que compreende um conjunto de atividades conectadas entre si, e prescinde de um planejamento para delimitação de cada etapa e/ou atividade para trabalhar os conteúdos disciplinares de forma integrada para uma melhor dinâmica no processo ensino aprendizagem (OLIVEIRA, 2013).

Moholides e colaboradores (2009) relacionam a sequência didática à um conjunto de elementos variados que abordam um conteúdo, possibilitando sua aprendizagem de forma gradativa. E Méheut e Psillos (2004) comparam à um currículo curto de atividades em sequência que objetivam melhorar o ensino e a aprendizagem.

Mas qual a relevância para o professor trabalhar com sequências didáticas? Uma possível resposta seria porque uma sequência didática dá suporte ao professor e auxilia no preparo do trabalho em sala de aula. Escolher os conteúdos, a maneira como serão abordados, qual a metodologia mais apropriada a ser adotada, são questões fundamentais para que o trabalho atinja o sucesso esperado. É indispensável um bom planejamento, onde tem-se a necessidade de criar variadas situações didáticas em que seja possível retomar os temas abordados a qualquer momento, além de ser atrativo para o aluno e que desperte o interesse em aprender. Nesse âmbito, adotou-se esse caminho de forma a fazer com que os estudantes percebam que a Física faz parte da construção do mundo.

Neste trabalho, desenvolveu-se uma sequência didática sobre o som e a audição humana, tendo enfoque os fenômenos físicos que ocorrem ao longo da orelha externa, orelha média e orelha interna no processo da audição. A sequência didática desenvolvida e aplicada, que é o Produto Educacional, é encontrada na íntegra no Apêndice F, onde é possível verificar todas as situações propostas bem como os materiais disponibilizados para a aplicação em sala.

3 DISCUSSÃO DOS FENÔMENOS FÍSICOS ABORDADOS

Como descrito anteriormente, além da utilização da sequência didática como um meio de propiciar uma aprendizagem significativa, é necessário realizar a escolha dos tópicos a serem abordados ao longo dessa sequência. Portanto, visando a inserção de um assunto pertinente a Física e a Biologia, neste trabalho o foco é o som e audição.

Os tópicos trabalhados ao longo da sequência didática são os seguintes:

- ✓ Natureza ondulatória do som;
- ✓ Propagação do som no meio;
- ✓ A orelha humana e a audição;
- ✓ A percepção do som e a orelha.

A seguir são apresentados os aspectos físicos relacionados a cada um destes tópicos.

3.1 A NATUREZA ONDULATÓRIA DO SOM

Estamos cercados de fenômenos de natureza ondulatória, dentre estes o som, um dos meios pelo qual é possível compreender fatos que ocorrem ao nosso redor.

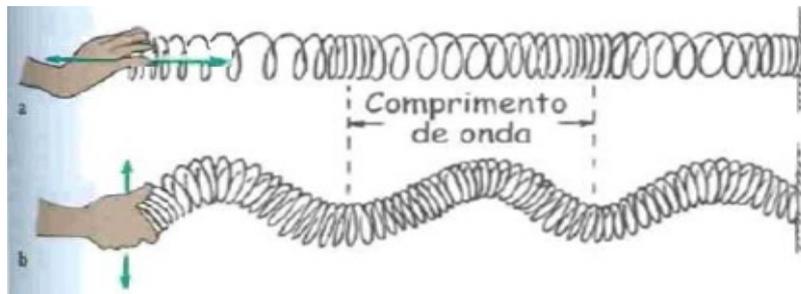
Uma onda pode ser definida como movimentos oscilatórios que se propagam, transportando energia sem transportar matéria. Leonardo da Vinci, no século XV, já observava esses movimentos. “Frequentemente ocorre que a onda do mar foge do local onde foi criada, mas a água não; do mesmo modo que o vento forma as ondas num campo de grãos, onde podemos vê-las correndo ao longo do campo, enquanto os grãos permanecem no mesmo lugar” (FONTE BOA & GUIMARÃES, 1994).

De acordo com a sua natureza, as ondas podem ser mecânicas, eletromagnéticas ou ondas de matéria. As ondas mecânicas são descritas como a propagação de vibrações através de um meio material. Sendo o som uma onda mecânica, a sua existência depende de um meio material. Além do som, ondas de água e ondas sísmicas são alguns exemplos de ondas mecânicas. Já as ondas eletromagnéticas não precisam de um meio material para se propagarem. Todas as ondas eletromagnéticas têm em comum sua velocidade de propagação no vácuo. A luz visível e a luz ultravioleta, ondas de rádio, televisão, micro-ondas, raios x e ondas de radar são exemplos de ondas eletromagnéticas (HEWITT, 2011).

Em uma propagação ondulatória, as vibrações podem ocorrer em direção idêntica à da propagação ou em direção perpendicular a ela. Decorrente disso as ondas são classificadas quanto a sua direção de vibração.

As ondas longitudinais, representadas na Figura 1 (a), podem ser simuladas pelas vibrações que produzem perturbações nas partículas do meio material na mesma direção em que se propagam. Também podem ser definidas como o movimento que se dá ao longo da direção de propagação, enquanto as ondas transversais, representadas na Figura 2 (b), aparecem nas vibrações que ocorrem perpendicularmente à direção de propagação.

Figura 1 - Representação de ondas longitudinais (a) e ondas transversais (b).

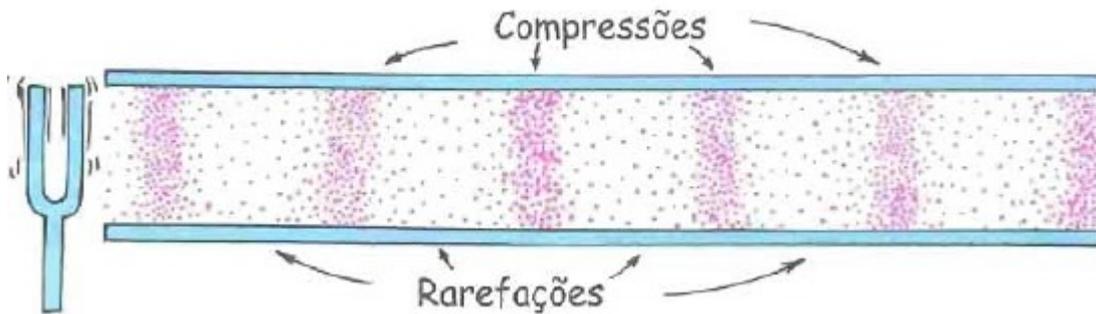


Fonte: HEWITT, 2011.

No caso de fluidos, como a atmosfera, as ondas sonoras são longitudinais, ou seja, as partículas do meio deslocam-se na mesma direção com que a onda se propaga.

Pode-se ter uma noção do mecanismo de propagação de uma onda sonora ao considerar o que acontece ao golpear um diapasão nas vizinhanças de um tubo aberto, conforme a Figura 2.

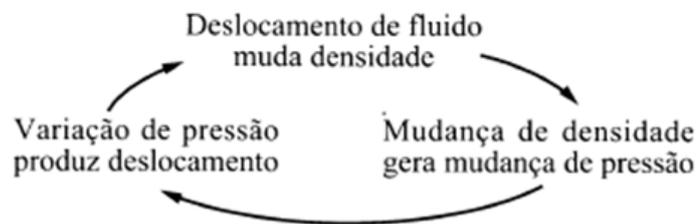
Figura 2 - Compressões e rarefações se propagam (ambas com a mesma rapidez e na mesma direção) a partir do diapasão em forma de forquilha através do ar dentro do tubo.



Fonte: HEWITT, 2011.

Ao vibrar entre as suas extremidades, o diapasão se deforma e comprime as porções adjacentes da atmosfera e essa compressão vai-se transmitindo sucessivamente de cada camada para as camadas contíguas. Quando retorna, cria-se uma zona de rarefação e o ar da região próxima se desloca para preenchê-la e assim, sucessivamente, produzindo uma onda de expansão. As camadas de condensação e de rarefação resultam nas ondas sonoras. O deslocamento de ar provocado pelo diapasão altera a densidade do ar na camada adjacente provocando uma mudança de pressão, conforme a Figura 3. Desse modo, a variação de pressão produz o deslocamento da camada de ar próxima e assim por diante (NUSSENZVEIG, 2014).

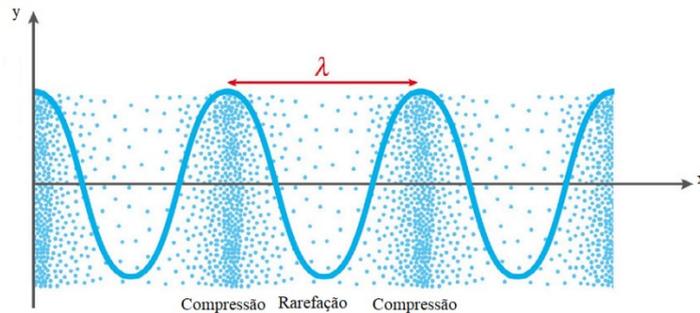
Figura 3 - Esquema do mecanismo dinâmico de propagação da onda.



Fonte: NUSSENZVEIG, 2014.

O primeiro plano de partículas vibra e transfere sua energia cinética para os próximos planos de partículas, que passam a oscilar. Desta maneira, todo o meio elástico vibra na mesma direção de propagação da onda longitudinal, e aparecem zonas de compressão e zonas diluídas. As distâncias entre duas zonas de compressão determinam o comprimento de onda (λ), conforme a Figura 4:

Figura 4 - Distâncias entre duas zonas de compressão determinando o comprimento de onda (λ).



Fonte: Própria autora, 2021.

Quando uma onda se propaga através de um meio, ela percorre uma distância (ΔS) igual ao seu comprimento de onda ($\Delta S = \lambda$), num intervalo de tempo igual a um período ($\Delta t = T$). Num meio homogêneo, a velocidade de propagação (v) de uma onda é constante, seja ela mecânica ou seja ela eletromagnética.

Através da Equação 1, temos que:

$$\Delta S = v\Delta t \quad . \quad (1)$$

Então, o comprimento de onda pode ser calculado através da Equação 2:

$$\lambda = vT \quad , \quad (2)$$

onde λ é o comprimento de onda, v é a velocidade de propagação da onda e T é o período.

No entanto, a frequência (f) de um movimento periódico consiste no número de oscilações realizadas pela fonte que produz a onda em cada segundo. Assim, o período (T), que está diretamente relacionado com o inverso de uma frequência, representa o intervalo de tempo correspondente a uma oscilação completa da fonte que produz a onda, conforme a Equação 3:

$$T = \frac{1}{f} \quad . \quad (3)$$

Então, o comprimento de onda pode ser expresso pela relação expressa na Equação 4:

$$\lambda = v \frac{1}{f} . \quad (4)$$

Portanto, a velocidade do som (v) pode ser escrita em função da frequência (f) da onda através da Equação 5:

$$v = \lambda f , \quad (5)$$

em que v é a velocidade do som no meio (m/s); λ é o comprimento da onda (m) e f é a frequência (Hz). Essa relação é fundamental e se aplica à propagação de todas as ondas.

3.2 PROPAGAÇÃO DO SOM NO MEIO

O som possui a característica de propagar-se em distintos meios materiais, sendo em meios gasosos, como o ar atmosférico, em meios sólidos, como um trilho de trem e em meios líquidos, como a água. É possível verificar isso através da comunicação do ser humano ao emitir sons que se propagam através do ar atmosférico ou a comunicação através do som emitido entre baleias.

É possível ouvir dentro da água alguns dos sons da superfície. Na água, a velocidade do som pode chegar a 1500 m/s, muito maior do que no ar. Em um meio sólido, o som se propaga ainda mais rápido: cerca de 5000 m/s. Isso acontece porque tanto a água quanto o meio sólido são constituídos por partículas mais próximas do que no ar. As partículas vão transmitindo vibrações às seguintes e é do movimento de todas essas partículas que resulta o som. Quanto mais próximas as partículas estiverem entre si, mais rapidamente se propagam as vibrações.

Então, para que o som possa se propagar, obrigatoriamente precisa sempre de um meio material que pode ser sólido, líquido ou gasoso e que conduza até ao receptor sonoro as vibrações provocadas pela fonte sonora. Na ausência de um meio que propague estas vibrações, não ocorre a propagação de som.

3.2.1 Velocidade do Som

No momento em que ocorre a perturbação do ambiente, as ondas podem ser classificadas quanto ao número de direções de propagação: unidimensionais, que se propagam numa só direção; bidimensionais, que se propagam num plano; tridimensionais, que se propagam em todas as direções, como por exemplo, as ondas sonoras no ar atmosférico. A seguir, vamos considerar a propagação unidimensional de uma onda sonora.

Para determinar a velocidade do som, basta calcular quantos metros uma onda avança a cada segundo. A velocidade de propagação é determinada de acordo com as propriedades do meio em que a onda se encontra e de sua fonte. Ou seja, a velocidade de cada onda só se altera se o meio por onde ela se propaga for alterado.

Podemos encontrar a velocidade do som pela Equação 5. Essa equação que nos permite encontrar a velocidade de uma onda também nos permite comprovar do que ela depende. Como o comprimento de onda λ depende do meio em que a onda se propaga e a frequência f depende exclusivamente da fonte, podemos perceber que a velocidade v é dependente de ambos.

De acordo com NUSSENZVEIG (2014), através do ciclo da sintetização do mecanismo dinâmico de propagação da onda apresentado na Figura 3, podemos obter a Equação de propagação das ondas sonoras. Ou seja, através da Equação 6:

$$\delta = \rho - \rho_0 = -\rho_0 \frac{\partial u(x,t)}{\partial x} \quad , \quad (6)$$

onde δ é a variação de densidade associada à onda de deslocamento, ρ é a densidade do fluido, ρ_0 é a densidade do meio, $u(x, t)$ é o deslocamento sofrido pelas partículas do fluido na secção transversal de coordenada x no instante t . O sinal da Equação 6 indica que se o deslocamento cresce com $x \frac{\partial u}{\partial x} \geq 0$, produz-se uma rarefação ($\delta < 0$), conforme deveria ser (NUSSENZVEIG, 2014). Assim, pode-se perceber que um deslocamento do fluido produz uma variação de densidade, conforme a Equação 7:

$$\delta = -\rho_0 \frac{\partial u}{\partial x} \quad . \quad (7)$$

Essa variação de densidade produz uma variação de pressão, representada na Equação 8:

$$p = \left(\frac{\partial P}{\partial \rho} \right)_0$$

$$\delta = -\rho_0 \left(\frac{\partial P}{\partial \rho} \right)_0 \frac{\partial u}{\partial x} \quad , \quad (8)$$

onde P é a pressão e ρ é a densidade do fluido e o índice 0 indica que a derivada é calculada em torno dos valores de equilíbrio (NUSSENZVEIG, 2014).

Os deslocamentos gerados por esta variação de pressão obedecem a equação de movimento (NUSSENZVEIG, 2014), expressa na Equação 9:

$$\rho_0 \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = - \frac{\partial p}{\partial x} \quad , \quad (9)$$

o que leva a equação de ondas (NUSSENZVEIG, 2014), conforme a Equação 10:

$$\frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} - \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = 0 \quad . \quad (10)$$

Como a velocidade de propagação é dada pela Equação 11:

$$v = \sqrt{\left(\frac{\partial P}{\partial \rho} \right)_0} \quad , \quad (11)$$

podemos concluir que esta é a velocidade do som no fluido (NUSSENZVEIG, 2014).

No entanto, num gás ideal, o valor de $\left(\frac{\partial P}{\partial \rho} \right)_0$ depende da natureza do processo de compressão ou expansão do gás (NUSSENZVEIG, 2014). Para um processo isotérmico em um gás ideal, que é uma boa aproximação para a atmosfera, temos (Equação 12):

$$\sqrt{\left(\frac{\partial P}{\partial \rho} \right)_{0,r}} = \sqrt{\frac{P_0}{\rho_0}} \quad , \quad (12)$$

ou seja, resultado encontrado por Newton para a velocidade do som em um gás. Em 1816, mais de um século mais tarde, Laplace explica que as compressões e expansões numa onda sonora ocorrem tão rápido que não dá tempo para ocorrer as trocas de calor (NUSSENZVEIG, 2014). Desta forma, os processos de propagação do som nos fluidos obedecem a equação das adiabáticas, dada por:

$$PV^\gamma = C \quad , \quad (13)$$

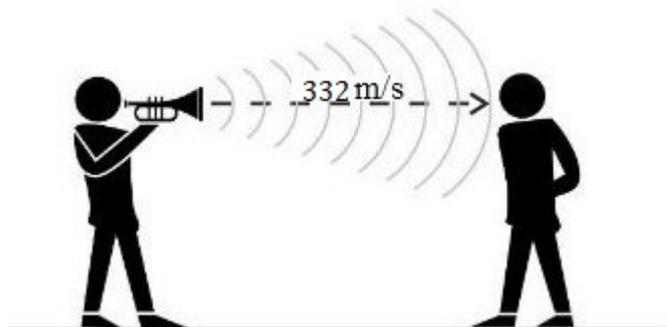
onde nesta relação, C é uma constante que sempre conserva em um processo adiabático e γ é a constante adiabática do fluido, sendo $\gamma \approx 1,4$ para o ar (NUSSENZVEIG, 2014).

Ao considerar as Equações 11 e 13, obtém-se (Equação 14):

$$v = \sqrt{\left(\frac{\partial p}{\partial \rho}\right)_{s,0}} = \sqrt{\gamma \frac{p_0}{\rho_0}} \quad , \quad (14)$$

ou seja, a relação acima nos permite estimar um valor para a velocidade de propagação do som no ar muito próximo ao obtido experimentalmente de aproximadamente $v = 332 \text{ m/s}$ (Figura 5), nas condições normais de pressão e temperatura.

Figura 5 - Propagação do som no ar.



Fonte: Adaptado de GOUVEIA, 2018.

Em meios líquidos e sólidos, a velocidade de propagação do som pode ser escrita através da relação expressa na Equação 15:

$$v = \sqrt{\frac{B}{\rho_0}}, \quad (15)$$

onde B é o módulo de compressibilidade do meio. O módulo de compressibilidade expressa a quantidade de pressão necessária para obter uma mudança de volume por unidade de volume (NUSSENZVEIG, 2014). A unidade de medida no Sistema Internacional – SI - é o Pascal (Pa). E é por causa do módulo de compressibilidade que o som se propaga nos diferentes meios.

A água, por exemplo, é um material que possui módulo de compressibilidade alto ($B = 2,2 \cdot 10^9 N/m^2$) e densidade $\rho_0 = 10^3 kg/m^3$ à temperatura ambiente (NUSSENZVEIG, 2014). Considerando esses valores, pode-se encontrar, a partir da Equação 15, que a velocidade de propagação na água é aproximadamente 1483 m/s.

Fica evidente que o estado físico dos materiais tem forte influência na velocidade do som, sendo que nos sólidos se propaga mais rapidamente e mais lentamente nos gases, como podemos ver na Tabela 1, que apresenta a velocidade do som para os diferentes meios:

Tabela 1 - Velocidade do som para diferentes meios.

MATERIAL	VELOCIDADE (m/s)
SÓLIDOS	
Aço (293 K)	6000
Vidro (293 K)	5130
Alumínio (293 K)	5100
Latão (293 K)	3500
LÍQUIDOS	
Glicerina (298 K)	1904
Água do mar (298 K)	1533
Água (298 K)	1493
Mercúrio (298 K)	1450
GASES	
Hidrogênio (273 K)	1286
Hélio (273 K)	972
Ar (273 K)	330

Ar (293 K)	343
------------	-----

Fonte: Elaborado pela autora, 2020.

A velocidade do som também é influenciada pela temperatura, ou seja, o som adquire maior velocidade em temperaturas mais elevadas. Isto é uma consequência da variação da densidade do meio com a temperatura, que possui uma relação direta com a velocidade de propagação do som, conforme mostra a Equação 15.

Na Tabela 2, podemos verificar os valores da variação da velocidade do som no ar em função da temperatura.

Tabela 2 - Velocidade do som no ar em função da temperatura.

TEMPERATURA (K)	VELOCIDADE (m/s)
263	330
273	332
283	337
293	343
303	350
373	390
773	550
1273	700

Fonte: Elaborado pela autora, 2020.

3.2.2 Evolução dos conceitos acerca do som

Do ponto de vista histórico, desde o ano 4.000 a.C. o estudo do som está relacionado com a música, arte que já era praticada pelos hindus, pelos egípcios, pelos chineses e pelos japoneses. No entanto, as primeiras investigações sobre o som tiveram início com o trabalho de alguns filósofos gregos como Pitágoras, no século VI a.C. e que foram continuados ao longo dos anos, realçando-se os trabalhos de Galileu, Newton até os dias atuais.

Pitágoras (569 - 500 a.C.), cerca de 2.500 anos atrás, ao estudar os intervalos musicais e as suas relações, fez com que surgissem os conceitos relacionados a consonância e dissonância. Pitágoras também estabeleceu a relação entre frequência e o comprimento de onda,

utilizando em suas pesquisas um monocórdio. Assim, ele abriu as portas para especulações filosóficas e matemáticas no estudo do som, que durante muitos séculos ainda era visto como uma “fusão mística entre a aritmética e a música”. Por volta do ano de 300 a.C., também Aristóteles (384-332 a.C.), ocupou-se com o estudo do som relacionado à música, deixando inúmeros artigos, os quais abordam modelos sobre a propagação das ondas sonoras no ar. A influência de Aristóteles prosseguiu até meados do século XVII, quando surgiu uma nova era de investigações científicas. Nessa época os experimentos com o som começaram a ser feitos sem estar, necessariamente, relacionados à música (PERES, 2017).

No ano de 130 a.C., Ptolomeu construiu um diagrama geométrico onde pretendia estabelecer uma relação harmônica entre os tons musicais e as cores. A tarefa da harmônica ptolomaica era identificar os intervalos e estruturas das escalas e os princípios dessas distinções e o ponto de partida era o exame da qualidade do grave e do agudo do som em geral. “O som é uma tensão contínua do ar que circunda as coisas e é levado para dentro delas produzindo uma perturbação e, portanto, de acordo com o grau de tensão, o som torna-se mais grave ou mais agudo” (GUSMÃO, 2013). Sua análise da diferença entre agudo e grave discute a forma de produção do som, ou seja, “o que é mais denso e mais fino produz sons mais agudos, o que é mais esparsos e mais grosso produz sons mais graves” (GUSMÃO, 2013).

Bem mais tarde, por volta em 1500 d.C., o italiano Leonardo Da Vinci, fez a descoberta de que o som viaja por meio de ondas (INVIVO, 2013).

Cerca de um século depois, Galileu Galilei (1564-1642) descobriu o fenômeno da ressonância, adiantando a ideia de que cada corpo vibra em sua frequência natural. Assim, publicou uma obra sobre consonância, dissonância e ressonância. Galileu deduziu as leis completas sobre as cordas vibrantes, haja visto que muitos autores atribuíam esse mérito a Mersenne. Galileu iniciou o estabelecimento das relações numéricas entre o som em função das vibrações do objeto sonoro. Verificou-se que um determinado número de vibrações por segundo dá como resultado um som específico. Ao aumentar o número de vibrações por segundo, o som torna-se mais agudo, e, ao diminuir o número de vibrações por segundo, produz um som mais grave (INVIVO, 2013).

Modificando totalmente a visão pitagórica, em 1638, Galileu Galilei escreveu que “nem o comprimento, nem a tensão e nem a densidade linear de cordas apresentava-se como razão direta e imediata subjacente a intervalos musicais, mas razões dos números de vibrações e impactos de ondas sonoras que atingiam o tímpano” (ABDOUNUR, 2007). Ponderando que

o som que chegava até a orelha através do objeto vibrante que o produzia, Galileu verificou que a altura musical estava ligada diretamente com a “frequência registrando rastros de arranhões desenhado numa placa metálica provenientes de uma haste vibrante solidária a uma membrana que recebia vibrações sonoras” (ABDOUNUR, 2007).

O argumento de Galileu, no século XVII, de que a sensação de altura musical está diretamente relacionada ao conceito de frequência sinaliza o início da física da música em sua atual concepção. Isso acabou motivando o entendimento dos harmônicos musicais, pois durante esta época Mersenne, entre outros, não compreendiam que um simples objeto pudesse vibrar simultaneamente em diferentes frequências. Mais tarde, através de Newton, Laplace e Euler, os fundamentos desta ideia concretizaram-se através de fórmulas matemáticas demonstrativas (PERES, 2017).

O som passa a ter um novo aspecto quando é classificado como uma onda. Este fato possibilitou o seu estudo através da teoria desenvolvida por Huygens (1629-1695), a teoria ondulatória.

Em 1640, o matemático francês responsável pelos primeiros estudos e primeiras experiências sobre a velocidade do som, Marin Mersenne (1558-1648), realizou a primeira medida da velocidade do som no ar. Tais experimentos progrediram no século XVIII, possibilitando demonstrar a diferença nos meios sólidos, líquidos e nos meios gasosos. Os estudos realizados por Mersenne possibilitaram o inglês Derham, em 1656, a estudar a velocidade do som e chegar ao valor de 350 m/s a uma temperatura de 20° C aproximadamente (MARGARIDA, 2018).

O cientista inglês Robert Boyle, em 1660, descobriu que as ondas sonoras necessitam de um meio material para se propagarem, característica que até então era desconhecida. Já Isaac Newton, ao final do ano de 1660, estabeleceu uma relação entre a velocidade do som num meio com a densidade e compressibilidade do meio. E mesmo Newton, no século XVII, procurou mostrar que existia relações numéricas entre as cores do arco-íris e as notas de um acorde musical (INVIVO, 2013).

Em meados do século XVIII, Daniel Bernoulli explicou que uma corda podia vibrar em mais de uma frequência, bem como em mais de um comprimento de onda. Afirmou que “a vibração de um corpo sonoro poderia ser observada com superposição de seus modos simples como distintas amplitudes, porém não havia princípios gerais sobre os quais a prova de tal afirmação poderia ser experimentada” (PERES, 2017). Esta afirmação de Bernoulli ancorou-se

teoricamente nos experimentos de Fourier em área aparentemente distantes do universo musical.

Em 1666, os italianos Borelli e Viviani, que eram discípulos de Galileu, conseguiram medir a velocidade do som no ar e chegaram ao valor de 361 m/s. Alguns anos mais tarde, em 1867, teoricamente a partir da Lei de Boyle, Newton determina que o som propaga-se com uma velocidade de 295 m/s (ROSA, 2012).

No que se refere às sensações provocadas pelo som, Robert Hooke, em 1681, matemático inglês e secretário da *Royal Society of London*, foi o primeiro cientista a pesquisar sobre a relação entre a frequência objetiva de um som e a altura subjetiva em que o mesmo é escutado. No entanto, em 1937, uma série de experiências foi iniciada por psicofísicos da Universidade de Harvard, objetivando mostrar que a relação entre a altura e a frequência não é direta (ROSA, 2012).

Por volta de 1700, o francês Joseph Sauver, considerado o pai da acústica, descobriu o número de vibrações do som que a orelha humana consegue captar. De acordo com este número de vibrações, verificou-se a distinção entre infrassons e ultrassons (PERES, 2017).

Em 1708, o reverendo William Derham, com disparos da torre de sua igreja em Upminster, a uma distância de 20 quilômetros, encontrou um valor médio de 348 m/s para a velocidade do som no ar. Já alguns pesquisadores da Academia das Ciências de Paris mediram 332 m/s a uma temperatura de 0°C, em 1738. Nesta mesma época, Römer, Picard, Cassini e Huygens, com disparos de canhão a uma distância de 28 quilômetros, conseguem encontrar um valor médio de 347 m/s para a velocidade do som no ar (GABRIELSON, 2009).

Jean Baptiste Biot, em 1808, executa os primeiros ensaios para determinar a velocidade do som em meios sólidos. Através de seus experimentos pode concluir que a velocidade do som no ferro é muito superior em relação a velocidade do som no ar. Em 1822, Prony, Arago, Bouyard, Mathieu, Gay-Lussac e Humboldt concluem que o som se propaga com velocidade de 340,9 m/s (MARGARIDA, 2018).

Em 1826, Jean-Daniel Colladon e Jacques Charles Francois Sturm pesquisaram a propagação do som na água a uma temperatura de aproximadamente 8°C e encontraram um valor de 1435 m/s (BRITANNICA, 2018).

Alfonso Corti, em 1851, descobriu o verdadeiro centro da audição e, examinando a cóclea com um poderoso microscópio, percebeu suas milhares células ciliadas (SIMÕES, 2018).

Em 1883, Lord Kelvin (1824-1907) construiu o primeiro analisador harmônico.

Ainda nesta época, Sir Charles Wheatstone (1802-1875) fez inúmeros experimentos ligados à audição e fazendo uso de algo semelhante a um estetoscópio inventou um aparelho, que originou o termo microfone. No século XIX, praticamente no finalzinho, alguns profissionais da área da eletrônica e da eletricidade passaram a mostrar interesse em outra área: a acústica (CALIXTO, 2004). Dessa forma Graham Bell, em 1861, inventou o primeiro telefone e no ano seguinte, 1862, Edison, inventou o fonógrafo, dando origem aos sistemas de gravação e reprodução. Seis anos mais tarde, Herman von Helmholtz (1821-1894), um alemão filósofo, anatomista, matemático e físico supôs que as estruturas internas do órgão de Corti ressoassem. Békésy, em 1928, complementou a teoria de Helmholtz estudando a adaptação mecânica e elétrica do equipamento telefônico às exigências do mecanismo auditivo.

Nesta época os estudos do som se intensificaram resultando no que se tornaria a acústica atual. Estudos acerca da sensibilidade do sistema auditivo ao som também contribuíram para consolidar as bases científicas da acústica e começaram a ser trilhados os primeiros passos da psicoacústica (SIMÕES, 2018).

Em 1905, utilizando a técnica de Michelson, Hebb mede a velocidade do som para o ar seco e encontra um valor médio de 331,41 m/s (MARGARIDA, 2018).

Sabine, em 1925, iniciou a época da acústica arquitetônica, onde mediu pela primeira vez a reverberação do som (ZAMPAR FILHO, 2014).

Na Segunda Guerra Mundial, período entre 1939 e 1945, foi aperfeiçoado o uso do ultrassom para detecção de objetos submersos. A partir daí, foi possível o desenvolvimento de técnicas ultrassônicas com aplicação também na medicina e na engenharia.

Como causa e efeito do próprio desenvolvimento, a partir de 1930, diferenciaram-se as diversas especialidades da acústica, como a acústica fisiológica ou psicoacústica, a acústica arquitetônica, a acústica ambiental e a fonética acústica (ZAMPAR FILHO, 2014).

Por fim, dentre todos os nomes supracitados, o físico e astrônomo Galileu Galilei foi um dos nomes que mais contribuiu para nossa compreensão do som. Galileu assegurava que a frequência das ondas sonoras determinava o tom que escutamos. Ele pode concluir isto ao girar um disco repleto de furos sobre um jato de ar. Ao girar o disco com maior velocidade, mais agudo o som ficava. Portanto, vibrações agudas são vibrações com agitação rápida e vibrações lentas são vibrações com agitação lenta. Uma corda, tendo um mesmo comprimento, pode

vibrar em diferentes comprimentos de onda, dependendo do "ritmo" da vibração imposta à corda (INVIVO, 2013).

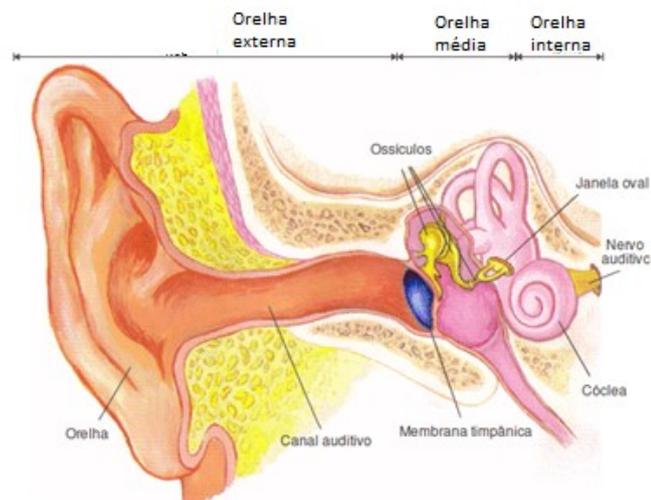
3.3 A ORELHA HUMANA E A AUDIÇÃO

Grande parte das informações que o ser humano recebe são transmitidas por ondas sonoras. Elas, normalmente, provêm do ambiente que nos cerca e são originadas em diversas fontes sonoras. O sistema auditivo dos animais permite a captação dessas ondas e o reconhecimento do conteúdo de informação que possuem. Além de participar da audição, o aparelho auditivo humano também está relacionado com o equilíbrio do corpo (GARCIA, 2002).

A Bioacústica é responsável pelo estudo da modalidade sensorial da audição dos mamíferos em geral, ou seja, analisa a percepção de sensações auditivas cuja origem se dá pelos estímulos sonoros. Tais estímulos são ondas mecânicas que ao chegarem no sistema auditivo, agem nas células ciliadas e em seus nervos terminais codificando o estímulo mecânico em potenciais de ação. De acordo com Duran (2011), “a orelha humana é um órgão extremamente sensível, que converte um fraco estímulo mecânico, produzido por um meio externo, em estímulos nervosos”.

Localizada na região temporal do crânio, a orelha é dividida em três partes: orelha externa, orelha média e orelha interna, conforme mostra a Figura 6:

Figura 6 - Diagrama esquemático da orelha humana.



Fonte: RUI, 2007. (Adaptado).

A orelha externa é a parte que está em contato com o meio externo, onde incide o estímulo produzido por uma fonte sonora. Consiste em um pavilhão auditivo, um canal auditivo e o tímpano. Constituída por cartilagens, seu papel é capturar as ondas sonoras e direcioná-las para o meato acústico externo, o qual atua como um condutor do som até a membrana timpânica. A orelha externa também desempenha o papel de proteger e fornecer ressonância sonora, possibilitando uma melhor transferência de energia (DURAN, 2011).

O canal auditivo tem um comprimento de 2,5 cm aproximadamente e menos de 1 cm de diâmetro, equivalente a um volume total de 1 cm^3 . O tímpano, que também é conhecido como membrana timpânica, preenche o fundo do canal auditivo e tem formato de um cone com um diâmetro de 1 cm. Possui uma membrana de 0,05 mm de espessura e uma superfície de 85 mm^2 . A cera, que é produzida pelas glândulas ceruminosas da pele do meato, forma uma película que impermeabiliza e protege a orelha da ação de microrganismos e outras impurezas. No ser humano, o pavilhão auditivo é pouco efetivo ao ser comparado com alguns animais, nos quais essa parte produz um ganho apreciável para certos intervalos de frequência do som detectado (DURAN, 2011).

A orelha média localiza-se logo após a membrana timpânica. Consiste numa cavidade cheia de ar que ocupa um volume de aproximadamente 2 cm^3 e contém três pequenos ossos, os menores do corpo humano: o martelo, a bigorna e o estribo. Esses ossículos possuem a função de transmitir o som da membrana timpânica para a orelha interna, ou seja, as ondas sonoras agitam a membrana timpânica a qual movimentam o martelo, bigorna e estribo, que conduzem para a orelha interna as vibrações sonoras. Essa cavidade é limitada internamente pelo promontório, onde estão a janela oval e janela redonda. Segundo Garcia (2002), a orelha média serve para realizar duas tarefas. A primeira, “é fazer com que a pressão do lado interno da membrana timpânica seja igual a pressão do lado externo.” E a segunda, “é promover um ganho mecânico, a fim de que a energia da onda sonora seja suficiente para promover a vibração das línguas e membranas do ouvido interno”. Em parte, essa tarefa é executada pelos ossículos que formam um conjunto de alavancas com um ganho mecânico de 1,3, ou seja, a força aplicada pelo estribo sobre a janela oval é 1,3 vezes maior do que a força que o tímpano aplica sobre o martelo (GARCIA, 2002).

Okuno (1982) afirma que “as ondas sonoras não são transmitidas facilmente do ar para o fluido, pois a maior parte da energia sonora é refletida nas interfaces entre as várias partes do

ouvido”. Dessa forma, necessita-se que a pressão na janela oval seja amplificada, objetivando produzir uma audição adequada. Na região mais sensível, a pressão acústica que esse órgão consegue perceber é de um milibar, o que equivale a uma amplitude de deslocamento molecular da ordem de 10^{-9} cm ou 0,1 Å (DURAN, 2011).

A razão entre a força (F) e a área (A) fornece a pressão (P), representada na Equação 16:

$$P = \frac{F}{A} , \quad (16)$$

E, conseqüentemente, podemos encontrar as pressões no tímpano (t) e na janela oval (jo), como mostra a Equação 17 e a Equação 18:

$$P_t = \frac{F_t}{A_t} , \quad (17)$$

$$P_{jo} = \frac{F_{jo}}{A_{jo}} . \quad (18)$$

A amplificação da pressão na janela oval pode ser calculada pelo quociente da janela oval pelo tímpano, conforme a Equação 19:

$$\frac{P_{jo}}{P_t} = \frac{\frac{F_{jo}}{A_{jo}}}{\frac{F_t}{A_t}} . \quad (19)$$

A força aplicada sobre a janela oval é a força sobre o tímpano amplificada de um fator de 1,3 pelos ossículos (OKUNO, 1982).

$$F_{jo} = 1,3F_t .$$

De acordo com Okuno (1982), a área (A) do tímpano é $0,55 \text{ cm}^2$ e da janela oval, $0,032 \text{ cm}^2$. Então, substituindo esses valores na Equação 19:

$$\begin{aligned} \frac{P_{jo}}{P_t} &= \frac{\frac{1,3F_t}{0,032 \text{ cm}^2}}{\frac{F_t}{0,55 \text{ cm}^2}} \\ \frac{P_{jo}}{P_t} &= \frac{1,3 \cdot 0,55}{0,032} \\ \frac{P_{jo}}{P_t} &= 22 . \end{aligned}$$

Podemos perceber que a pressão na janela oval é 22 vezes a pressão no tímpano. Esse ganho de pressão é fundamental para que a onda sonora possa passar do meio aéreo para o meio líquido.

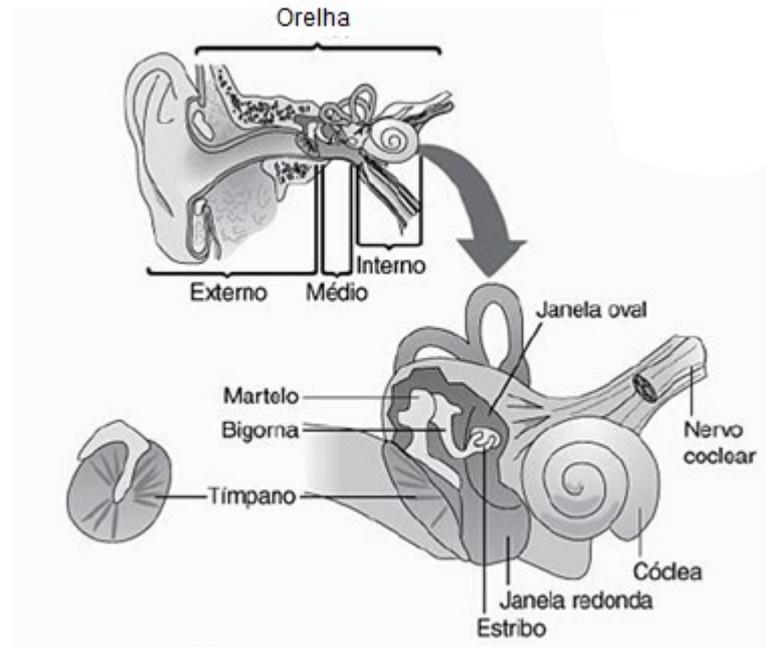
A orelha interna contém em sua estrutura a cóclea, cujas paredes são limitadas por três tubos enrolados em espiral. Nesta parte da orelha, a energia transportada pelo estímulo sonoro é transformada em potenciais de ação que são levados até o córtex auditivo. No canal coclear está o órgão de Corti, que abrangem um número de 18 mil células, de onde aparecem os nervos que dão formação ao nervo acústico e transportam os impulsos elétricos até o cérebro e sobre ele está a membrana tectorial. Este canal está separado do vestíbulo pela membrana de Reissner e do tímpano pela membrana basilar, que possui uma seção transversal de 0,04 mm aproximadamente. Essa membrana basilar, que possui a forma de uma lâmina gelatinosa, é curta e rígida perto da janela oval e cerca de 12 vezes mais longa e mais fina nas proximidades do helicotrema, sendo cerca de 100 vezes menos rígida. Isso permite com que a membrana tenha frequências de ressonância altas no início e baixas no final (OKUNO, 1982).

O órgão de Corti transforma uma oscilação mecânica na orelha interna em um sinal que pode ser transmitido pelos nervos e processado pelo sistema nervoso central. Sua anatomia ajuda a executar essa função. Nesse órgão, existe a membrana tectorial que cobre os cílios das células ciliadas externas. Nos extremos internos dessas células encontramos as sinapses com neurônios que apresentam seus corpos celulares nos gânglios espirais de Corti, localizados na cóclea. Os axônios desses neurônios constituem o nervo coclear (OKUNO, 1982).

3.4 A PERCEPÇÃO DO SOM

Quando a onda sonora atinge o nosso sistema auditivo o movimento das partículas do ar chega à orelha externa. Então a vibração se amplifica um pouco e atinge a membrana timpânica, uma superfície esticada que fica presa aos ossos do crânio, parecendo o couro de um tambor. O martelo, ligado à membrana timpânica, também começa a vibrar. Como a bigorna e o estribo estão ligados a ele, de modo semelhante a um sistema de alavancas, esses três ossículos da audição, que ficam em uma pequena câmara cheia de ar, começam a vibrar em conjunto, amplificando as vibrações recebidas da orelha externa para a orelha interna, conforme mostra a Figura 7 (DURAN, 2011).

Figura 7 - A orelha humana dividida em orelha externa, média e interna.



Fonte: DURAN, 2011. (Adaptado).

Dessa forma, temos uma onda produzida no líquido da cóclea, que também é conhecida como caracol, que está dividida longitudinalmente pela membrana basilar, que contém milhares de fibras basilares que podem ser movidas pelas ondas nesse líquido. Essas membranas estão distintas e cada uma é sensível a uma frequência específica. Assim, somente algumas serão acionadas de acordo com as características do som produzido, e então transmitidas ao nervo auditivo. Trata-se de um labirinto membranoso que está cheio de um líquido que recebe as vibrações transmitidas pelos ossículos. Essas vibrações são amplificadas pela janela do vestíbulo, que produz vibrações no líquido contido no labirinto membranoso. A região do labirinto membranoso de mesma frequência de vibração entra em ressonância, aí as dendrites dessa região são excitadas e enviam um sinal correspondente ao cérebro, que decodifica o sinal e nos faz ouvir o som emitido (DURAN, 2011).

A ressonância está presente no mecanismo da audição. Este fenômeno ocorre entre a onda sonora e as fibras da membrana basilar. Dependendo da frequência do som que chega, somente uma porção dessa membrana será colocada em vibração com maior intensidade.

Considerando uma diversidade de frequências, o som pode ser dividido em dois grupos: graves e agudos. Para a percepção dos graves, as fibras da membrana basilar próximas ao vértice da cóclea vibrarão mais. Já para os agudos, a parte inicial da membrana basilar próxima a orelha média será mais estimulada. Os sons intermediários são produzidos na parte central da membrana (GARCIA, 2002).

No entanto, nem todas as frequências são audíveis ao ser humano. Entretanto, alguns animais, como aranhas e elefantes conseguem detectar infrassons. Gatos, cães, morcegos, moscas e golfinhos detectam ultrassons. Já o ser humano, além de muitos outros animais, ouve mais frequências do que aquelas que produzem. Ou seja, os jovens são sensíveis às frequências entre 20 Hz e 20000 Hz, aproximadamente. Ao longo da vida, perdemos a capacidade de ouvir certas frequências, sobretudo as mais altas, conforme afirma Okuno (1982): “A sensibilidade do ouvido humano também varia com a idade. À medida que as pessoas envelhecem, a máxima frequência audível diminui e o nível de intensidade sonora deve ser aumentado para ser detectável”. O limite superior passa a ser 15000 Hz a partir de 30 anos e decresce para 12000 Hz depois dos 50 anos. Uma pessoa mais velha pode ter a capacidade auditiva reduzida para a faixa entre 50 Hz e 8000 Hz, ou ainda menos (OKUNO, 1982).

Como uma onda tende a seguir em todas as direções, somente uma parte chegará até nossas orelhas. Quanto maior a quantidade de energia que chega até nós, maior será a intensidade física do som que escutamos. É importante ressaltar que a sensibilidade do aparelho auditivo humano atinge seu máximo entre as frequências de 2000 e 4000 Hz. Ou seja, neste intervalo de frequência o sistema auditivo humano é capaz de perceber os sons de menor intensidade (DURAN, 2011).

Adicionalmente, a intensidade da onda sonora depende da sua frequência (ω), da amplitude da onda de deslocamento das partículas do meio (U) e de sua velocidade de propagação, conforme a Equação 22:

$$I = \frac{1}{2} \rho_0 v \omega^2 U^2 . \quad (22)$$

O limiar da dor ocorre quando obrigamos a membrana timpânica a vibrar com amplitudes na ordem de 10^{-3} cm, o que corresponde a uma pressão de 20 Pa (20 N/m² ou 0,2 gf/cm²). As intensidades físicas dos sons audíveis também apresentam grandes variações. O sistema auditivo é capaz de perceber sons desde um suspiro bem fraco até um ruído muito forte.

Essa grande variação de intensidades percebidas pela orelha humana é um dos motivos pelos quais se estabelece o nível de intensidade sonora (β), cuja unidade de medida é o bel. Dois sons diferem de 1 Bel quando a intensidade de um é 10 vezes maior que a do outro. Entretanto, a unidade mais usada cotidianamente é o decibel (dB), que corresponde a um décimo do bel (DURAN, 2011).

Podemos calcular o nível de intensidade sonora para determinada intensidade física da fonte através da Equação 23:

$$\beta = 10 \log \frac{I}{I_0}, \quad (23)$$

onde I_0 é a intensidade mínima de referência e equivale a 10^{-12} W/m².

Outra característica do som é o timbre, que está associado com a característica que nos permite reconhecer o som emitido por uma fonte. O timbre é a qualidade que diferencia dois sons de mesma altura e de mesma intensidade, porém são produzidos por fontes sonoras diferentes. É possível perceber isso, quando ouvimos uma nota musical tocada por um violino e a mesma nota produzida por um piano, por exemplo. Imediatamente identifica-se os dois sons como tendo a mesma frequência, mas com características sonoras muito distintas. O timbre é que nos permite diferenciar esses dois sons instrumentais. Os dois aparelhos musicais, piano e violino, podem emitir sons com a mesma frequência, mas com timbres diferentes, pois as ondas sonoras possuem formas diferentes (GARCIA, 2002).

3.5 ALGUMAS APLICAÇÕES DO SOM

O ser humano adaptou o som para artifícios que podem ser usados nas mais diferentes finalidades. Vemos na medicina, por exemplo, que as ondas sonoras são usadas em testes de ultrassom que são realizados em gestantes, cuja finalidade consiste em detectar possíveis anormalidades estruturais e funcionais em um feto. O uso do ultrassom também pode contribuir para detectar doenças cardíacas, tumores, pedras nos rins, entre outras doenças. O ultrassom também é usado na área industrial para medir a espessura de tubos e placas de metal ou plástico, além de servir para testar a concentração de partículas em tintas e corantes. Através do uso de ultrassom, os sonares conseguem localizar cardumes de peixes, barcos inimigos e obstáculos submersos. Os geólogos podem usar o som para explorar petróleo e minerais, bem como localizar possíveis formações rochosas de minério ou de petróleo. Outra maneira de usar o som

na área industrial é por meio da música, pois esta se baseia em ondas sonoras que são usadas em instrumentos e amplificadores. E conforme vimos, desde a pré-história, os seres humanos produzem música e instrumentos musicais.

Já na ciência, pesquisadores/cientistas desenvolveram apitos e outros aparelhos que produzem ultrassom. “Um transdutor ultrassônico converte energia elétrica em ondas ultrassônicas. Estas ondas também podem ser convertidas em energia elétrica por transdutores. Um modo de usar o som na ciência é um sonar ondulatório. Um sonar usa uma onda sonora para determinar quão distante ou quão profundo algum objeto está” (MARGARIDA, 2018). É importante destacar que esta técnica que é usada pelos morcegos e pelos golfinhos também é usada em pesquisas submarinas.

Com relação ao uso doméstico, podemos constatar que a tecnologia sonora está por toda parte, seja nos telefones celulares, nos filmes sonoros, televisores, fonógrafos, na eletrônica, em aparelhos de surdez, câmeras, alto falantes gravadores, estetoscópios, microfones, entre outros.

4 DESCRIÇÃO DO DESENVOLVIMENTO DO PRODUTO

O produto didático desenvolvido neste trabalho consiste em uma sequência didática que objetiva dar apoio ao professor sob a percepção interdisciplinar da Física e Biologia sobre o som e o sentido da audição. Também integra o produto didático, um material de apoio ao(a) professor(a), com o objetivo de auxiliar na abordagem interdisciplinar dos conceitos discutidos ao longo da sequência didática. A construção desta sequência didática está baseada no referencial teórico de Ausubel, de modo que a aprendizagem seja significativa e que uma nova informação seja um aspecto relevante da estrutura de conhecimento para o estudante (MOREIRA, 2011).

4.1 SEQUÊNCIA DIDÁTICA

A sequência didática poderá ser aplicada no formato de oficina, com a duração de aproximadamente 4 horas, divididas em momentos de 50 minutos ou durante as aulas. Trata-se de uma sequência didática, que abrange desde a abordagem teórica até roteiros para experimentos reais, virtuais e híbridos.

As atividades propostas encontram-se no Quadro 1, que resume a maneira com que os momentos que compõem esta sequência didática foram organizados:

Quadro 1 - Distribuição das aulas que compõem a sequência didática, seus respectivos procedimentos metodológicos e objetivos.

MOMENTO	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	OBJETIVOS
Pré-aplicação da sequência didática.	<ul style="list-style-type: none"> • Elaboração e aplicação da sondagem das concepções prévias sobre o tema fazendo uso de um questionário online. • Avaliação diagnóstica das concepções prévias para o desenvolvimento das fases posteriores. 	Avaliar as concepções prévias dos estudantes sobre o som e o sentido da audição.

<p>1ª Momento: Natureza ondulatória do som.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Realizar experimento demonstrativo; • Debater sobre o experimento; • Explanar sobre tópicos da ondulatória; • Verificação da aprendizagem através de questionamento oral sobre a diferença entre uma onda mecânica e uma eletromagnética. 	<p>Evidenciar os conceitos sobre a natureza ondulatória do som.</p>
<p>2ª Momento: Sistema auditivo.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Utilização do aplicativo “<i>Mozaik Education</i>” para visualizar o sistema auditivo em 3D e como se comporta na presença de som; • Explicação sobre a orelha humana e seu funcionamento; • Ver o vídeo: “A natureza do som e o ouvido humano”. 	<p>Entender o funcionamento do sistema auditivo.</p>
<p>3ª Momento: Propagação do som no meio.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Colocar uma música para tocar e perguntar aos estudantes como o som chega até a nossa orelha; • Anotar as respostas no quadro; • Atividade em grupo: realizar experimento para verificar como o som se propaga em diferentes meios. 	<p>Verificar que o som se propaga nos diferentes meios materiais.</p>
<p>4ª Momento: Percepção do som e a orelha.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Através do aplicativo <i>Phet Colorado</i>, realizar uma discussão qualitativa acerca de alguns conceitos de ondas sonoras. 	<p>Associar características físicas da onda sonora com as percepções de sons agudos e graves.</p>

Fonte: Própria autora, 2019.

A seguir, serão discutidos cada momento de aplicação do produto:

Pré-aplicação: Partindo das ideias prévias sobre o assunto a ser abordado, se ancora o novo conteúdo através do que o aluno já conhece sobre o tema. Ou seja, é necessário conhecer

aquilo que o aluno já sabe e, a partir daí, estabelecer os novos conceitos, onde é possível adotar diferentes estratégias de ensino para facilitar esse processo, para que a aprendizagem ocorra de forma significativa. Tendo em vista que os alunos já possuem alguns conhecimentos prévios necessários, será por estes que se inicia a aprendizagem significativa dos conteúdos relacionados ao som e ao sentido da audição humana. Dessa forma, sugere-se a aplicação de um formulário com questões que versam o som e audição humana. Sugere-se questões como:

1. O que você entende por som?
2. Como o som chega até a nossa orelha?
3. Por que o som da sua voz se altera nas gravações de áudio?
4. Antigamente, as pessoas encostavam a orelha no trilho para descobrir se o trem já estava chegando. Por que elas faziam isso?

Cada uma das questões foi pensada com o objetivo de avaliar algum aspecto. Portanto, temos que:

- **Questão 1:** Esta questão cria uma base de entendimento para as demais questões. A partir deste questionamento é possível identificar o real conhecimento sobre o assunto “Som e audição” e de que forma esse conhecimento poderá influenciar nas demais questões.

- **Questão 2:** Esta questão visa a compreensão do aluno sobre como que o som se propaga.

- **Questão 3:** Este questionamento permite verificar se o aluno associa o som com grandezas físicas como timbre e frequência, pois a maioria dos aparelhos não capta toda a faixa de frequência que a voz humana alcança, alterando assim o timbre da voz quando ela é reproduzida pelo gravador.

- **Questão 4:** Através dessa questão, deseja-se verificar o que o aluno conhece sobre a velocidade do som nos diferentes materiais, se ele é capaz de perceber que em meios sólidos o som propaga-se de forma mais rápida.

As respostas esperadas são:

- **Questão 1:** É uma onda mecânica longitudinal que necessita de um meio material para se propagar.

- **Questão 2:** Através de ondas mecânicas que propagam-se pelo ar.

- **Questão 3:** A orelha interna é estimulada por ondas de som externo e pelas vibrações que acontecem dentro do próprio corpo. E é a combinação desses dois tipos de captação, ar e ossos, que faz com que o som que ouvimos quando falamos seja diferente daquele gravado. Ou

seja, quando falamos, as vibrações das cordas vocais ressoam na garganta e na boca e são transmitidas à orelha interna pelos ossos da cabeça, que vai transformá-las em impulsos elétricos e enviá-las para o cérebro, como em qualquer outro som. No entanto, a acústica do crânio reduzirá a frequência dessas vibrações ao longo do caminho e adicionará tons mais graves a elas, o que não é possível de ser feito com os sons vindos do ar. O resultado é uma voz mais limpa e mais suave que a gravada. Ou seja, quando ouvimos a voz gravada, estamos ouvindo a versão que contém apenas as vibrações que viajam pelo ar. Quando falamos, o som é uma combinação de vibração do ar e dos ossos (ENOKI, 2015).

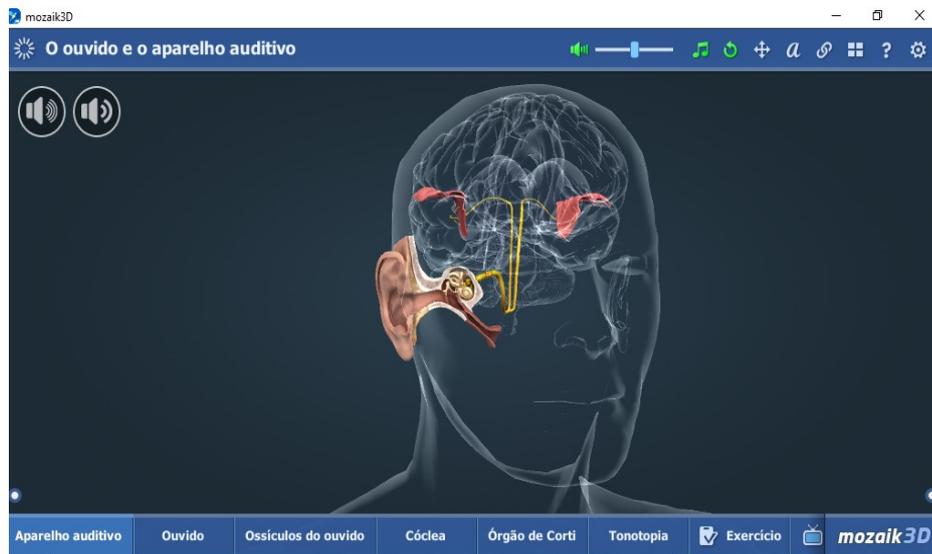
• **Questão 4:** Porque a velocidade do som é maior nos sólidos do que nos gases.

O objetivo desta etapa é identificar os subsunçores dos alunos e desta forma fornecer uma base para que o professor prepare os momentos que seguem. Recomenda-se que as questões apresentadas sejam abertas possibilitando ao aluno expressar sua opinião sobre o assunto, evitando induzi-lo a respostas com o uso de múltiplas escolhas.

1ª momento: No primeiro momento de aplicação, tem-se a fase de investigação sobre o que os alunos conhecem sobre o som. Em seguida, realiza-se o Experimento demonstrativo I, cujo roteiro completo está disponível no Apêndice A dessa dissertação. Neste experimento, objetiva-se visualizar as ondas sonoras e faz-se um debate sobre o que foi observado na atividade realizada. Para elucidar este momento, o professor faz uma explanação sobre tópicos da ondulatória, enfatizando onda mecânica. Finaliza-se o primeiro momento com questionamentos orais sobre o tema abordado.

2ª momento: No segundo momento de aplicação, com a finalidade de explorar o sistema auditivo, realiza-se a Atividade experimental II, cujo roteiro completo encontra-se no Apêndice B desta dissertação. Através do aplicativo *Mozaik Education* (Figura 8), que contém animações 3D, os alunos podem visualizar como o sistema auditivo se comporta na presença do som, ou seja, o órgão auditivo converte as vibrações do ar em sinais elétricos e, em seguida, processados pelo cérebro.

Figura 8 - Tela inicial do aplicativo *Mozaik Education*.



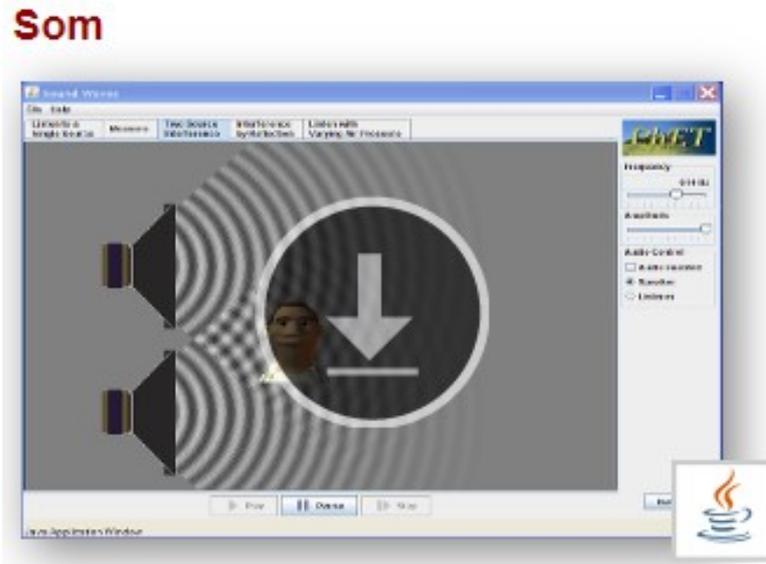
Fonte: Mozaweb, 2020.

Após os alunos terem explorado a animação da orelha no aplicativo *Mozaik Education*, o professor deve fazer uma explanação mais aprofundada sobre a orelha humana e seu funcionamento, detalhando cada parte, orelha externa, orelha média e orelha interna, bem como detalhando em que consiste cada parte e qual a sua função, e como o som é captado e levado até nosso cérebro. Ao finalizar, o professor deve permitir que os estudantes acessem o aplicativo novamente, agora já sabendo em que consiste o sistema auditivo ao todo. Encerra-se este momento com questões sobre o tema abordado.

3^a momento: O terceiro momento de aplicação inicia-se com indagações sobre como o som chega até a nossa orelha. O professor pode colocar uma música para tocar e a partir daí iniciar com o questionamento. Depois, deve organizar para que os alunos realizem a Atividade experimental III conforme Apêndice C, objetivando explorar como o som se propaga nos diferentes meios materiais. Pode-se realizar um debate sobre o que os alunos observaram.

4^a momento: No último momento de aplicação, objetiva-se associar características físicas da onda sonora com as percepções de sons graves e agudos. Para isso, os alunos devem fazer uso do simulador do *Phet Colorado* sobre o som (Figura 9) e realizar a Atividade experimental IV, cujo roteiro completo está disponível no Apêndice D dessa dissertação.

Figura 9 - Tela inicial do simulador sobre o som do Phet Colorado.



Fonte: *Phet Interactive Simulations*, 2020.

Através desta atividade experimental, almeja-se que os alunos concluaem que a frequência está diretamente ligada com o som grave e agudo.

Avaliação da sequência didática: Como forma de avaliar a aplicação desta sequência, o professor pode solicitar relatórios das atividades experimentais como também através dos questionamentos orais realizados ao final de cada aula. Outra forma é solicitar que os alunos respondam as mesmas questões utilizadas no questionário da pré-aplicação (Apêndice E). No caso de avaliação por meio de notas, o professor poderá utilizar os relatórios das Atividades experimentais, além de aproveitar o conteúdo trabalhado para compor uma prova (opcional). Por fim, pode estimular a participação dos alunos através de pontuação extra, se achar conveniente.

4.2 VANTAGENS DA APLICAÇÃO DESSA SEQUÊNCIA

Com base nos resultados da aplicação do Produto Didático, uma das vantagens da aplicação desta sequência está no ensino aprendizagem que ocorre de forma integrada e contextualizada entre a Física e a Biologia. Também ocorre de forma dinâmica, sendo utilizada

várias metodologias, como o uso de aplicativo e simulações, experimentos demonstrativos e realizado pelos alunos e explanação do conteúdo. Outra vantagem é que pode ser aplicada no decorrer das aulas, dando sequência ao assunto de ondulatória que faz parte da ementa de ensino do segundo ano do Ensino Médio.

5 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Este capítulo dedica-se ao relato da aplicação do produto didático, e a subsequente discussão dos resultados da aplicação. Contudo, antes será feita uma breve descrição da realidade educacional do local em que o produto foi aplicado.

5.1 REALIDADE EDUCACIONAL DO LOCAL DE APLICAÇÃO

5.1.1 A instituição

A aplicação do produto didático desenvolvido ocorreu no Instituto Federal Catarinense – IFC – Campus de Rio do Sul.

No campus de Rio do Sul, atualmente existem os cursos: Técnico em Agropecuária integrado ao Ensino Médio, Técnico em Agropecuária subsequente ao Ensino Médio, Técnico em Agroecologia integrado ao Ensino Médio, Técnico em Informática integrado ao Ensino Médio, Técnico em Eletroeletrônica subsequente ao Ensino Médio e Técnico em Agrimensura subsequente. Além dos citados acima, a instituição oferece os cursos superiores de Engenharia Agrônômica, Bacharelado em Ciências da Computação, Licenciatura em Matemática, Licenciatura em Física e Licenciatura em Pedagogia (PPC, 2016).

O campus sede tem seu funcionamento em regime de internato e semi-internato. No curso Técnico em Agropecuária, existem 245 alunos regularmente matriculados e no curso Técnico em Agroecologia, 83 alunos regularmente matriculados. Destes, 287 moram nas dependências da escola e 41 são semi-internos.

As atividades têm funcionamento em período integral, com aulas teóricas e práticas, nos períodos matutino e vespertino, incluindo ainda, outras atividades que visam atender a comunidade externa, através de cursos de curta duração objetivando a capacitação em áreas diversas e projetos de apoio pedagógico nas disciplinas onde os alunos apresentam dificuldades. A instituição tem uma forte atuação junto à comunidade da região, pois ao longo de sua existência, vem desenvolvendo estudos, pesquisas e programas de treinamento na área técnica, através de cursos de atualização, aperfeiçoamento, treinamentos e capacitação. Tais atividades contam com a participação de profissionais da própria instituição e de empresas como SENAR, EPAGRI, Sindicatos, Cooperativas, Secretarias Municipais de Agricultura e Secretarias de

Desenvolvimento Regional, entre outros, com as quais a instituição firma parcerias para este fim (PPC, 2016).

Atualmente, o IFC campus de Rio do Sul dispõe de um quadro docente efetivo com 102 professores do Ensino Básico, Técnico e Tecnológico, 10 docentes contratados, 86 servidores técnico-administrativos e 65 servidores terceirizados, todos voltados para o desenvolvimento de uma educação profissionalizante de qualidade (PPC, 2016).

A relação entre a teoria e prática objetiva fortalecer o conjunto dos elementos norteadores da aquisição de conhecimentos e habilidades, elementos necessários à concepção e a prática da profissão, tornando o profissional crítico e criativo para a solução das diversas situações requeridas em seu campo de atuação (PPC, 2016).

No início de cada período letivo, para que a interdisciplinaridade possa acontecer, durante as reuniões de socialização dos planos pedagógicos de ensino, as disciplinas devem ser programadas conjuntamente pelos professores de todas as áreas de forma que ocorra a integração dos conteúdos, evitando sobreposição de conteúdos e estabelecendo a complementaridade entre as disciplinas, bem como contemplar a contextualização, programar conteúdos que enfoquem áreas específicas de interesse do curso como as relacionadas com as questões do uso de novas tecnologias agropecuárias, ambientais, sociais, sustentáveis, e de empreendedorismo, dentre outras, implementando ações integradas que orientem e viabilizem a realização do estágio curricular obrigatório complementar do curso atendendo as mais variadas demandas do setor agropecuário (PPC, 2016).

Com relação as instalações e recursos pedagógicos disponíveis para as aulas, dispõe-se de: 27 salas de aula, todas com projetor multimídia e internet “*wifi*” disponível para os alunos, 14 laboratórios - Química, Física, Biologia e Botânica, Hidráulica, Ecologia, Sementes, Fitopatologia e Microbiologia, Genética e Melhoramentos Vegetal, Entomologia, Química dos Solos, Física e Fertilidade dos Solos, Informática - todos equipados e em condições de funcionamento para fins didáticos e de pesquisa, 01 biblioteca, 01 auditório, 12 setores administrativos, 30 unidades didáticas, 19 salas de atendimento ao aluno, 28 salas de serviços gerais (refeitório, cozinha, alojamento, enfermaria, consultórios médico e odontológico, etc.) e 01 poliesportivo. Os equipamentos, laboratórios e recursos disponíveis no campus podem ser utilizados por todos os alunos dos cursos oferecidos pela instituição (PPC, 2016).

Além dos recursos didáticos pedagógicos, físicos e laboratoriais, a Instituição possui uma área de fazenda com um total de 280 hectares, onde possui uma divisão didática em forma

de ambientes externos apropriados para pesquisa e produção, denominados Unidades Educativas de Produção (UEPs). Estas unidades contemplam a possibilidade de realização de atividades práticas das disciplinas curriculares (PPC, 2016).

Os projetos instalados na área da fazenda são classificados segundo dois critérios: projetos pela importância econômica regional e projetos didáticos pedagógicos, subdivididos para as áreas de produção animal, produção vegetal, agroindústria, florestal, agroecologia e de mecanização agrícola (PPC, 2016).

O cenário e a realidade das aulas de Física ministradas pela autora nesta escola são as seguintes: sistema trimestral com duas aulas semanais, totalizando de 26 (vinte e seis) a 28 (vinte e oito) aulas por trimestre. Cada aula tem quarenta e cinco minutos. Os conteúdos são trabalhados ao longo do mês e nas últimas aulas de cada mês é realizado uma avaliação (prova). Ao final de cada trimestre é realizada a recuperação trimestral, sendo realizada depois do horário de aula, conforme é combinado com a turma. As aulas ministradas em geral são aulas expositivas, com algumas demonstrações, buscando contextualizar os conceitos trabalhados. Com relação ao conteúdo a ser trabalhado, estão no plano de curso do 2º Ano do Ensino Médio: Termodinâmica, Ótica Geométrica e Ótica Física e Ondulatória.

5.1.2 As turmas envolvidas na aplicação

Com o objetivo de validar a sequência didática, a primeira turma escolhida, turma 2 Ano C (2 C), é constituída por alunos que possuem certa facilidade na aprendizagem dos conteúdos. Outro motivo é a maior participação nas aulas que esta turma apresenta. Nesta turma há 33 (trinta e três) alunos, sendo que dois alunos estão repetindo o segundo ano no Ensino Médio e as aulas ocorriam no período vespertino. Já a segunda turma escolhida, turma 2 Ano E (2 E), tem suas aulas no período matutino e foi escolhida por ter alunos com dificuldades de assimilar o conteúdo na disciplina. Esta turma é composta por 25 (vinte e cinco) alunos e três estão repetindo o segundo ano no Ensino Médio. Essa turma possui um histórico de fraco desempenho nas atividades que são desenvolvidas. O principal elemento que se interpõe entre um processo de ensino e uma aprendizagem significativa é o excesso de conversa entre os alunos desta turma (2 E), acarretando distração. Na maioria das vezes, os conteúdos trabalhados são rapidamente esquecidos por não existir cooperação necessária durante o processo de ensino. Esse fator é comprovado nas avaliações realizadas que, independente da disciplina, apresentam

baixo rendimento. Ambas as turmas são compostas por alunos que possuem entre 16 e 17 anos. Tanto na turma 2 E quanto na 2 C as aulas ocorriam em um dia da semana, pois eram geminadas. Cabe ainda relatar que a autora era professora substituta de Física desde o ano de 2018 a 2019 na instituição. A análise da aplicação está separada em momentos.

5.2 APLICAÇÃO DO PRODUTO DIDÁTICO

A aplicação do produto didático ocorreu entre os dias 11 a 21 de novembro de 2019 em duas turmas de segundo ano do Ensino Médio no Instituto Federal Catarinense – IFC – campus de Rio do Sul – SC.

Em um primeiro momento de aplicação foram discutidos com os alunos os principais aspectos do produto, como a organização das atividades a serem desenvolvidas, o papel da professora e o processo avaliativo em questão. É muito importante esclarecer aos alunos o papel desempenhado por eles, pois acostumados à metodologia tradicional de ensino, geralmente esperam respostas prontas sobre suas dúvidas vindas do professor. A professora deixou claro que esta postura deveria ser evitada diante dos muitos momentos de investigação que se seguiriam. Com relação à coleta de dados foram usados os seguintes métodos: gravação do áudio das aulas, fotos das aulas e das atividades experimentais e algumas atividades entregues à professora.

5.2.1 Momento 1- Identificação de Subsunçores

Inicialmente, a professora coletou as concepções prévias via formulário *online*, conforme Apêndice E objetivando realizar uma avaliação diagnóstica sobre o conhecimento dos estudantes acerca do som e o sistema auditivo. Através das respostas, foi possível ter um indicativo de que havia um determinado subsunçor, necessários para a abordagem do conteúdo.

O pré-questionário é composto por quatro questões que abordam o som e como ele se propaga até chegar ao sistema auditivo. O *link* de acesso ao questionário foi disponibilizado com uma semana de antecedência para as duas turmas onde foi aplicado o Produto Didático. O questionário foi respondido por 23 estudantes, dentre um total de 58 que compõem as duas turmas.

Os nomes dos alunos participantes nas respostas apresentadas abaixo foram omitidos para preservar suas identidades, portanto serão analisados usando apenas uma denominação genérica representada pela letra A acompanhada de um número aleatório que não tem o intuito de classificar por importância ou ordem de participação.

5.2.1.1 Questão 1

Quadro 2 - Subsúnciores sobre o som e o sistema auditivo.

ALUNO	O QUE VOCÊ ENTENDE POR SOM?
A1	É a propagação de uma onda mecânica.
A2	Som é um barulho, ruído capaz de ser ouvido.
A3	É aquilo que consigo ouvir ou reproduzir.
A4	Uma vibração sonora.
A5	É uma onda eletromagnética.
A6	É algo que posso escutar.
A7	Barulho.
A8	São vibrações sonoras.
A9	Ondas sonoras emitidas por algo.
A10	Ruídos, barulhos.
A11	Som é um tipo de onda.
A12	Som é uma onda. Uma vibração que se propaga no ar.
A13	É um barulho emitido por algum objeto.
A14	Uma onda sonora gradual de uma perturbação caracterizada pela vibração das moléculas do meio em redor.
A15	São ondas que chegam até nós.
A16	Som para mim é um tipo de onda.
A17	Som é uma onda emitida de diversas maneiras e em diversas frequências que depende da matéria para se propagar.
A18	É tudo que se pode escutar.
A19	O som é o barulho transmitido por objetos pessoas ou animais.
A20	É aquilo que é transmitido que dá para ouvir.

A21	É a propagação de uma onda mecânica.
A22	Onda mecânica é transversal.
A23	Música.

Fonte: Própria autora, 2019.

5.2.1.2 Questão 2

Quadro 3 - Subsunoçores sobre propagação do som.

ALUNO	COMO O SOM CHEGA ATÉ A NOSSA ORELHA?
A1	Através das ondas sonoras.
A2	Temos células no ouvido que captam vibrações e que enviam para o nosso cérebro.
A3	Através de ondas sonoras.
A4	Através da frequência.
A5	Através de ondas sonoras.
A6	É preciso de um objeto ou corpo que faz o som e se propaga até nossa orelha.
A7	Por ondas sonoras.
A8	Não sei.
A9	O som vai em várias direções, até chegar em nosso ouvido, causando uma vibração, fazendo com que escutamos o som.
A10	Por ondas.
A11	Através das ondas sonoras.
A12	É uma onda que viaja através do ar.
A13	Através de vibrações que se propagam no ar ou em algum objeto.
A14	Através da sua propagação.
A15	Se deslocando pelo ar.
A16	Pelas ondas sonoras no ar.
A17	Por meio das ondas (mecânicas).
A18	Por ondas sonoras emitidas em nossa direção ou que foi conduzida até nós, chegando até nossas orelhas que serve como uma antena condutora.

A19	Pelas ondas que ele produz.
A20	Ao atingirem nossos ouvidos externos chegando as vibrações nós nossos tímpanos.
A21	Pois as ondas sonoras contornam obstáculos.
A22	Ondas sonoras.
A23	Não sei.

Fonte: Própria autora, 2019.

5.2.1.3 Questão 3

Quadro 4 - Subsunçores sobre grandezas físicas associadas ao som.

ALUNO	POR QUE O SOM DA SUA VOZ SE ALTERA NAS GRAVAÇÕES DE ÁUDIO?
A1	Não sei.
A2	Porque não tem a mesma frequência.
A3	Interferências.
A4	Devido ao ambiente onde está situado a pessoa.
A5	Por causa das vibrações.
A6	Porque os sons das nossas cordas vocais mudam, assim faz a gravação mudar parecendo mais aguda.
A7	Porque as ondas são captadas de forma errada.
A8	Não sei acho que por conta da frequência que o celular capta.
A9	Pois em uma gravação não consegue captar toda a frequência.
A10	Devido a frequência.
A11	A voz alcança frequências de onda em 100 a 1000 hertz.
A12	Por que a nossa voz diminui a frequência e parece ser mais aguda.
A13	Não sei, mas eu acho (não tenho certeza) que tem algo a ver com o fato da voz ser grave ou aguda, aí quando gravamos o áudio a voz passa pelo microfone, mas ele não consegue captar o som da mesma maneira que emitimos ele.
A14	Não sei.

A15	Não sei.
A16	Pois a voz que ouvimos quando falamos é o som emitido dentro da nossa caixa craniana por nossas cordas vocais.
A17	Quanto pior a qualidade do aparelho, menor a faixa de frequências que ele pode captar e maior a diferença no som da voz reproduzida, ou seja muitos aparelhos não captam 100% o timbre da sua voz.
A18	Não sei.
A19	Por conta da frequência.
A20	Não sei.
A21	Por que quando ouvimos nossa voz com vibrações de som normais pelo ar, e em áudios ela fica mais grave devido a não propagação pelo ar.
A22	Não sei.
A23	Alteração na frequência do áudio.

Fonte: Própria autora, 2019.

5.2.1.4 Questão 4

Quadro 5 - Subsunoçores sobre velocidade do som.

ALUNO	ANTIGAMENTE, AS PESSOAS ENCOSTAVAM A ORELHA NO TRILHO PARA DESCOBRIR SE O TREM JÁ ESTAVA CHEGANDO. POR QUE ELAS FAZIAM ISSO?
A1	Por vibrações.
A2	Através da vibração dos trilhos.
A3	Por causa das vibrações.
A4	Pois o trem produz um som mecânico que precisa de algo para se propagar.
A5	Porque os trilhos são condutores de ondas sonoras e vibram por longas distâncias, assim possibilitando perceber quando o trem está vindo.
A6	Não sei.
A7	Por que o trem faz o trilho vibrar, essa vibração pode ser percebida a uma distância muito grande.
A8	Porque o som se vai pelo trilho.

A9	Pois o ferro conduz melhor e para mais longe o som.
A10	Para descobrir se o trem já estava chegando.
A11	Pois a velocidade de propagação do som no ferro é maior do que no ar, então através do som dos trilhos podiam estimar a distância que o trem estava.
A12	Porque o material que era feito o trilho é um condutor do som.
A13	Através de vibrações era possível escutar o som, porque era propagado no trilho.
A14	Porque os trilhos são condutores que conseguem enviar ondas que vibram em longa distância.
A15	Porque era possível ouvir o som, pois ele consegue se propagar em vários meios.
A16	Pois o trilho por ser um meio material que proporciona uma maior velocidade de condução do som, fazia com que as pessoas ouvissem o som do trem antes de poder ouvir ao ar livre.
A17	Por causa das vibrações que trem faz, fazendo assim que as pessoas tenham um pouco de noção o quão longe ou perto o trem está.
A18	Porque o trem era um condutor do som, assim dando pra escutar com uma grande distância.
A19	Porque ele era o condutor do som.
A20	Porque o alto atrito entre as rodas do trem e o trilho geravam vibrações nos trilhos assim quando o trem estava perto os trilhos começavam a sofrer vibrações.
A21	Porque as rodas faziam uma grande vibração, atrito.
A22	Porque as rodas faziam uma grande vibração.
A23	Pois os trilhos conduziam o som e conforme a intensidade eles sabiam se estava longe ou perto.

Fonte: Própria autora, 2019.

Iniciando a discussão a partir da Questão 1, buscou-se identificar os conhecimentos dos alunos acerca do que conhecem sobre som. Verificou-se que muitos alunos entendem que o som é uma onda mecânica, como podemos observar nas respostas apresentadas pelos alunos A1, A11, A12, A14, A15, A16, A17 e A22. Os alunos A4, A8 e A9 entendem que o som é uma onda sonora. E outros associam o som com barulho, como podemos ver nas respostas dos alunos A2, A7, A10 e A13. Já o aluno A23 associa o som com música. Percebe-se que a maioria dos

alunos já possuíam um conhecimento sobre o assunto. Vale ressaltar que no 9º ano do ensino fundamental, consta na ementa curricular o conteúdo de ondas na disciplina de ciências.

Com relação ao questionamento apresentado na Questão 2 sobre como o som chega até a nossa orelha, observou-se que os alunos A1, A3, A5, A11, A16 e A22 afirmam que é através de ondas sonoras. O aluno A13 afirma que o som chega até nossa orelha “*Através de vibrações que se propagam no ar ou em algum objeto*”. Verifica-se que o estudante entende que o som precisa de um meio para se propagar, seja o ar ou outro objeto. A resposta do aluno A6 vai de encontro com a afirmação do aluno A13: “*É preciso de um objeto ou corpo que faz o som e se propagar até nossa orelha*”. Também podemos perceber que os alunos A15 e A16, respectivamente entendem que o som se propaga no ar: “*Se deslocando pelo ar*” e “*Pelas ondas sonoras no ar*”. O aluno A23 não soube responder.

O questionamento apresentado na Questão 3 tenta verificar o conhecimento dos alunos a respeito de algumas grandezas físicas, como frequência e timbre. Constatou-se que 9 alunos associam a frequência com a alteração da voz ao ser gravada. O aluno A17 faz relação com o timbre e o aluno A3 associa a interferências. Já o aluno A4 responde que a voz muda “*Devido ao ambiente onde está situada a pessoa*”. Seis alunos não souberam responder.

E por fim, no questionamento 4 procurou-se verificar o que os alunos sabem sobre a velocidade do som nos meios. Verificou-se que os alunos A1, A2, A3, A7, A13, A14, A17, A20, A21 e A22 associam que as pessoas colocavam a orelha próximo ao trilho do trem devido as vibrações emitidas pelo próprio trilho, conforme afirma o aluno A7: “*Porque o trem faz o trilho vibrar, essa vibração pode ser percebida a uma distância muito grande*”. Os alunos A8, A9 e A12 afirmam que “*Porque o som se vai pelo trilho*”, “*Pois o ferro conduz melhor e para mais longe o som*” e “*Porque o material que era feito o trilho é um condutor do som*”. É possível concluir que estes alunos fazem uma relação com a velocidade do som no trilho, assim como os alunos A11: “*Pois a velocidade de propagação do som no ferro é maior do que no ar, então através do som dos trilhos podiam estimar a distância que o trem estava*” e A16: “*Pois o trilho por ser um meio material que proporciona uma maior velocidade de condução do som, fazia com que as pessoas ouvissem o som do trem antes de poder ouvir ao ar livre*”. O aluno A15 entende que o som se propaga em diferentes meios: “*Porque era possível ouvir o som, pois ele consegue se propagar em vários meios*”. Um aluno não soube responder o questionamento.

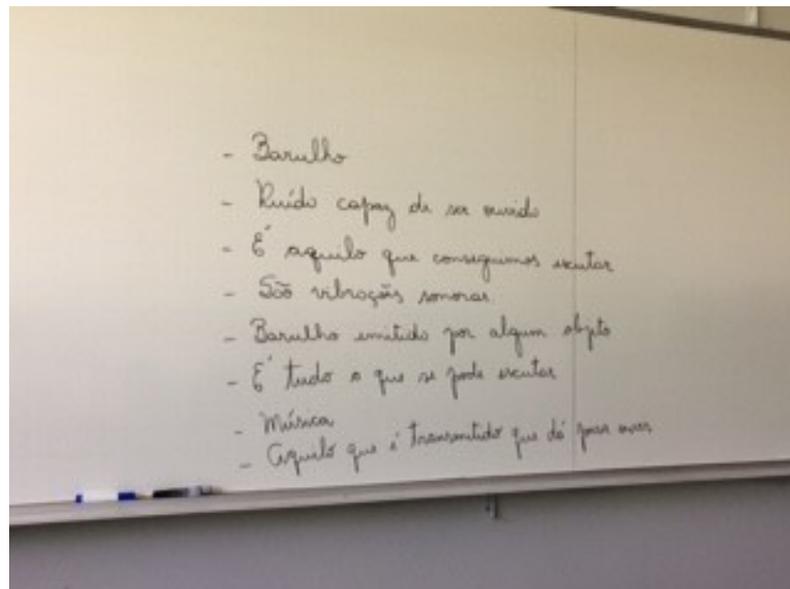
5.2.2 Momento 2 - Momentos da Aplicação

Após a explanação a respeito do produto e da aplicação do questionário, seguiram-se os 4 momentos da sequência de ensino e aprendizagem. O desenvolvimento das atividades propostas na sequência é brevemente relatado a seguir.

5.2.2.1 1ª Momento

No primeiro momento, a professora buscou respostas do que seria o som, problematizando com as mesmas questões abordadas no formulário *online*. Sobre a pergunta: “O que é o som?”, a maioria das respostas estavam relacionadas com o barulho que podemos ouvir. Enquanto os alunos respondiam oralmente, a professora anotava no quadro as respostas fornecidas pelos alunos, sem interferir nas respostas fornecidas. Verifica-se que a maioria das respostas vai de encontro com as concepções coletadas pelo questionário, antes de aplicar a sequência didática.

Figura 10 - Concepções prévias sobre o som.



Fonte: Própria autora, 2019.

Após esse momento, os estudantes foram convidados a observar o experimento demonstrativo “Visualizando ondas sonoras” (Apêndice A). Objetivando mostrar aos

estudantes que uma onda sonora se propagando no ar é uma onda de pressão, ou seja, uma perturbação da pressão do ar, a professora primeiramente fez o experimento e depois deixou que os alunos pudessem interagir com o mesmo.

Figura 11 - Turma 2 C observando experimento sobre visualização de ondas sonoras.



Fonte: Própria autora, 2019.

Através dessa atividade, foi possível perceber que ao bater palmas, a onda produzida incidiu contra a membrana elástica, produzindo vibrações nessa superfície. Na montagem, o feixe de luz refletido tornou visualmente perceptíveis as pequenas vibrações da membrana elástica como resultado das ondas sonoras provenientes das palmas. Foi necessária muita atenção dos alunos para que a vibração pudesse ser notada. Para isso, a professora pediu que em grupos pequenos, os alunos pudessem observar de perto. Além de bater palmas, alguns alunos colocaram uma música no aparelho celular e deixaram próximo à membrana, objetivando verificar se o resultado seria o mesmo. Novamente, foi necessária muita atenção dos alunos para que a vibração fosse perceptível, o que não ocorreu.

Figura 12 - Turma 2 C interagindo com o experimento sobre visualização de ondas sonoras.



Fonte: Própria autora, 2019.

Após todos os alunos observarem e interagirem com o experimento, foi questionado aos estudantes: “O que acontece com o feixe de luz ao iluminar a parede?” As respostas fornecidas eram que o “feixe tremia”, sendo isso relacionado com o som produzido pelas palmas.

Figura 13 - Turma 2 C observando experimento sobre visualização de ondas sonoras.



Fonte: Própria autora, 2019.

Após todos observarem e interagirem com a atividade experimental, a professora iniciou um debate sobre a demonstração. Questionou-se: “O que fez a membrana elástica vibrar?”. As respostas eram: as palmas, o som produzido pelas palmas. Ao questionar: “Como as ondas sonoras chegaram até a membrana elástica?”, surgiram respostas de que o som das palmas havia sido conduzido pelo ar. A professora permitiu que os estudantes observassem e com base nessa demonstração, pudessem tirar uma conclusão sobre a correlação entre os tipos de ondas envolvidas nessa experiência. Até neste momento, os alunos não relacionaram o som com onda mecânica. Perceberam que o som das palmas fez a membrana elástica vibrar, mas não estabeleceram relação ao conceito físico. A partir daí, a professora fez uma explanação a respeito do conceito de onda, enfatizando a natureza das ondas, bem como suas diferenças das ondas eletromagnéticas.

Figura 14 – Turma 2 E acompanhando explanação sobre ondas.



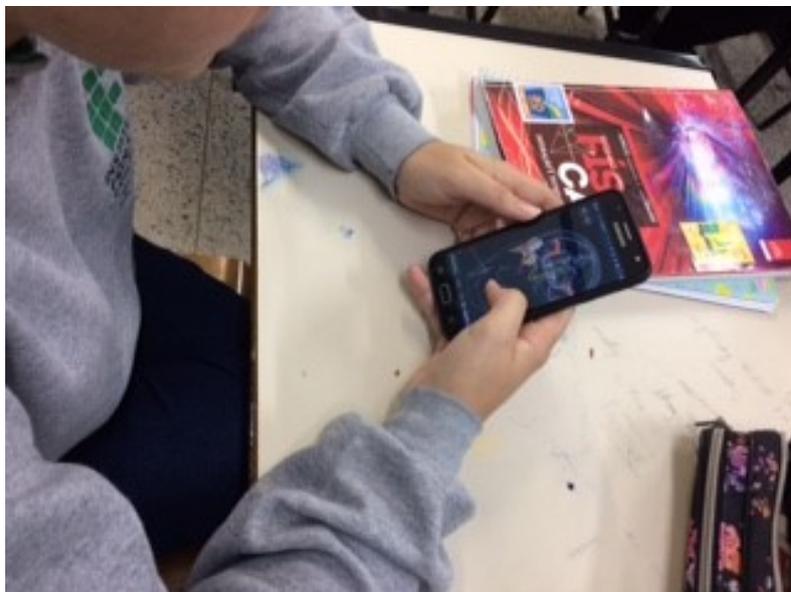
Fonte: Própria autora, 2019.

Após a explanação sobre ondas, enfatizando o conceito físico de onda bem como a sua classificação, a professora voltou a indagar “Como as ondas sonoras chegaram até a membrana elástica?” e obteve a conclusão esperada: que o som é uma onda mecânica e que necessita de um meio material para se propagar, sendo esse meio o ar. Verificou-se que ambas as turmas obtiveram o êxito esperado pela professora. Isso foi verificado através das respostas orais fornecidas pelos estudantes.

5.2.2.2 2ª Momento

No segundo momento, a professora solicitou aos estudantes que baixassem em seus celulares o aplicativo “*Mozaik Education*”, o qual levou cerca de dois minutos para ser instalado. Em seguida, foi sugerido aos estudantes que se familiarizassem com o aplicativo, para assim acessar o conteúdo “O mecanismo da audição”. Solicitou-se que os estudantes explorassem a orelha, pois o aplicativo permite visualização em 3D, além de apresentar detalhadamente toda a estrutura da orelha externa, orelha média e orelha interna.

Figura 15 – Estudante da turma 2 E interagindo com o aplicativo “*Mozaik Education*”.



Fonte: Própria autora, 2019.

Enquanto os estudantes exploravam o aplicativo em seus celulares, a professora projetou a simulação, para que assim os alunos tivessem melhores instruções.

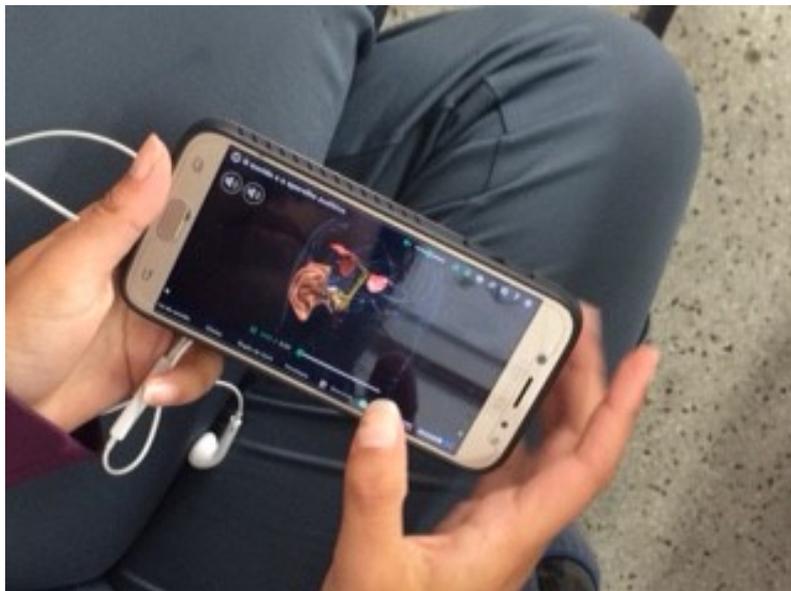
Figura 16 - Turma 2 C interagindo com o aplicativo “*Mozaik Education*”.



Fonte: Própria autora, 2019.

O aplicativo também disponibiliza uma animação de 2min53s que demonstra o caminho percorrido pelo som até o cérebro. Solicitou-se que os estudantes assistissem à animação.

Figura 17 - Aluno da turma 2 E assistindo à animação disponibilizada pelo aplicativo.



Fonte: Própria autora, 2019.

Após essa interação, a professora fez uma explanação sobre a orelha humana e seu funcionamento, detalhando em que consiste cada parte bem como a função.

Figura 18 – Explanação sobre a orelha humana e seu funcionamento na turma 2 E.



Fonte: Própria autora, 2019.

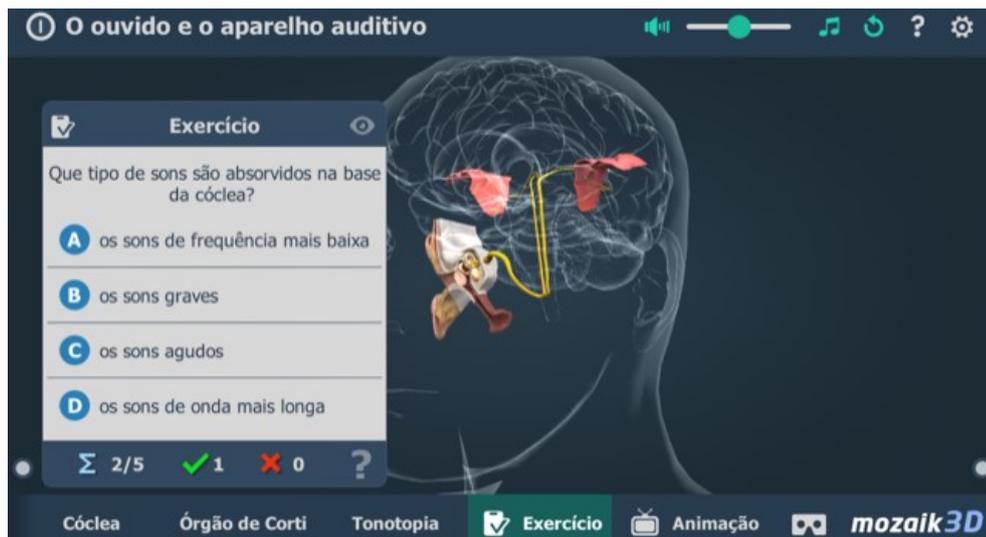
Para finalizar esse momento, sugeriu-se que os estudantes acessassem novamente o aplicativo, agora já tendo um melhor conhecimento do sistema auditivo. O aplicativo dispõe de questões sobre a orelha, conforme a Figura 19 e a Figura 20:

Figura 19 – Exemplo 1 de questão sobre som e a orelha disponível no aplicativo *Mozaik Education*.



Fonte: Mozaweb, 2021.

Figura 20 – Exemplo 2 de questão sobre som e a orelha disponível no aplicativo *Mozaik Education*.



Fonte: Mozaweb, 2021.

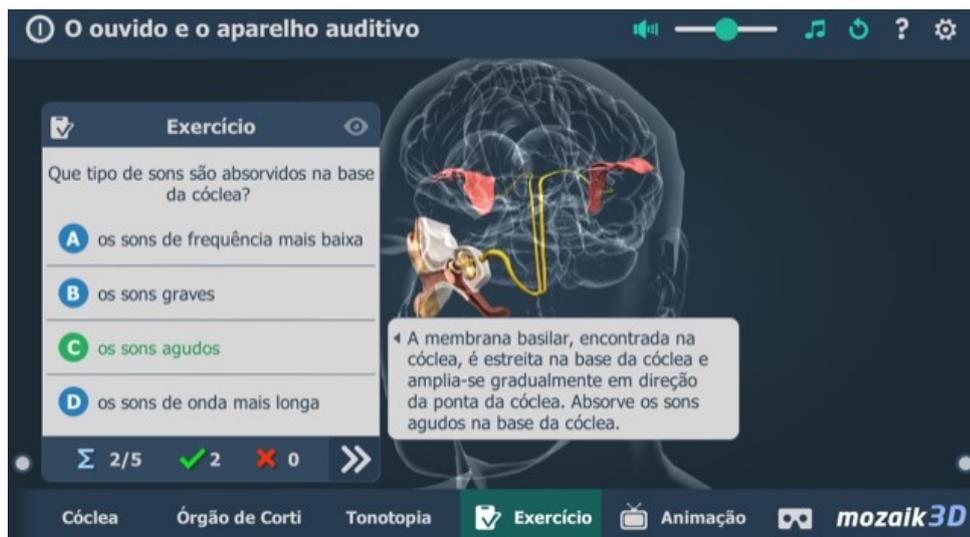
Ao responder o exercício proposto, o aplicativo fornece a resposta acompanhada de uma explicação sobre o tema questionado, conforme Figura 21 e Figura 22:

Figura 21 – Exemplo de resposta da questão 1 sobre som e a orelha disponível no aplicativo *Mozaik Education*.



Fonte: Mozaweb, 2021.

Figura 22 – Exemplo de resposta da questão 2 sobre som e a orelha disponível no aplicativo *Mozaik Education*.



Fonte: Mozaweb, 2021.

Aproveitou-se esse momento para que os alunos respondessem essas questões, como forma de verificar se houve aprendizagem sobre o tema em questão, conforme a Figura 23:

Figura 23 - Turma 2 C respondendo questões sobre a orelha no aplicativo.



Fonte: Própria autora, 2019.

Em seguida, a professora pediu que os estudantes guardassem os seus celulares e fez questionamentos orais sobre o sistema auditivo. As questões envolvidas eram:

- Onde é produzido o sentido da audição?
- Como é dividida a orelha humana?
- Como é composta a orelha externa?
- Quais são os menores ossos do corpo humano?
- Onde estão localizados esses ossículos?
- Onde está situada a cóclea?
- Em que parte da orelha são gerados os impulsos nervosos?
- Qual é o ossículo mais externo, que está ligado ao tímpano?
- Qual ossículo que faz o fluido existente na cóclea vibrar?
- O que separa a orelha externa da orelha média?

Verificou-se que houve uma boa participação dos alunos, respondendo os questionamentos com segurança.

Para encerrar, com o objetivo de reforçar o que foi abordado na aula, sugeriu-se que os estudantes assistissem o vídeo “A natureza do som e o ouvido humano”, disponível no *Youtube* (<https://www.youtube.com/watch?v=wsCII5ehL0c>). Como a aula estava encerrando-se, solicitou-se que os alunos assistissem em outro momento, como achassem melhor.

5.2.2.3 3ª Momento

A professora iniciou o terceiro momento com a sondagem dos conhecimentos dos estudantes (Figura 24), indagando sobre o que sabem sobre o som, qual o conceito de som e como ele se propaga. Foram feitas as seguintes perguntas:

- “O que vocês sabem sobre o som?”
- “O que é som?”
- “Como o som se propaga?”

As respostas oferecidas pelos estudantes eram relacionadas:

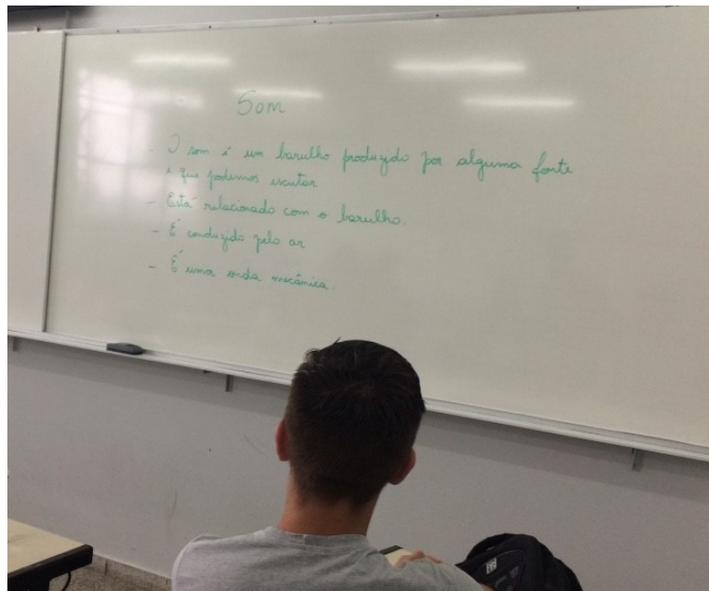
“o som é um barulho produzido por alguma fonte e que podemos escutar”

“o som está relacionado com o barulho”

“o som é conduzido pelo ar”.

“o som é uma onda mecânica”.

Figura 24 – Sondagem dos conhecimentos prévios sobre som e sua propagação na turma 2 C.



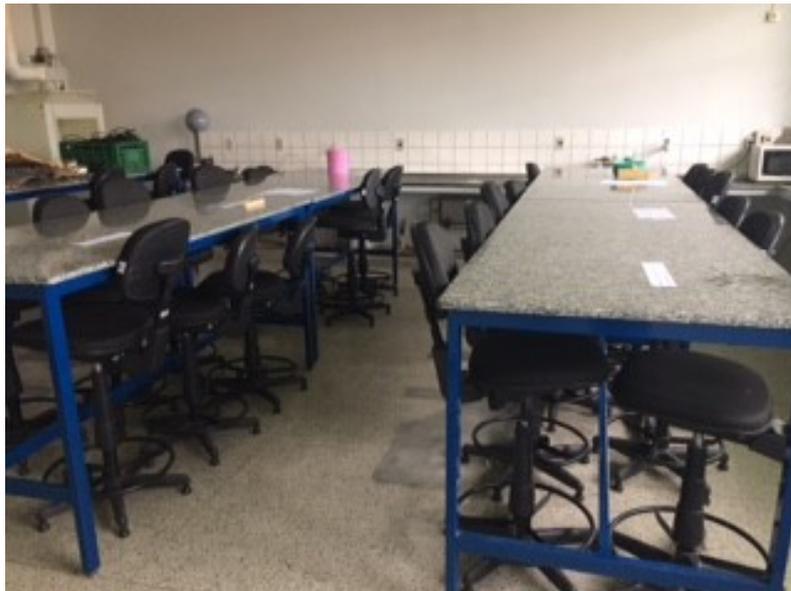
Fonte: Própria autora, 2019.

A professora anotou as respostas no quadro branco, objetivando promover uma discussão sobre as mesmas, pois a nova informação estabelece uma ancoragem aos conceitos ou proposições relevantes preexistentes na estrutura do conhecimento do aprendiz. Em nenhum momento as respostas fornecidas pelos alunos estavam centradas em “certo” ou “errado”. A

professora apenas ouviu e anotou as respostas, pois a interação realiza-se entre a nova informação e os conceitos já armazenados que são relevantes para essa nova informação.

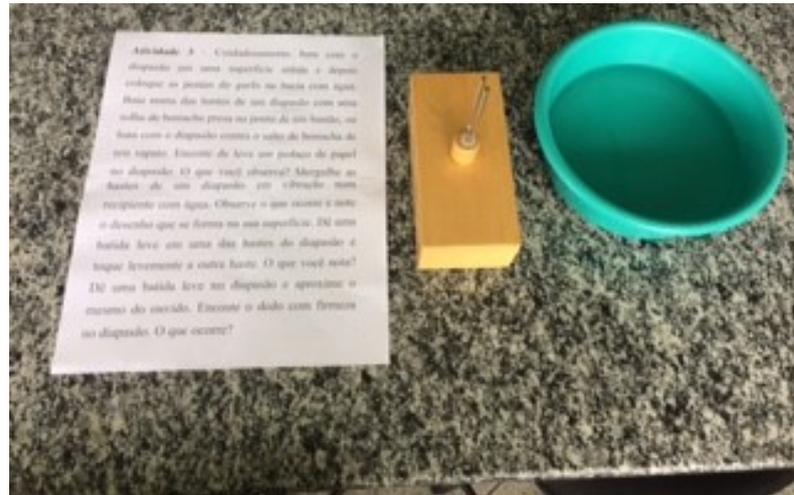
Depois deste momento, a professora colocou uma música para tocar e fez a seguinte pergunta: “Como o som chega da fonte até a nossa orelha?”. Verificou-se que os estudantes associavam o som produzido como sendo uma onda sonora transportada pelo ar. Nessa ocasião, induzidos pela professora, os estudantes citaram diferentes tipos de sons e como são formados, como por exemplo, o som produzido quando uma pessoa está falando. Depois desse pequeno debate e revisão do conteúdo já abordado em aulas anteriores, os estudantes foram divididos em grupos de quatro integrantes e encaminhados até o laboratório para realizar uma atividade prática, ou seja, uma atividade experimental conforme disponível no Apêndice C. O objetivo dessa atividade consistiu em verificar como o som se propaga nos diferentes meios materiais. Para melhor aproveitamento da aula, todas as atividades já estavam previamente preparadas com as devidas instruções em cada uma.

Figura 25 – Atividades para verificação da propagação do som com as devidas instruções.



Fonte: Própria autora, 2019.

Figura 26 - Instruções de uma das atividades.



Fonte: Própria autora, 2019.

Em equipes, os estudantes foram orientados para realizar todas as atividades, revezando entre as estações de forma que todos observassem todas as demonstrações e tirassem suas conclusões.

Na primeira atividade, a equipe deveria bater com um garfo em uma colher, colocando para perto da sua orelha e verificar o som produzido.

Figura 27 – Alunos da turma 2 E realizando Atividade 1.



Fonte: Própria autora, 2019.

Em seguida, na Atividade 2, as instruções eram para que se colocasse a mão ao lado da sua garganta e ao dizer “aahh”, o estudante devia verificar o que sentia.

Figura 28 - Alunos da turma 2 E realizando Atividade 2.



Fonte: Própria autora, 2019.

Disponibilizado um diapasão, na Atividade 3, cada equipe cuidadosamente bateu com o mesmo em uma superfície sólida e depois colocou as pontas do garfo na bacia com água, verificando que a vibração do diapasão produzia ondas na água.

Figura 29 - Alunos da turma 2 E realizando Atividade 3.



Fonte: Própria autora, 2019.

Ao tocar em um tambor, na Atividade 4, foi possível observar que os cliques que estavam em cima se movimentavam devido as ondas produzidas na superfície do tambor.

Figura 30 - Alunos da turma 2 C realizando Atividade 4.



Fonte: Própria autora, 2019.

Na quinta atividade, cada equipe posicionou uma régua na beira da mesa deixando cerca de um terço da régua para fora. Depois, um aluno segurou em uma das pontas e o outro bateu na ponta, produzindo um movimento oscilatório da mesma.

Figura 31 - Alunos da turma 2 E realizando Atividade 5.



Fonte: Própria autora, 2019.

Ao tocar em um elástico, Atividade 6, pode-se verificar o seu movimento vibratório como o que ocorre em uma corda de violão.

Figura 32 - Alunos da turma 2 C realizando Atividade 6.



Fonte: Própria autora, 2019.

No momento da realização da Atividade 7, não foi possível perceber a reverberação, pois não havia nenhuma sala vazia. Foi orientado aos alunos para que realizassem essa prática assim que dispusessem dessa oportunidade. No entanto, foi possível discutir sobre a questão, pois esse fato já foi vivenciado pela maioria dos estudantes.

Após todas as equipes participarem de todas as atividades, a professora promoveu uma discussão sobre as demonstrações, questionando quais foram as variedades de meios pelos quais o som se propagou. Aproveitou-se esse momento para explicar que o som precisa de um meio para que as ondas possam se propagar e que viaja mais rápido em determinados meios. A professora questionou se o som pode existir no espaço, salientando sobre os filmes de ficção do tipo “*Star Wars*”, onde ocorrem guerras no espaço que é comum a emissão de sons por explosões. Indagou se é possível escutar esse som. Os alunos concluíram que não é possível o som ser produzido no vácuo, pois trata-se de uma onda mecânica. A professora ressaltou que o espaço é permeado por vácuo, não existindo meio pelo qual o som possa se propagar. Continuando com a discussão, a professora questionou quais tipos de ondas foram possíveis ouvir dos experimentos realizados. Surgiram respostas como ondas sonoras produzidas na Atividade 1, por exemplo.

Ao questionar “Para onde as ondas produzidas foram?”, as respostas foram que essas ondas foram para o infinito. A professora explicou que todas as ondas continuam se expandindo a não ser que bata em um objeto de diferente densidade, como um sólido por exemplo. Usando

como exemplo o experimento da água na bacia que bate na borda do recipiente e volta, a professora explicou sobre o eco, abordando que alguns animais utilizam este recurso para sua sobrevivência. Em seguida, a professora disponibilizou o texto “Que animais enxergam por meio de sons e como eles conseguem fazer isso?”, disponível no Anexo A desta dissertação, e orientou que os alunos realizassem leitura. Após a leitura, realizou-se uma discussão sobre o eco, recurso que é de fundamental importância para os morcegos, pois estes emitem um som, chamado ultrassom, que não podemos ouvir, pois está fora de nossa faixa de frequência. Como são seres com visão extremamente limitada, eles conseguem perceber os obstáculos à sua frente através da emissão destes ultrassons. Ao baterem nos obstáculos, essas ondas voltam. Pelo intervalo de tempo entre o som emitido e o refletido, os morcegos conseguem perceber a que distância se encontra dos obstáculos, evitando que eles batam nos objetos, como árvores ou outros, além de ajudar com que localizem suas presas ou seus predadores.

5.2.2.4 4ª Momento

Neste último momento, o tema abordado foi a percepção do som e a orelha. Inicialmente, a professora encaminhou os alunos para o laboratório de informática, onde solicitou que acessassem o *site* do *Phet Colorado*, na simulação sobre o som. Cada aluno teve acesso a um computador, facilitando a interação com a atividade proposta.

Figura 33 – Turma 2 C no laboratório de informática.



Fonte: Própria autora, 2019.

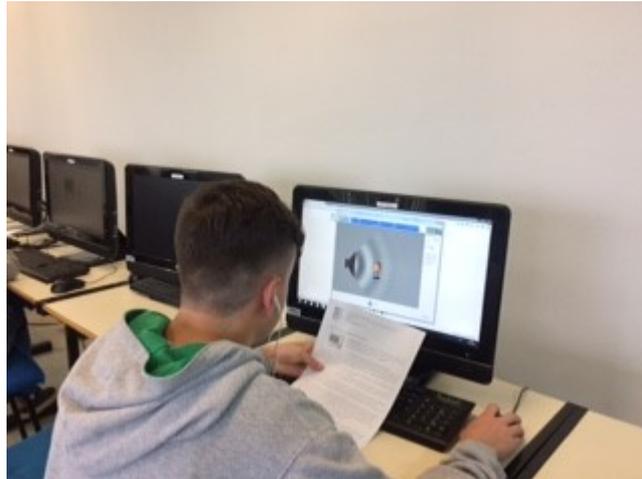
Figura 34 – Turma 2 E no laboratório de informática.



Fonte: Própria autora, 2019.

A professora disponibilizou um roteiro com a atividade proposta (Apêndice D) e pediu para que cada aluno realizasse a tarefa proposta.

Figura 35 – Aluno da turma 2 C realizando atividade no *Phet Colorado*.



Fonte: Própria autora, 2019.

Num primeiro momento, os alunos deveriam ativar o áudio e variar a frequência e a amplitude da onda. Em seguida, manter a amplitude constante e variar a frequência e observar o que acontece, descrevendo. Pode-se destacar a resposta de um dos alunos: *“Conforme abaixo a frequência, em 0 Hz, não escuto nada, mas se vou aumentando a frequência, a intensidade a qual ouço aumenta também. E se coloco em 1000 Hz, o som fica perturbador.”* Houve relatos de que a medida que se variava a frequência, o som se tornava grave ou agudo. Sugerido para manter a frequência constante e variar a pressão, a maioria dos alunos concluiu que quanto maior era a frequência, menor se tornava o comprimento de onda, ou seja, trata-se de grandezas inversamente proporcionais.

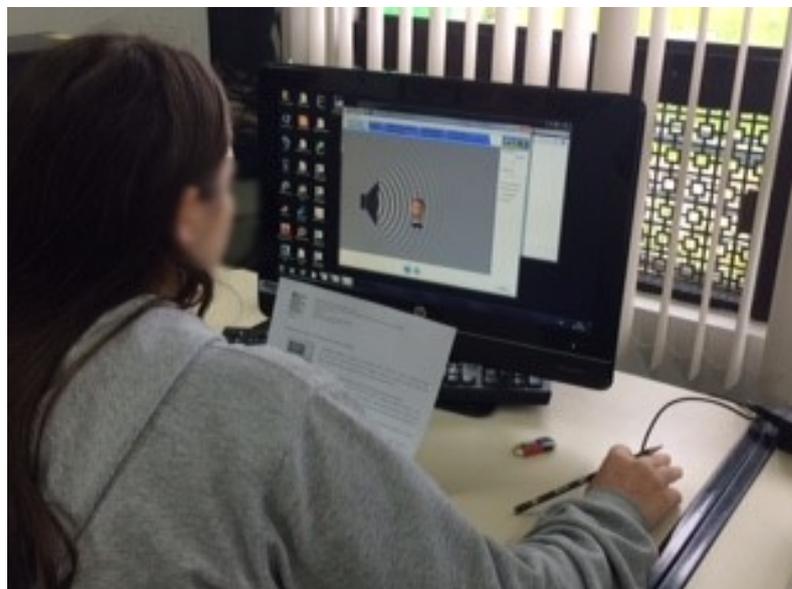
Figura 36 – Turma 2 C realizando a atividade.



Fonte: Própria autora, 2019.

Questionado por que se tem a impressão de que o som é mais agudo quando a fonte sonora se aproxima do observador e quando a fonte se afasta o som parece ser mais grave, verificou-se que os alunos associaram que quando a fonte está mais próxima do observador, o som é mais agudo e ao se afastar, torna-se mais grave. Verificou-se que os alunos conseguiram associar som agudo e grave com a frequência emitida pela fonte. Um exemplo relacionado a isso é a ambulância, o que foi citado pelos alunos.

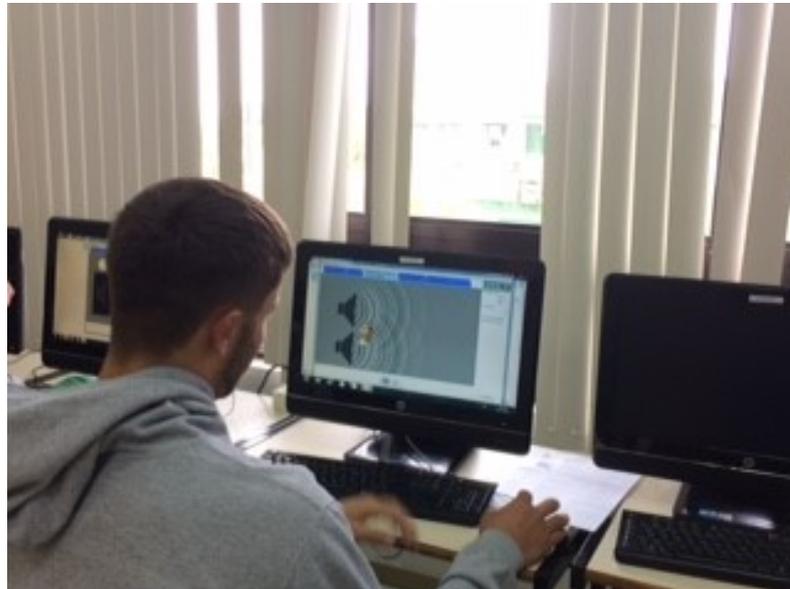
Figura 37 – Aluna da turma 2 E.



Fonte: Própria autora, 2019.

Relacionado a interferências sonoras, os alunos citaram a interferência construtiva e a interferência destrutiva, assunto abordado em sala de aula.

Figura 38 – Aluno da turma 2 E.



Fonte: Própria autora, 2019.

Ao clicar na opção “ouvir com pressão do ar variável”, os alunos foram orientados a remover o ar da caixa. Bastante atentos ao medidor de pressão, os alunos deveriam observar o que ocorre com o som conforme diminui a pressão. Algumas respostas:

“O som vai ficando cada vez mais grave até não conseguirmos escutar nada”.

“Quanto mais o ar é retirado menor fica o som, e quando chega a 0,0 atm não há som”.

Figura 39 – Aluno da turma 2 E.



Fonte: Própria autora, 2019.

Por fim, com base no que os alunos já aprenderam e tendo o aplicativo como apoio, pediu-se uma justificativa para a resposta da questão anterior, com base nos conceitos físicos. Um aluno respondeu que: *“O som como é uma onda mecânica precisa de um meio material para se propagar, ele não consegue se propagar no vácuo”*. Outro aluno afirma que *“como são ondas mecânicas, dependem da pressão do ar para se propagar, sem esta não há propagação”*. *“Isso ocorreu porque o som é uma onda mecânica, então sem ar na caixa ele não consegue se propagar”*.

Ao final deste momento, foi realizada uma conversa sobre a aplicação da sequência didática, como uma espécie de avaliação do produto. A professora questionou aos estudantes o que eles aprenderam no decorrer destas aulas e o que eles mais gostaram. As respostas, tanto na turma 2 C quanto na turma 2 E foram que acharam muito valioso que as atividades experimentais foram de encontro com a teoria abordada em sala. Também expuseram que gostaram muito do aplicativo *Mozaik Education*, o qual mostrou claramente o funcionamento da orelha humana e de como o som chega até o cérebro. Alguns estudantes ressaltaram a relevância do uso do aplicativo: *“Muitas vezes é difícil imaginar ou entender o que o professor está falando, e com o aplicativo isto ficou mais claro.”* Relataram que o som é uma onda mecânica que precisa de um meio para se propagar e que muda de velocidade conforme muda o meio material e que isso ficou mais evidente ao fazer uso do simulador do *Phet Colorado* e através das atividades realizadas experimentalmente.

Para finalizar, a professora pediu aos alunos que comentassem sobre as aulas. Muitos estudantes sugeriram que o uso do aplicativo deveria ser estendido para outros conteúdos de física, pois facilita a aprendizagem. *“Seria interessante se esse tipo de recurso fosse utilizado mais vezes, não apenas com o conteúdo de som e audição, mas que com outros conteúdos fosse possível utilizar o aplicativo, pois facilitou muito para entender o conteúdo e assim aprendo melhor.”* Este comentário mostra a importância dada pelos alunos ao trabalharmos de forma dinâmica e, se o ensino é interessante, conseqüentemente, existe um grande potencial de ser significativo para o nosso aluno. Além do mais, vale ressaltar que a utilização de recursos digitais auxilia na compreensão de conceitos que muitas vezes parecem estar distantes de suas realidades. Por fim, foi possível concluir que a aprendizagem ocorreu de forma significativa onde foi possível estabelecer uma ligação entre os conhecimentos prévios dos estudantes e a nova informação adquirida.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A aplicação da sequência didática “Som e o sentido da audição: uma proposta de interdisciplinaridade entre Física e Biologia para o Ensino Médio” possibilitou trazer um cenário diferente quando comparado ao plano tradicional de ensino que os alunos estão acostumados. Baseado na teoria da aprendizagem significativa de Ausubel, o produto educacional se mostrou uma ferramenta relevante no ensino de tópicos de ondulatória para as turmas do segundo ano do Ensino Médio, bem como no ensino da Biofísica da audição. Ao final, esta sequência didática se mostrou eficaz no seu propósito de ensinar Física e Biologia de forma significativa, o que foi possível ser verificado por meio dos comentários feitos pelos alunos.

O uso da metodologia com a utilização de aplicativos e simuladores computacionais, além dos experimentos realizados, mostrou-se um ótimo recurso, pois as aulas de Física tornaram-se mais atraentes e interativas, o que despertou o interesse dos estudantes, e isso veio a somar no processo de ensino aprendizagem.

Para o professor que deseje aplicar em sala de aula essa sequência, é preciso recomendar que pode acontecer que os objetivos não sejam alcançados se for aplicada em turmas que não disponham da vontade de aprender, pois o aluno precisa demonstrar interesse para o ensino para que sua aprendizagem seja significativa e infelizmente muitas vezes isso não acontece. Pode-se perceber essa vontade de aprender com os alunos da turma 2 C, onde a metodologia adotada foi bem aceita. Verificou-se o empenho destes alunos nos experimentos realizados ao longo da sequência como também nas discussões que ocorreram durante a sua aplicação. O ambiente criado propiciou aos alunos que participassem de forma ativa e crítica, onde tiveram liberdade para expressar suas opiniões sobre os diversos temas que envolvem o tema abordado, desconstruindo a ideia de que o professor é o dono de todo o conhecimento. É importante ressaltar ainda que, além de buscar uma formação do aluno através de uma nova metodologia de ensino, é necessário que o professor também passe por um processo de formação, aprimorando o seu método de trabalho, visto que o tema abordado na sequência é conteúdo de duas áreas de conhecimento: Física e Biologia. Outro ponto a se destacar, é com relação a estrutura física escolar, visto que a aplicação desta sequência ocorreu em uma instituição federal que dispõem de salas equipadas com projetores, laboratório de Física e de Informática e rede *wifi* disponível para todos os alunos. Em um ambiente em que os alunos não

têm livre acesso a rede *wifi*, a aplicação da sequência pode não ter o mesmo efeito, visto que este é um recurso essencial para fazer uso do aplicativo *Mozaik Education* e a simulação do *Phet Colorado*.

Diante de um cenário onde as informações estão cada vez mais acessíveis, é importante que o professor acompanhe de perto o desenvolvimento provocado pela globalização. Dessa forma, ensinar deve ser muito mais que simplesmente reproduzir os roteiros oferecidos pelos livros didáticos. Lembrando do princípio da não centralidade do livro de texto apresentado por Moreira (2011), recomenda-se que o professor adote os diversos materiais disponíveis, assim como alguns que foram utilizados neste trabalho: vídeos, simulações, animações, textos, entre outros. O importante é não focar somente no livro didático. Já o princípio da não utilização do quadro de giz leva em consideração a participação ativa do aluno, onde o método tradicional não é a única ferramenta de ensino, sendo primordial utilizar as mais variadas estratégias de ensino (MOREIRA, 2011). Então, o professor deve sair da zona de conforto e abusar dos recursos didáticos disponíveis, fugindo do sistema tradicional de ensino. Sabendo que o conhecimento é movido pela curiosidade, deve-se aguçar a curiosidade dos alunos, tornando-os mais atentos e interessados pelo assunto que se deseja trabalhar. No entanto, em uma sala de aula encontramos alunos com os mais diversos perfis. Então cabe ao professor conhecer seus alunos e ser o mediador, adaptando de acordo com as dificuldades que eventualmente possam surgir, de forma que nenhum aluno se sinta excluído.

Ao fazer uma análise sobre a aceitação dos métodos utilizados no decorrer da sequência, ficou evidenciado que houve aprovação dos estudantes e que gostariam de ter novas experiências com simuladores e aplicativos na aprendizagem de outros conteúdos. De acordo com os comentários, os estudantes conseguiram aprender com mais facilidade, reforçando a aprendizagem do tema abordado. Verificou-se que os estudantes estavam a vontade em discutir questões que estavam ligados com o seu cotidiano. Neste sentido fica comprovado que a aprendizagem ocorreu de forma significativa, conforme o esperado.

Por fim, o trabalho teve uma boa aceitação ficando comprovado que se deve usar tanto as atividades experimentais como as simulações para facilitar a aprendizagem de outras áreas do ensino de física. A aplicação desta sequência permitiu verificar que houve um avanço na forma de pensar dos alunos onde muitos apresentaram posicionamentos críticos com relação ao tema em questão. Fica evidente que é vital que se busque trabalhar novas formas de ensino, pois é mais atrativo e a aprendizagem se torna mais significativa. Ao final da aplicação, é

possível concluir que esta sequência cumpriu seu propósito de elaborar um material de apoio ao professor sob a percepção interdisciplinar da Física e Biologia sobre o som e a audição, apresentando para os alunos um meio de ensino que tem como resultado indícios de uma aprendizagem significativa.

REFERÊNCIAS

ABDOUNUR, Oscar João. **Mudanças estruturais nos fundamentos matemáticos da música a partir do século XVII: considerações sobre consonância, série harmônica e temperamento.** Revista Brasileira de história da matemática: special issue n° 1-Festschrift Ubiratan D'Ambrosio, v. 7, p. 369-380, 2007.

Animações 3D. **O mecanismo da audição - Mozaik Education.** Disponível em: <https://www.mozaweb.com/pt/lexikon.php?cmd=getlist&let=7>. Acesso em 27/07/2018.

AUSUBEL, D. P. **Aquisição e Retenção de Conhecimentos: Uma Perspectiva Cognitiva.** 1ª. ed. [S.l.]: Paralelo Editora, 2000.

CALIXTO, Wesley Pacheco. RODRIGUES, Clóves Gonçalves. **Poluição Sonora.** Goiânia GO, 2004.

DIAS-DA-SILVA, M. H. G. F. **O professor e seu desenvolvimento profissional: superando a concepção do algo incompetente.** Caderno CEDES, Campinas, SP, v.19 n. 44, p. 33-45, 1998.

DISTLER, Rafaela Regina. **Contribuições de David Ausubel para a intervenção psicopedagógica.** UNASP – Centro Universitário Adventista de São Paulo, São Paulo, SP, 2015.

DOLZ J.; NOVERRAZ, M.; SCHNEUWLY, B. 2004. **Sequências didáticas para o oral e escrita: apresentação de um procedimento.** In: *Gêneros orais e escritos na escola.* Trad. e (Org.) de Roxane Rojo e Glais Sales Cordeiro. Campinas-SP: Mercado de Letras.

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

DURAN, J. E. R. **Biofísica: conceitos e aplicações.** 2ª edição. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2011.

ENOKI, Alexandre. **Clique Ciência: Por que é tão estranho ouvir nossa voz quando gravada?** Disponível em: <https://www.uol.com.br/tilt/ultimas-noticias/redacao/2015/12/16/clique-ciencia-por-que-e-tao-estranho-ouvir-nossa-voz-quando-gravada.htm>. Acesso em 11/02/2021.

FONTE BOA, M. C.; GUIMARÃES, L. A. M. **Física para o segundo grau: eletricidade e ondas.** Niterói, RJ: GRAFCEN, vol. 3, 1994.

GABRIELSON, Thomas B. **Background and Perspective William Derham's de Motu Soni (On the Motion of Sound).** Applied Research Laboratory, The Pennsylvania State University State College, Pennsylvania, 2009.

GARCIA, E. A. C. **Biofísica.** São Paulo: SARVIER, 2002.

GOUVEIA, Rosimar. **Velocidade do som.** Disponível em: <https://www.todamateria.com.br/velocidade-do-som/>. Acesso em 16 jan 2020.

GUSMÃO, Cynthia. **O ateliê musical de Claudio Ptolomeu.** *Scientiae Studia*, v. 11, n. 4, p. 731-762, 2013.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de Física 2: Gravitação, Ondas e Termodinâmica.** 7ª Edição Rio de Janeiro: Ltc - Livros Técnicos e Científicos, Editora S.A, 2006.

HENEINE, Ibrahim F. – **Biofísica básica**, 2ª reimpressão 1995 – Editora Atheneu Ltda, Rio de Janeiro.

HEWITT, P. G. **Física Conceitual.** Porto Alegre: Bookman, 2002.

INVIVO. **Som.** Publicada em: 08/01/2013. Disponível em: <http://www.invivo.fiocruz.br/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?infoid=119&sid=9>. Acesso em 31 de outubro de 2018.

MARGARIDA, A. **A descoberta do Som.** Disponível em: <https://prezi.com/login/?next=/ypp3b3cqmhr1/a-descoberta-do-som/>. Acesso em 02 de novembro de 2018.

MAZETI, Lucas Jesus Bettiol. **Sequência didática: uma alternativa para o ensino de acústica para o ensino médio /** Lucas Jesus Bettiol Mazeti. -- 2017. 145 f.: 30 cm. Dissertação (mestrado)-Universidade Federal de São Carlos, campus Sorocaba, Sorocaba.

MÉHEUT, Martine and PSILLOS, Dimitris. '**Teaching-learning sequences: aims and tools for science education research**', *International Journal of Science Education*, 2004.

MOLOHIDES, A. et al. **An european project on materials science: the case of thermal conductivity teaching – learning sequence.** In: INTERNATIONAL CONFERENCE OF THE BALKAN PHYSICAL UNION, 7., 2009, [S.l.]. Anais ... Alexandroupolis: American Institute of Physics, 2009. p. 1388-94.

MOREIRA, M. A. *Aprendizage Significativo: teoria y práctica.* Ed. Visor. Madrid, 2000.

MOREIRA, Marco Antonio. **O que é afinal aprendizagem significativa.** Instituto de Física – UFRGS. Disponível em: <www.if.ufrgs.br/~moreira> 2002.

MOREIRA, M. A. **Teorias da Aprendizagem.** São Paulo: EPU, 2006.

MOREIRA, M. A. **Teorias de Aprendizagem.** 2ª. ed. São Paulo: E.P.U., 2014.

NUSSENZVEIG, Herch Moysés. **Curso de Física Básica, 2: Fluidos, oscilações e ondas, calor.** 5. ed. São Paulo: Blucher, 2014.

OKUNO, Emico. CALDAS, Iberê Luiz. CHOW, Cecil. **Física para Ciências Biológicas e Biomédicas**. São Paulo: Harper & Row do Brasil, 1982.

OLIVEIRA, Maria Marly. **Sequência didática interativa no processo de formação de professores**. Petrópolis, RJ: Vozes, 2013.

PARÂMETROS CURRICULARES NACIONAIS: Ensino Médio/ Ministério da Educação, 1999.

PCN, Ensino Médio Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais. 2006. Disponível em: http://www.sbfisica.org.br/arquivos/PCN_FIS.pdf

PEDUZZI et al. **Revista Brasileira de Ensino de Física**. Vol. 14 n° 4, 1992.

PERES, Larissa Suarez. **Matemática e Música**. Disponível em <https://www.recantodasletras.com.br/artigos-de-musica/6168620>. Acesso em 26/11/2018.

POSTMAN, NEIL & WEINGARTNER, Charles (1969). **Teaching as a subversive activity**. New York: Dell Publishing Co. 219p.

POSTMAN, Neil **The end of education: redefining the value of school**. New York: Vintage Books/Random House. 208p. 1996.

RUI, Laura Rita. **A física na audição humana**. Porto Alegre: UFRGS, Instituto de Física, Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, 2007.

SIMÕES, Pierangela Nota. **Psicoacústica**. Disponível em <http://simoes.pro.br/pierangela/aulas/historico.htm>. Acesso em 05 de novembro de 2018.

SIMULAÇÃO DO SOM. **Phet Colorado**. Disponível em: https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/sound. Acesso em 19/07/2018.

WISNIK, J.M. **O som e o sentido: uma outra história das músicas**. São Paulo: Companhia das Letras, 1999.

ZAMPAR FILHO, Luis Eduardo. **Desenvolvimento de uma metodologia para elaboração de modelos de predição dos níveis de ruído do campo acústico de usinas hidrelétricas**. 2014.

ZABALA, Antoni. **A prática educativa: como ensinar**. Tradução Ernani F. da F. Rosa -- Porto Alegre: Artmed, 1998.

ANEXO

ANEXO A – QUE ANIMAIS ENXERGAM POR MEIO DE SONS E COMO ELES CONSEGUEM FAZER ISSO?¹

André Santoro

Nos golfinhos, o sistema é ainda mais preciso, pelo fato de, dentro d'água, o som se propagar a uma velocidade 4,5 vezes maior. Os grandes especialistas nesta arte – chamada de eco localização ou biossonar – são os golfinhos e os morcegos. Ambos possuem uma visão aguçada, que funciona perfeitamente durante o dia, mas normalmente precisam caçar e se locomover em ambientes com pouca luz. Em tais casos, eles conseguem enxergar sem utilizar os olhos, emitindo sons de alta frequência, em geral inaudíveis para o ser humano. “Essas ondas sonoras batem na presa – e nos obstáculos à frente – e retornam na forma de ecos, que, por sua vez, são decodificados como um mapa pelo cérebro do bicho”, diz a bióloga Eliana Morielle, da Universidade Estadual Paulista (Unesp). Nos morcegos, o grau de precisão é tão elevado que certas espécies conseguem detectar a presença de um fio de apenas 0,5 milímetro de espessura em pleno vôo rasante. Nos golfinhos, o sistema é ainda mais preciso, pelo fato de, dentro d'água, o som se propagar a uma velocidade 4,5 vezes maior.

Assim, eles conseguem identificar peixes pequenos a distâncias de até 200 metros. Existem algumas espécies de pássaros que vivem em cavernas, ou têm hábitos noturnos, que também desenvolveram um eco localização rudimentar, que só serve para a locomoção. E até mesmo um ser humano, acredite, pode utilizar a audição para localizar objetos ou evitar um obstáculo. “Quem é cego de nascença desenvolve a audição a tal ponto que esse sentido acaba substituindo, em parte, a visão”, afirma o biólogo O’Dell Henson, da Universidade da Carolina do Norte, nos Estados Unidos.

Caçada no escuro: Sonar permite ao morcego se orientar em ambientes com pouca ou nenhuma iluminação.

VISÃO AUDITIVA - Existem cerca de 1000 espécies de morcegos e quase todas têm a capacidade de se orientar no escuro por meio das ondas sonoras e seus reflexos. Esse

¹ Texto extraído da revista Super interessante, publicado em 30 abr 2002. Disponível em <https://super.abril.com.br/ciencia/que-animais-enxergam-por-meio-de-sons-e-como-eles-conseguem-fazer-isso/> Acesso 18/08/2019.

mecanismo de ecolocalização – também chamado de biossonar – só foi descoberto pela ciência em 1938.

BEM DOTADO - Para que o sonar do morcego funcione perfeitamente, o cérebro do animal possui um córtex auditivo (ponto em vermelho) extremamente desenvolvido. O sistema nervoso do bicho é tão sensível que possui até neurônios especializados em detectar a velocidade da sua presa

LANCHE À VISTA - A distância é medida pelo tempo que o som leva para ser refletido. Quanto mais rápido o eco voltar, mais próxima está a presa. A velocidade do inseto é calculada pelo chamado efeito Doppler: quanto maior a velocidade, maior a variação na frequência do som. A partir do ângulo de entrada do som em seu aparelho auditivo, o morcego consegue “visualizar” a presa em três dimensões – altura, largura e profundidade

NAVEGAÇÃO PRECISA - Os golfinhos são capazes de nadar à noite ou em águas turvas graças ao biossonar.

FLECHA NORA - O animal produz o som na traqueia e nas cavidades nasais (acima dos olhos). Em seguida, o sinal sonoro passa por uma camada de tecido gorduroso que serve como uma lente focalizadora: em vez de se dispersar em todas as direções, o sinal é emitido para a frente, acompanhando o movimento do golfinho

IDA E VOLTA - O som que retorna em eco é absorvido, em grande parte, pelas cavidades do maxilar inferior. De lá, os sinais seguem até o ouvido e chegam ao nervo auditivo, que desemboca no cérebro – onde os ecos são interpretados conforme a variação da frequência e outras informações:

1 – Assim que recebe o eco do primeiro som emitido, o golfinho gera outro “clique”. O lapso de tempo entre emissão e recepção permite que o animal calcule a distância que o separa do obstáculo à frente. Essa variação também é útil para que o golfinho avalie outras informações, como a velocidade e o tamanho de uma presa potencial.

2 – O cérebro do golfinho é extremamente ágil para processar as informações relativas à distância e às dimensões do obstáculo à sua frente e à presa que está perseguindo. Essa sensibilidade funciona melhor numa faixa de distância entre 5 e 200 metros – e permite que o animal identifique pequeninas presas de até 5 centímetros.

3 – Mesmo nadando em velocidade, ele consegue se desviar a tempo de prosseguir a caçada. Mas, ao se aproximar do obstáculo ou da presa, o golfinho precisa do auxílio da visão

ocular. Estudos recentes provaram que golfinhos que não enxergam com os olhos têm a ecolocalização menos eficiente.

SÓ ELES PERCEBEM - O biossonar é inaudível para o ser humano. Nós não ouvimos a maior parte dos guinchos produzidos pelos morcegos, pois a frequência das ondas sonoras é muito alta. Os golfinhos também emitem sons que não conseguimos escutar. Cada “clique” emitido por eles dura, no máximo, 128 microssegundos (1 microssegundo equivale a 1 milionésimo de segundo) frequência entre 40 e 150 kHz.

APÊNDICES

APÊNDICE A – VISUALIZAÇÃO DE ONDAS SONORAS².

Realizando o experimento sobre “Visualização de ondas sonoras”, disponível no livro didático de Física: Física – ciência e tecnologia, é possível mostrar aos estudantes que uma onda sonora propagando-se no ar é uma onda de pressão, ou seja, uma perturbação da pressão do ar. Essa onda, ao incidir contra uma superfície ou uma membrana elástica, produz vibrações nessa superfície ou que, na maioria das vezes, tem amplitudes imperceptíveis. Nessa montagem, o feixe de luz refletido tem a função de tornar visualmente perceptíveis as pequenas vibrações da membrana elástica como resultado das ondas sonoras provenientes das palmas.

Os materiais necessários para realizar essa atividade são: uma lata vazia de leite em pó; abridor de latas; uma bexiga; um pequeno espelho plano; uma lanterna; barbante; tesoura; cola e fita adesiva.

Procedimento:

Usando o abridor de latas, retire o fundo da lata de leite em pó. Tome cuidado para não se ferir. Com a tesoura, corte uma das laterais da bexiga. Retire a tampa da lata, estique bem a membrana de borracha sobre a borda superior da lata e prenda-a firmemente com o barbante, formando uma espécie de tambor. Usando a cola, fixe o espelho plano no centro da membrana elástica, deixando a superfície refletora do espelho voltada para fora. Depois da cola ter secado, fixe, com a fita adesiva, a lata deitada sobre uma mesa num local que esteja com pouca iluminação e direcione o feixe de luz da lanterna contra o espelho de modo que o feixe refletido ilumine uma parede próxima. Posicione-se diante da extremidade aberta da lata e bata palmas, como mostra a Figura 1. Se preferir, coloque um rádio ligado na frente da abertura.

² Adaptado de “Proposta experimental” disponível no livro didático de Física – TORRES, Carlos Magno, FERRARO, Nicolau Gilberto, SOARES, Paulo Antônio de Toledo. **Física – ciência e tecnologia**. Vol. 1, 2 e 3. São Paulo: Moderna, 2010.

Figura 1 – Montagem do experimento: “Visualizando ondas sonoras”.



Fonte: TORRES, 2010.

Questione aos estudantes: “O que acontece com o feixe de luz ao iluminar a parede?”

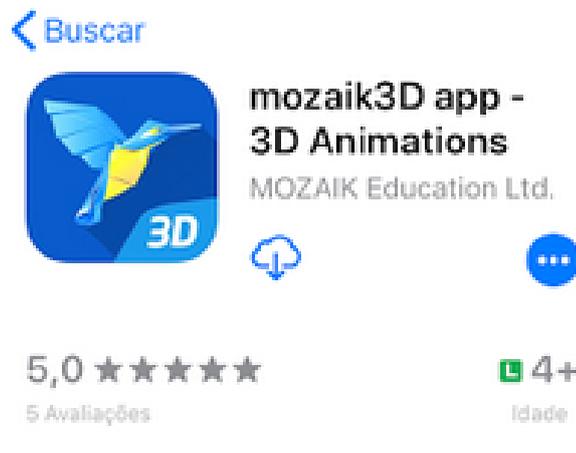
Deixe os estudantes observarem, indagarem e com base nessa demonstração, possam tirar uma conclusão sobre a correlação entre os tipos de ondas envolvidas nessa experiência.

APÊNDICE B – EXPLORANDO O MECANISMO DA AUDIÇÃO ATRAVÉS DO APLICATIVO *MOZAIK EDUCATION*.

Sugere-se aos estudantes a utilização do aplicativo “*O mecanismo da audição - Mozaik Education*”, que contém animações 3D detalhadas sobre o aparelho auditivo e como ele se comporta na presença de som.

É interessante que o professor solicite aos estudantes para que baixem e instalem em seus celulares esse aplicativo antes de iniciar a aula, pois sua instalação pode levar alguns minutos. Para instalar o aplicativo, o estudante deve abrir o *Playstore* ou *Appstore* de seu celular e procurar por “*mozaik 3D app – 3D Animations*”, conforme mostra a Figura 1.

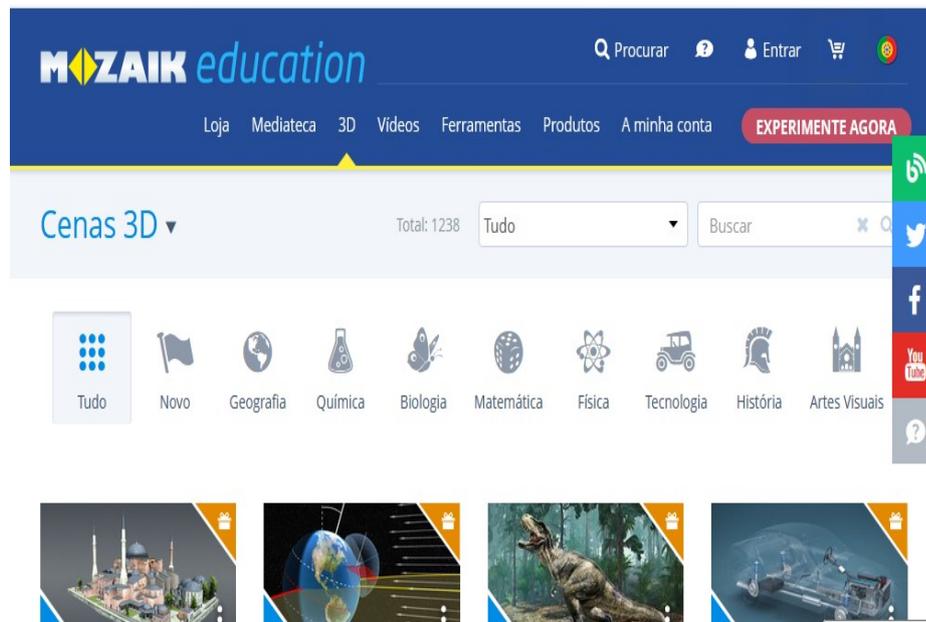
Figura 1 – Aplicativo para baixar na tela do celular.



Fonte: Própria autora, 2019.

Caso o aluno não possua celular, o aplicativo pode ser demonstrado através do computador, projetado via *data show*. Na Figura 2, observa-se a tela inicial do aplicativo em uma tela de computador.

Figura 2 - Página inicial do *Mozaik Education*.



Fonte: Mozaweb, 2019³.

Após os estudantes interagirem com o aplicativo, podendo verificar detalhadamente como é o sistema auditivo, o professor aproveita esse momento para explicar sobre a orelha humana e seu funcionamento, detalhando em que consiste cada parte e qual a sua função, bem como o som é captado e levado até nosso cérebro. Ao finalizar, o professor deve permitir que os estudantes acessem o aplicativo novamente, agora já sabendo em que consiste o sistema auditivo ao todo. Objetivando reforçar o assunto abordado, pode-se sugerir que os estudantes assistam ao vídeo “A natureza do som e o ouvido humano” [00m00s – 06m09s]⁴, disponibilizando o *link* de acesso - <https://www.youtube.com/watch?v=wsCII5ehL0c> - e permitindo que seja explorado da maneira que o estudante achar mais oportuno.

Será considerado suficiente se os estudantes entenderem o funcionamento do sistema auditivo, sob a perspectiva da Biologia. É possível avaliar a aprendizagem através de questões como:

- Onde é produzido o sentido da audição? (**R: Orelha**).
- Como é dividida a orelha humana? (**R: Orelha externa, orelha média e orelha interna**).
- Como é composta a orelha externa? (**R: Pavilhão auditivo, canal auditivo e tímpano**).

3 Disponível em: https://www.mozaweb.com/pt/Extra-Cenas_3D-O_ouvido_e_o_aparelho_auditivo-139742.

4 Disponível em <https://www.youtube.com/watch?v=wsCII5ehL0c>. Acesso em 07/07/19.

- Quais são os menores ossos do corpo humano? (**R: Martelo, bigorna e estribo**).
- Onde estão localizados esses ossículos? (**R: Orelha média**).
- Onde está situada a cóclea? (**R: Orelha interna**).
- Em que parte da orelha são gerados os impulsos nervosos? (**R: Orelha interna**).
- Qual é o ossículo mais externo, que está ligado ao tímpano? (**R: Martelo**).
- Qual ossículo que faz o fluido existente na cóclea vibrar? (**R: Estribo**).
- O que separa a orelha externa da orelha média? (**R: Membrana timpânica**).

APÊNDICE C – PROPAGAÇÃO DO SOM NOS DIFERENTES MEIOS MATERIAIS⁵.

Esta atividade inclui diferentes estações que deve ser realizada em um laboratório. Para melhor aproveitamento da aula, deixe todas as atividades previamente preparadas com as devidas instruções em cada uma. Caso a escola não disponibilize de um laboratório, essa atividade pode ser realizada na sala de aula.

Nessa atividade, você vai precisar dos seguintes materiais: pandeiro ou tambor, cliques de papel, um diapasão de metal, uma bacia com água, elástico esticado numa base entre dois pregos, um garfo e uma colher de metal e uma régua.

Procedimentos: Divida os estudantes em equipes, orientando que todos deverão realizar todas as atividades, ou seja, as equipes deverão rotacionar entre as estações de forma que todos observem todas as demonstrações.

Atividade 1 – Bata com o garfo na colher e coloque para perto da sua orelha.

Atividade 2 – Coloque a mão ao lado da sua garganta e diga “aahh”. Verifique o que você sente. Coloque a mão sobre a sua traqueia enquanto você fala. O que provoca a vibração? Coloque a mão sobre a traqueia enquanto você assobia. O que está produzindo o som?

Atividade 3 – Cuidadosamente, bata com o diapasão em uma superfície sólida e depois coloque as pontas do garfo na bacia com água. Bata numa das hastes de um diapasão com uma rolha de borracha presa na ponta de um bastão, ou bata com o diapasão contra o salto de borracha de seu sapato. Encoste de leve um pedaço de papel no diapasão. O que você observa? Mergulhe as hastes de um diapasão em vibração num recipiente com água. Observe o que ocorre e note o desenho que se forma na sua superfície. Dê uma batida leve em uma das hastes do diapasão e toque levemente a outra haste. O que você nota? Dê uma batida leve no diapasão e aproxime o mesmo do ouvido. Encoste o dedo com firmeza no diapasão. O que ocorre?

Atividade 4 – Toque o tambor e observe o que acontece com os cliques de papel que estão em cima.

Atividade 5 – Posicione a régua na beira da mesa deixando cerca de um terço da régua para fora. Depois, segure a régua bem firme e bater na ponta. Observe o que aconteceu.

⁵ Adaptado de <https://aulanapratca.wordpress.com/2016/02/23/aula-pratica-as-ondas-sonoras/>. Acesso em 04/12/18.

Apoie uma régua de 30 cm sobre o tampo de uma mesa. Faça vibrar a extremidade livre da régua. Note o som produzido. Varie o tamanho da extremidade livre da régua e faça-a vibrar novamente. Estabeleça uma relação entre a altura do som e o comprimento da extremidade livre que vibra. (O mesmo procedimento pode ser feito utilizando uma folha de serra de ferro).

Atividade 6 – Toque o elástico como uma corda de violão.

Atividade 7 – Se possível, cada equipe deve produzir um som em uma sala vazia, objetivando perceber o eco.

De todas as atividades desenvolvidas aqui, quais você pode associar com a produção de som? Lembre-se: São corpos em vibração, que formam ondas sonoras (longitudinais) que se propagam pelo ar até nossa orelha.

APÊNDICE D – PERCEPÇÃO DO SOM E A ORELHA.



Atividade prática⁶: Através do aplicativo *Phet Colorado*, vamos verificar e fazer uma discussão qualitativa acerca de alguns conceitos de ondas sonoras. Para isso realize cada atividade proposta abaixo e anote as observações.

1. Acesse https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/sound.
2. Clique em ouvir uma única fonte. Vá para a opção controle de áudio e clique em áudio ativado, e em seguida, clique em alto falante. Dirija-se ao canto direito de seu monitor, onde você encontrará a opção para variar a frequência e a amplitude da onda. Mantendo a amplitude sempre a mesma, variando somente a frequência observe o ocorrido e descreva-o.
3. Com base na sua observação da questão anterior, responda: A medida em que se variava a frequência, o som se tornava: alto, baixo ou ambos? Justifique a sua resposta.
4. Clique na opção medir, que se encontra no canto superior do aplicativo. Mantendo a amplitude sempre a mesma, varie a frequência e discorra sobre a relação, entre a frequência e o comprimento de onda, a partir do que se foi observado na simulação.
5. De acordo com a questão anterior, explique o porquê, que a fonte sonora ao se aproximar do observador, o mesmo se tem a impressão de que o som é mais agudo e quando a fonte se afasta parece ser mais grave?
6. A que fenômeno a questão anterior faz referência? Dê um exemplo do seu cotidiano em que você observa o ocorrido.
7. Clique na opção interferência entre duas fontes, que se encontra no canto superior do aplicativo. Em seguida escolha uma frequência e um nível de amplitude para sua onda. Após escolher uma determinada frequência e amplitude clique em cima do observador e o movimente por toda a parte, por onde você quiser. Observe e descreva o que acontece enquanto você movimenta o observador, se não quiser ficar movimentando o tempo todo, posicione a imagem em diversos pontos e observe o que acontece em cada ponto.
8. Em relação a interferência sonora, quais são os dois tipos de interferência?
9. E qual a relação de ambas referente a análise da questão anterior?

⁶ Adaptado de https://phet.colorado.edu/pt_BR/contributions/view/4454. Acesso em 06/08/2019.

10. Clique na opção “ouvir com pressão do ar variável”, que se encontra na parte superior do aplicativo, em seguida clique em remover ar da caixa (lado direito do monitor). Preste bastante atenção no medidor de pressão: a medida que a pressão diminui o que acontece com o som?

11. Com base no que você já aprendeu e tendo o aplicativo como apoio, justifique a sua resposta da questão anterior, com base nos conceitos físicos.

APÊNDICE E – QUESTIONÁRIO PARA A PRÉ-APLICAÇÃO DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA.

O pré-questionário é composto por quatro questões que abordam o som e como ele se propaga até chegar ao sistema auditivo. O *link* de acesso ao questionário deve ser disponibilizado com antecedência para os alunos, a fim de que o professor possa coletar e realizar uma pré-avaliação dos subçunsores.

Para verificar quais as concepções prévias apresentadas pelos alunos sobre o assunto “Som e Audição”, são propostas as questões abaixo:

1. O que você entende por som?
2. Como o som chega até a nossa orelha?
3. Por que o som da sua voz se altera nas gravações de áudio?
4. Antigamente, as pessoas encostavam a orelha no trilho para descobrir se o trem já estava chegando. Por que elas faziam isso?

As questões apresentadas são abertas e assim possibilitam aos alunos expressar sua real opinião sobre o assunto, evitando induzi-los a respostas com o uso de múltiplas escolhas.

APÊNDICE F – PRODUTO EDUCACIONAL

MNPEF
Mestrado Nacional
Profissional em
Ensino de Física



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CAMPUS BLUMENAU
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO MESTRADO PROFISSIONAL EM ENSINO DE
FÍSICA (MNPEF)

Janice Pockszevnicki

**O SOM E O SENTIDO DA AUDIÇÃO:
UMA PROPOSTA DE INTERDISCIPLINARIDADE ENTRE FÍSICA E BIOLOGIA
PARA O ENSINO MÉDIO.**

Blumenau

2019

Janice Pockszevnicki

**O SOM E O SENTIDO DA AUDIÇÃO:
UMA PROPOSTA DE INTERDISCIPLINARIDADE ENTRE FÍSICA E BIOLOGIA
PARA O ENSINO MÉDIO.**

Produto Educacional submetido ao Programa de Mestrado Profissional em Ensino de Física (MNPEF) da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do título de mestre em ensino de física.
Orientadora: Prof^a. Dra. Lara Fernandes dos Santos Lavelli.

Blumenau, novembro de 2019.

SUMÁRIO

1 APRESENTAÇÃO	5
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	6
2.1 ONDAS	6
2.1.1 Classificação das Ondas.....	7
2.2 A PERCEPÇÃO DO SOM: RECONHECENDO FREQUÊNCIAS	9
2.3 PROPAGAÇÃO DO SOM NO MEIO.....	13
2.3.1 Velocidade do Som.....	13
2.4 CARACTERÍSTICAS DE UMA ONDA	14
2.5 A ORELHA HUMANA E A AUDIÇÃO	15
2.5.1 Fisiologia da Audição.....	19
3 SEQUÊNCIA DIDÁTICA: SOM E O SENTIDO DA AUDIÇÃO	21
3.1.1 Público alvo.....	23
3.2 PRÉ APLICAÇÃO DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA E RECURSOS MATERIAIS	23
3.2.1 Pré-aplicação da sequência didática.....	23
3.2.2 Recursos didáticos.....	24
3.3 MOMENTO POR MOMENTO	25
3.3.1 1ª Momento: Natureza ondulatória do som.....	25
3.3.2 Objetivos.....	25
3.3.3 Conteúdos.....	25
3.3.4 Descrição da atividade.....	25
3.3.5 Avaliação.....	26
3.4 2ª Momento: Sistema auditivo.....	26
3.4.1 Objetivos.....	26
3.4.2 Conteúdo.....	26
3.4.3 Descrição da atividade.....	27
3.4.4 Avaliação.....	28
3.5 3ª Momento: Propagação do som no meio.	29
3.5.1 Objetivos.....	29

3.5.2 Conteúdos.....	29
3.5.3 Descrição da atividade.....	30
3.5.4 Avaliação.....	31
3.6 4ª Momento: Percepção do som e a orelha.....	32
3.6.1 Objetivos.....	32
3.6.2 Conteúdos.....	32
3.6.3 Descrição da atividade.....	32
3.6.4 Avaliação.....	33
REFERÊNCIAS	35
ANEXOS.....	36
ANEXO 1 - MATERIAL DE APOIO I - VISUALIZAÇÃO DE ONDAS SONORAS”.....	37
ANEXO 2 - MATERIAL DE APOIO II – PROPAGAÇÃO DO SOM NOS DIFERENTES MEIOS MATERIAIS.	43
ANEXO 3 - MATERIAL DE APOIO III - QUE ANIMAIS ENXERGAM POR MEIO DE SONS E COMO ELES CONSEGUEM FAZER ISSO?	37
ANEXO 4 - MATERIAL DE APOIO IV - PERCEPÇÃO DO SOM E A ORELHA.	47

1 APRESENTAÇÃO

Prezado (a) professor (a)!

Esta sequência didática tem a finalidade de auxiliar professores de Física do Ensino Médio no ensino de ondas sonoras, tendo ênfase a audição humana.

Diversos fenômenos e aplicações que envolvem a natureza do som estão presentes em nosso cotidiano, mas o ensino de ondulatória no Ensino Médio é abordado separadamente nas disciplinas de Física e Biologia. Enquanto a Física não aprofunda a interação entre som e o sistema auditivo, a Biologia apresenta de forma superficial conceitos de frequência, amplitude, timbre, etc. E ao falar em som, é impossível não associá-lo com o sistema auditivo. A sua produção, propagação e sua percepção abordam conceitos físicos e biológicos, bem como artísticos e psíquicos que transcorrem várias áreas do conhecimento humano.

Para a aplicação integral desta sequência deve-se reservar no mínimo 4 aulas de aproximadamente 50 minutos. Tais aulas incluem experimentos de caráter real e virtual. A sequência também pode ser aplicada na forma de oficina. O público alvo consiste em alunos do segundo ano do ensino médio, pois o tema de ondulatória faz parte da ementa desta série.

Esta sequência está baseada na aprendizagem significativa, defendida por David Ausubel, na qual as informações daquilo que o aluno já sabe seriam as mais importantes para a aprendizagem. Partindo das ideias prévias sobre o assunto a ser abordado, se ancora o novo conteúdo através do que o aluno já conhece sobre o tema. Ou seja, é necessário conhecer aquilo que o aluno já sabe e, a partir daí, estabelecer os novos conceitos, onde é possível adotar diferentes estratégias de ensino para facilitar esse processo, para que a aprendizagem ocorra de forma significativa. Tendo em vista que os alunos já possuem alguns conhecimentos prévios necessários, será por estes que se inicia a aprendizagem significativa dos conteúdos relacionados ao som e ao sentido da audição humana.

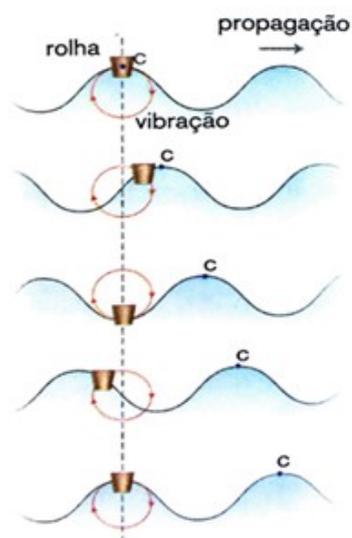
Para lhe auxiliar nesta jornada, as páginas que seguem apresentam uma revisão dos conceitos científicos envolvidos no trabalho sob interdisciplinaridade entre a Física e a Biologia. Além da sequência didática, os roteiros dos experimentos (reais e virtuais), textos a serem utilizados com seus estudantes e *links* para vídeos encontram-se como material de apoio que são facilmente encontrados nos anexos. Bom trabalho!

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 ONDAS

A parte da Física que estuda as ondas é a ondulatória. Podemos definir ondas como a propagação de movimentos oscilatórios que acontecem através da perturbação de um meio. Na natureza, encontramos muitos movimentos oscilatórios através da nossa visão, audição bem como a nossa fala. As ondas transportam energia sem transportar matéria. Conforme ilustra a Figura 1 uma rolha permanece flutuando sobre uma superfície líquida na qual se propaga uma onda.

Figura 1 - Ondas transportando energia sem transportar matéria. A cortiça oscila em torno da mesma posição.



Fonte: Adaptado de BONJORNO, 2016⁷.

⁷ BONJORNO, et al. Física: terminologia, óptica, ondulatória. 2º ano. 3.ed. São Paulo: FTD, 2016.

Essas situações nos mostram que uma onda não transporta matéria. A cortiça recebeu energia da onda e por isso se movimentou, sem ser arrastada na direção de sua propagação pela superfície da água.

2.1.1 Classificação das Ondas

As ondas podem ser classificadas quanto à sua natureza e quanto à direção de vibração dos componentes do meio. A seguir, vamos detalhar um pouco melhor essas classificações:

2.1.1.1 Classificação das ondas quanto a sua natureza

As ondas podem ser de natureza mecânica, eletromagnética ou ainda ondas de matéria.

- **Ondas Mecânicas:** transportam energia mecânica, portanto são perturbações que ocorrem em um meio material. Dessa forma, esse tipo de onda não se propaga em meios sem material, ou seja, não se propagam no vácuo. Temos como exemplos de ondas dessa natureza as ondas sonoras e as ondas produzidas em uma corda.

- **Ondas Eletromagnéticas:** são ondas geradas em campos elétricos e magnéticos, não necessitando de um meio material para a sua propagação, ou seja, propaga-se no vácuo. Percebemos que este tipo de onda está muito presente em nosso dia a dia, pois praticamente toda tecnologia que utilizamos funciona através de ondas eletromagnéticas, como as ondas de rádio, o sinal de celular, a luz visível.

- ✓ **Ondas de matéria:** os elétrons podem ser vistos como ondas. Ou seja, ondas de matéria podem ser entendidas como uma extensão do conceito de onda para as partículas massivas, em virtude da dualidade onda-partícula. “Toda a matéria apresenta características tanto ondulatórias como corpusculares comportando-se de um ou outro modo dependendo do experimento específico⁸”. As ondas de matéria podem transportar matéria.

⁸ L. de Broglie, *Recherches sur la théorie des quanta* (Researches on the quantum theory), Thesis (Paris), 1924.

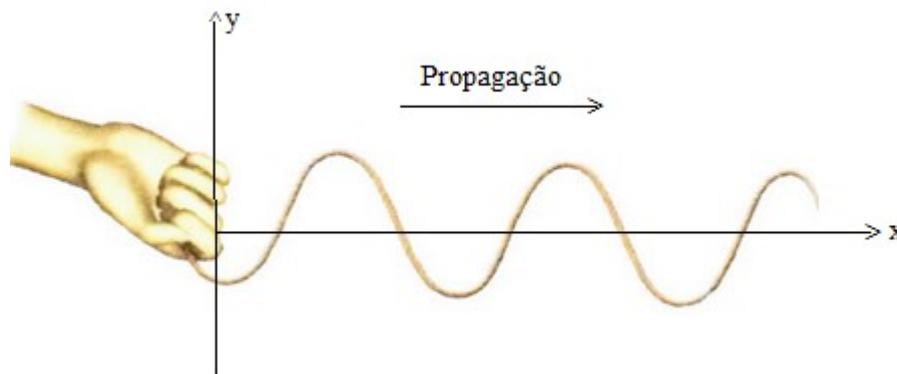
Fique atento! Em filmes de ficção científica como *Star Wars*, *Star Trek* ou qualquer outro, ocorrem explosões de naves que acontecem no espaço e geram um barulhão. No entanto, podemos constatar um erro físico: o som produzido nessas explosões. O som é uma onda mecânica e este tipo de onda não se propaga no vácuo. De fato, as explosões podem acontecer no espaço, porém elas não geram nenhum som.

2.1.1.2 Classificação das ondas quanto à direção de vibração dos componentes do meio

Outro modo de classificarmos as ondas é quanto à direção da vibração das partículas que compõe o meio, podendo ser:

- **Ondas Transversais:** as vibrações dos componentes do meio são perpendiculares à direção de propagação. Como exemplo, temos as ondas mecânicas que se propagam em uma corda e ondas eletromagnéticas.

Figura 2 - Movendo-se a corda para cima e para baixo, tem-se uma onda transversal.



Fonte: Adaptado de GUIMARÃES, 2017⁹.

- **Ondas Longitudinais:** as vibrações dos componentes do meio são paralelas à direção de propagação, como por exemplo, as ondas sonoras. A propagação das ondas sonoras será melhor detalhada mais adiante.

⁹ GUIMARÃES, O. et al. **Física**. 2. ed. São Paulo: Ática, 2016.

Figura 3 - O som se propaga no ar como ondas sonoras longitudinais.



Fonte: SILVEIRA, 2017¹⁰.

2.2 A PERCEPÇÃO DO SOM: RECONHECENDO FREQUÊNCIAS

A amplificação do som gerada dentro de nossa orelha se dá por meio de um fenômeno conhecido como ressonância. Este fenômeno ocorre entre a onda sonora e as fibras da membrana basilar. Dependendo da frequência do som que chega, somente uma porção dessa membrana será colocada em vibração com maior intensidade.

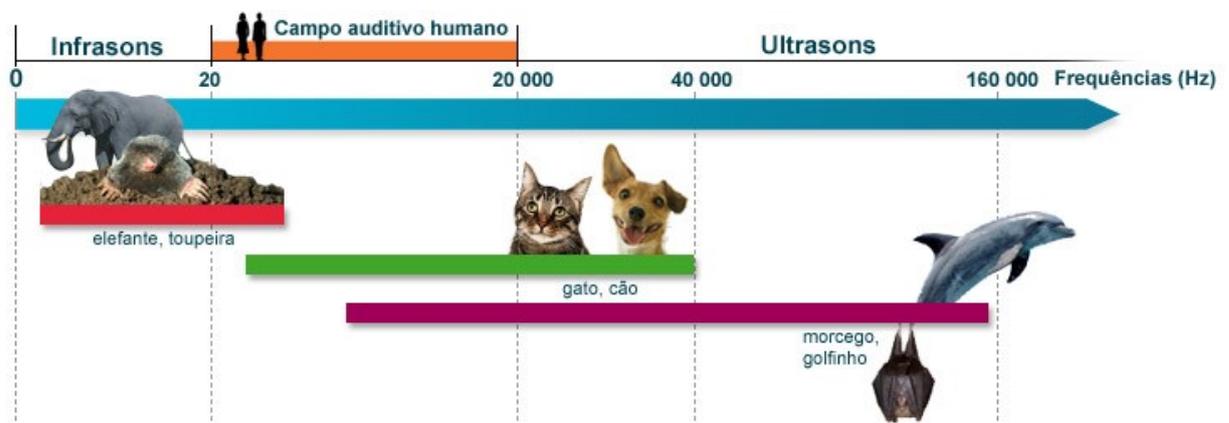
Considerando uma diversidade de frequências, o som pode ser dividido em grave e agudo. O som grave é o som que possui baixa frequência, enquanto o som agudo é o de alta frequência. Por exemplo, uma voz masculina é mais grave do que a voz feminina. Ou seja, a voz da mulher é mais aguda que a do homem.

Para a percepção do som grave, as fibras da membrana basilar próxima a cóclea vibrarão com mais intensidade. Já para os sons agudos, a parte inicial da membrana basilar próxima à orelha média será mais estimulada. A parte central da membrana produz os sons intermediários. Por fim, o sistema nervoso reconhece o som captado por sua frequência, por meio da identificação da região de onde partiram os impulsos. Entretanto, essa identificação é limitada, pois a audição humana consegue discriminar sons com diferenças de frequências de no mínimo 3 Hz.

¹⁰ SILVEIRA, Carolina Pinheiro da. **Atividades experimentais para o ensino de Física ondulatória no Ensino Médio e NEJA**. Volta Redonda, 2017.

Os sons que os seres humanos conseguem detectar são considerados audíveis. Porém nem todas as frequências são possíveis de ouvir. O homem consegue detectar as frequências entre 20 Hz e 20 kHz, conforme a figura abaixo. Ao longo da vida, perde-se a capacidade de ouvir certas frequências, sobretudo as mais altas. Alguns animais como aranhas e elefantes detectam infrassons, outros como o gato, a mosca, o golfinho e os morcegos detectam ultrassons. A Figura 4 ilustra a faixa de frequências sonoras que são audíveis pelo ser humano comparada à de outros animais.

Figura 4 - Faixa de frequências sonoras ouvidas pelo ser humano comparada à de outros animais.



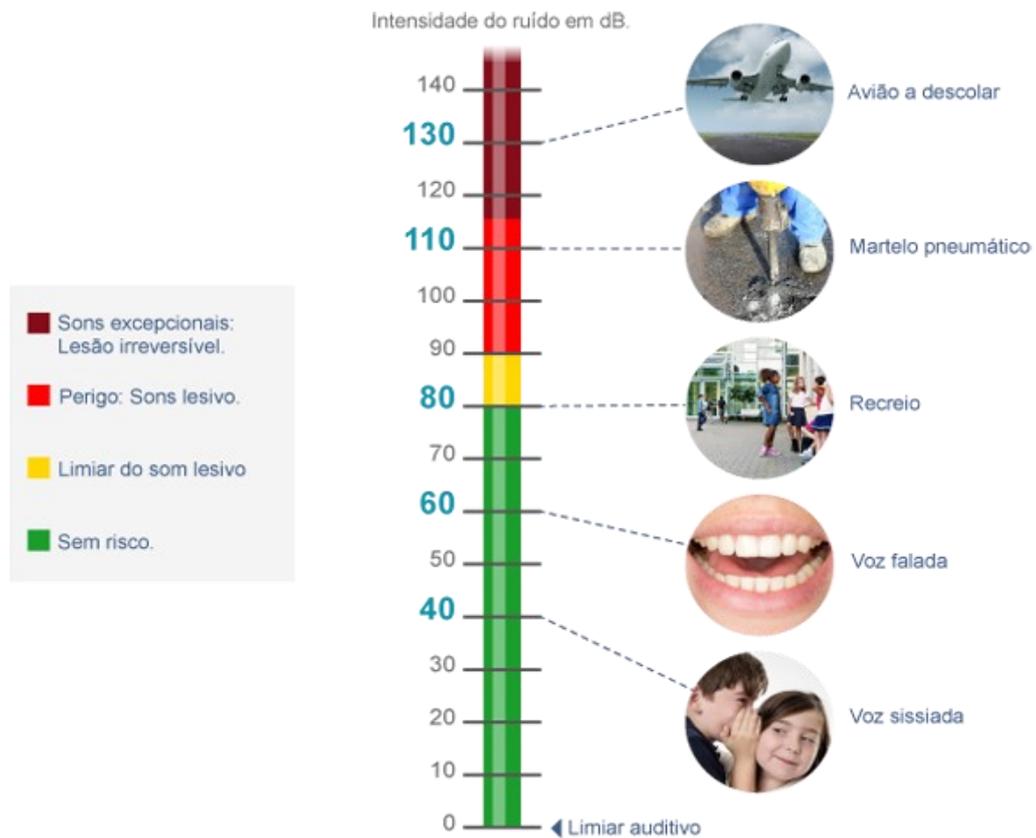
Fonte: PIETROCOLA, 2016¹¹.

A orelha consegue captar os níveis de intensidade sonora que estão compreendidos entre 0 e 120 dB. Um som com a frequência de 1000 Hz é perceptível pela orelha humana se a intensidade sonora for superior a 0 dB e a mesma frequência, a uma intensidade de 120 dB é a mais forte que a orelha pode suportar. Intensidades de sons acima deste valor são nocivos e podem causar danos irreversíveis para a orelha interna.

Na Figura 5, adotando como 0 dB a mínima intensidade audível, pode-se estabelecer uma correspondência entre o nível de intensidade sonora e a intensidade física.

Figura 5 - Intensidades dos sons audíveis pela orelha humana.

¹¹ PIETROCOLA, M. *et al.* **Física em contextos**. vol. 2. São Paulo: Editora do Brasil, 2016.

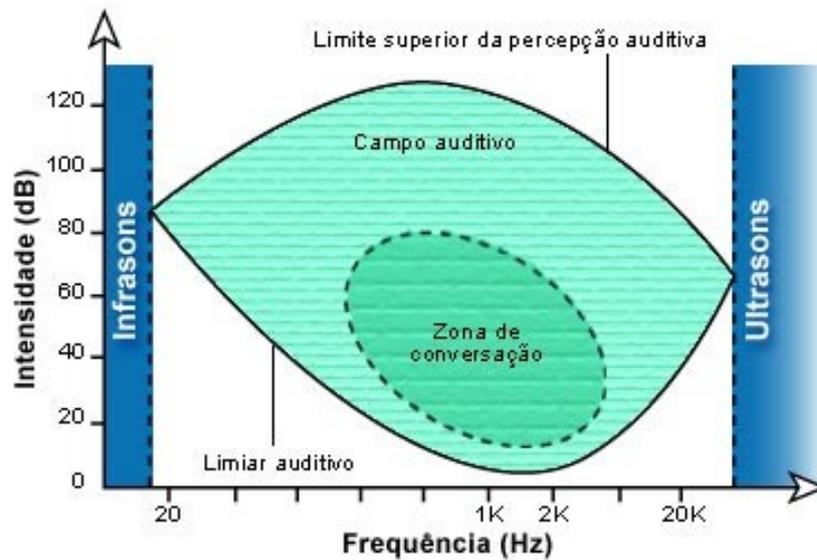


Fonte: PUJOL, 2018¹².

Na Figura 6, está representado o campo auditivo humano bem como a zona de conversação:

Figura 6 - Curvas de audibilidade humana.

¹² PUJOL, R. **Viagem ao mundo da audição**. 2018. Disponível em: <http://www.cochlea.org/po/som/campo-auditivo-humano>. Acesso em 06/09/2019.



Fonte: PUJOL, 2018.

Podemos verificar na Figura 6, os limiares auditivos nas diferentes frequências de uma orelha humana saudável, representado pela curva inferior, enquanto o limiar de desconforto, acima do qual surge dor está representado na curva superior. A região sonora que utilizamos para comunicação através da voz humana está na zona de conversação. Quando esta zona é afetada, pode surgir dificuldades para a comunicação e a surdez se torna perceptível.

A intensidade de um som que chega às nossas orelhas também está associada à pressão que ele exerce sobre a membrana timpânica. A sensibilidade da orelha humana atinge seu máximo entre 2000 Hz e 4000 Hz, ou seja, esse é o espaço de frequências em que o sistema auditivo humano é capaz de perceber sons de menor intensidade. O limiar da dor ocorre quando obrigamos a membrana timpânica a vibrar com amplitudes na ordem de 10^{-3} cm, o que corresponde a uma pressão de 20 Pa (20 N/m² ou 0,2 gf/cm²). As intensidades físicas dos sons audíveis também apresentam grandes variações. O sistema auditivo é capaz de perceber sons desde um suspiro bem fraco até um ruído muito forte. Essa grande variação de intensidades percebidas pela orelha humana é um dos motivos pelos quais se estabelece o nível de intensidade sonora (β), cuja unidade de medida é o bel. Dois sons tem diferença de 1 Bel quando a intensidade de um é cerca de dez vezes maior que a do outro. Entretanto, a unidade mais usada cotidianamente é o decibel (dB), que corresponde a um décimo do bel. Podemos calcular o nível de intensidade sonora para determinada intensidade física da fonte através da seguinte equação:

$$\beta = 10 \log \frac{I}{I_0} \quad , \quad (1)$$

onde I_0 é a intensidade mínima de referência e equivale a 10^{-12} W/m².

Outra característica do som é o timbre, que está associado com a característica que nos permite reconhecer o som emitido por uma fonte. O timbre é a qualidade que diferencia dois sons de mesma altura e de mesma intensidade, porém são produzidos por fontes sonoras diferentes. É possível perceber isso, quando ouvimos uma nota musical tocada por um violino e a mesma nota produzida por um piano, por exemplo. Imediatamente identifica-se os dois sons como tendo a mesma frequência, mas com características sonoras muito distintas. O timbre é que nos permite diferenciar esses dois sons instrumentais. Os dois aparelhos musicais, piano e violino, podem emitir sons com a mesma frequência, mas com timbres diferentes, pois as ondas sonoras possuem formas diferentes.

2.3 PROPAGAÇÃO DO SOM NO MEIO

“Como o som chega da fonte até nossa orelha?”

O som pode propagar-se em diversos outros meios além do ar atmosférico. Por exemplo, é possível ouvir dentro da água alguns dos sons da superfície. Na água, a velocidade do som pode chegar a 1500 m/s, bem maior do que no ar. Em um meio sólido, o som se propaga ainda mais rápido: cerca de 5000 m/s. Isso acontece porque tanto na água quanto o meio sólido são constituídos por partículas, e estas encontram-se mais próximas do que no ar. As partículas vão transmitindo vibrações às seguintes e é do movimento de todas essas partículas que resulta o som. Quanto mais próximas as partículas estiverem entre si, mais rapidamente se propagam as vibrações.

2.3.1 Velocidade do Som

Para determinar a velocidade do som, basta calcular quantos metros a onda avança a cada segundo. A velocidade de propagação é determinada de acordo com as propriedades do

meio em que a onda se encontra e de sua fonte. Ou seja, a velocidade de cada onda só se altera se o meio por onde ela se propaga for alterado.

Podemos encontrar a velocidade pela seguinte equação:

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

em que v é a velocidade do som no meio (m/s); λ é o comprimento da onda (m) e f é a frequência (Hz).

Essa equação que nos permite encontrar a velocidade de uma onda também nos permite comprovar do que ela depende. Como o comprimento de onda λ depende do meio em que a onda se propaga e a frequência f depende exclusivamente da fonte, podemos perceber que a velocidade v é dependente de ambos.

Atenção! Quanto mais próximas as moléculas estão em um meio, mais rápido as ondas mecânicas se propagam nele. Na prática isso quer dizer que as ondas mecânicas se propagam mais rápido em sólidos do que em líquidos e gases. O contrário acontece com as ondas eletromagnéticas, que se propagam com sua velocidade máxima no vácuo.

2.4 CARACTERÍSTICAS DE UMA ONDA

As ondas possuem algumas características, como amplitude, comprimento de onda, frequência, período, crista e vale.

Chamamos de amplitude (A) a “altura” máxima que a onda chega. Uma maneira de encontrarmos essa amplitude é chamando o extremo superior de uma onda de “crista” e o extremo inferior de “vale”. A amplitude será sempre a metade da distância entre um vale e uma crista.

O comprimento de onda (λ) é a distância entre o começo e o fim de uma oscilação completa. Também podemos pensar que é o tamanho de cada repetição ou a distância entre duas “cristas” ou a distância entre dois “vales”.

O valor de λ varia de onda para onda e depende do meio em que a onda está se propagando. Caso uma mesma onda mude o meio em que ela se propaga, seu comprimento de onda irá variar.

O período (T) de uma onda é o tempo que a onda leva para completar uma oscilação e sua unidade de medida é dada em segundos. O período é inversamente proporcional à frequência: quanto maior a frequência, menor o período.

$$T = \frac{1}{f} \quad . \quad (3)$$

A frequência (f) é o número de ciclos por segundo, ou o número de cristas por segundo. A unidade de medida de frequência é o hertz (Hz). A crista representa o pico de energia máximo de uma onda enquanto o vale representa o pico de energia mínimo de uma onda.

2.5 A ORELHA HUMANA E A AUDIÇÃO

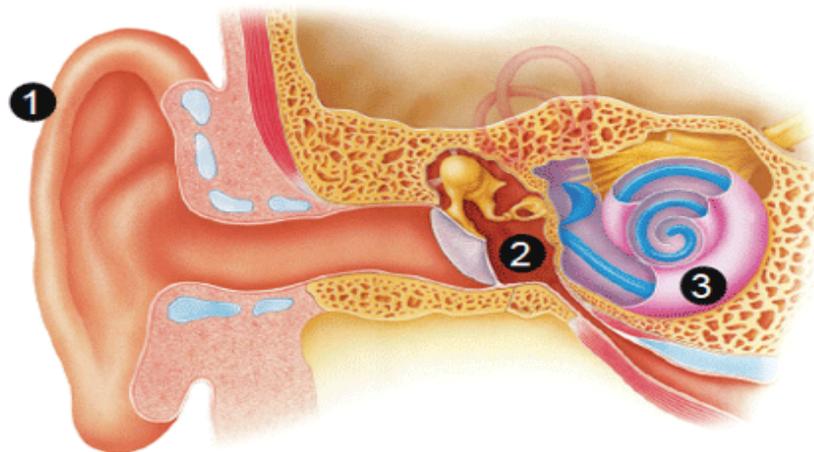
Por que falar da orelha e da audição?

Todos sabemos muito bem que uma boa audição é de fundamental importância no nosso dia a dia. Ouvir os sons da natureza, pássaros cantando, uma boa conversa com os amigos, curtir as músicas que apreciamos ou até mesmo escutar os sinais de alerta: tudo isso está garantido quando se tem uma boa audição. O modo como nos relacionamos com as situações ao nosso redor está diretamente ligado com a nossa audição, o que facilita os relacionamentos e dá abertura para inúmeras experiências sensoriais. Estamos falando de um órgão extremamente sensível e que merece toda a nossa atenção.

A orelha é o órgão que captura os estímulos sonoros externos e transforma as vibrações em impulsos sonoros, enviando-os então para o cérebro. Como detecta quantidades mínimas de energia, estamos falando da estrutura mecânica mais sensível do corpo humano.

Localizada na região temporal do crânio, a orelha é dividida em três partes: orelha externa (1), orelha média (2) e orelha interna (3), conforme mostra a Figura 7:

Figura 7 - Diagrama esquemático da orelha humana.



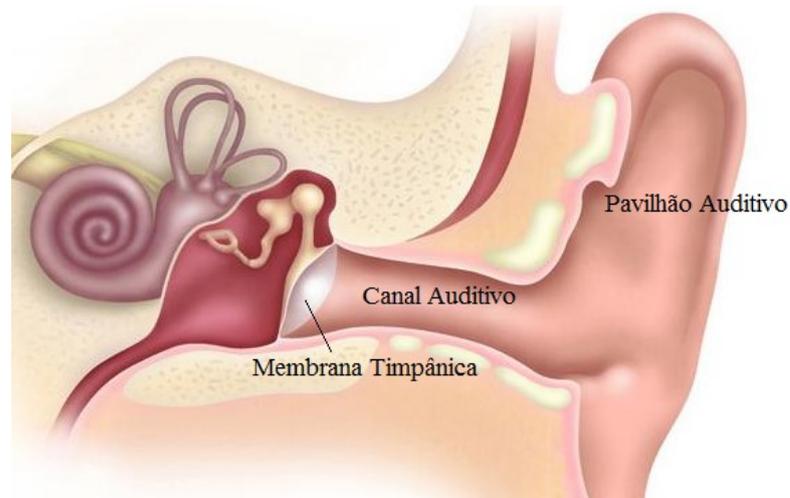
Fonte: CAS RJ, 2013.¹³

A orelha externa é composta pelo pavilhão auditivo, pelo canal auditivo e pelo tímpano. Constituída por cartilagens, seu papel é capturar as ondas sonoras e direcioná-las para o meato acústico externo, o qual atua como um condutor do som até a membrana timpânica. A orelha externa também desempenha o papel de proteger e fornecer ressonância sonora, possibilitando uma melhor transferência de energia.

O canal auditivo tem um comprimento de 2,5 cm aproximadamente e menos de 1 cm de diâmetro, equivalente a um volume total de 1 cm³. O tímpano, que também é conhecido como membrana timpânica, preenche o fundo do canal auditivo e tem formato de um cone com um diâmetro de 1 cm. Possui uma membrana de 0,05 mm de espessura e uma superfície de 85 mm². A cera, que é produzida pelas glândulas ceruminosas da pele do meato, forma uma película que impermeabiliza e protege a orelha da ação de microrganismos e outras impurezas. Na Figura 8, podemos verificar a orelha externa, bem como o canal auditivo.

¹³ CAS RJ, 2013. **Ouvido e perda auditiva**. Disponível em <http://casrio.blogspot.com/2013/03/ouvido-e-perda-auditiva.html>

Figura 8 - Orelha externa.



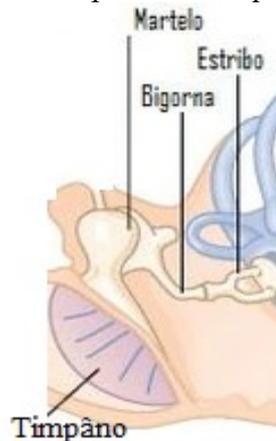
Fonte: HANNING, C, 2018¹⁴.

A orelha média localiza-se logo após a membrana timpânica. Consiste numa cavidade cheia de ar que ocupa um volume de $1,5 \text{ cm}^3$ aproximadamente. É na orelha média que encontramos os menores ossos do corpo humano: o martelo que possui cerca de 23 g, a bigorna, com 27 g e o estribo com 2,5 g de massa. Esses são os únicos ossos do corpo humano que apresentam o mesmo tamanho desde bebê até a fase adulta. Esses ossículos possuem a função de transmitir o som da membrana timpânica para a orelha interna, ou seja, as ondas sonoras agitam a membrana timpânica a qual movimentam o martelo, bigorna e estribo, que conduzem para a orelha interna as vibrações sonoras.

Na Figura 9 podemos verificar a forma desses ossículos.

¹⁴ HANNING, C. 2018. **Orelha externa: estrutura, função.** Disponível em: <https://pt.carolchanning.net/zdorove/117933-uho-naruzhnoe-stroenie-funkcii-vospalenie-naruzhnogo-uha-cheloveka.html>

Figura 9 - Os três ossículos do corpo humano que compõem a orelha média.



Fonte: GUYTON, A. C.; HALL, J. E. 2002.¹⁵

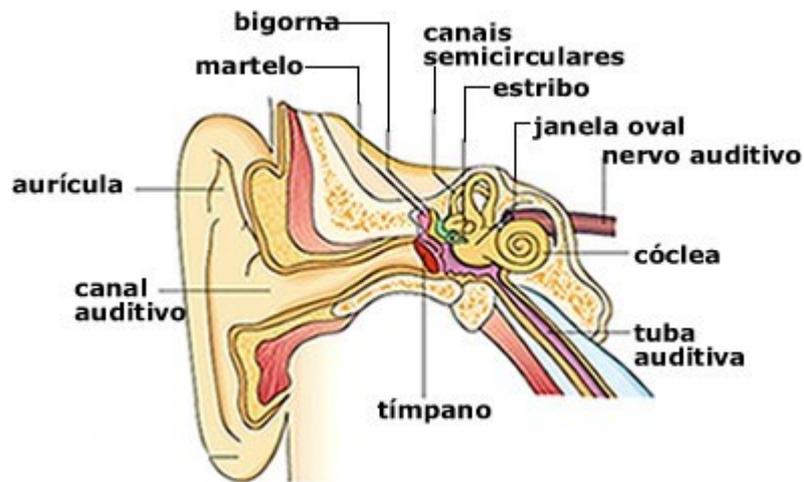
A janela oval marca o início da orelha interna, seguindo um canal que possui um comprimento de cerca de 35 mm. A janela oval transmite suas vibrações para a membrana basilar através da endolinfa, um líquido viscoso que preenche esse canal. Esse canal conduz a cóclea, também chamado de caracol, pois possui aspecto de um caramujo de jardim. A cóclea tem capacidade para avaliar o som, tanto em frequência quanto em intensidade. A parte próxima da janela oval é excitada pelas frequências altas e conforme se direciona para dentro do caracol, a frequência é diminuída.

Sobre a membrana basilar (localizada dentro da cóclea) estão distribuídas as células acústicas, conhecidas como Órgão de Corti, que abrangem um número de 18 mil células, de onde aparecem os nervos que dão formação ao nervo acústico e transportam os impulsos elétricos até o cérebro.

Na Figura 10, podemos ver as partes que compõem a orelha interna, bem como todas as partes da orelha.

¹⁵ GUYTON, A. C.; HALL, J. E. **Tratado de Fisiologia**. 10ª ed. Rio de Janeiro: Ed. Guanabara Koogan S.A., 2002.

Figura 10 - Partes da orelha.



Fonte: VARELLA, M. 2019.¹⁶

2.5.1 Fisiologia da Audição

2.5.1.1 Audição Via Aérea

Conforme vimos até aqui, a audição consiste na transformação do som (perturbação mecânica) em impulsos elétricos que são levados ao cérebro. Esse processo passa por várias etapas, conforme descrito a seguir: quando a onda sonora atinge o sistema auditivo, o movimento das partículas do ar chega à orelha externa. Então a vibração se amplifica um pouco e atinge a membrana timpânica, uma superfície esticada que fica presa aos ossos do crânio (parecendo o couro de um tambor). O martelo, ligado à membrana timpânica, também começa a vibrar. Como a bigorna e o estribo estão ligados a ele, de modo semelhante a um sistema de alavancas, esses três ossículos da audição, que ficam em uma pequena câmara cheia de ar, começam a vibrar em conjunto, amplificando as vibrações recebidas da orelha externa para a orelha interna. Dessa forma, temos uma onda produzida no líquido da cóclea, que também é conhecida como caracol, que está dividida longitudinalmente pela membrana basilar, que

¹⁶ VARELLA, M. 2019. **Corpo humano: orelha interna**. Disponível em <https://drauziovarella.uol.com.br/corpo-humano/orelha-interna/>

contém milhares de fibras basilares que podem ser movidas pelas ondas nesse líquido. Essas membranas estão distintas e cada uma é sensível a uma frequência específica. Assim, somente algumas serão acionadas de acordo com as características do som produzido, e então transmitidas ao nervo auditivo. Trata-se de um labirinto membranoso que está cheio de um líquido que recebe as vibrações transmitidas pelos ossículos. Essas vibrações são amplificadas pela janela do vestíbulo, que produz vibrações no líquido contido no labirinto membranoso. A região do labirinto membranoso de mesma frequência de vibração entra em ressonância, aí as dendrites dessa região são excitadas e enviam um sinal correspondente ao cérebro, que decodifica o sinal e nos faz ouvir o som emitido (GASPAR, 2017). Através do vídeo “Uma viagem no interior do ouvido” [00m00s – 01m45s]¹⁷, é possível ter uma melhor clareza do descrito acima.

2.5.1.2 Audição Via Óssea

A audição por via óssea ocorre quando as ondas sonoras chegam até os ossos do corpo humano, fazendo-os vibrar. Podemos sentir essas vibrações quando ouvimos um barulho ao mastigar ou até mesmo ao coçar a cabeça. Esta vibração é transportada pelos ossos até os ossos da orelha média, os ossículos, e daí até a cóclea, o que acarreta ondas nos líquidos internos e assim provoca a percepção da audição.

¹⁷ Disponível em <https://www.youtube.com/watch?v=1SKONN4iso8>. Acesso em 05/10/2019.

3 SEQUÊNCIA DIDÁTICA: SOM E O SENTIDO DA AUDIÇÃO

Para viabilizar a abordagem de temas de som e audição em uma perspectiva interdisciplinar, foi elaborada uma sequência didática. Esta sequência foi baseada nos referenciais teóricos de David Ausubel, que defende que na aprendizagem significativa é importante que exista um elemento pré-existente na estrutura cognitiva denominado subsunçor. Dessa forma, a qualidade da aprendizagem é diretamente proporcional à qualidade da concepção do subsunçor para o estudante, ou seja, quanto maior o entendimento que ele possui das ideias prévias dentro da sua própria estrutura cognitiva, melhor será a sedimentação dos novos conteúdos expostos.

Moreira¹⁸ separa quatro tarefas fundamentais durante a aprendizagem significativa no papel a ser desempenhado pelo professor: identificar a estrutura conceitual e proposicional presentes na matéria ensinada e organizá-los para que possam progressivamente abranger os menos inclusivos; identificar quais os subsunçores relevantes à aprendizagem significativa do conteúdo e que deveriam preexistir na estrutura cognitiva; diagnosticar o conhecimento prévio do aluno; e utilizar em seu ensino os recursos e princípios que facilitem a aprendizagem significativa de forma que auxiliem o aluno a assimilar a estrutura conceitual do conteúdo ensinado e a organizar sua própria estrutura cognitiva. Dessa forma, as atividades a serem desenvolvidas encontram-se no Quadro 1, que resume a maneira com que as aulas que compõem esta sequência didática foram organizadas.

Quadro 1 - Distribuição das aulas que compõem a sequência didática, seus respectivos procedimentos metodológicos e objetivos.

MOMENTO	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	OBJETIVOS
Pré-aplicação da sequência didática.	<ul style="list-style-type: none"> • Elaboração e aplicação da sondagem das concepções prévias sobre o tema fazendo uso de um questionário online. 	Avaliar as concepções prévias dos estudantes

¹⁸ MOREIRA, M. A. **Teorias da Aprendizagem**. São Paulo: EPU, 2006.

	<ul style="list-style-type: none"> • Avaliação diagnóstica das concepções prévias para o desenvolvimento das fases posteriores. 	sobre o som e o sentido da audição.
1ª Aula: Natureza ondulatória do som.	<ul style="list-style-type: none"> • Realizar experimento demonstrativo; • Debater sobre o experimento; • Explanar sobre tópicos da ondulatória; • Verificação da aprendizagem através de questionamento oral sobre a diferença entre uma onda mecânica e uma eletromagnética. 	Evidenciar os conceitos prévios sobre a natureza ondulatória do som.
2ª Aula: Sistema auditivo.	<ul style="list-style-type: none"> • Utilização do aplicativo “<i>Mozaik Education</i>” para visualizar o sistema auditivo em 3D e como se comporta na presença de som; • Explicação sobre a orelha humana e seu funcionamento; • Ver o vídeo: “A natureza do som e o ouvido humano”. 	Entender o funcionamento do sistema auditivo.
3ª Aula: Propagação do som no meio.	<ul style="list-style-type: none"> • Colocar uma música para tocar e perguntar aos estudantes como o som chega até a nossa orelha; • Anotar as respostas no quadro; • Atividade em grupo: realizar experimento para verificar como o som se propaga em diferentes meios. 	Verificar que o som se propaga nos diferentes meios materiais.
4ª Aula: Percepção do som e a orelha.	<ul style="list-style-type: none"> • Através do aplicativo <i>Phet Colorado</i>, realizar uma discussão qualitativa acerca de alguns conceitos de ondas sonoras. 	Associar características físicas da onda sonora com as percepções de sons agudos e graves.

3.1.1 Público alvo

Esta sequência pode ser aplicada a turmas do 2º ano do Ensino Médio, durante as aulas de Física ou pode ser aplicada na forma de uma oficina. É interessante salientar que este público dispõe em sua grade curricular o conteúdo relacionado a ondulatória, facilitando assim a aplicação dessa sequência.

3.2 PRÉ APLICAÇÃO DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA E RECURSOS MATERIAIS

3.2.1 Pré-aplicação da sequência didática

Inicialmente, o professor deve coletar as concepções prévias via formulário *online*¹⁹, objetivando realizar uma avaliação diagnóstica sobre o conhecimento prévio dos estudantes acerca do som e o sistema auditivo, ou seja, através das respostas será possível verificar os subsunçores. A teoria de Ausubel descreve o processo de aprendizagem como um processo de integração e organização do material dentro da estrutura cognitiva do aluno. Tal processo caracteriza-se como uma interação, em que os conceitos já aprendidos formam uma âncora para os novos e são ao mesmo tempo modificados por eles. Ou seja, a aquisição de novos conteúdos depende daqueles já existentes, e a partir destes, o estudante relaciona e compreende os novos. Nesse processo, o professor deve levar em consideração os conteúdos já adquiridos pelo aluno para que assim as novas informações possam atuar na base do conhecimento já estruturado (MOREIRA, 2006).

O questionário pré-aplicado é composto por quatro questões que abordam o som e como ele se propaga até chegar ao sistema auditivo. Esse questionário não é de caráter avaliativo para o estudante, mas sim para que o professor possa ter um melhor desenvolvimento das fases posteriores e assim verificar se a aprendizagem foi significativa para o aluno, pois o conteúdo previamente apreendido pelo estudante representa um forte influenciador do processo de aprendizagem. Daí a necessidade de identificar as concepções prévias dos estudantes. Esse

¹⁹Disponível em https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSfE9GmBtd9ldRgsM5KwtwKPWUOo0dxtRB4bPB--rMn_2EEN4g/viewform?usp=sf_link.

conhecimento anterior serve como um ponto de ancoragem aonde as novas informações irão se integrar com aquilo que o estudante já conhece. Deste modo, novos dados serão assimilados e armazenados pelo aprendiz. O professor deve disponibilizar o link de acesso - https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSfE9GmBtd9ldRgsM5KwtwKPWUOo0dxtRB4bPB--rMn_2EEN4g/viewform?usp=sf_link - e pedir que os alunos respondam com antecedência, permitindo que o mesmo possa verificar as respostas antes de iniciar as aulas ou a oficina. Essas respostas servirão para que o professor possa ter uma orientação sobre o que o aluno sabe até aqui. De acordo com a teoria da aprendizagem significativa de David Ausubel, para que um material seja considerado significativo, deve estar organizado no processo de ancoragem de forma que auxilie a aprendizagem e propicie a aquisição de significados por interação. Tendo em vista que os alunos já possuam alguns conhecimentos prévios necessários, será por estes que se inicia a aprendizagem significativa dos conteúdos relacionados ao som e ao sentido da audição humana.

3.2.2 Recursos didáticos

Para aplicar a sequência didática, sugere-se o uso dos seguintes materiais: quadro branco, canetas para quadro branco, computador, data show, aparelho celular, laboratório de informática.

É importante deixar claro que equipamentos como data show, computador e laboratório de informática não são fundamentais para aplicar esta sequência, pois o uso do aparelho celular permitirá que o estudante possa realizar as atividades virtuais propostas. No entanto, tais equipamentos auxiliam no desenvolvimento das aulas. Para realizar os experimentos, serão necessários alguns materiais que são de fácil acesso. Esses materiais, bem como os roteiros experimentais estão disponíveis nos anexos desta sequência.

3.3 MOMENTO POR MOMENTO

3.3.1 1ª Momento: Natureza ondulatória do som.

3.3.2 Objetivos

- ✓ Entender conceito de onda;
- ✓ Diferenciar onda mecânica de onda eletromagnética;
- ✓ Classificar as ondas quanto à natureza, quanto à direção de propagação e quanto à direção de vibração;
- ✓ Caracterizar as radiações eletromagnéticas como ondas que se propagam no vácuo com a mesma velocidade;

3.3.3 Conteúdos

- ✓ Tópicos de ondulatória;
- ✓ Noções gerais de onda mecânica;
- ✓ Classificação das ondas;
- ✓ Ondas mecânicas;
- ✓ Ondas eletromagnéticas.

3.3.4 Descrição da atividade

Nesta 1ª momento, posterior a coleta das concepções prévias via formulário online, o professor solicita aos estudantes que acompanhem o seguinte experimento demonstrativo: “*Visualizando ondas sonoras*”, descrito no **Material de Apoio II**, disponível no Apêndice A. O objetivo principal dessa proposta experimental é mostrar aos estudantes que uma onda sonora propagando-se no ar é uma onda de pressão, ou seja, uma perturbação da pressão do ar. Essa onda, ao incidir contra uma superfície ou uma membrana elástica, produz vibrações nessa superfície ou que, na maioria das vezes, tem amplitudes imperceptíveis. Nessa montagem, o feixe de luz refletido tem a função de tornar visualmente perceptíveis as pequenas vibrações da membrana elástica como resultado das ondas sonoras provenientes das palmas.

Após ter realizado a atividade experimental demonstrativa, deve ser realizado um debate sobre a demonstração, permitindo que os estudantes argumentem e opinem sobre o mesmo. O debate pode ser iniciado pelo professor com questionamentos como:

O que fez a membrana elástica vibrar?

Como as ondas sonoras chegaram até a membrana elástica?

Espera-se como respostas que o som produzido pelas palmas fez a membrana vibrar e esse som foi conduzido pelo ar.

A partir daí, faz-se uma explanação sobre tópicos de ondulatória, enfatizando o conceito de onda, sua classificação bem como sua propagação. A partir do questionário aplicado para coletar as concepções, aproveite para verificar se ficou claro para os estudantes o tema abordado até aqui, fazendo questões como qual é a diferença entre uma onda mecânica e uma onda eletromagnética.

3.3.5 Avaliação

Será considerado suficiente se os estudantes apresentarem respostas acerca dos questionamentos feitos pelo professor durante o experimento e que se relacione com a natureza ondulatória som.

3.4 2ª Momento: Sistema auditivo.

3.4.1 Objetivos

- ✓ Entender o sistema auditivo;
- ✓ Associar o som com a orelha.

3.4.2 Conteúdo

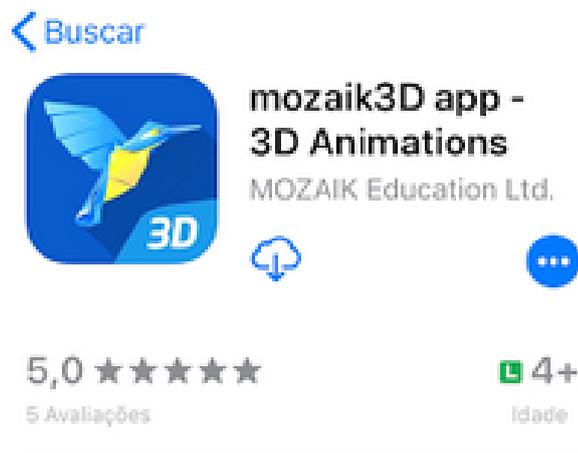
- ✓ A orelha humana e a audição.

3.4.3 Descrição da atividade

Nesse momento, sugere-se aos estudantes a utilização do aplicativo “*O mecanismo da audição - Mozaik Education*”, que contém animações 3D detalhadas sobre o aparelho auditivo e como ele se comporta na presença de som.

É interessante que o professor solicite aos estudantes para que baixem e instalem em seus celulares esse aplicativo antes de iniciar a aula, pois sua instalação pode levar alguns minutos. Para instalar o aplicativo, o estudante deve abrir o *Playstore* ou *Appstore* de seu celular e procurar por “*mozaik 3D app – 3D Animations*”, conforme mostra a Figura 11.

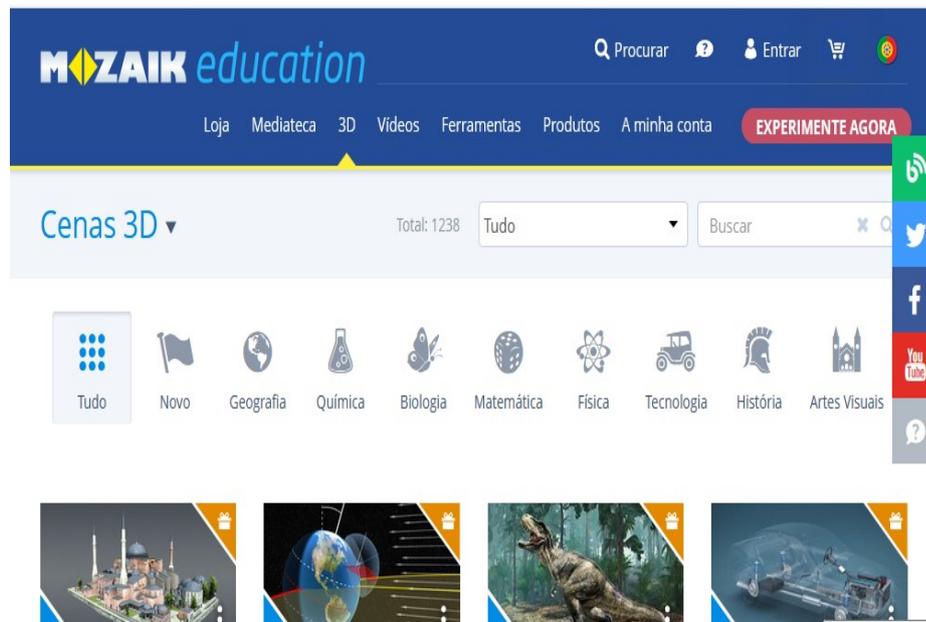
Figura 11 - Aplicativo para baixar na tela do celular.



Fonte: Própria autora, 2019.

Caso o aluno não possua celular, o aplicativo pode ser demonstrado através do computador, projetado via data show. Na Figura 12, observa-se a tela inicial do aplicativo em uma tela de computador.

Figura 12 - Página inicial do *Mozaik Education*.



Fonte: Mozaweb, 2019²⁰.

Após os estudantes interagirem com o aplicativo, podendo verificar detalhadamente como é o sistema auditivo, o professor aproveita esse momento para explicar sobre a orelha humana e seu funcionamento, detalhando em que consiste cada parte e qual a sua função, bem como o som é captado e levado até nosso cérebro. Ao finalizar, o professor deve permitir que os estudantes acessem o aplicativo novamente, agora já sabendo em que consiste o sistema auditivo ao todo. Objetivando reforçar o assunto abordado, pode-se sugerir que os estudantes assistam ao vídeo “A natureza do som e o ouvido humano” [00m00s – 06m09s]²¹, disponibilizando o *link* de acesso - <https://www.youtube.com/watch?v=wsCII5ehL0c> - e permitindo que seja explorado da maneira que o estudante achar mais oportuno.

3.4.4 Avaliação

Será considerado suficiente se os estudantes entenderem o funcionamento do sistema auditivo, sob perspectiva da Biologia. É possível avaliar a aprendizagem através de questões como:

- Onde é produzido o sentido da audição? (**R: Orelha**).

²⁰ Disponível em: https://www.mozaweb.com/pt/Extra-Cenas_3D-O_ouvido_e_o_aparelho_auditivo-139742.

²¹ Disponível em <https://www.youtube.com/watch?v=wsCII5ehL0c>. Acesso em 07/07/19.

- Como é dividida a orelha humana? (**R: Orelha externa, orelha média e orelha interna**).
- Como é composta a orelha externa? (**R: Pavilhão auditivo, canal auditivo e tímpano**).
- Quais são os menores ossos do corpo humano? (**R: Martelo, bigorna e estribo**).
- Onde estão localizados esses ossículos? (**R: Orelha média**).
- Onde está situada a cóclea? (**R: Orelha interna**).
- Em que parte da orelha são gerados os impulsos nervosos? (**R: Orelha interna**).
- Qual é o ossículo mais externo, que está ligado ao tímpano? (**R: Martelo**).
- Qual ossículo que faz o fluido existente na cóclea vibrar? (**R: Estribo**).
- O que separa a orelha externa da orelha média? (**R: Membrana timpânica**).

3.5 3ª Momento: Propagação do som no meio.

3.5.1 Objetivos

- ✓ Mostrar para o estudante que o som se propaga em diferentes meios;
- ✓ Reconhecer que uma onda se propaga sem transportar matéria;
- ✓ Caracterizar as radiações eletromagnéticas como ondas que se propagam no vácuo com a mesma velocidade;
- ✓ Reconhecer os elementos que caracterizam uma onda periódica;
- ✓ Apresentar ao estudante algumas situações cotidianas nas quais fazemos uso de ondas;
- ✓ Realizar experimentos (estudantes) para verificar a propagação do som nos diferentes meios.

3.5.2 Conteúdos

- ✓ A produção e a propagação do som nos diferentes meios materiais;
- ✓ Velocidade de propagação de uma onda;
- ✓ Características de uma onda;

- ✓ Qualidades fisiológicas do som.

3.5.3 Descrição da atividade

Em um primeiro momento da aula, o professor deve sondar os conhecimentos dos estudantes, indagando sobre o que sabem sobre o som, qual o conceito de som e como ele se propaga. Sugere-se que sejam feitas as seguintes perguntas:

- “O que vocês sabem sobre o som?”
- “O que é som?”
- “Como o som se propaga?”

Poderão surgir respostas como “o som é uma sensação que sentimos que nos permite escutar” ou “o som está relacionado com o barulho” ou ainda “o som é conduzido pelo ar”. É importante que as respostas fornecidas pelos alunos não sejam centradas em “certo” ou “errado”. O professor pode anotar as respostas no quadro branco, a fim de promover uma discussão sobre as mesmas. É importante salientar que, a interação realiza-se entre a nova informação e os conceitos já armazenados que são relevantes para essa nova informação.

Depois deste momento, o professor deve colocar uma música para tocar e em seguida questionar “*como o som chega da fonte até os ouvidos*”. Pode aproveitar a ocasião e solicitar para os estudantes citarem diferentes sons e o que os forma, como por exemplo, a garganta vibrando vai gerar um som, a voz.

Atividade Prática²²: Adotando alguns materiais como tambor ou pandeiro, clipes de papel, um diapasão de metal, uma bacia com água, elástico esticado numa base entre dois pregos, um garfo e uma colher de metal, uma régua, o professor deve dividir os estudantes em equipes, orientando que todos deverão realizar todas as atividades, ou seja, as equipes deverão rotacionar entre as estações de forma que todos observem todas as demonstrações, conforme **Material de Apoio III** que se encontra no Apêndice B.

²² Adaptado de <https://aulanapratica.wordpress.com/2016/02/23/aula-pratica-as-ondas-sonoras/>. Acesso em 04/12/18).

Após todas as equipes participarem de todas as atividades, deve-se realizar uma discussão sobre as demonstrações, questionando quais foram as variedades de meios pelos quais o som se propagou. Nesse momento, o professor explica que o som precisa de um meio para que as ondas possam se propagar e que viaja mais rápido em determinados meios. Questione se o som pode existir no espaço. Saliente sobre os filmes de ficção do tipo “*Star Wars*”, onde ocorrem guerras no espaço que é comum a emissão de sons por explosões. Questione se “É possível escutar esse som?” Deixe os alunos comentarem e ressalte que o espaço é permeado por vácuo, não existindo meio pelo qual o som possa se propagar. Continue indagando quais tipos de ondas foi possível ouvir dos experimentos realizados. Questione: “Para onde as ondas produzidas foram?”. Dê um momento para responderem e explique que todas as ondas continuam se expandindo a não ser que bata em um objeto de diferente densidade, um sólido por exemplo. Usando o experimento da água na bacia que bate na borda do recipiente e volta, o professor deve explicar sobre o eco. E aí abordar que alguns animais utilizam este recurso para sua sobrevivência. O eco é de fundamental importância para os morcegos, pois estes emitem um som, chamado ultrassom, que não podemos ouvir, pois está fora de nossa faixa de frequência. Como são seres com visão extremamente limitada, eles conseguem perceber os obstáculos à sua frente através da emissão destes ultrassons. Ao baterem nos obstáculos, essas ondas voltam. Pelo intervalo de tempo entre o som emitido e o refletido, os morcegos conseguem perceber a que distância se encontra dos obstáculos, evitando que eles batam nos objetos, como árvores ou outros, além de ajudar com que localizem suas presas ou seus predadores. Disponibilize o texto do **Material de apoio I** que se encontra no Anexo A: “Que animais enxergam por meio de sons e como eles conseguem fazer isso?”.

3.5.4 Avaliação

Será considerado satisfatório se os estudantes concluírem que o som viaja por diferentes materiais e que sua velocidade muda dependendo do meio em que se propaga.

Sugere-se verificar se houve aprendizagem através de questões orais como:

- Por que não é possível ouvir o barulho do som no vácuo?

- Se a densidade do ar quente é menor do que a do ar frio, por que o som se propaga com maior velocidade no ar quente?

- Ao dar um grito em uma sala grande, maciça e vazia, por que o som é escutado duas vezes sendo que só foi emitido uma vez? Por que não percebemos isso acontecer numa sala com muitos objetos ou pessoas?

Prováveis respostas:

- Porque o som precisa de um meio material para se propagar.

- Quanto menor a densidade, maior será a velocidade do som.

- Em uma sala vazia, as ondas sonoras batem nas paredes e retornam para quem a emitiu, formando o eco. Em uma sala com muitos objetos ou pessoas, o som sofre mudanças em sua direção e não ocorre o retorno da mesma forma de quando o eco é formado.

3.6 4ª Momento: Percepção do som e a orelha.

3.6.1 Objetivos

- ✓ Demonstrar para o estudante que os sons parecem distorcidos quando chegam até nós se propagando por outros materiais diferentes.

3.6.2 Conteúdos

- ✓ Percepção de sons graves e agudos.
- ✓ Frequência.

3.6.3 Descrição da atividade

Os estudantes devem ser encaminhados para o laboratório de informática com acesso a internet e realizar a atividade descrita abaixo. O professor deve organizar a turma de acordo com o número de computadores disponíveis, mas o interessante é que todos possam interagir com o experimento de caráter virtual. O aplicativo também pode ser acessado e instalado através do aparelho celular.

Através do aplicativo *Phet Colorado*, vamos verificar e fazer uma discussão qualitativa acerca de alguns conceitos de ondas sonoras. Para isso, os estudantes deverão realizar a atividade proposta conforme **Material de Apoio IV** disponível no Apêndice C e anotar as observações.

3.6.4 Avaliação

Será considerado satisfatório se os estudantes apresentarem respostas relacionadas com som grave e agudo e concluírem que a frequência está diretamente ligada com o mesmo.

Sugere-se fazer questões como:

- Qual a diferença entre o som agudo e o som grave?
- Classifique a voz masculina e a feminina quanto ao som.
- O que ocorre com o som quando você altera a frequência?
- Ao se aproximar de uma fonte sonora, o som se torna mais grave ou mais agudo? E ao se afastar?
- Que relação a pressão tem com o som?

Prováveis respostas:

- Os sons altos ou sons agudos apresentam grandes frequências, e os sons baixos ou sons graves apresentam baixas frequências.
- A voz masculina é grave e a voz feminina é aguda.
- À medida que se altera a frequência, percebe-se que o som se torna mais grave ou mais agudo.
- Ao se aproximar de uma fonte sonora, percebe-se que o som emitido pela fonte é mais agudo e quando a fonte se afasta, o mesmo observador perceberá um som mais grave.
- Ao sofrer uma contração, uma onda faz com que a pressão naquele ponto aumente, e ao sofrer uma expansão, a pressão diminui. Quando chegam até a orelha, o sistema auditivo capta essas variações de pressão no meio, dando a sensação de som.

Considerações Finais

Através deste material espera-se mostrar aos professores de Física e de Biologia que ambas as disciplinas podem ser trabalhadas juntas em contextos diferentes do ensino tradicional. Almeja-se promover a troca de experiências e o uso comum do conhecimento entre os professores de ambas as áreas. Por fim, que seja desenvolvido um trabalho potencialmente interdisciplinar.

REFERÊNCIAS

- Animações 3D. **O mecanismo da audição - Mozaik Education**. Disponível em: <https://www.mozaweb.com/pt/lexikon.php?cmd=getlist&let=7>. Acesso em 27/07/2019.
- BONJORNO, et al. Física: terminologia, óptica, ondulatória. 2º ano. 3.ed. São Paulo: FTD, 2016.
- CAS RJ, 2013. **Ouvido e perda auditiva**. Disponível em <http://casrio.blogspot.com/2013/03/ouvido-e-perda-auditiva.html>.
- GASPAR, A. **Compreendendo a Física - Vol. 2 - Ondas, Óptica e Termodinâmica**. São Paulo: Ed. Ática, 2017.
- GUIMARÃES, O. et al. **Física**. 2. ed. São Paulo: Ática, 2016.
- GUYTON, A. C.; HALL, J. E. **Tratado de Fisiologia**. 10ª ed. Rio de Janeiro: Ed. Guanabara Koogan S.A., 2002.
- HANNING, C. 2018. **Orelha externa: estrutura, função**. Disponível em: <https://pt.carolchanning.net/zdorove/117933-uho-naruzhnoe-stroenie-funkcii-vospaleniie-naruzhnogo-uha-cheloveka.html>.
- MOREIRA, M. A. **Teorias de Aprendizagem**. 2ª. ed. São Paulo: E.P.U., 2014.
- NUSSENZVEIG, H. Moisés. Curso de Física Básica vol. 2. Ed.Edgar Blucher: 1981.
- PIETROCOLA, M. *et al.* **Física em contextos**. vol. 2. São Paulo: Editora do Brasil, 2016.
- PUJOL, R. **Viagem ao mundo da audição**. 2018. Disponível em: <http://www.cochlea.org/po/som/campo-auditivo-humano>. Acesso em 06/09/2019.
- SILVEIRA, Carolina Pinheiro da. **Atividades experimentais para o ensino de Física ondulatória no Ensino Médio e NEJA**. Volta Redonda, 2017.
- Simulação do som. **Phet Colorado**. Disponível em: https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/sound. Acesso em 19/07/2019.
- TORRES, Carlos Magno, FERRARO, Nicolau Gilberto, SOARES, Paulo Antônio de Toledo. **Física – ciência e tecnologia**. Vol. 1, 2 e 3. São Paulo: Moderna, 2010.
- VARELLA, M. **Corpo humano: orelha interna**. 2019. Disponível em <https://drauziovarella.uol.com.br/corpo-humano/orelha-interna/>

ANEXO

ANEXO A - MATERIAL DE APOIO I - QUE ANIMAIS ENXERGAM POR MEIO DE SONS E COMO ELES CONSEGUEM FAZER ISSO?²³

André Santoro

Nos golfinhos, o sistema é ainda mais preciso, pelo fato de, dentro d'água, o som se propagar a uma velocidade 4,5 vezes maior. Os grandes especialistas nesta arte – chamada de ecolocalização ou biossonar – são os golfinhos e os morcegos. Ambos possuem uma visão aguçada, que funciona perfeitamente durante o dia, mas normalmente precisam caçar e se locomover em ambientes com pouca luz. Em tais casos, eles conseguem enxergar sem utilizar os olhos, emitindo sons de alta frequência, em geral inaudíveis para o ser humano. “Essas ondas sonoras batem na presa – e nos obstáculos à frente – e retornam na forma de ecos, que, por sua vez, são decodificados como um mapa pelo cérebro do bicho”, diz a bióloga Eliana Morielle, da Universidade Estadual Paulista (Unesp). Nos morcegos, o grau de precisão é tão elevado que certas espécies conseguem detectar a presença de um fio de apenas 0,5 milímetro de espessura em pleno vôo rasante. Nos golfinhos, o sistema é ainda mais preciso, pelo fato de, dentro d'água, o som se propagar a uma velocidade 4,5 vezes maior.

Assim, eles conseguem identificar peixes pequenos a distâncias de até 200 metros. Existem algumas espécies de pássaros que vivem em cavernas, ou têm hábitos noturnos, que também desenvolveram uma ecolocalização rudimentar, que só serve para a locomoção. E até mesmo um ser humano, acredite, pode utilizar a audição para localizar objetos ou evitar um obstáculo. “Quem é cego de nascença desenvolve a audição a tal ponto que esse sentido acaba substituindo, em parte, a visão”, afirma o biólogo O'Dell Henson, da Universidade da Carolina do Norte, nos Estados Unidos.

Caçada no escuro: Sonar permite ao morcego se orientar em ambientes com pouca ou nenhuma iluminação.

²³ Texto extraído da revista Super interessante, publicado em 30 abr 2002. Disponível em <https://super.abril.com.br/ciencia/que-animais-enxergam-por-meio-de-sons-e-como-eles-conseguem-fazer-isso/> Acesso 18/08/2019.

VISÃO AUDITIVA - Existem cerca de 1000 espécies de morcegos e quase todas têm a capacidade de se orientar no escuro por meio das ondas sonoras e seus reflexos. Esse mecanismo de ecolocalização – também chamado de biossonar – só foi descoberto pela ciência em 1938.

BEM DOTADO - Para que o sonar do morcego funcione perfeitamente, o cérebro do animal possui um córtex auditivo (ponto em vermelho) extremamente desenvolvido. O sistema nervoso do bicho é tão sensível que possui até neurônios especializados em detectar a velocidade da sua presa

LANCHE À VISTA - A distância é medida pelo tempo que o som leva para ser refletido. Quanto mais rápido o eco voltar, mais próxima está a presa. A velocidade do inseto é calculada pelo chamado efeito Doppler: quanto maior a velocidade, maior a variação na frequência do som. A partir do ângulo de entrada do som em seu aparelho auditivo, o morcego consegue “visualizar” a presa em três dimensões – altura, largura e profundidade

NAVEGAÇÃO PRECISA - Os golfinhos são capazes de nadar à noite ou em águas turvas graças ao biossonar.

FLECHA NORA - O animal produz o som na traqueia e nas cavidades nasais (acima dos olhos). Em seguida, o sinal sonoro passa por uma camada de tecido gorduroso que serve como uma lente focalizadora: em vez de se dispersar em todas as direções, o sinal é emitido para a frente, acompanhando o movimento do golfinho

IDA E VOLTA - O som que retorna em eco é absorvido, em grande parte, pelas cavidades do maxilar inferior. De lá, os sinais seguem até o ouvido e chegam ao nervo auditivo, que desemboca no cérebro – onde os ecos são interpretados conforme a variação da frequência e outras informações:

1 – Assim que recebe o eco do primeiro som emitido, o golfinho gera outro “clique”. O lapso de tempo entre emissão e recepção permite que o animal calcule a distância que o separa do obstáculo à frente. Essa variação também é útil para que o golfinho avalie outras informações, como a velocidade e o tamanho de uma presa potencial.

2 – O cérebro do golfinho é extremamente ágil para processar as informações relativas à distância e às dimensões do obstáculo à sua frente e à presa que está perseguindo. Essa sensibilidade funciona melhor numa faixa de distância entre 5 e 200 metros – e permite que o animal identifique pequeninas presas de até 5 centímetros.

3 – Mesmo nadando em velocidade, ele consegue se desviar a tempo de prosseguir a caçada. Mas, ao se aproximar do obstáculo ou da presa, o golfinho precisa do auxílio da visão ocular. Estudos recentes provaram que golfinhos que não enxergam com os olhos têm a ecolocalização menos eficiente.

SÓ ELES PERCEBEM - O biossonar é inaudível para o ser humano. Nós não ouvimos a maior parte dos guinchos produzidos pelos morcegos, pois a frequência das ondas sonoras é muito alta. O som mais agudo que um ser humano consegue escutar tem 20 kHz frequência entre 20 e 200 kHz. Os golfinhos também emitem sons que não conseguimos escutar. Cada “clique” emitido por eles dura, no máximo, 128 microssegundos (1 microssegundo equivale a 1 milionésimo de segundo) frequência entre 40 e 150 kHz.

APÊNDICES

APÊNDICE A - MATERIAL DE APOIO II- VISUALIZAÇÃO DE ONDAS SONORAS²⁴”.

Realizando o experimento sobre “Visualização de ondas sonoras”, disponível no livro didático de Física: Física – ciência e tecnologia, é possível mostrar aos estudantes que uma onda sonora propagando-se no ar é uma onda de pressão, ou seja, uma perturbação da pressão do ar. Essa onda, ao incidir contra uma superfície ou uma membrana elástica, produz vibrações nessa superfície ou que, na maioria das vezes, tem amplitudes imperceptíveis. Nessa montagem, o feixe de luz refletido tem a função de tornar visualmente perceptíveis as pequenas vibrações da membrana elástica como resultado das ondas sonoras provenientes das palmas.

Os materiais necessários para realizar essa atividade são: uma lata vazia de leite em pó; abridor de latas; uma bexiga; um pequeno espelho plano; uma lanterna; barbante; tesoura; cola e fita adesiva.

Procedimento:

Usando o abridor de latas, retire o fundo da lata de leite em pó. Tome cuidado para não se ferir. Com a tesoura, corte uma das laterais da bexiga. Retire a tampa da lata, estique bem a membrana de borracha sobre a borda superior da lata e prenda-a firmemente com o barbante, formando uma espécie de tambor. Usando a cola, fixe o espelho plano no centro da membrana elástica, deixando a superfície refletora do espelho voltada para fora. Depois da cola ter secado, fixe, com a fita adesiva, a lata deitada sobre uma mesa num local que esteja com pouca iluminação e direcione o feixe de luz da lanterna contra o espelho de modo que o feixe refletido ilumine uma parede próxima. Posicione-se diante da extremidade aberta da lata e bata palmas, como mostra a Figura 1. Se preferir, coloque um rádio ligado na frente da abertura.

²⁴ Adaptado de “Proposta experimental” disponível no livro didático de Física – TORRES, Carlos Magno, FERRARO, Nicolau Gilberto, SOARES, Paulo Antônio de Toledo. **Física – ciência e tecnologia**. Vol. 1, 2 e 3. São Paulo: Moderna, 2010.

Figura 1 - Montagem do experimento: “Visualizando ondas sonoras”.



Fonte: TORRES, 2010.

Questione aos estudantes: “O que acontece com o feixe de luz ao iluminar a parede?”

Deixe os estudantes observarem, indagarem e com base nessa demonstração, possam tirar uma conclusão sobre a correlação entre os tipos de ondas envolvidas nessa experiência.

APÊNDICE B - MATERIAL DE APOIO III – PROPAGAÇÃO DO SOM NOS DIFERENTES MEIOS MATERIAIS²⁵.

Esta atividade inclui diferentes estações que deve ser realizada em um laboratório. Para melhor aproveitamento da aula, deixe todas as atividades previamente preparadas com as devidas instruções em cada uma. Caso a escola não disponibilize de um laboratório, essa atividade pode ser realizada na sala de aula.

Nessa atividade, você vai precisar dos seguintes materiais: pandeiro ou tambor, cliques de papel, um diapasão de metal, uma bacia com água, elástico esticado numa base entre dois pregos, um garfo e uma colher de metal e uma régua.

Procedimentos: Divida os estudantes em equipes, orientando que todos deverão realizar todas as atividades, ou seja, as equipes deverão rotacionar entre as estações de forma que todos observem todas as demonstrações.

Atividade 1 – Bata com o garfo na colher e coloque para perto da sua orelha, conforme mostra a Figura 1.

Figura 1 - Estudante batendo garfo com colher próximo a orelha.

²⁵ Adaptado de <https://aulanaprtica.wordpress.com/2016/02/23/aula-pratica-as-ondas-sonoras/>. Acesso em 04/12/18.



Fonte: Própria autora, 2019.

Atividade 2 – Coloque a mão ao lado da sua garganta e diga “aahh”, conforme a Figura 2. Verifique o que você sente.

Figura 2 - Estudante sentindo vibração da garganta.



Fonte: Própria autora, 2019.

Atividade 3 – Cuidadosamente, bata com o diapásio em uma superfície sólida e depois coloque as pontas do garfo na bacia com água.

Figura 3 - Após bater o diapásão em uma base sólida, colocou-se em contato com a água.



Fonte: Própria autora, 2019.

Atividade 4 – Toque o tambor e observe o que acontece com os cliques que estão em cima, conforme a Figura 4.

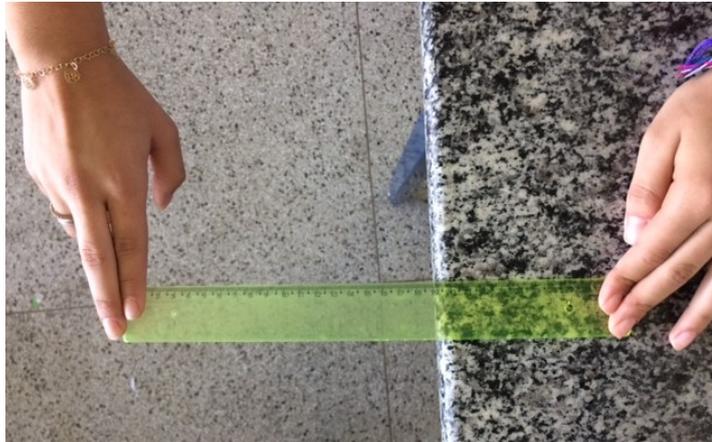
Figura 4 - Tambor com cliques.



Fonte: Própria autora, 2019.

Atividade 5 – Posicione a régua na beira da mesa deixando cerca de um terço da régua para fora, como mostra a Figura 5. Depois, deve-se segurar a régua bem firme e bater na ponta. Observe o que aconteceu.

Figura 5 - Estudante segurando uma régua e batendo na ponta.



Fonte: Própria autora, 2019.

Atividade 6 – Toque o elástico como uma corda de violão, como mostra a Figura 6.

Figura 6 - Suporte com elástico.



Fonte: Própria autora, 2019.

Atividade 7 – Se possível, cada equipe deve produzir um som em uma sala vazia, objetivando perceber o eco.

APÊNDICE C - MATERIAL DE APOIO IV - PERCEPÇÃO DO SOM E A ORELHA.



Atividade prática²⁶: Através do aplicativo *Phet Colorado*, vamos verificar e fazer uma discussão qualitativa acerca de alguns conceitos de ondas sonoras. Para isso, os estudantes devem realizar cada uma das atividades propostas abaixo e anotar as observações. É importante ressaltar que o computador necessita do *software Java* instalado.

1. Utilizando um navegador de internet, solicite aos estudantes que acessem o *link* que levará para a simulação do som: https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/sound.

Figura 1 - Tela da página de execução do simulador do Som.



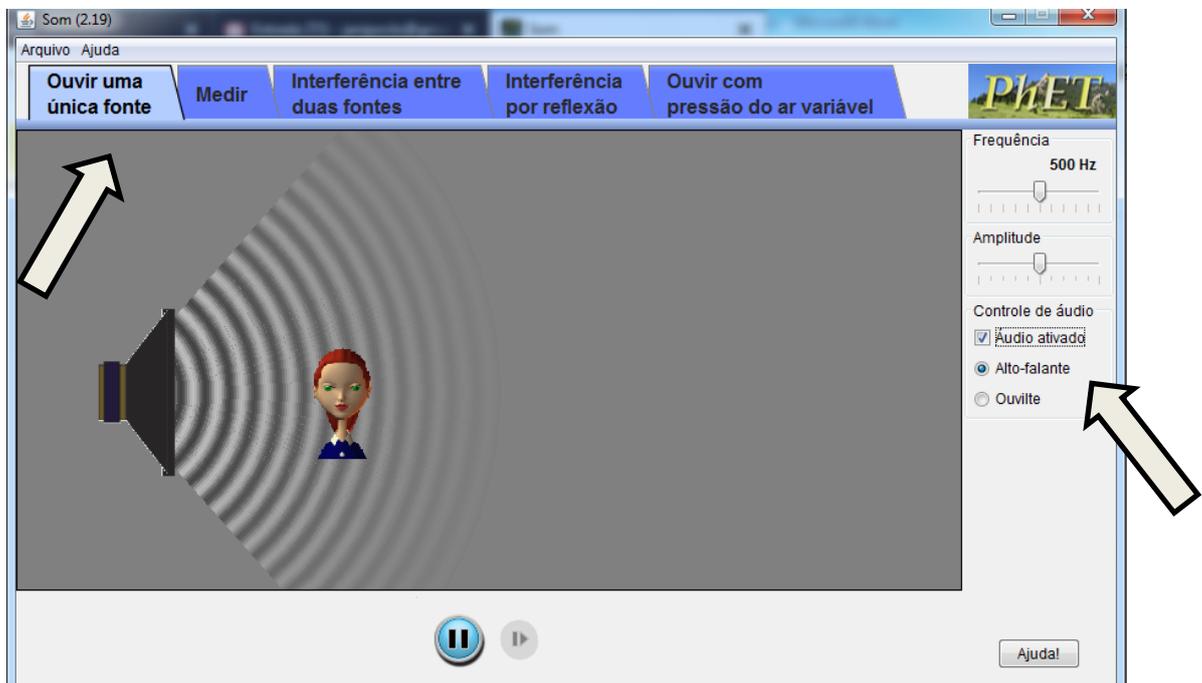
Fonte: Phet Interactive Simulations, 2019²⁷.

²⁶ MONÇÃO, Guilherme Wendell. **Roteiro para Utilização de Aplicativo sobre Ondas Sonoras**. Disponível em https://phet.colorado.edu/pt_BR/contributions/view/4454. Acesso em 06/08/2019.

²⁷ Phet Interactive Simulations, 2019. Disponível em: https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/sound. Acesso em 02/09/2019.

2. Clicar em ouvir uma única fonte, conforme mostra a Figura 2. Na opção controle de áudio, clicar em áudio ativado, e depois em alto falante.

Figura 2 - Tela mostrando onde alterar a frequência.



Fonte: Phet Interactive Simulations, 2019.

No canto direito da tela, encontramos a opção onde é possível variar a frequência e a amplitude da onda. Peça para manter a amplitude constante e variar a frequência. Observar o que acontece e anotar.

Ainda com base na sua observação acima, os estudantes devem responder:

- ✓ Conforme se variava a frequência, o que acontecia com o som? Se tornava alto, baixo ou ambos? Justifique.

3. Agora, os estudantes devem clicar na opção medir, situado no canto superior do aplicativo, conforme a Figura 3.

Figura 3 - Tela mostrando como medir comprimento de onda conforme se altera a frequência.



Fonte: Phet Interactive Simulations, 2019.

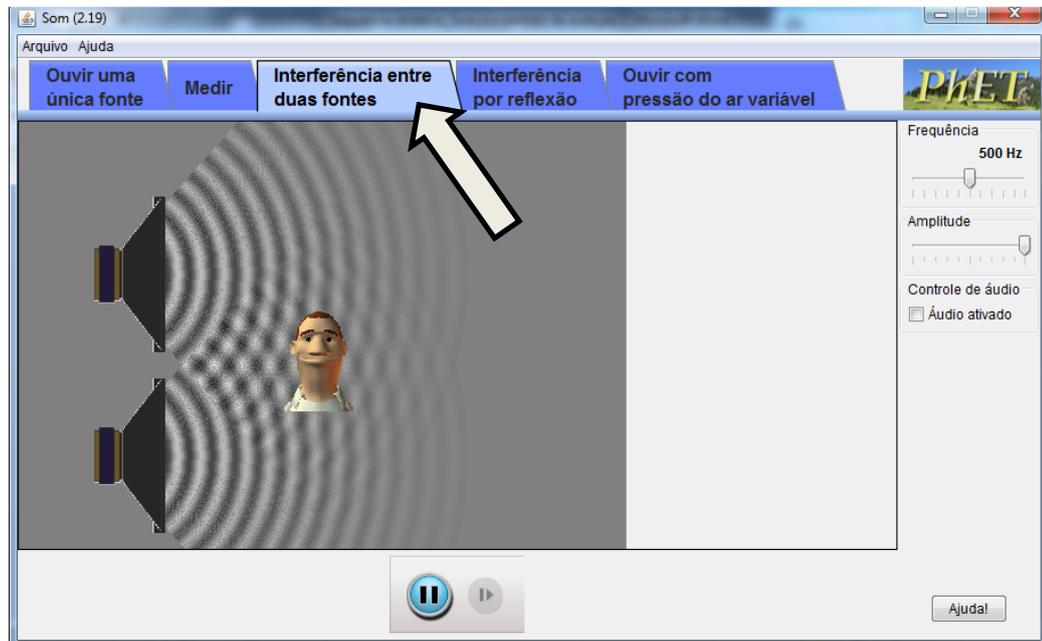
Manter a amplitude constante e variar a frequência. A partir do que foi observado na simulação, solicite aos estudantes para que escrevam sobre a relação entre a frequência e o comprimento de onda.

Em seguida, os estudantes devem responder:

- ✓ Quando a fonte sonora se aproxima do observador, por quê se tem a impressão de que o som é mais agudo e quando a fonte se afasta o som parece ser mais grave?
- ✓ Qual fenômeno está relacionado com a questão acima?
- ✓ Dê um exemplo do seu cotidiano em que você observa o ocorrido.

4. No canto superior do aplicativo, clicar na opção interferência entre duas fontes, conforme a Figura 4:

Figura 4 - Tela mostrando interferência de ondas.



Fonte: Phet Interactive Simulations, 2019.

Em seguida, devem escolher uma frequência e um nível de amplitude para a sua onda. Depois, solicite para clicar sobre o observador da simulação e o movimentar para todas as partes, analisando o que está acontecendo ao movimentar o observador e assim descrever o ocorrido. Também é possível posicionar o observador em diversos pontos da tela e observar o que está acontecendo em cada ponto.

E então, responder:

- ✓ Relacionado à interferência sonora, quais são os dois tipos de interferência?
- ✓ E qual a relação de ambas referente a análise da questão acima?

5. Agora, na parte superior do aplicativo, clicar na opção “ouvir com pressão do ar variável”, conforme a Figura 5 e, em seguida, clicar em “remover ar da caixa”, posicionado ao lado direito do simulador.

Figura 5 - Tela mostrando como ouvir com pressão do ar variável.



Fonte: Phet Interactive Simulations, 2019.

Saliente para os estudantes ficarem atentos ao medidor de pressão.

E por fim, devem responder:

- ✓ O que acontece com o som conforme diminui a pressão?
- ✓ Baseado no que você já aprendeu e tendo como apoio o aplicativo, explique a sua resposta da questão acima, dando enfoque nos conceitos físico.