



Serviço Público Federal
Ministério da Educação
Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul



Centro de Ciências Exatas e Tecnologia
Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências
Mestrado em Ensino de Ciências

A UTILIZAÇÃO DE DISPOSITIVOS EXPERIMENTAIS PARA ENSINAR ONDAS

Hudson Azevedo Errobidart

Campo Grande – MS
Março de 2010



Serviço Público Federal
Ministério da Educação
Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul



Centro de Ciências Exatas e Tecnologia
Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências
Mestrado em Ensino de Ciências

A UTILIZAÇÃO DE DISPOSITIVOS EXPERIMENTAIS PARA ENSINAR ONDAS

Hudson Azevedo Errobidart

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Mato Grosso do Sul como requisito final para a conclusão do curso de Mestrado em Ensino de Ciências sob a orientação do Profa. Dr. Shirley Takeco Gobara.

Campo Grande – MS
Março de 2010

“O único teste de validade de qualquer idéia é o experimento”

Richard P. Feynman

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, Venir e Aldo, meus referenciais de amor, respeito, dedicação e amizade.

A Nádía (morzão), minha companheira e maior incentivadora dessa luta.

Ao professor Sérgio Luiz Piubélli que muito contribuiu para o desenvolvimento deste trabalho, com seu admirável talento, criatividade e experiência, orientando-me na elaboração e construção dos dispositivos experimentais e nas infindáveis discussões teóricas.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos que de alguma forma contribuíram para o término desta jornada.

Ao diretor da Escola Estadual Joaquim Murinho, Professor Lucílio Nobre que permitiu a realização deste estudo e a participação e a colaboração dos alunos.

Por tudo isso, agradeço a Deus, que se fez presente em todos os dias da minha vida.

RESUMO

A pesquisa desenvolvida teve por objetivo propor e testar uma metodologia de ensino baseada na utilização de atividades experimentais demonstrativas como forma de contextualizar o ensino de ondas sonoras e contribuir significativamente para o aprendizado. Considerando que a dificuldade para a utilização de atividades experimentais demonstrativas está relacionada à falta de materiais de apoio e orientações que permitam ao professor de ciências, em especial o de Física, utilizar esse tipo de metodologia em suas aulas, elaboramos e construímos dois dispositivos experimentais, com materiais de baixo custo desenvolvendo orientações para sua utilização em atividades demonstrativas dentro da sala de aula, adotando como referencial a teoria de Davi P. Ausubel. Trata-se de um estudo quantitativo – qualitativo. O estudo quantitativo utilizou como instrumento de coleta de dados com pré-teste e pós-teste, aplicados em grupos de controle e experimental, no qual se realizou um estudo estatístico das distribuições amostrais com T de Student. A parte qualitativa buscou analisar as respostas elaboradas pelos estudantes do grupo experimental nos roteiros utilizados e categorias de análise. Os resultados obtidos indicam um ganho significativo a favor do grupo no qual se desenvolveu a atividade experimental demonstrativa.

Palavras chave:

atividade demonstrativa

teoria de Ausubel

ondas sonoras

ABSTRACT

The developed research intended to propose and test a methodology of teaching based on the use of demonstrative experimental activities as a way to contextualize the teaching of sound waves and contribute significantly to the learning of the concepts related to this subject. It has been observed that the main difficulty of using demonstrative experimental activities in school environment is related to the lack of support materials and orientations that allow science teachers, specially Physics teachers, use this kind of methodology in class. Taken into account this remark, we elaborated and constructed, based on the Significant Learning Theory by David P. Ausubel, two experimental dispositives, with cheap materials associated with orientations for their utilization in demonstrative activities in class. Our work made use of a quantitative-qualitative approach. The quantitative part of our study made use of pretests and posttests, applied to control and experimental groups, as instruments of gathering data which were later submitted to a statistical study. The qualitative part intended to analyze the answers elaborated by the experimental group of students and is based in the categorical analysis technique. The obtained results indicate a significative knowledge acquisition in favor of the group which developed demonstrative experimental activity as compared with the control group.

Key – words:

Demonstrative activity

Ausubel theory

sound waves

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	12
CAPÍTULO 1- REFERENCIAL TEÓRICO.....	15
CAPÍTULO 2 -O USO DE ATIVIDADES EXPERIMENTAIS NO ENSINO DE CIÊNCIAS	21
2.1 AS FONTES DE PESQUISA.....	21
2.1.1 Levantamento das pesquisas sobre atividades experimentais no ensino de física brasileiro.....	22
2.1.2 Os procedimentos de coleta de dados.....	23
2.1.3 Os resultados do levantamento	23
2.2 ALGUMAS CONSIDERAÇÕES.....	35
CAPÍTULO 3 - O SOM E A AUDIÇÃO.....	37
3.1 O SOM COMO UMA ONDA	37
3.2 A ONDA SONORA E O OUVIDO HUMANO	45
3.2.1 Os órgãos do ouvido externo e suas funções no processo de audição	46
3.2.2 Os órgãos do ouvido médio e suas funções no processo de audição	47
3.2.3 Os órgãos do ouvido interno e suas funções no processo de audição	48
CAPÍTULO 4 - DISPOSITIVO EXPERIMENTAL PARA ESTUDAR O SOM E A AUDIÇÃO.....	50
4.1 UM DISPOSITIVO PARA ESTUDAR ONDA: PLANEJAMENTO	51
4.2 O DISPOSITIVO EXPERIMENTAL PARA O ESTUDO DE ONDAS - <i>DEEDO</i>	54
4.3 O DISPOSITIVO UTILIZADO PARA ESTUDAR A PROPAGAÇÃO DA ONDA SONORA DENTRO DO OUVIDO EXTERNO E MÉDIO: OUVIDO MECÂNICO.....	58
CAPÍTULO 5 - METODOLOGIA.....	62
5.1 ELABORAÇÃO DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA	63
5.1.1 Planejamento das aulas expositivas receptivas.....	64
5.1.2 Planejamento das aulas usando as atividades experimentais demonstrativas	65
5.2 AS ETAPAS DO ESTUDO QUANTITATIVO	67

5.3 AS ETAPAS DO ESTUDO QUALITATIVO	69
CAPÍTULO 6 - RESULTADOS E ANÁLISE DOS DADOS	70
6.1 ANÁLISE DOS RESULTADOS DO PRÉ E PÓS-TESTE DO GRUPO EXPERIMENTAL E DE CONTROLE	70
6.1.1 Resultados do pré-teste.....	72
6.1.2 Pós-teste: grupo experimental X grupo controle.....	73
6.2 ANÁLISE DAS RESPOSTAS DOS ROTEIROS DA ATIVIDADE EXPERIMENTAL DEMONSTRATIVA	74
6.2.1 Dispositivo DEEDO: atividade experimental demonstrativa 1	75
6.3 DISPOSITIVO <i>OUVIDO MECÂNICO</i> : ATIVIDADE EXPERIMENTAL DEMONSTRATIVA 2	91
6.3.1 Análise das respostas relativas ao procedimento 2.1: o dispositivo e as partes do ouvido externo e médio.....	92
6.3.2 Análise das respostas relativas ao procedimento 2.2: a física e a audição humana	94
6.3.3 Análise das respostas relativas ao procedimento 2.3: A utilização do fone de ouvido ...	97
6.4 ANÁLISE DAS RESPOSTAS RELATIVAS AO OPINÁRIO	103
6.5 ANÁLISE DOS FATORES DE VALIDADE INTERNA.....	106
CAPÍTULO 7 - CONSIDERAÇÕES FINAIS	108
REFERÊNCIAS.....	110

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - VALORES PARA CONVERSÃO DOS ESCORES OBTIDOS PELOS ALUNOS NO PRÉ TESTE E PÓS TESTE.....	72
TABELA 2 - CLASSIFICAÇÃO DAS RESPOSTAS DO PROCEDIMENTO 01 DA ATIVIDADE EXPERIMENTAL 1.1.....	77
TABELA 3 - CLASSIFICAÇÃO DAS RESPOSTAS OBTIDAS NAS QUESTÕES DO PROCEDIMENTO 1.2.....	80
TABELA 4 - CLASSIFICAÇÃO DAS RESPOSTAS OBTIDAS NAS QUESTÕES DO PROCEDIMENTO 1.3.....	84
TABELA 5 - CLASSIFICAÇÃO DAS RESPOSTAS OBTIDAS NAS QUESTÕES DO PROCEDIMENTO 1.4.....	89
TABELA 6 - RESULTADOS OBTIDOS NO PROCEDIMENTO 2.1.....	93
TABELA 7 - CLASSIFICAÇÃO DAS RESPOSTAS OBTIDAS NAS QUESTÕES DO PROCEDIMENTO 2.2.....	95
TABELA 8 - CLASSIFICAÇÃO DAS RESPOSTAS OBTIDAS NAS QUESTÕES DO PROCEDIMENTO 03.....	99

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – FORMAS DE FRENTE DE ONDAS (A) ONDA PLANA; (B) ONDA CILÍNDRICA; (C) ONDA ESFÉRICA(ALONSO & FINN, 1972, P. 267).....	40
FIGURA 2 - REPRESENTAÇÃO DE UMA ONDA SENOIDAL.....	42
FIGURA 3 - CORTE TRANSVERSAL MOSTRANDO OS ÓRGÃOS DO OUVIDO HUMANO (DISPONÍVEL EM HTTP://WWW.GRANVOX.COM.BR/ARQUIVOS/FOTOS/OUVIDO.JPG , ACESSADO EM 04/03/2008).	45
FIGURA 4 - REPRESENTAÇÃO EM DETALHE DOS OSSÍCULOS – MARTELO, BIGORNA E ESTRIBO (ADAPTADA DE: HTTP://WWW.APARELHOSAUDITIVOSECIA.COM.BR/_FOTNEWS/OUVIDO.JPG ACESSO EM 20/03/2008).....	47
FIGURA 5 - ILUSTRAÇÃO DO EFEITO ALAVANCA INTERFIXA (ADAPTADA DE: MENEZES, CALDAS NETO E MOTTA, 2005, P. 128).	48
FIGURA 6 - MATERIAL PROPOSTO PARA VISUALIZAR ONDAS SONORAS (PENTEADO E TORRES, 2005, P. 128).....	51
FIGURA 7 - PRIMEIRA VERSÃO DO DISPOSITIVO EXPERIMENTAL ELABORADO PARA ESTUDAR ONDAS.	53
FIGURA 8 - SEGUNDA VERSÃO DO DISPOSITIVO EXPERIMENTAL ELABORADO PARA ESTUDAR ONDAS-DEEDO.....	55
FIGURA 9 - MEMBRANA UTILIZADA NA SEGUNDA VERSÃO DO DISPOSITIVO EXPERIMENTAL PARA ESTUDAR ONDAS: (A) VISÃO FRONTAL, (B) VISÃO EM DETALHE E (C) VISÃO PELA EXTREMIDADE ABERTA DO TUBO.	56
FIGURA 10 - A) PISTÃO CONSTRUÍDO PARA REPRESENTAR UMA FONTE SONORA - FONE DE OUVIDO; B) EXTREMIDADE ABERTA DO TUBO ONDE SERÁ INTRODUZIDA A FONTE SONORA/PISTÃO.....	57
FIGURA 11 - ILUSTRAÇÃO DAS PARTES DO SISTEMA AUDITIVO (ADAPTADA DE: HTTP://WWW.NOISEOFF.ORG/MEDIA/HUMANA.EAR.PNG ACESSO EM 23/02/2008).....	58
FIGURA 12 - REPRESENTAÇÃO DOS OSSÍCULOS E ILUSTRAÇÃO DO SISTEMA DE ALAVANCA INTERFIXA (ADAPTADO DE: MENEZES, CALDAS NETO E MOTTA, 2005, P. 128).....	59
FIGURA 13 - (A) DETALHE DA PEÇA ELABORADA PARA REPRESENTAR OS TRÊS OSSÍCULOS (MARTELO, BIGORNA E ESTRIBO) E JANELA OVAL; (B) DISPOSITIVO <i>OUVIDO MECÂNICO</i>	60
FIGURA 14 - DISPOSITIVO <i>OUVIDO MECÂNICO</i>	61
FIGURA 15 - MAPA CONCEITUAL DE ONDAS.....	63
FIGURA 16 - DISPOSITIVO DEEDO, UTILIZADO NOS PROCEDIMENTOS DA ATIVIDADE EXPERIMENTAL 1.....	76

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 - QUANTIDADE DE PUBLICAÇÕES POR REVISTA (2002-2007).....	24
QUADRO 2 - ASPECTOS METODOLÓGICOS DOS ARTIGOS QUE ABORDAM O ESTUDO DE ONDAS, PUBLICADOS NA REVISTA BRASILEIRA DE ENSINO DE FÍSICA (2002-2007).	32
QUADRO 3 - ASPECTOS METODOLÓGICOS DOS ARTIGOS QUE ABORDAM O ESTUDO DE ONDAS, PUBLICADOS NO CADERNO BRASILEIRO DE ENSINO DE FÍSICA (2002-2007).	34
QUADRO 4 - ASPECTOS METODOLÓGICOS DOS ARTIGOS QUE ABORDAM O ESTUDO DE ONDAS PUBLICADOS NA REVISTA FÍSICA NA ESCOLA (2002-2007).	34

INTRODUÇÃO

Introduzido no currículo do ensino básico há pelo menos três séculos, o ensino de ciências tinha como exigência a formação do cidadão fundamentado num ensino propedêutico voltado para uma escolarização superior. Com o crescimento da população urbana e o início do processo de industrialização nacional surgiu a necessidade de que esse ensino desse conta, num ritmo que fosse capaz de acompanhar o desenvolvimento científico e tecnológico, de transformar o cidadão em um trabalhador com condições mínimas de ajudar o país a se desenvolver. Desde então, pesquisadores tentam diagnosticar dificuldades e problemas que afetam o ensino de ciências, ainda hoje, e que acabam prejudicando o processo de aprendizagem (CARVALHO, 2002).

Atualmente um dos problemas apontados é a falta de relação do ensino de ciências com a realidade vivenciada pelos alunos, o que faz com que os mesmos tenham um menor engajamento no processo de aprendizagem, visto que muitas vezes não vêem muito significado no que está sendo ensinado. A ausência da relação entre a realidade vivida e o conteúdo ensinado faz com que não vejam significado em tais conhecimentos, por isso não incorporam tais proposições como seus problemas e nem se motivam para buscar soluções para os mesmos.

A dificuldade de fazer com que os alunos tomem como seu um problema formulado na escola, sendo que este não lhe é familiar, nem apresenta relação com seu universo de interesse é um dos fatores apontados como responsável por dificuldades do processo de ensino e aprendizagem de ciências, em especial da Física. O desenvolvimento de um ensino de ciências voltado para a participação dos estudantes, possibilitando-lhes a compreensão dos avanços tecnológicos atuais e atuação de modo fundamentado, consciente e responsável no meio em que vivem surge como proposta para minimizar essas dificuldades (TAVARES e SANTOS, 2003).

Nessa mesma direção, investigações desenvolvidas na área de ensino de ciências e matemática como estudo desenvolvido por Pinho Alves (2002), aponta para a necessidade e importância de se realizar atividades experimentais como forma de se obter uma aprendizagem que seja significativa para o aluno.

Considerando que o desenvolvimento de atividades experimentais favorece significativamente o processo de ensino e aprendizagem do conteúdo de ondas sonoras, e um dos fatores que impedem o professor de escolher esta metodologia de ensino é a ausência de materiais de experimentos e orientações para a realização delas, desenvolvemos o projeto de pesquisa: *A utilização de um dispositivo experimental para ensinar ondas*.

A pesquisa desenvolvida apresenta os seguintes objetivos:

- Construir um dispositivo que possibilite um estudo qualitativo do conteúdo de ondas utilizando materiais de baixo custo, de fácil transporte e montagem para auxiliar o professor em atividades demonstrativas dentro da sala de aula.
- Formular um conjunto de orientações e sugestões de atividades experimentais demonstrativas para a utilização do dispositivo construído.
- Verificar a contribuição do dispositivo experimental para a aprendizagem significativa do conteúdo de ondas e ondas sonoras a partir das aulas demonstrativas.

No desenvolvimento da investigação, verificamos se a utilização do dispositivo experimental e o conjunto de orientações, elaboradas para auxiliar os professores no desenvolvimento de atividades demonstrativas, podem contribuir para o processo de ensino e aprendizagem do conteúdo de ondas.

Para respondermos a esta questão, construímos o dispositivo experimental demonstrativo para estudar ondas - *DEEDO* e o *ouvido mecânico*. Elaboramos e testamos uma sequência didática constituída por duas aulas expositivas de cinquenta minutos e duas aulas destinada à realização de uma atividade experimental demonstrativa, elaboradas de acordo com os pressupostos do ensino por recepção da teoria de Aprendizagem Significativa de David Ausubel. As atividades foram orientadas por um roteiro estruturado e planejadas para serem realizadas dentro da própria sala de aula.

Selecionamos como sujeitos de nossa pesquisa alunos do segundo ano do Ensino Médio, série onde tradicionalmente é trabalhado o conteúdo de ondas. Escolhemos duas turmas para realizarmos a testagem, sendo uma escolhida como grupo de controle e a outra experimental. No grupo experimental desenvolvemos a sequência didática com aulas expositivas e atividades experimentais demonstrativas, no grupo de controle o mesmo conteúdo foi desenvolvido por meio apenas de aulas expositivas tradicionais.

O embasamento teórico e metodológico, que orientou o desenvolvimento da pesquisa, assim como os procedimentos de coleta de dados, os resultados e as análises realizadas estão organizados em capítulos.

No Capítulo 1, intitulado *Referencial Teórico*, apresentamos uma síntese da teoria da Aprendizagem Significativa de David P. Ausubel, referencial que orientou o desenvolvimento de nossa pesquisa.

No Capítulo 2, intitulado *O uso de atividades experimentais no ensino de ciências*, apresentamos os resultados de um levantamento bibliográfico realizado com o objetivo identificar o problema, ou a questão de investigação, e os objetivos. O referencial teórico e o metodológico que fundamentaram os trabalhos e pesquisas que foram abordados na experimentação como estratégia de ensino para o conteúdo de ondas, publicados no período de 2002 a 2007, em 12 revistas nacionais da área.

No Capítulo 3, intitulado *O som e a audição*, apresentamos inicialmente uma abordagem, com enfoque teórico, de conceitos de ondas, em especial os utilizados no desenvolvimento da nossa pesquisa e uma breve descrição da fisiologia do ouvido e do processo de propagação do som no sistema auditivo humano.

No Capítulo 4, intitulado *Um dispositivo experimental para estudar som e a audição*, apresentamos a construção do dispositivo experimental, desde a primeira versão até a sua versão final denominado ouvido mecânico.

No Capítulo 5, intitulado *Metodologia*, apresentamos e descrevemos a metodologia escolhida para avaliar o efeito da proposta metodológica utilizada para ensinar o conteúdo de ondas e ondas sonoras. O delineamento utilizado foi o do tipo quase-experimental com dois grupos não equivalentes (experimental e controle) com pré-teste e pós-teste. Um estudo qualitativo também foi realizado com o objetivo de verificar se o dispositivo experimental demonstrativo é potencialmente significativo.

No Capítulo 6, intitulado *Resultados e análise dos dados*, apresentamos os resultados e a análise dos dados obtidos durante o desenvolvimento da pesquisa realizada em duas etapas: a primeira foi realizada uma análise quantitativa por meio da comparação entre o desempenho obtido pelos alunos do grupo experimental e do grupo de controle e na segunda etapa realizamos uma análise qualitativa baseada nas respostas apresentadas pelos alunos nos roteiros utilizados nas atividades experimentais demonstrativa.

No Capítulo 7, intitulado *Considerações Finais*, buscamos responder a questão da pesquisa, mostrando as contribuições da atividade experimental de demonstração para o ensino de ondas sonoras e tecendo algumas considerações sobre o trabalho como um todo.

Seguido a esse capítulo apresentamos as referências utilizadas e os apêndices.

CAPÍTULO 1

REFERENCIAL TEÓRICO

Para o desenvolvimento da pesquisa, utilizamos como fundamento a teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel. De acordo com essa teoria, é preciso que uma nova informação se ancore em conhecimentos que os alunos já possuem para a ocorrência da aprendizagem de um determinado conteúdo. Para Ausubel, o fator que mais influencia a aprendizagem é aquilo que o aluno já sabe, isto é, os conhecimentos prévios existentes na sua estrutura cognitiva. Ele afirma que a aprendizagem é significativa quando uma nova informação interage com conceitos já existentes na estrutura cognitiva do aluno. Esses conceitos são denominados de subsunçores, os quais interagem de maneira não arbitrária com uma nova informação servindo de ancoradouro para a mesma.

Os subsunçores são ideias que os alunos possuem e que faz a ponte com o novo conceito, dando origem ao subsunçor modificado que será incorporada a estrutura cognitiva do aprendiz. Os subsunçores modificados tornando-se mais abrangentes e vão servir de ancoradouro para aquisição de outras informações. À medida que se tornam mais elaborados e complexos servem de intermédio para a aquisição de novas informações, ocorrendo assim à aprendizagem significativa.

Podem ocorrer três tipos de aprendizagem significativa:

- Representacional – é basicamente uma associação simbólica primária, que atribuiu significados a símbolos como, por exemplo, valores sonoros vocais a caracteres linguísticos.
- Conceitos – é uma extensão da Representacional, mas num nível mais abrangente e abstrato, como o significado de uma palavra por exemplo.
- Proposicional – ela necessita do conhecimento prévio de conceitos e símbolos, mas seu objetivo é promover uma compreensão sobre uma proposição por meio da soma de conceitos mais ou menos abstratos. Assim vários níveis de abordagem devem ser contemplados pelo material.

Segundo Ausubel (1980) a ocorrência de aprendizagem significativa necessita da observância de algumas condições. Conforme esse autor:

[...] pressupõe que o aluno manifeste uma disposição para a aprendizagem significativa – ou seja, uma disposição para relacionar, de forma não

arbitrária e substantiva, o novo material a sua estrutura cognitiva – e que o material aprendido seja potencialmente significativo – principalmente incorporável a sua estrutura de conhecimento através de uma relação não arbitrária e não literal [...] Portanto, independentemente do quanto de uma determinada proposição é potencialmente significativo: se a intenção do aluno é memorizá-la arbitrária e literalmente [...] tanto o processo de aprendizagem como o produto da aprendizagem serão automáticos (p. 34).

Considera ainda que um dos melhores caminhos para se obter a melhoria do aprendizado escolar é pelo aprimoramento dos materiais de ensino. “Os fatores mais significativos que influenciam o valor, para o aprendizado, dos materiais de ensino, referem-se ao grau em que estes materiais facilitam uma aprendizagem significativa” (AUSUBEL, 1980, p. 293).

Ausubel (1980) estabelece uma distinção entre a formação e a assimilação de conceitos. O primeiro ocorre em crianças em idade pré – escolar tendo como característica a aquisição indutiva e espontânea de ideias genéricas. O outro é considerado uma forma dominante da aquisição de conceitos, comum em estudantes em idade escolar; o aprendizado de novos significados conceituais se dá por meio do contato com os atributos essenciais e as relações destes com ideias relevantes estabelecidas na estrutura cognitiva.

Para Ausubel, é necessário distinguir claramente os tipos de aprendizagem que ocorrem em uma classe (automática e significativa, formação de conceitos, solução de problemas verbais e não verbais) e a maneira mais indicada é estabelecer a distinção por dois processos decisivos que atravessam todos eles. No primeiro processo estabelecemos a distinção entre aprendizagem por **recepção** e por **descoberta** e no segundo entre aprendizagem **automática ou mecânica** e **significativa**. A importância da primeira distinção reside no fato de que a maioria das informações que os estudantes adquirem, dentro ou fora do ambiente escolar é apresentada preferencialmente por descoberta. Como a maioria do material de aprendizagem é verbalmente apresentada, é também “importante observar que a aprendizagem receptiva verbal não é necessariamente automática em caráter e pode ser significativa sem uma experiência prévia não verbal ou de solução do problema” (AUSUBEL, 1980, p. 20).

Na aprendizagem receptiva o conteúdo a ser aprendido é apresentado ao aluno na forma final. Dele é exigido somente assimilar ou incorporar a informação que lhe é apresentada de forma a tornar acessível ou reproduzível em algum momento posterior. No processo de aprendizagem por descoberta, a característica essencial é a formação de conceitos ou a solução automática do problema, o qual está relacionado ao que não se fornece do

conteúdo destinado a aprendizagem, mas que o aluno poderá descobrir e incorporar significativamente em sua estrutura cognitiva. A tarefa principal desse tipo de aprendizagem, em outras palavras, é descobrir algo.

Ausubel (1980, p.20) afirma que:

[...] no caso da **aprendizagem receptiva significativa** (grifo meu), a tarefa ou matéria potencialmente significativa é compreendida ou tornada significativa durante o processo de internalização. No caso da **aprendizagem receptiva automática** (grifo meu), a tarefa de aprendizagem não é potencialmente significativa nem se torna significativa no processo de internalização.

Segundo o autor a confusão nas discussões sobre aprendizagem escolar reside em grande parte no fato de se reconhecer que a aprendizagem significativa e a aprendizagem mecânica (automática) não são completamente dicotomizadas. “Existem dois tipos intermediários de aprendizagem que compartilham algumas das propriedades” tanto de uma como de outra.

No processo de **aprendizagem por descoberta**, a característica essencial também apresenta duas fases. Na primeira fase da descoberta as informações devem ser reagrupadas pelo estudante integrando-as “a estrutura cognitiva existente e reorganizar e transformar a combinação integrada, de tal forma que dê origem ao produto final desejado ou à descoberta de uma relação perdida entre meios e fins”, processo esse bem diferente do receptivo. “Concluída a aprendizagem por descoberta, o conteúdo descoberto torna-se significativo da mesma forma que o conteúdo apresentado torna-se significativo na aprendizagem receptiva” (AUSUBEL, 1980, p. 20 – 21).

Grande parte da aprendizagem acadêmica é adquirida pelo processo de recepção. O conhecimento que se adquire por meio de uma aprendizagem receptiva pode ser utilizado também para resolver problemas do cotidiano “e a aprendizagem por descoberta é comumente utilizada em sala de aula tanto para aplicar, ampliar, clarificar, integrar e avaliar matérias, como para testar a compreensão” (AUSUBEL, 1980).

Segundo Ausubel quando se propõe relacionar uma tarefa de forma não arbitrária e substantiva ou a relação de uma nova informação com outras com as quais o aluno tenha familiaridade, ou ainda quando a tarefa de aprendizagem implica estabelecer relações, e para tal o aluno adota estratégias correspondentes para assim proceder, observamos uma aprendizagem significativa. Por outro lado, a ocorrência de uma aprendizagem mecânica (automática) se dá quando a tarefa proposta consiste de associações simplesmente arbitrárias

indicando a falta de conhecimentos prévios para tornar a tarefa potencialmente significativa. Isso também pode ser evidenciado quando o aluno utiliza uma estratégia apenas para internalizar a tarefa de uma forma arbitrária, literal para qualquer que seja o potencial significativo contido na tarefa.

Ausubel (1980, p. 97) considera que a aprendizagem receptiva significativa não é necessariamente um processo mecânico e passivo, ela pode ser um processo ativo desde que apresentem no mínimo três características:

- a) Um tipo de análise cognitiva que permita avaliar que aspectos da estrutura cognitiva são mais relevantes para a elaboração de um novo material potencialmente significativo;
- b) Que as ideias existentes na estrutura cognitiva apresentem algum grau de harmonia, ou seja, que exista uma “apreensão de similaridades e diferenças, e resolução de contradições reais ou aparentes entre conceitos e proposições novos e os já estabelecidos”;
- c) Reestruturação do material apreendido em termos do vocabulário de cada aluno e da experiência intelectual idiossincrática.

Para tal existem certas condições que devem ser observadas. Ela necessita de “um tipo de aula expositiva que leve em consideração os princípios da diferenciação progressiva e integração que caracterizam a aprendizagem, a retenção e a organização do conteúdo acadêmico na estrutura cognitiva do aluno”. Esse primeiro princípio, denominado diferenciação progressiva, o conteúdo de uma disciplina é organizado de forma que as ideias mais gerais sejam apresentadas primeiramente, sendo que logo após podem ser progressivamente diferenciadas em termos de detalhes e especificidade. A aula expositiva pode facilitar a integração de diferentes assuntos, se o “professor e/ou os recursos didáticos disponíveis anteciparem explicitamente o emaranhado de semelhanças e diferenças entre as novas ideias e as ideias relevantes já presentes na estrutura cognitiva de cada aluno” (AUSUBEL, 1980, p. 97).

Ausubel (1980) considera a estrutura cognitiva humana (constituída pelo que o indivíduo já sabe) como sendo altamente organizada e hierarquizada, na qual informações mais específicas estão ligadas a conceitos mais gerais. O processo cognitivo pode ser entendido como uma constante reorganização de conceitos e informações novas que interagem com ideias pré-existentes na estrutura cognitiva, de tal forma que no final do processo de assimilação, já não é possível distinguir o conceito inicial do que foi incorporado.

Moreira (1982, p.102) define o processo de assimilação como sendo “a retenção de um novo significado adquirido em ligação com idéias âncora com as quais está relacionado no curso da aprendizagem e sua redução subsequente ou perda de dissociabilidade”.

Para Ausubel (1980) o processo de assimilação não é ponto final da aprendizagem significativa, ela se mantém por várias etapas como fator motivador para a aprendizagem de novas ideias subordinativas. Segundo ele, a interação entre um conhecimento anteriormente apresentado e um novo possibilita a aquisição de novos significados e podendo até mesmo resultar na modificação de ambos e dar origem a um novo produto interacional com novo significado. Isso é a essência da teoria da assimilação.

A maioria das disciplinas escolares é constituída de conceitos que combinados apresentam um novo significado composto, ou seja, estão na forma de proposições. É exigido muito mais do que aprender os significados dos conceitos componentes, para se aprender uma proposição.

Ausubel (1980, p. 107) supõe três maneiras diferentes para aumentar o poder de fixação por meio da assimilação. Em primeiro lugar – quando se torna apoiada “a uma forma modificada de uma ideia existente altamente estável na estrutura cognitiva, o novo significado altera o equilíbrio” dessa última. Em segundo lugar, “este tipo de ‘apoio’, continuando durante o armazenamento da relação não arbitrária, original, entre a nova ideia e a ideia estabelecida, também protege o significado da interferência exercida pela ideias posteriormente encontradas”, e em terceiro lugar, “o fato de a nova ideia significativa ser armazenada na relação com a(s) ideia(s) particular (es) mais relevante(s) na estrutura cognitiva”

O fato dos alunos adotarem o hábito de decorar não é segundo Ausubel o maior perigo da aprendizagem receptiva significativa, mas sim na ilusão de acreditar que compreenderam determinado assunto, quando na verdade aprenderam apenas conjuntos vagos e confusos de verbalismos inúteis.

No processo de “aprendizagem receptiva significativa, o atributo característico tanto da aprendizagem quanto da fixação é uma mudança na disponibilidade ou a futura reprodução dos significados deduzidos do material de aprendizagem assimilado”. Nesse caso “a aprendizagem refere-se ao processo de *aquisição de significados* a partir dos significados potenciais apresentados no material de aprendizagem, e ao de *torná-los mais disponíveis*”. O processo de “retenção (fixação da memória), por outro lado refere-se ao processo de *manter a disponibilidade* de uma réplica de novos significados adquiridos”. Assim “o esquecimento

representa uma forma diminuição na disponibilidade. Essa situação prevalece entre o estabelecimento de um significado e sua reprodução, ou entre duas apresentações do material de aprendizagem” (AUSUBEL, 1980, p. 112).

Segundo Ausubel (1980) a diferença entre aprendizagem e esquecimento é muito maior no processo por descoberta do que no receptivo, dado os vários encontros com a tarefa de aprendizagem e acabam por originar estágios sucessivos de um processo autônomo de solução de problemas. O mesmo não ocorre na aprendizagem receptiva na qual a repetição produz um aumento na disponibilidade do material. Ele destaca três fases distintas evidenciadas temporariamente, durante a aprendizagem receptiva significativa e a memorização. Cada uma contribui diferentemente para as discrepâncias avaliadas entre a apresentação do material de aprendizagem e a reprodução deste material. Essas fases são:

- Aprendizagem – fase em que os significados, as ideias e as informações são adquiridas. Tais ideias e significados, considerados “potencialmente significativas são relacionadas aos sistemas ideacionais relevantes na estrutura cognitiva dando origem aos significados fenomenológicos idiossincráticos com um determinado grau de força dissociativa” (AUSUBEL, 1980, p. 119).
- Retenção – fase que está “relacionada com a retenção dos significados adquiridos ou com a perda gradual da força dissociativa através de um processo de inibição da assimilação” (AUSUBEL, 1980, p. 119).
- Reprodução – fase que envolve a *reprodução* do material fixado na memória. Depende do grau residual de disponibilidade em relação assim como “de fatores cognitivos e motivacionais que influenciam tanto esse limiar quanto o processo atual de construção e reformulação dos significados retidos em uma afirmação verbal” (AUSUBEL, 1980, p. 119).

Considerando o exposto acima, acreditamos que um material elaborado para ser potencialmente significativo deve estar baseado num processo de ancoragem, que facilite a aprendizagem e possibilite a aquisição de significados por interação. Como nosso objetivo é elaborar, testar e verificar o dispositivo experimental construído para estudar conceitos de frente de onda e atenuação pela forma da frente pretendemos verificar se esse dispositivo é potencialmente significativo por meio da realização de uma aula de demonstração para o segundo ano do Ensino Médio, por considerar que esse conteúdo é tradicionalmente discutido nessa série e também porque os estudantes já devem possuir os subsunçores necessários para que ocorra a aprendizagem significativa dos conteúdos sobre ondas.

CAPÍTULO 2

O USO DE ATIVIDADES EXPERIMENTAIS NO ENSINO DE CIÊNCIAS

Neste Capítulo, apresentamos os resultados de um levantamento bibliográfico realizado com o objetivo de identificar o problema, a questão de investigação, e os objetivos de trabalhos e pesquisas que propõem atividades experimentais no ensino de ciências. Os trabalhos e pesquisas analisados sugerem a experimentação como estratégia de ensino para o conteúdo de ondas, publicados no período de 2002 a 2007.

2.1 AS FONTES DE PESQUISA

Considerando sua relevância na área de Educação em Ciências e nas temáticas abordadas em suas publicações foram selecionadas 12 revistas nacionais com disponibilidade das publicações *on-line*:

- Revista Brasileira de Ensino de Física;
- Ensaio;
- Ciência e Cognição;
- Ciência e Ensino;
- Ciência e Educação – UNESP;
- Ciência e Cultura;
- Investigações em Ensino de Ciências – UFRGS;
- Caderno Brasileiro de Ensino de Física;
- A física na Escola;
- Revista Brasileira de Educação;
- Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências (ABRAPEC) e
- Revista Eletrônica de Ciências.

2.1.1 Levantamento das pesquisas sobre atividades experimentais no ensino de física brasileiro

Ao discutir as atividades experimentais no ensino de Física, Violin (1979, p. 13) destaca que “entre uma série de dificuldades apresentadas pela maior parte dos professores de 1º e 2º graus, para a não programação de atividades experimentais no ensino de Física” estão a ausência de laboratórios, equipamentos e orientações metodológicas para “dizer ao professor” como “realizar atividades experimentais com seus alunos [...] nas condições de nossas escolas”.

Barreiro & Bagnato (1992) na cidade de São Carlos SP, valorizaram a utilização de atividade de demonstração e desenvolveram um trabalho com aulas demonstrativas na disciplina Mecânica Geral I, destinada aos alunos dos cursos de Engenharia do Instituto de Física da Universidade Federal de São Carlos, durante o primeiro semestre letivo de 1992. As aulas denominadas de teóricas e também com a resolução de exercícios foram ministradas juntamente ou intercaladamente com demonstrações experimentais que podiam ser avaliadas, e no final os alunos respondiam questões que se tornavam mais atraentes junto às demonstrações.

Visando facilitar a compreensão sobre diferentes possibilidades de se realizar atividades do tipo experimental e verificar as tendências destas, Araújo e Abib (2003) realizaram um levantamento significativo sobre o emprego da experimentação como estratégia para o ensino de Física. Neste trabalho, eles utilizaram como referência os artigos publicados na Revista Brasileira de Ensino de Física e no Caderno Brasileiro de Ensino de Física (antigo Caderno Catarinense de Ensino de Física) do período de 1992 a 2001.

A análise dos trabalhos revelou, para esses autores, que a quantidade de publicações que versam sobre a experimentação é bastante expressiva assim como a diversidade dos enfoques abordados. Consideram que a “[...] utilização adequada de diferentes metodologias experimentais”, sejam as atividades de caráter demonstrativo, investigativo ou de simples verificação, podem contribuir “[...] para o aprendizado de conceitos físicos”; e que essas atividades estimulam a participação e o envolvimento dos alunos além de propiciar um ambiente motivador e estimulante para a aprendizagem de Física (ARAÚJO e ABIB, 2003, p. 190).

Esses autores constataram que são poucos os trabalhos que dão ênfase à construção de aparatos com sugestões de aplicações destes em aulas práticas. A predominância foi de trabalhos que propõem atividades experimentais demonstrativas. Eles consideraram que a ocorrência desta metodologia está relacionada à facilidade de sua utilização em ambiente de sala de aula, visto que demanda menor tempo de preparo e de execução. Também constataram certa predominância na utilização de equipamentos e materiais de baixo custo e fácil aquisição. A maioria das publicações levantadas estava relacionada às atividades experimentais que abordavam conceitos de eletricidade, óptica e termologia.

2.1.2 Os procedimentos de coleta de dados

Tomando como referência as constatações feitas por Araújo e Abib (2003), procuramos por publicações que trataram de investigações sobre as diferentes formas de se realizar atividades experimentais, desde relatos sobre construção de aparatos experimentais para utilização em aulas práticas até proposições metodológicas para o uso de experimentos (estruturados ou não).

Identificadas as publicações que tratavam desse tema, realizamos uma leitura na íntegra com o intuito de identificar o problema ou a questão de investigação, os objetivos, o referencial teórico e o metodológico que fundamentou cada uma das pesquisas descritas.

2.1.3 Os resultados do levantamento

Nas doze revistas selecionadas para nossa investigação não foram encontradas publicações relacionadas com atividades experimentais em três delas: Ciência e Cultura, Revista Brasileira de Educação, Revista Eletrônica de Ciências. Para as demais, apresentamos no quadro 1 o total de publicações que descrevem algum tipo de atividade experimental e a respectiva quantidade de trabalhos que abordavam o estudo de ondas.

QUADRO 1 - Quantidade de publicações por revista (2002-2007).

Revista selecionada	Total de artigos identificados	Relacionados ao estudo de ondas
Revista Brasileira de Ensino de Física	18	7
Ensaio	3	0
Ciência e Cognição	2	0
Ciência e Ensino	1	0
Ciência e Educação	1	0
Investigações em Ensino de Ciências	2	0
Caderno Brasileiro de Ensino de Física	13	3
A Física na Escola	3	2
Revista da ABRAPEC	2	0

Como podemos observar no quadro acima, 45 publicações abordaram a construção de algum tipo de aparato para aula prática e/ou a utilização de atividade experimental como estratégia para o ensino. Dessas apenas 12 estavam relacionadas com o estudo de ondas.

O maior número foi encontrado na Revista Brasileira de Ensino de Física, direcionada à publicação de artigos sobre materiais e métodos instrucionais, pesquisa em ensino, história e filosofia da Física, desenvolvimento de currículo, política educacional e temas pertinentes que, de alguma forma, possibilitam a melhoria do ensino de Física. Dos sete artigos, dois ¹ foram publicados na seção especial: Informática no Ensino de Física, quatro ² na de Artigos Gerais e um ³ na de Produtos e Materiais Didáticos.

Se procurarmos informações sobre a utilização de atividades experimentais no ensino brasileiro, devemos nos reportar ao final do século XIX, em face das necessidades decorrentes da revolução industrial, o ensino secundário tornou-se efetivamente mais científico que literário, tendo por objetivo preparar o cidadão profissionalmente. Esse ensino científico assumiu nesse período especial importância na área dos estudos secundários, aos quais se procurava confiar à missão de formar integralmente o cidadão, habilitando-o não apenas para o ingresso nos estabelecimentos superiores, mas para enfrentar as necessidades complexas e variadas da vida social (KLAJN, 2002, p.49).

¹ Bleicher, Silva e Mesquita (2002) e Cavalcante et al. (2002).

² Silva et al. (2003), Magno et al. (2004), Chiquito e Ramos (2005) e Kandus, Gutmann e Castilho (2006).

³ Axt, Bonadiman e Silveira (2005).

Segundo essa autora no início da década de 1870, iniciou-se no ensino de física a utilização de experimentos demonstrativos para ilustração da teoria. Apenas o professor manuseava os equipamentos sem a participação direta do aluno. No entanto:

[...] sopro científico não inspirou o ensino de modo a levar os professores de física a uma nova atitude didática. As aulas continuaram expositivas, raramente demonstrativas, e o método de estudo permaneceu o mesmo, ou seja, centrado na memorização e na repetição mecânica de princípios e leis. Não havia preocupação em fazer ciência enquanto se estudava ciência. Não só em física, mas em todas as disciplinas do currículo, exigia-se dos alunos que decorassem os conceitos através de processos mnemônicos⁴ ao invés de promover o raciocínio lógico e científico (KLAJN, 2002, p. 54).

Essa autora afirma que durante o Império “não houve nenhum empenho pedagógico inovador no campo das ciências, e em particular da física, que alterasse de modo significativo a educação predominantemente clássica e de caráter geral, herdada dos jesuítas” (KLAJN, 2002, p.55).

A educação científica brasileira do final do século XIX e início do século XX(1890-1920), inspirada em Augusto Comte, ficaram longe de realizar uma autêntica formação de cientistas através de muitos estudos das ciências exatas, em prejuízo da parte experimental, que é a própria instrumentalização dessas ciências. A função do diploma era simplesmente a obtenção do grau de doutor que promovia a ascensão social da maioria dos graduandos e era um dos requisitos para cargos importantes. O caráter profissional do ensino superior não propiciava a união entre a teoria e o ensino experimental almejada pelas reformas. Houve expansão do capitalismo mundial e promoveu também o processo de industrialização, na política houve a queda do Império e instauração da república e a organização escolar passou a receber influências positivistas e mais liberais que provocou assim reforma da educação, como a laicidade do ensino e gratuidade do ensino da escola primária.

A lei nº1750 de 08 de dezembro de 1920, promulgada no governo Washington Luis Pereira, sugere orientações para aplicação do método experimental no ensino das ciências físicas:

[...] era uma louvável preocupação pela emergência de um senso natural que possibilitasse a formação básica de consciência científica e, em segunda instância, o incremento da física tendo em vista a perspectiva de industrialização [...] e o fortalecimento de uma tecnologia nacional que tirasse o país do subdesenvolvimento (KLAJN, 2002, p. 59).

⁴ Mnemônico - Arte de ajudar as operações da memória; o que é fácil de memorizar e, por associações, possibilita a recordação de coisa mais difíceis de reter (LAROUSSE, 1992, p. 452)

Apesar do interesse político em introduzir o ensino de física experimental, isso não se concretizou efetivamente principalmente:

[...] pela carência de recursos nas escolas, baixo nível do professorado, inexistência de faculdades de licenciatura, fiscalização deficiente (omissa ou cúmplice) e, sobretudo, pela mentalidade vigente de intelectuais orientadores de ensino que, formados na tradição escolástica, acadêmica e sem vida, se opunham a quaisquer transformações mais profundas no sistema de ensino (KLAJN, 2002, p. 59).

Várias reformas educacionais foram implantadas desde então, buscando introduzir mudanças no ensino secundário brasileiro até a Lei de Diretrizes e Bases – LDB promulgada em 1961.

Na LDB/61 a ciência foi considerada como disciplina intelectual obrigatória, podendo se desdobrar em Física no ciclo colegial. Tinha como objetivo principal desenvolver a capacidade de iniciativa e invenção; os métodos passam a ter a mesma importância dos conhecimentos e são incentivadas atividades de experimentação e observação de fenômenos físicos. No ginásio os alunos estudavam conteúdos referentes ao calor, o som e eletricidade e no colegial a diversificação da Física necessária às carreiras ligada às ciências experimentais.

Barra e Lorenz (1986) afirmam que já havia no Brasil, desde o início da década de 1950 quando foi criado o Instituto Brasileiro de Educação, Ciência e Cultura – IBCEC, uma preocupação em promover a melhoria da formação científica do aluno para que este contribuísse de forma significativa com o desenvolvimento nacional.

Responsável por elaborar atividades relacionadas com o ensino de ciências nas escolas, o IBCEC também se dedicou a produção de material didático, tais como: livros-textos, equipamentos e material de apoio para as atividades práticas em laboratório. Os primeiros materiais, produzidos em 1952, eram compostos de equipamentos para realização de atividades experimentais e foram utilizados por alunos de 2º grau da rede pública de São Paulo. O sucesso foi tamanho que o Ministério da Educação, “em reconhecimento das possibilidades dos materiais didáticos desenvolvidos, seguiu o exemplo do governo paulista e adquiriu 100 *Kits* e outros materiais de eletrônica para serem distribuídos nas Escolas Normais do país” (BARRA e LORENZ, 1986, p. 1971).

O lançamento, em 1957, do *Sputnik* russo leva o mundo ocidental a questionar o ensino científico desenvolvido em suas escolas. Estados Unidos e Inglaterra empenharam-se na elaboração e produção de novos materiais para diminuir a distância entre os países ocidentais e a União Soviética. “Do esforço combinado de cientistas, educadores e professores da escola de 2º grau resultaram projetos curriculares, com a produção de materiais

didáticos inovadores como: [...] Physical Science Curriculum Study (PSCS), Project Harvard Physics” (BARRA e LORENZ, 1986, p. 1972).

Todos os projetos tinham como característica a:

[...] ênfase dada à vivência do processo de investigação científica pelo aluno. Os alunos participavam [de] atividades que lhes possibilitavam, assim, “praticar” ou “fazer” ciências pelo chamado “método científico”. Argumentou-se que, ao fazer ciência e envolver-se no processo científico, o aluno teria condições de desenvolver sua capacidade de raciocinar e sua habilidade de identificar e solucionar problemas não só em sala de aula como também na vida diária (BARRA e LORENZ, 1986, p. 1971).

As atividades desenvolvidas pelo IBECC foram afetadas profundamente por esse movimento mundial de renovação do ensino de ciências. A fundação Ford, que havia montado um programa de assistência técnica à América Latina, interessou-se pelos resultados dos projetos até então desenvolvidos:

[...] cedeu ao instituto, em 1961, uma subvenção de 125000 dólares que foi designada para projetos que objetivavam a distribuição de *Kits* através de órgãos estatais e da venda ao público, treinamento de professores de ciências e a distribuição de materiais didáticos de ciências elaborados nos Estados Unidos. O IBECC cumpriu o programa de atividades estipulados pela fundação Ford graças às modificações ocorridas no sistema brasileiro de ensino [...] quando o Ministério da Educação e Cultura decretou a Lei de Diretrizes e Bases (BARRA e LORENZ, 1986, p. 1971).

Com base na LDB/61 o IBECC pode traduzir e adaptar os livros e materiais didáticos produzidos em outros países para a realidade nacional. Esse trabalho foi realizado pela Universidade de Brasília, pois os editores brasileiros manifestaram pouco interesse na publicação desses materiais.

Foi realizado um considerável esforço para traduzir com fidelidade os principais projetos americanos e ao mesmo tempo introduzir modificações necessárias para tornar os livros úteis para as escolas brasileiras. Iniciou-se então a produção dos equipamentos de laboratório apropriados à realização de experimentos sugeridos nos livros textos assim como o treinamento de grupos de professores para utilizarem esses materiais.

O IBECC, em 1962, foi indicado como sede de um projeto que tinha por objetivo desenvolver o ensino de Física na América Latina. Intitulado “Novos Métodos e Técnicas de Ensino de Física” contou com a participação de:

[...] 26 professores de física dos seguintes países: Argentina, Brasil, Chile, Cuba, Equador, Honduras, México, Peru e Venezuela. [...] resultou na produção de vários livros textos, materiais para experimentos e filmes de 35 e 16 mm. O Projeto Piloto de Física foi o marco inicial do programa de ciências e [...] colocou o IBECC na vanguarda deste movimento internacional (BARRA e LORENZ, 1986, p. 1975).

Barra e Lorenz (1986, p. 1982) apresentaram uma análise dos 42 (quarenta e dois) projetos curriculares desenvolvidos pelo IBECC desde sua implantação até o início da década de 1970. Concluíram que, embora muito tenha sido feito em termos de tradução, adaptação, criação e treinamento de professores, “no que se refere especificamente à melhoria da aprendizagem os resultados demonstram que, em geral, os mesmos ficam aquém do esperado”.

Verificaram também que os investimentos ficaram localizados na produção de materiais e preparação de professores, esquecendo-se de dar recursos às escolas para criação de laboratórios. A inexistência de ambientes para a realização das práticas e o despreparo da maioria dos professores foram os responsáveis pelos pontos negativos na introdução dos materiais americanos no ensino brasileiro.

Apesar das muitas tentativas de introduzir atividades experimentais no ensino de ciências seu emprego ainda hoje é amplamente discutido. Esse tipo de metodologia é considerado, por autores como Pinho Alves (2002), um artifício hábil de ensino e um componente essencial à aprendizagem de ciências se pensarmos que através da realização de atividades concretas, um aluno pode desenvolver habilidades e estratégias para questionar e resolver problemas.

Essas habilidades podem ajudar alunos que não vêem muito significado no ensino, pela falta de relação com a realidade por eles vivenciada. Essa falta de relação faz com que não se engajem com o processo de aprendizagem porque não encontram significado nos conhecimentos.

O desenvolvimento de uma educação voltada para a participação plena dos indivíduos, capacitando-os a compreender os avanços tecnológicos atuais e atuar de modo fundamentado, consciente e responsável diante de suas possibilidades de interferência nos grupos sociais em que convivem surge como proposta para minimizar as dificuldades no processo ensino-aprendizagem. Nesse sentido, no campo das investigações nessa área, pesquisadores como Pinho Alves (2002), têm apontado para a importância das atividades experimentais como forma de se obter uma aprendizagem significativa.

Para Pinho Alves:

[...] participação ativa do aluno em situação de investigação real, proposta na forma de desafio, o instigará na busca de uma resposta correta, entendendo o correto como exercício de um procedimento que se baseia em uma hipótese teórica para a resolução de um problema científico. A liberdade de testar hipóteses presentes nos

exercícios experimentais como tentativas de soluções dos desafios propostos, dá a chance de propor diferentes meios ou caminhos para chegar ao resultado desejado. Diferentes exercícios e diferentes caminhos para a solução oferecerão condições ao estudante no desenvolvimento de táticas e estratégias que possam ser utilizadas em outras situações (PINHO ALVES, 2002, p.8).

Esse autor considera a atividade experimental como um objeto didático, que agrega, em sua estrutura, qualidades variadas capazes de permitir que “seu papel mediador se apresente, em qualquer tempo e, nos mais diferentes momentos [...] no processo ensino-aprendizagem”. O professor deve ter clareza dos objetivos para poder direcionar e escolher a atividade experimental conforme o contexto e a situação de ensino (PINHO ALVES, 2002, p.8).

Pinho Alves (2002) estabelece categorias de atividades experimentais conforme seus atributos e qualificações ao satisfazerem as necessidades de uma situação de ensino. Conforme essas categorias as atividades experimentais são do tipo:

- **Histórica** – quando apresenta elementos históricos e humanos que favorecem a discussão sobre os métodos de investigação, as observações intencionadas, as respectivas interpretações, e os conflitos científicos e pessoais dos seus personagens. Esse tipo de atividade mostra as dificuldades e os cuidados necessários para se realizar uma experiência contribuindo para minimizar a concepção empirista da ciência.
- **De Compartilhamento** – quando acentuam variáveis envolvidas em um fenômeno utilizando uma ótica qualitativa com eventuais relações de causa e efeito.
- **Modelizadora** – quando sugere a utilização de um modelo, uma estrutura hipotética, para guiar a observação experimental acerca de um dado fenômeno físico. Esse processo só terá significado se existir um modelo teórico relacionado ao caráter hipotético e um modelo empírico resultante de um tratamento de dados e que tem por base o teórico.
- **Conflitiva** – quando o aluno que constrói suas explicações sobre o mundo baseada em suas estruturas mentais. Tais estruturas são concebidas em ambiente extra-escolar mediante sua participação na família e comunidade onde vivem, seus padrões de comportamento e valores. Uma atividade experimental conflitiva tem por objetivo por em cheque as concepções não formais dos estudantes e as concepções formais da ciência. Sua função é produzir a aceitação, por parte do aluno, da concepção científica pela reestruturação de suas ideias prévias e possível abandono das mesmas, por entender a inadequação e limitação de suas explicações pessoais.

- **Crítica** - Apresenta formatação próxima da atividade conflitiva. Utiliza um conceito não formal estabelecido previamente pelo aluno e que apresenta uma sutil diferença do conceito formal de ciência para estabelecer o entendimento. Cabe ao professor explicitar, de forma mais clara possível, a diferença entre ambos.
- **De Comprovação** – atividade que tem por objetivo a comprovação de leis físicas através da verificação de previsões teóricas. Desenvolve nos estudantes, que se comportam como se fossem cientistas, habilidades e técnicas relativas ao método experimental, funcionando como um exercício tradicional só que mais rico, pois adiciona a manipulação e os procedimentos metodológicos.
- **De Simulação** – está baseada na utilização de equipamentos de mídia (computador, vídeo, etc.) e dos respectivos softwares não havendo montagem de instrumentos e outros objetos concretos.

Hodson (apud NEVES, CABALLERO e MOREIRA, 2006, p.5) afirma que existem cinco motivos para se desenvolver uma atividade experimental que envolva os alunos. Uma atividade experimental pode ser utilizada para “motivar, estimulando o interesse e o prazer de investigar”, assim como “treinar destrezas laboratoriais”, ou para “ênfatar a aprendizagem do conhecimento científico”, para tornar perceptível “o método científico e adquirir perícia na sua utilização” e finalmente para “desenvolver certas atitudes científicas como abertura de espírito e objetividade”.

Araújo e Abib salientam que existem propostas facilitadoras de aprendizagem que podem ser “caracterizadas pela possibilidade de gerar conflitos cognitivos com base em métodos dialógicos em que o aluno é responsável pela sua aprendizagem”. A utilização de tais procedimentos por um professor, consciente da necessidade de práticas pedagógicas inovadoras que propiciem reflexão e generalização, podem promover “o desenvolvimento da capacidade de elaborar novos conhecimentos, conceitos e significados, o que se pode interpretar como uma reestruturação conceptual” (ARAÚJO E ABIB, 2003, p. 190).

Bleicher, Silva e Mesquita (2002) relatam o desenvolvimento de uma atividade experimental apoiada no uso de novas tecnologias. Nessa pesquisa o computador foi utilizado como instrumento na investigação do fenômeno de batimento de ondas sonoras. Eles utilizaram um software, que por meio de seus recursos de programação analítica e multimídia, verificava relações de frequências de uma escala musical e o efeito do batimento. Segundo estes autores esse tipo de atividade permite o contato tanto com a conceituação física quanto musical de ondas e sua respectiva modelagem matemática simplificada.

Cavalcante et al. (2002) propõe a utilização de um equipamento simples e um software, de fácil acesso na internet, para análise do espectro sonoro. Sugere um procedimento para registrar, com placas de som de microcomputadores, o espectro sonoro emitido por impactos sucessivos de uma esfera em uma superfície plana.

O trabalho desenvolvido por Silva et. al. (2003) descreve um experimento caseiro, utilizando um programa de computador para a geração de áudio em frequências e, um balde d'água para a determinação da velocidade do som no ar. Os autores analisaram os resultados obtidos em procedimentos experimentais desenvolvidos por alguns alunos e, concluíram que os valores obtidos são semelhantes a outras montagens experimentais encontradas na literatura.

Em outra publicação, Magno et. al. (2004) montaram um sistema experimental, utilizando um computador pessoal que funcionava, simultaneamente, como um gerador de função e um conversor A/D fazendo o papel de um osciloscópio digital de dois canais e um analisador de espectro. O experimento foi usado para estudar a resposta em frequência de um circuito oscilador RLC a uma excitação produzida por um pulso de onda sonora com frequência variável. Esse pulso era gerado com a utilização de um software por eles desenvolvidos e obtidos na saída de áudio do PC. Segundo esses autores, tal sistema poderia também ser utilizado para estudar a propagação do som em meios materiais.

Axt, Bonadiman e Silveira (2005) relatam procedimentos experimentais que podem ser realizados em sala de aula, utilizando-se espirais de encadernação como molas. Uma das atividades propostas sugere a utilização dos espirais para estudar a propagação e a reflexão de ondas transversais e longitudinais assim como os harmônicos de ondas estacionárias.

Chiquito e Ramos (2005) relatam o desenvolvimento de um sistema utilizado para ilustrar os fenômenos ondulatórios como, por exemplo, batimento e a ressonância. Essa proposta é baseada na utilização de diapasões para produção dos efeitos, os quais são visualizados num osciloscópio ou numa caixa de som. Os autores afirmam que a utilização deste experimento em sala de aula apresenta bons resultados, propiciando aos alunos uma visão simples e direta dos fenômenos envolvidos.

Kandus, Gutmann e Castilho (2006, p. 431) relatam à utilização de um instrumento musical característico do estado da Bahia: o *berimbau*. Estudam os “modos excitados no arame cujos comprimentos de onda sejam iguais aos comprimentos de onda possíveis para a cabaça”, apresentando uma discussão sobre propagação de ondas mecânicas em meios elásticos, em particular ao longo de cordas e no ar.

Nessas publicações não foi possível identificar os referenciais teóricos e metodológicos adotados pelos autores.

Para realizar a análise dos aspectos metodológicos, Araújo e Abib (2003, p. 177) utilizaram cinco categorias. Definiram como *ênfase matemática* a categoria que buscava verificar “[...] o nível de matematização e de utilização do formalismo matemático, classificando-se os trabalhos [...] em qualitativos e quantitativos”. O *grau de direcionamento* enquadrava as atividades experimentais em “[...] função de seu caráter de demonstração, verificação ou investigação”. O *uso de novas tecnologias* classificou as atividades que empregavam “computadores e programas específicos” em sua metodologia. A categoria denominada *cotidiano* estava relacionada ao estudo de situações típicas ou ao de fenômenos ligados ao dia a dia e a de *montagem de equipamentos* era associada a artigos que explicitavam a montagem, o detalhamento da construção e possíveis aplicações de aparatos experimentais.

Empregamos, nessa investigação, as categorias criadas por Araújo e Abib (2003), para realizar a análise dos artigos apresentados acima. Construimos com os dados obtidos o quadro 2 abaixo. Entretanto, para facilitar a apresentação, as atividades experimentais identificadas pelas categorias “Uso de Novas Tecnologias”, “Cotidiano” e “Montagem de Equipamentos” foram agrupadas na coluna que denominamos de caracterização.

QUADRO 2 - Aspectos metodológicos dos artigos que abordam o estudo de ondas, publicados na Revista Brasileira de Ensino de Física (2002-2007).

Artigo	Ênfase	Grav de direcionamento	Caracterização
Cavalcante et al (2002)	Quantitativo	Verificação	Uso de novas tecnologias
Bleicher, Silva e Mesquita (2002)	Quantitativo	Verificação	Uso de novas tecnologias e Cotidiano
Silva et al (2003)	Quantitativo	Verificação	Uso de novas tecnologias
Magno et al (2004)	Quantitativo	Verificação e Demonstração	Uso de novas tecnologias
Axt, Bonadiman e Silveira (2005)	Qualitativo	Demonstração e Verificação	Cotidiano
Chiquito e Ramos (2005)	Qualitativo	Verificação	Uso de novas tecnologias e Cotidiano
Kandus, Gutmann e Castilho (2006)	Qualitativo	Verificação	Cotidiano

Os resultados apresentados no quadro 2 mostram que a maioria dos artigos publicados na Revista Brasileira de Ensino de Física, que abordavam a experimentação como

estratégia de ensino, relatava atividades experimentais de verificação, com ênfase quantitativa e baseada no uso de novas tecnologias.

No Caderno Brasileiro de Ensino de Física que declara em sua política editorial ter sido criado para tornar possível a interação dos professores de ensino médio principalmente com temas de interesse através de publicações de artigos de divulgação científica, e sugestões de experimentos, foi onde encontramos o segundo maior quantitativo de publicações relacionadas ao uso da experimentação. Encontramos nessa revista três publicações sobre ondas nas quais os autores relatam investigações com procedimentos distintos.

Silva et al. (2004) propõem a utilização de um software, desenvolvido especificamente para o estudo do fenômeno de interferência de ondas: o batimento. Segundo estes autores, o experimento possibilita estudar, de forma ampla, os aspectos qualitativos do batimento de ondas sonoras e obter medidas de frequência que podem ser comparados com valores previstos teoricamente.

Saab, Cássaro e Brinatti (2005) propõem um experimento em que um tubo de ensaio é adaptado como tubo de Kundt o qual pode ser utilizado para medir a velocidade do som. Esse aparato também possibilita a visualização e consolidação da ideia da formação de uma onda mecânica do tipo estacionária, em um tubo fechado. Os autores ressaltam que o roteiro experimental, possibilitaria uma revisão ampla sobre a propagação de ondas em meios mecânicos. Eles utilizaram como fonte, para a produção de uma onda estacionária, um apito adaptado com pedaço de mangueira posicionado na extremidade aberta do tubo, que produz a emissão de um som com frequência e intensidade constante.

Silveira e Varriale (2005) realizaram um estudo sobre ondas que se propagam na interface líquida – gás, devido à influência do campo gravitacional, abordando a propagação de ondas marítimas e dos tsunamis.

Nestes trabalhos, publicados no Caderno Brasileiro de Ensino de Física, também não foi possível identificar o referencial teórico e o referencial metodológico utilizados pelos autores. Quanto aos aspectos metodológicos, ressaltamos que as experiências relatadas foram do tipo verificação sendo que Silveira e Varriale (2005) enfatizam aspectos qualitativos, Saab, Cássaro e Brinatti (2005) os quantitativos e Silva et al. (2004) afirmam que os resultados obtidos na atividade podem ser tanto quantitativos quanto qualitativos.

QUADRO 3 - Aspectos metodológicos dos artigos que abordam o estudo de ondas, publicados no Caderno Brasileiro de Ensino de Física (2002-2007).

Artigo	Ênfase	Grau de direcionamento	Caracterização
Silva et al (2004)	Quantitativo e Qualitativos	Investigação	Uso de novas tecnologias
Saab, Cássaro e Brinatti (2005)	Quantitativo	Verificação	Montagem de equipamento e Cotidiano
Silveira e Varriale (2005)	Qualitativo	Investigação	Cotidiano

O quadro 3 acima apresenta os dados obtidos a partir da análise desses três artigos baseada nas categorias criadas por Araújo e Abib (2003) anteriormente explicitada. Não encontramos nesses artigos uma tendência a favor de determinado aspecto metodológico.

A revista Física na Escola, vinculada a Revista Brasileira de Ensino de Física, apresentou o menor quantitativo de publicações sobre experimentação. Esta revista é dedicada à formação e informação de professores do ensino médio interessados na melhoria do ensino de Física. Os dois trabalhos identificados descrevem a utilização de atividades experimentais de verificação para determinar, entre outras grandezas, a velocidade de propagação do som.

O quadro 4 abaixo apresenta os dados obtidos a partir da análise desses artigos baseada nas categorias criadas por Araújo e Abib (2003) para avaliarem os aspectos metodológicos empregados pelos autores.

QUADRO 4 - Aspectos metodológicos dos artigos que abordam o estudo de ondas publicados na Revista Física na Escola (2002-2007).

Artigo	Ênfase	Grau de direcionamento	Caracterização
Cavalcante e Tavolaro (2003)	Quantitativo	Verificação	Uso de novas tecnologias e Montagem de equipamentos
Mello (2007)	Qualitativo	Verificação	Montagem de equipamento e Cotidiano

Os dados acima apresentados apontam para o predomínio de atividades propostas para a verificação e que procuravam explicitar a montagem de equipamentos.

Cavalcante e Tavolaro (2003) propõem a utilização de tubos transparentes de comprimentos variados e um diapasão para determinar a velocidade do som. Os autores afirmam que, como as variações do comprimento de onda não produzem variações de intensidade sonora perceptíveis pelo ouvido humano, é necessário a utilização de um computador para medir as frequências.

Mello (2007) descreve a montagem de um aparato experimental com o emprego de um alto falante e um fio de nylon. Propõe procedimentos para estudar a propagação de ondas

mecânicas transversais, o conceito de densidade e também para verificar, através da relação de Taylor, a velocidade de propagação de uma onda.

Dada à característica e o perfil desta revista, os trabalhos são sugestões de atividades para serem realizados na escola e não se caracterizam como artigos de pesquisa, portanto, não há a explicitação do referencial teórico nem do metodológico utilizados pelos autores.

2.2 ALGUMAS CONSIDERAÇÕES

Considerando todos os artigos analisados, identificamos um número relativamente pequeno de trabalhos publicados 12 que apresentaram como questão ou problema de investigação o estudo de ondas. Esse resultado é semelhante ao obtido no levantamento realizado por Araújo e Abib (2003), em que constataram a existência de apenas três publicações abordando o tema de ondulatória. Tal inexpressividade é surpreendente se admitirmos que a utilização da atividade experimental como facilitador do processo de ensino e aprendizagem e se considerarmos a existência de grandes dificuldades de compreensão tanto do ponto de vista conceitual como do ponto de vista da sua formalização matemática, certamente existem outras causas, entretanto, o levantamento destas não foi objeto deste artigo.

Nos 12 artigos analisados não há evidências, de forma explícita, do referencial teórico nem do metodológico sobre os quais, supostamente, esses trabalhos foram fundamentados. Isso pode ser justificado, em alguns casos, pelas características da revista onde foram publicados.

Quanto à análise dos artigos, foi mostrado que a maioria deles apresentou atividades experimentais para verificação de modelos teóricos. Esse resultado é diferente do obtido por Araújo e Abib (2003) que destacam a utilização de atividades experimentais de caráter demonstrativo na maioria dos artigos analisados. Salientamos, entretanto, que como os autores não realizaram a análise dos seus artigos separados por áreas de conhecimentos (mecânica, ótica, ondulatória, etc.), não existem indícios de que esse resultado pode indicar o aspecto metodológico das investigações que abordavam a ondulatória.

Dentre os 12 artigos repertoriados, seis artigos propõem a realização do experimento com obtenção de dados exclusivamente quantitativos, cinco tratam de discussões totalmente

qualitativas e um foi considerado pelos autores como um experimento do tipo qualitativo - quantitativo.

Esses resultados, apesar de não oferecerem orientações sobre os referencias teóricos e metodológicos mais adequados para a pesquisa sobre a utilização de atividades experimentais para o ensino de ondas nos revelam a importância e justificam a necessidade de se propor trabalhos que abordem esse tema.

CAPÍTULO 3

O SOM E A AUDIÇÃO

O sistema auditivo humano é um dos principais sistemas sensoriais do nosso organismo. É responsável, juntamente com o aparelho fonador, pela nossa comunicação com o mundo. Nossos ouvidos captam a maioria dos sons produzidos ao seu redor e traduzem em informações para o nosso cérebro.

Dentre os sentidos de percepção do mundo o olfato, o paladar e a visão, envolvem reações químicas no processo de decodificação de uma mensagem exterior. O sistema auditivo, entretanto, apresenta um processo que é completamente mecânico tanto de recepção como de decodificação de uma mensagem, baseados em movimentos que podem ser descritos fisicamente. Esses sistemas mecânicos, que possibilitam a audição através de vibrações mecânicas que passam pelo ouvido externo e médio. O ouvido interno é o aparelho de recepção, que transforma essas vibrações em impulsos elétricos.

Para a discussão sobre os processos de recepção e a audição humana, inicialmente será apresentado uma caracterização sobre as ondas em geral e um enfoque especial às ondas sonoras seguida de uma descrição da fisiologia do ouvido e o processo de propagação do som pelo sistema auditivo.

3.1 O SOM COMO UMA ONDA

O que é uma onda?

Segundo Alonso & Finn (1972, p. 235) qualquer pessoa, mesmo que não possua conhecimentos em física pode elaborar intuitivamente “[...] uma idéia objetiva de onda pela observação das ondas na superfície da água, numa corda de um instrumento musical ou numa mola”.

Do ponto de vista da Física uma onda é uma perturbação que se propaga em um meio material provocando determinados tipos de movimento nos átomos ou moléculas que constituem esse meio de modo que eles permanecem em movimento em torno de suas posições de equilíbrio. Isso significa que não é a matéria que se propaga, mas o estado de movimento da matéria, sendo uma condição dinâmica que é transferida de uma região para outra (ALONSO & FINN, 1972, p. 261).

Segundo as definições apresentadas por Halliday, Resnick e Walker (1996) e Nussenzveig (2002) uma onda é um sinal transmitido, entre dois pontos, dotado de certa velocidade, que transporta energia e momento sem envolver o transporte ou movimento de matéria.

Alonso & Finn (1972, p. 235) destacam que os aspectos mais importantes das ondas são a “[...] velocidade de sua propagação e as suas modificações quando variam as propriedades físicas do meio [...] quando são interpostos em seus percursos diferentes tipos de obstáculos [...] ou quando várias ondas coincidem na mesma região do espaço”. Inserem-se nesses aspectos os fenômenos ondulatórios de reflexão, refração, difração, espalhamento e interferência que podem ser discutidos em diferentes contextos, dada a amplitude de aplicação dos mesmos nos diferentes ramos da Física e também em outras áreas como, por exemplo, a arquitetura, engenharia, medicina, oceanografia, música, etc.

Independentemente da área de aplicação, é necessário introduzir os conceitos, leis e teorias que embasam os estudos desenvolvidos sobre as ondas.

As ondas que se propagam em meios deformáveis ou elásticos, como é o caso de uma onda sonora, são denominadas:

[...] ondas mecânicas. Elas se originam no deslocamento de uma parte de um meio elástico em relação a sua posição normal, ocasionando a oscilação dela em torno de uma posição de equilíbrio. Devido as propriedades elásticas do meio, o distúrbio é transmitido de uma camada a seguinte; esse distúrbio, ou onda, progride conseqüentemente através do meio (HALLIDAY e RESNICK, 1984, p. 108).

São exemplos de ondas mecânicas, as sonoras, as ondas sísmicas ou ondas se propagando em uma corda. Em todos esses casos o transporte da perturbação no meio acontece sem haver arrastamento do meio junto com a perturbação.

Ao abordarem a propagação de uma onda Halliday e Resnick (1984, p.108), chamam a atenção para o fato de que o meio não se move junto com o movimento da onda e que os elementos constitutivos deste meio oscilam em torno de um ponto de equilíbrio descrevendo trajetórias limitadas. Quando uma onda sonora se propaga as partículas do meio são perturbadas, mas não se movem juntamente com a energia que está sendo transmitida de um ponto a outro. É a energia que as ondas transportam.

As ondas mecânicas são caracterizadas pelo transporte de energia através da matéria, devido ao deslocamento do distúrbio nesse meio, sem haver qualquer correspondente movimento da matéria **como um todo. É necessário haver um meio material para transmitir ondas mecânicas. Tal meio, entretanto, não é necessário para transmitir ondas eletromagnéticas; por exemplo, a luz** (HALLIDAY e RESNICK, 1984, p. 109, grifo nosso).

Quando um meio material é perturbado, se levarmos em consideração o grau de liberdade para a propagação do sinal produzido, as ondas podem ser classificadas quanto ao número de dimensões possíveis em:

- **unidimensionais**, quando a propagação ocorre em uma única dimensão tal como ondas em uma corda ou mola;

- **bidimensionais**, quando a propagação ocorre em duas dimensões como, por exemplo, as ondas na água e ondas superficiais.

- **tridimensionais**, quando a propagação ocorre nas três dimensões, como as ondas sonoras e ondas luminosas emitidas por uma fonte puntual.

As ondas podem ainda ser classificadas quanto à direção de vibração das partículas do meio em relação à direção de propagação da perturbação. Podem ser:

- **transversais**: São ondas cuja direção de vibração das partículas do meio é perpendicular à direção de propagação da onda como, por exemplo, a luz.
- **longitudinais**: São aquelas cuja direção da vibração das partículas no meio é a mesma da propagação do sinal emitido pela fonte como, por exemplo, as ondas sonoras.

Podemos observar uma onda transversal se propagando quando esticamos uma corda verticalmente, por exemplo, e sob tensão produzimos uma perturbação em uma das extremidades. A energia produzida nessa perturbação se move ao longo da corda, fazendo com que suas partículas oscilem perpendicularmente na direção de propagação da energia. Quando produzimos oscilação semelhante numa mola uma onda longitudinal percorre a mola, fazendo com que as espirais vibrem na mesma direção em que ocorre a propagação da energia. As ondas sonoras, nosso objeto de estudo, são exemplos de ondas longitudinais.

O distúrbio ou perturbação produzido por uma fonte, num meio material, transfere energia para as partículas do meio, que se movimentam fazendo aparecer regiões de compressão e descompressão no meio, as partículas então oscilam em torno de uma posição de equilíbrio e vão transferindo sua energia às partículas subsequentes, sem acontecer arraste de suas posições de equilíbrio. Esse processo define-se como um fenômeno ondulatório. As regiões desse meio formadas pelas partículas que apresentam o mesmo estado de movimento simultaneamente, é definida como frente de onda.

Segundo Halliday e Resnick (1984, p.111) se desenharmos “uma superfície que passe por todos os pontos que em dado instante sofrem um distúrbio semelhante” é possível evidenciar que essa superfície se move com o decorrer do tempo. “Superfícies análogas

podem ser desenhadas para os pulsos subsequentes. A ideia pode ser generalizada no caso de uma onda periódica desenhando-se superfícies cujos pontos estejam todos na mesma fase de movimento” (HALLIDAY e RESNICK 1984, p.111).

As frentes de ondas podem apresentar diferentes formas de propagação em função das direções de propagação da onda conforme indicado na figura 1, abaixo.

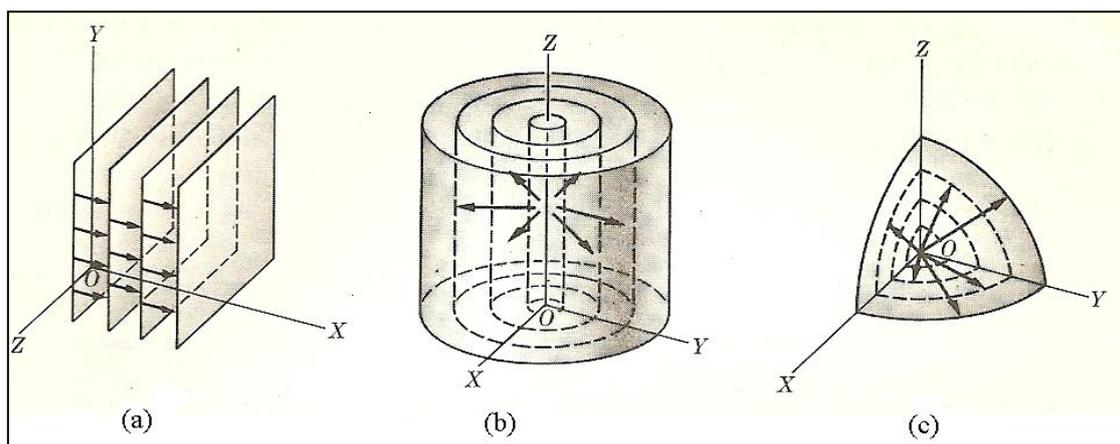


Figura 1 – Formas de frente de ondas (a) onda plana; (b) onda cilíndrica; (c) onda esférica (ALONSO & FINN, 1972, p. 267).

As formas da frente de onda serão classificadas como: **planas**, quando as ondas se propagam em uma só direção, figura 1 (a); **cilíndricas**, quando a propagação ocorre em duas direções, figura 1 (b) e **esféricas** quando a propagação da onda ocorre em três direções, figura 1 (c).

Keller, Gettys e Skove (1999, p. 328) afirmam que “[...] a descrição matemática das ondas se baseia fundamentalmente na função de onda para uma onda harmônica [...] em uma corda, esta toma a forma de uma função seno em qualquer instante particular”. Segundo eles num instante $t=0$ a equação de onda é dada por:

$$y = A \operatorname{sen} \left(\frac{2\pi}{\lambda} x \right) \quad \text{Equação 1}$$

Na equação 1 A representa a **amplitude** de oscilação da onda e está associada ao deslocamento máximo de qualquer ponto da corda em relação a sua posição de equilíbrio ($y=0$). O **comprimento da onda** λ é a distância entre dois pontos consecutivos que estejam em fase. Podemos dizer que estão em fase todos os pontos que apresentam o mesmo

deslocamento em relação à posição de equilíbrio e a mesma velocidade de propagação. Podemos considerar também a distância entre duas cristas ou dois vales sucessivos (KELLER, GETTYS e SKOVE, 1999, p. 328).

Além da amplitude e do comprimento da onda destacamos como características de uma onda a frequência, o período e a velocidade de propagação.

A **frequência** f é definida como o número de oscilações por unidade de tempo, realizadas por um dado ponto, à medida que a onda passa por ele. A frequência de uma onda é naturalmente determinada pela frequência da fonte. O **período** T está diretamente relacionado com o inverso da frequência de uma onda. Ele representa o tempo decorrido para que um ciclo de vibração ou uma oscilação completa seja produzida.

$$f = \frac{1}{T} \quad \text{Equação 2}$$

O período é também o tempo associado a um deslocamento particular da onda, é o tempo que ela leva para percorrer a distância de um comprimento de onda λ .

Segundo Keller, Gettys e Skover (1999, p. 329) vários parâmetros podem ser utilizados para realizar a descrição de uma onda senoidal ou harmônica. Uma função de onda pode ser escrita de diversas maneiras [...], mas uma forma conveniente é em termos de k e ω :

$$y = A \text{ sen}(kx - \omega t) \quad \text{Equação 3}$$

Considerando-se que a frequência da onda é $f=1/T$ e a frequência angular $\omega=2\pi/T=2\pi f$. O número de onda $k=2\pi/\lambda$.

No caso do som, objeto de nosso estudo, quando completa o período que gerou uma perturbação, fica definido no meio uma região que contém toda a energia depositada pela perturbação, essa região define um “pacote”. A forma desse “pacote” pode mudar ou não ao longo da propagação. A velocidade de propagação desse “pacote” que contém a energia depositada pela perturbação é denominada como sendo a velocidade de grupo ou pacote de onda e representa a transmissão da energia no meio (KITTEL, 1978, p.25). Trata-se da:

[...] velocidade com que sinais ou informações podem ser transmitidos pelo pulso. Se não existe dispersão, a velocidade é a mesma que a velocidade normal das ondas senoidais e se existir dispersão, a velocidade de grupo e as velocidades das ondas

senoidais diferem e o sinal pode ser perdido (HALLIDAY, RESNICK E WALKER, 1996, p. 123).

Segundo esses autores uma onda pode apresentar diferentes formas, mas consideram que o entendimento de ondas que apresentam forma senoidal, como apresentada na figura 2, é fundamental para compreensão de ondas de qualquer outra forma.



Figura 2 - Representação de uma onda senoidal.

Vimos que quando uma onda se propaga através de um meio material (ar, água, madeira, ou corda) as partículas desse meio oscilam à medida que ela passa:

[...] para isso acontecer, o meio deve possuir inércia (para que a energia cinética possa ser armazenada) e elasticidade (para que a energia potencial possa ser armazenada). Essas duas propriedades determinam o quão rapidamente a onda pode se propagar no meio. Raciocinando inversamente, deve ser possível calcular a velocidade escalar da onda, através do meio em termos dessas propriedades (HALLIDAY, RESNICK E WALKER, 1996, p.117).

No caso específico de uma onda mecânica precisamos levar em consideração o meio em que ela se propaga, pois a estrutura molecular interfere na velocidade de propagação do sinal. Particularmente no caso de uma onda sonora, sua velocidade de propagação na água é de 1445 m/s, a uma dada temperatura, que é diferente da sua velocidade de propagação no ar, que é de 340 m/s, a certa temperatura.

Embora as ondas eletromagnéticas não necessitem de um meio para se propagar, a velocidade também sofre alterações conforme a natureza do meio no qual ela se propaga. A luz, por exemplo, apresentará uma alteração em sua velocidade de propagação ao mudar de meio – ar para água, por exemplo.

Independentemente do tipo de onda:

[...] a velocidade de propagação depende de propriedades do meio através do qual a onda se propaga [...] os fenômenos da reflexão e da refração, que ocorrem quando uma onda atravessa uma superfície de separação entre dois meios, são uma consequência da dependência da velocidade da onda em relação às propriedades do meio (ALONSO & FINN, 1972, p. 343).

A **reflexão** ocorre quando uma frente de onda incide sobre uma superfície que faz a separação entre dois meios e retorna ao meio onde estava se propagando de tal forma que a onda incidente e a refletida fazem ângulos iguais em relação à reta normal à superfície. Esse fenômeno é regido por uma lei válida para qualquer onda (ondas na água, ondas acústicas, ondas eletromagnéticas ou outras). Tal lei pode ser enunciada dizendo-se que a onda refletida, que está no plano de incidência, faz com a reta normal um ângulo de incidência Θ_i que é igual ao ângulo de reflexão Θ_r também com a normal (TIPLER, 1984, p.858).

Quando essa onda incidente atinge uma superfície de separação entre esses dois meios e parte da energia consegue atravessar essa superfície temos a ocorrência do fenômeno de **refração**. Neste caso o ângulo entre a onda transmitida e a reta normal à superfície é denominado de ângulo de refração (Θ_2).

A quantidade de energia refletida nesta superfície de separação dos dois meios depende desse ângulo de incidência e dos índices de refração (n) dos meios, que é uma grandeza relacionada à velocidade de propagação no meio e um meio de referência.

O ângulo de refração (Θ_2) está relacionado ao ângulo de incidência (Θ_1) pela chamada lei de Snell, enunciada da seguinte forma:

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2 \quad \text{Equação 4}$$

Onde n_1 e n_2 indicam os índices de refração do primeiro e do segundo meio, respectivamente.

Nussenzveig afirma que:

[...] para que se observe reflexão ou refração regular, é preciso que a frente de onda sonora considerada possa ser assimilada a uma porção de onda plana, o que requer dimensões [muito menor que o comprimento de onda]. Num dia claro, a temperatura na atmosfera tende a decrescer quando a altitude cresce [...] a refração do som [...] tende a desviá-lo para cima quando se propaga num lugar descampado, diminuindo a audibilidade para grandes distâncias. Ao por do sol, o ar perto da superfície esfria mais rapidamente do que as camadas superiores produzindo o efeito inverso: o som é refratado para baixo, tornando os sons distantes mais audíveis do que em condições usuais (NUSENZVEIG, 2002, p. 144).

Quando a velocidade de propagação de uma onda em um determinado meio é independente da sua frequência, esse meio material é considerado não dispersivo. Nesse caso todos os pulsos se deslocam com a mesma velocidade (de fase e de grupo); caso contrário, em que a velocidade depende da frequência, o meio é classificado como dispersivo. Neste caso cada onda se deslocaria com uma velocidade diferente.

O meio é considerado não dispersivo, se todas as componentes de Fourier⁵ da onda estão propagando com uma mesma velocidade através do meio, e neste caso a soma destas componentes “sempre fornecerá um pulso com o mesmo formato [...] o que significa que o pulso mantém seu formato enquanto se movimenta” (HALLIDAY, RESNICK E WALKER 1996, p.123)

Os meios serão dispersivos se existir uma dependência entre a velocidade e a frequência de propagação, neste caso “[...] as componentes de onda que possuem frequências diferentes se movem com velocidades diferentes e sua soma não é mais um pulso de formato constante”. Ocorre nesse caso que, “ao invés disso, o pulso se espalha (fica mais longo) [...] o que significa que o pulso altera seu formato enquanto se move” (HALLIDAY, RESNICK E WALKER 1996, p.123).

A propriedade que permite as ondas contornarem ou curvarem-se diante de um obstáculo é denominada de **difração**. Segundo Alonso & Finn (1972, p.470) esse fenômeno “[...] é observável quando uma onda é deformada por um obstáculo”.

A **interferência** é uma propriedade característica do movimento ondulatório. Ocorre sempre que duas ou mais ondas encontram-se na mesma região do espaço. Pode ser construtiva, quando as ondas estão em fase e dão origem a uma nova onda de maior amplitude ou destrutiva, quando as ondas não estão em fase.

A **absorção** ocorre quando uma onda atinge um meio material, e parte da energia que está sendo transmitida pela onda é absorvida pelo meio e esta não é restituída (devolvida) para a onda. A parcela de energia absorvida pelo meio normalmente é transformada em calor.

Com a propagação da onda pode ocorrer uma dissipação da energia o que provoca uma **atenuação** da intensidade da onda. A intensidade de uma onda sonora está relacionada com a potência, ou taxa de transmissão de energia, transmitida “através de uma área unitária perpendicular à direção de propagação. À proporção que a frente de onda se expande [...] a

⁵ O matemático Francês J. Fourier (1768 – 1830) demonstrou “que, para se obter a forma mais geral de onda periódica, são necessárias apenas ondas harmônicas simples” Ele “provou que qualquer movimento periódico de uma partícula pode ser representado como combinação de movimentos harmônicos simples” (HALLIDAY E RESNICK, 1984, p.115).

área de sua superfície aumenta de $4\pi r^2$ (HALLIDAY e RESNICK, 1984, p.121). Assim o fenômeno atenuação da onda, pode estar relacionado ao mesmo tempo com a absorção da energia da onda pelo meio, e pela distribuição da potência da onda em maiores superfícies da frente de onda à medida que se propaga.

3.2 A ONDA SONORA E O OUVIDO HUMANO

O ouvido humano, apresentado na figura 3, é dividido em três partes: externo, médio e interno, os quais desempenham funções distintas no processo de recepção, transmissão e percepção de um som.

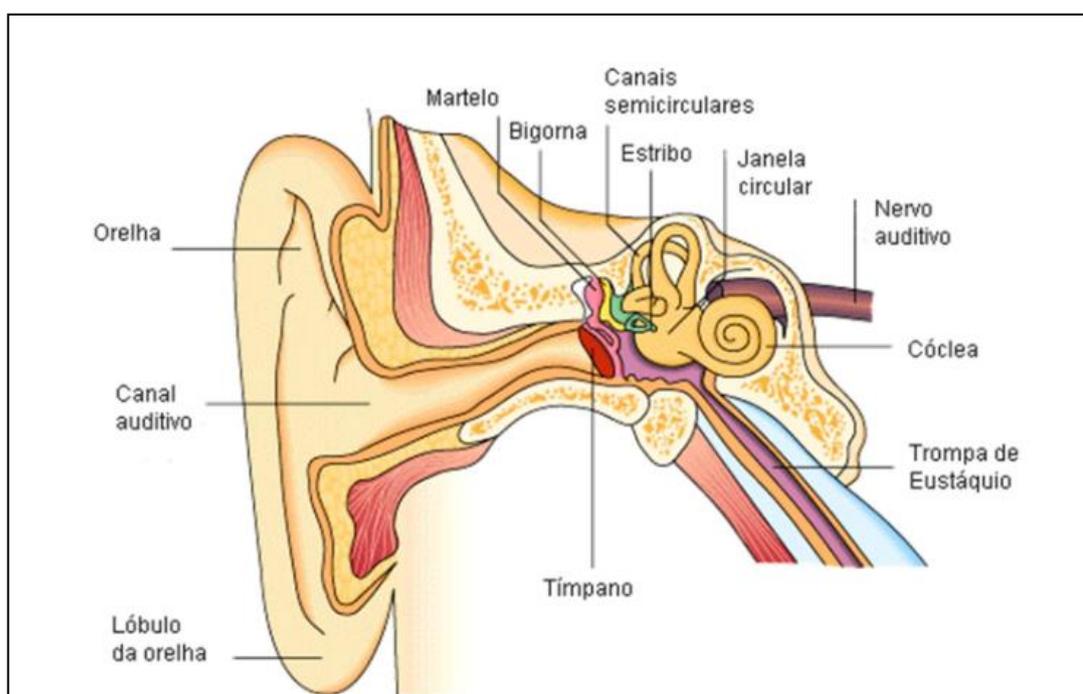


Figura 3 - Corte transversal mostrando os órgãos do ouvido humano (disponível em <http://www.granvox.com.br/arquivos/fotos/ouvido.jpg>, acessado em 04/03/2008).

O sistema auditivo humano é constituído por um ouvido externo composto pela orelha ou pavilhão auditivo, o canal auditivo e o tímpano.

O tímpano é uma membrana fina e flexível localizado exatamente no ponto de separação entre o ouvido externo e médio o que provavelmente é responsável pela divergência que evidenciamos em seu enquadramento. Bistaffa (2006), por exemplo, o descreve como órgão que integra a parte do ouvido médio.

O ouvido médio é composto por três minúsculos ossos: o martelo, a bigorna e o estribo, envolvidos numa cavidade cheia de ar, e o ouvido interno composto pela janela oval também denominada de janela circular, cóclea, trompa de eustáquio e o nervo auditivo.

Os órgãos que compõem o ouvido externo e médio são responsáveis pela captação e transmissão da energia sonora, “através de vibrações mecânicas”, até o ouvido interno onde essas vibrações são transformadas “em impulsos elétricos codificados” sendo então “encaminhados ao sistema nervoso central para sua interpretação” e percepção (MENEZES, CALDAS NETO e MOTTA 2005, p.88).

3.2.1 Os órgãos do ouvido externo e suas funções no processo de audição

A orelha, constituída de cartilagem revestida de pele, apresenta forma ovalada e vai se afunilando em direção a entrada do canal auditivo. As irregularidades anatômicas ou dobras da orelha são, segundo Menezes, Caldas Neto e Motta (2005, p.88), fundamentais no direcionamento da onda sonora para o interior do canal auditivo.

Na interpretação de Rui e Steffani (2006) e Bistaffa (2006) uma onda sonora, proveniente de uma dada fonte, sofre reflexões nessas irregularidades presentes na orelha com o objetivo de serem direcionadas para o conduto auditivo onde somam-se as ondas diretas e as que sofreram difração sonora ao interagirem com a cabeça do indivíduo.

O conduto auditivo é um tubo com aproximadamente sete milímetros de diâmetro e três centímetros de comprimento. Suas paredes internas possuem saliências que dificultam a visão da membrana timpânica e a pele que recobre essa parede apresenta glândulas ceruminosas e sudoríparas e folículos pilosos que tem por objetivo realizar a proteção o tímpano. No processo de audição desempenha a função de transferência por ressonância da onda sonora até o tímpano (MENEZES, CALDAS NETO e MOTTA, 2005).

O tímpano é uma membrana constituída por um tecido fibroso, com forma levemente cônica, localizada no final do conduto auditivo, local onde ocorre a separação entre o ouvido externo e o médio. Possui como principal finalidade a recepção da energia sonora proveniente de uma fonte, para entrar em vibração com a mesma frequência com que foi excitada. Sua forma cônica faz com que a energia se concentre no centro da membrana, local onde se faz o contato com o martelo.

Segundo Rui e Steffani (2006, p. 39) o tímpano possui uma espessura aproximada de um décimo de milímetros e entre nove e dez milímetros de diâmetro. Quando a energia proveniente da fonte sonora “atinge o tímpano, a energia associada à perturbação do ar [...] é transmitida a membrana timpânica, fazendo-a vibrar de acordo com a frequência e amplitude do som que a atingiu”. A onda formada por “regiões de compressão e rarefação das partículas do ar” provocam as perturbações no tímpano, as quais são transmitidas por meio dos ossículos, à janela oval.

3.2.2 Os órgãos do ouvido médio e suas funções no processo de audição

Segundo Menezes, Caldas Neto e Motta (2005, p. 91):

[...] a conexão entre a membrana timpânica e a orelha média é feita por intermédio dos três ossículos articulados. O primeiro, o martelo, possui um cabo, que é fortemente aderido à membrana timpânica, um pescoço, onde se insere o tendão do tensor do tímpano, e uma cabeça, que se articula com o segundo ossículo, a bigorna. Esta possui uma apófise [saliência] curta que repousa no assoalho [...] [de] um corpo volumoso, que articula com o martelo, e uma apófise [saliência] longa, através do qual articula-se com o capítulo do estribo. [...] Este, por sua vez, além do capítulo, possui duas curvas (anterior e posterior) e uma platina que sela a janela oval.

Os três ossículos, mostrados em detalhe na figura 4 abaixo formam uma cadeia óssea articulada fixada de um lado na membrana timpânica e de outra na janela.

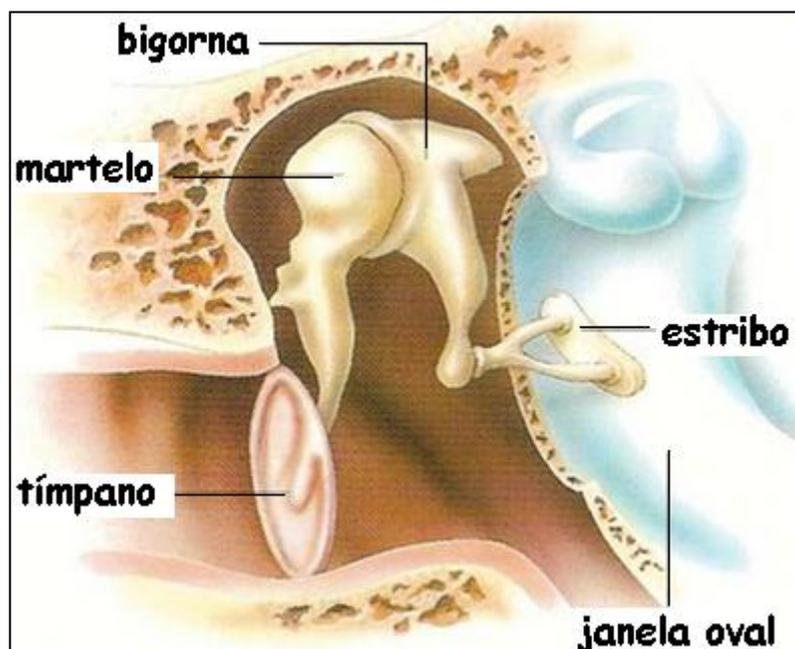


Figura 4 - Representação em detalhe dos ossículos – martelo, bigorna e estribo (adaptada de: http://www.aparelhosauditivosecia.com.br/_fotnews/ouvido.jpg acesso em 20/03/2008).

Esses ossículos são responsáveis pela transmissão das pressões recebidas pelo tímpano a janela oval. A articulação entre os ossículos faz com que funcionem como uma alavanca interfixa, conforme mostrado na figura 5, abaixo.

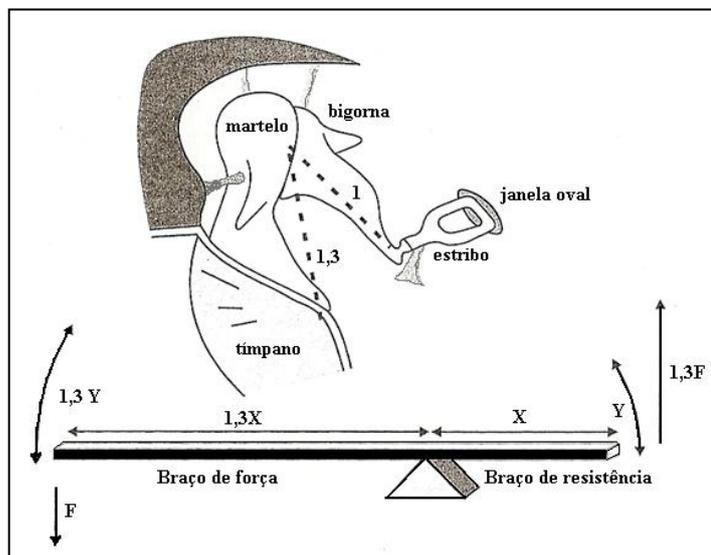


Figura 5 - Ilustração do efeito alavanca interfixa (adaptada de: MENEZES, CALDAS NETO e MOTTA, 2005, P. 128).

O martelo representa o braço de força da alavanca e a bigorna o braço da resistência, o ponto fixo, pela articulação incudomaleolar. O cabo do martelo é aproximadamente 1,3 vezes maior que a apófise longa da bigorna o que permite um ganho de energia na mesma proporção da relação entre o braço de força e o de resistência. O braço de alavanca formado pelo martelo ($1,3x$), mais longo que o braço formado pela bigorna (x), transforma o movimento junto ao tímpano, de maior amplitude ($1,3Y$) e menor força (F), em um movimento de menor amplitude (Y) e maior força ($1,3F$) na janela oval.

3.2.3 Os órgãos do ouvido interno e suas funções no processo de audição

A relação entre as áreas da membrana timpânica e da janela oval é um dos fatores responsáveis pela amplificação do som que chega até o ouvido interno, mas especificamente na cóclea. Como a área do tímpano é cerca de 17 (dezessete) vezes maior que a da janela oval, e tomando por base o princípio de Pascal podemos concluir que “a pressão exercida em uma superfície, por uma força constante, será maior quanto menor for a área de contato com essa superfície” (MENEZES, CALDAS NETO e MOTTA, 2005, p. 100).

O movimento vibratório do tímpano é transmitido pelos ossículos do ouvido médio a janela oval, onde é amplificado. Esse órgão faz a conexão do estribo com ouvido interno, local onde ocorre a percepção sensorial e a discriminação do som.

No processo de percepção as vibrações mecânicas, que o estribo transfere ao espaço perilinfático, causam ondas no líquido que preenche a cóclea as quais se propagam dentro do ouvido interno no “sentido basal-apical da cóclea, pela rampa vestibular e helicotrema e retornam no sentido apical-basal pela rampa timpânica até atingir” (que são regiões dentro da cóclea onde a onda percorre para chegar) a janela oval. “Este jogo de janelas é essencial para o aparecimento” da onda que se propaga no ouvido interno (MENEZES, CALDAS NETO e MOTTA, 2005, P. 101).

A discriminação de um som inicia-se com processos puramente mecânicos intracocleares e assim se mantém a medida que a informação vai passando pelos diversos segmentos da via auditiva até ganhar complexidade máxima ao chegar ao córtex temporal.

Esse processo de:

[...] discriminação é quantitativo (intensidade sonora) e qualitativo (seleção de frequência). A intensidade é determinada pela quantidade de fibras nervosas despolarizadas mediante uma estimulação sonora, de forma que quanto maior a intensidade do estímulo, maior o número de fibras envolvidas e, portanto, mais intenso o som é percebido a nível cortical (MENEZES, CALDAS NETO e MOTTA, 2005, P. 101).

Segundo esses autores os processos de seleção de frequências sonoras ainda não são totalmente conhecidos. É possível afirmar apenas que só podemos perceber sons com frequências que variam de 20 Hz a 20000 Hz aproximadamente. Esse intervalo pode sofrer variações dependendo da fisiologia do sistema auditivo e da idade de cada indivíduo. “Patologias congênitas ou adquiridas da orelha interna em geral resultam em déficit auditivo irreversível com ou sem perda da capacidade de discriminação” (MENEZES, CALDAS NETO e MOTTA, 2005, P. 102).

CAPÍTULO 4

DISPOSITIVO EXPERIMENTAL PARA ESTUDAR O SOM E A AUDIÇÃO

Os resultados obtidos na pesquisa bibliográfica, relatados no capítulo 2, indicam que são raras as proposições de utilização de experimentos de caráter demonstrativo, investigativo ou de verificação, em aulas de Física no Ensino Médio, principalmente, para o estudo de ondas sonoras. Motivados por esses resultados e pelo interesse que esse assunto pode despertar nos estudantes, nos propomos a investigar e desenvolver experimentos demonstrativos, construídos com materiais de baixo custo para estudar ondas mecânicas.

A escolha por uma proposta de ensino do tipo experimental demonstrativo foi em função das condições vivenciadas como professor de Física há mais de nove anos na rede estadual de ensino de Mato Grosso do Sul: ausência de laboratórios para desenvolver atividades experimentais, a quantidade excessiva de alunos por sala, além da falta de investimento das instituições de ensino em proporcionar meios para viabilizar atividades experimentais.

A atividade experimental demonstrativa é considerada por autores como Barreiro e Bagnato (1992) como uma alternativa para tentar solucionar alguns desses problemas vivenciados dentro da sala de aula. Segundo eles vários fatores parecem favorecer a demonstração experimental: a possibilidade de se utilizar um único dispositivo ou equipamento para realizar a experimentação, dentro da própria sala de aula no decorrer da própria aula dando apoio a abordagem conceitual. Salientam ainda que o desenvolvimento desse tipo de atividade motiva e desperta o interesse dos alunos favorecendo a aprendizagem.

Apesar dos fatores favoráveis à utilização de atividades experimentais demonstrativas, sua implementação esbarra principalmente na falta de materiais, em especial quando se trata do conteúdo de ondas e ondas sonoras. Partindo dessa consideração iniciamos uma etapa de planejamento e elaboração de um dispositivo experimental demonstrativo, construído com materiais de baixo custo e de fácil manuseio. Esse dispositivo foi planejado com o objetivo de explorar os conceitos de: meio material, fonte sonora, frentes de onda, formas da frente de onda, as noções de amplitude e frequência, as propriedades de reflexão, refração e difração de uma onda, além da propagação, da transmissão e da amplificação do som no ouvido externo e ouvido médio e abordar os efeitos do uso inadequado do fone de ouvido.

4.1 UM DISPOSITIVO PARA ESTUDAR ONDA: PLANEJAMENTO

A ideia para a construção do dispositivo experimental para estudar ondas surgiu de uma montagem proposta por Penteado e Torres (2005, p. 128) para visualizar as ondas sonoras. Esses autores sugeriram a construção de um material, mostrado na figura 6, com “uma lata vazia de leite em pó; um abridor de latas; um balão de festas (bexiga); um espelho plano (5cm X 5cm); uma lanterna; barbante; tesoura de pontas arredondadas; cola e fita adesiva”.

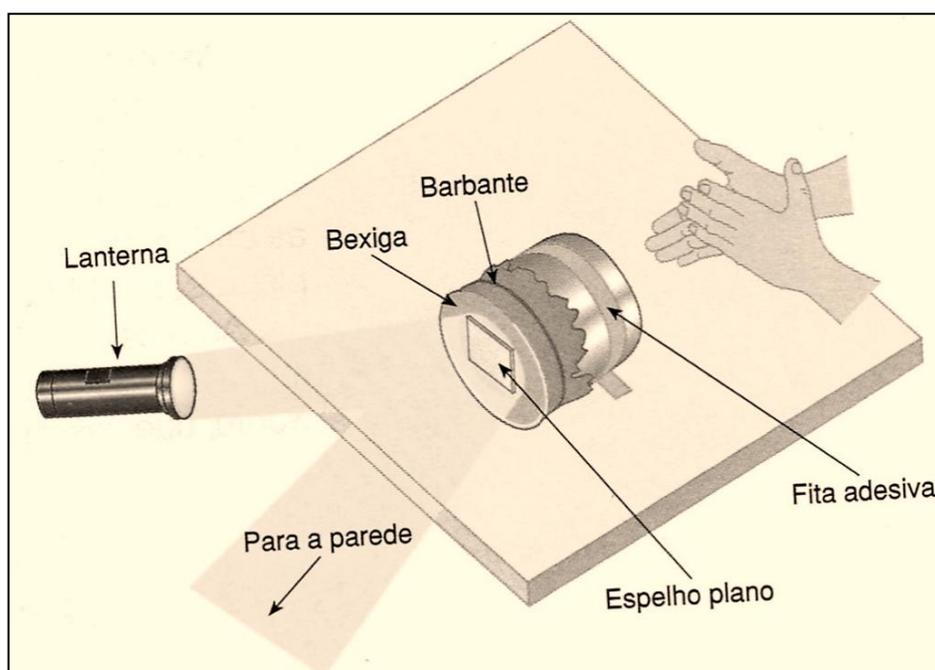


Figura 6- Material proposto para visualizar ondas sonoras (PENTEADO e TORRES, 2005, p. 128).

Seguindo os procedimentos apresentados por esses autores construímos o material proposto. No processo de construção, nos deparamos com a dificuldade de esticar o balão para amarrar o barbante e ao realizar os procedimentos sugeridos não conseguimos visualizar a vibração produzida ao bater palmas. Iniciamos uma etapa de aprimoramento do material proposto por Penteado e Torres (2005).

Para a construção da versão aprimorada do dispositivo experimental utilizamos como material, um (a):

- fonte de laser;
- balde plástico de 25 litros;
- bastidor de costura de raio 12 cm, feito de madeira;

- balão de festa (látex) tamanho gigante;
- espelho plano de dimensões 2cm x 2cm;
- haste com garras para fixar a fonte laser e
- suporte de madeira.

Ao invés de amarrar o balão na extremidade do balde buscamos fixá-lo no bastidor, esticando-o o máximo possível. No centro do balão esticado colamos o pedaço de espelho, conforme sugerido. O balde foi colocado sobre um suporte com a boca voltada para a membrana. Substituímos a lanterna pela fonte laser, uma fonte monocromática que possibilitou, por meio do efeito da reflexão do feixe luminoso direcionado ao espelho plano, mostrar, num anteparo, a vibração produzida na membrana pela perturbação produzida no fundo do balde, a fonte sonora utilizada para substituir as palmas.

Para verificar o funcionamento do dispositivo experimental demonstrativo construído, produzimos perturbações no fundo do balde que foi colocado com a boca voltada para o bastidor fixado no suporte de madeira. A fonte laser foi posicionada de modo que, ao ser ligado emitia um feixe luminoso que refletia a luz recebida no anteparo.

Mesmo com as alterações efetuadas no material não conseguíamos evidenciar as vibrações da membrana produzidas com as perturbações provocadas no fundo do balde. Desconsiderando as dificuldades em esticar o balão suficientemente e colar o espelho plano sem rompê-lo, evidenciamos nesta construção dois problemas: a borracha do balão, envolta no bastidor, absorvia muita energia e quase não percebíamos sua vibração e com o passar dos dias o balão perdia a elasticidade, o que prejudicava ainda mais a visualização do efeito.

Considerando a falta de praticidade e o encarecimento do processo, dada quantidade de balões necessários para a realização de uma única demonstração, decidimos procurar e testar outros materiais para substituir o balão de festa.

Realizamos testes com sacos plásticos, papel celofane, plástico utilizado em encadernação, material de pasta poliondas e finalmente o material de radiografia (raios-X).

O material de radiografia resolveu o problema da absorção excessiva da energia da onda que incidia sobre a superfície da membrana, e, ainda, possibilitou a retirada do espelho plano da lista de materiais, visto que durante a realização dos testes iniciais, ainda com o espelho colado na radiografia, percebemos que este material refletia a luz que incidia sobre sua superfície.

Mais uma modificação foi realizada na lista de materiais utilizada na construção do dispositivo experimental para estudar ondas. A figura 7 mostra a nova proposição e os seguintes materiais foram utilizados nesta construção:

- fonte de laser;
- balde plástico de 25 litros;
- bastidor de costura de raio 12 cm, feito de madeira;
- material de radiografia (raio X);
- haste com garras para fixar a fonte laser e
- suporte de madeira.

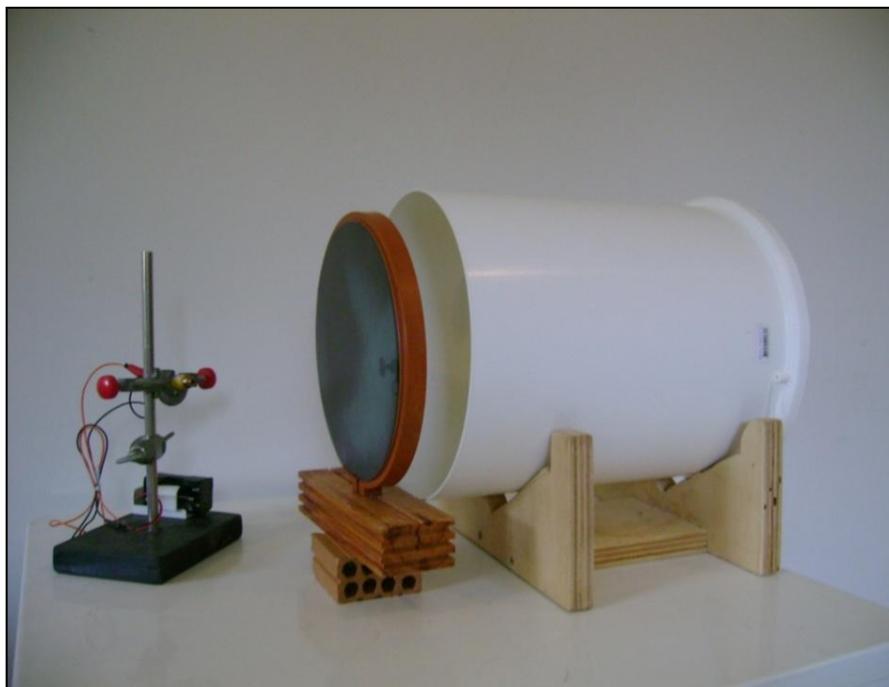


Figura 7 - Primeira versão do dispositivo experimental elaborado para estudar ondas.

Na realização dos testes preliminares verificamos que ao bater no fundo do balde para produzir uma perturbação, embora ela fosse canalizada no interior do balde em direção à membrana, não percebíamos com facilidade sua vibração.

Esperávamos que a troca do balão pelo material de radiografia e a canalização da energia possibilitassem uma boa visualização da vibração da membrana. Dentre as hipóteses levantadas, que poderiam provocar a diminuição da vibração. Além disso, consideramos ainda que a fixação do material de radiografia direto no bastidor, com cola, poderia estar produzindo dissipação de energia.

O dispositivo ainda não possibilitava uma boa visualização da vibração produzida na membrana, quando produzíamos a perturbação batendo no fundo do balde, razão pela qual buscamos melhorar propondo uma nova estrutura e que possibilitasse também abordar, além meio material e fonte sonora, os conceitos de frentes de onda esférica e plana, a frequência e amplitude de vibração.

4.2 O DISPOSITIVO EXPERIMENTAL PARA O ESTUDO DE ONDAS - *DEEDO*

Para elaborarmos a versão mais adequada do dispositivo experimental para estudo de ondas – *DEEDO* retiramos o balde do suporte de madeira e colocamos no seu lugar um pedaço de cano de PVC de 250 mm. Essa mudança foi realizada para melhorar a canalização da onda, isto é, direcionar as ondas sonoras através do tubo e intensificar a vibração na membrana. O balde passou a ser utilizado como uma fonte sonora móvel. A perturbação provocada no balde, próximo do dispositivo, serviu como fonte sonora, de tal forma que a ela pudesse ser considerada como uma fonte puntual.

Essa versão do dispositivo experimental foi construída com os seguintes materiais:

- Balde de 20 litros – para ser utilizado como fonte;
- Fundo do balde de 15 litros – para ser utilizado no pistão;
- Pedaço de cano de PVC de 250 mm – para construção do tubo;
- Suporte de madeira para apoiar o tubo;
- Pedaço de cano de PVC ½ polegada – para construção do pistão;
- Luva para cano ½ polegada;
- Bastidor plástico tamanho ajustável;
- Material de radiografia (raio-X);
- Elástico fino;
- Palitos de madeira;
- Fonte laser e suporte.

O dispositivo experimental *DEEDO* mostrado na figura 8, foi planejado e construído para abordar os conceitos de perturbação de pressão, fonte sonora, propagação da onda de

pressão no meio material, intensidade da onda, colimação da frente de onda, amplitude de vibração longitudinal e frequência de vibração.



Figura 8 - Segunda versão do dispositivo experimental elaborado para estudar ondas-DEEDO.

Na extremidade aberta do tubo (lado direito), quando batemos no fundo do balde o pulso emitido atinge “corta” e passa pelo tubo e a frente transmite a mesma variação de energia contida nessa área até a membrana. Desprezamos os efeitos de absorção durante a propagação dentro do tubo sendo a mesma energia que chega até a membrana. Quando batemos no fundo do balde porém na frente da membrana (lado esquerdo), a uma distância equivalente ao comprimento do tubo, a frente de onda é considerada cônica. Neste caso ela não é “cortada” e a variação de energia é distribuída em área cada vez maior, portanto, a variação de energia que chega na membrana será menor que no caso anterior, logo a membrana vibrará menos. O dispositivo-DEEDO representa partes do sistema auditivo do ouvido externo tal que a intensidade da frente de onda que se propaga é mantida constante ao longo do tubo de forma semelhante a propagação do som no canal auditivo humano.

A membrana construída com o bastidor e o material de radiografia (raios-X) também passou por uma etapa de aprimoramento para diminuir a absorção da energia sonora, dado seu

contato com o bastidor. Planejamos uma nova forma de fixar a membrana, mostrada em detalhes na figura 9 (a,b e c.).

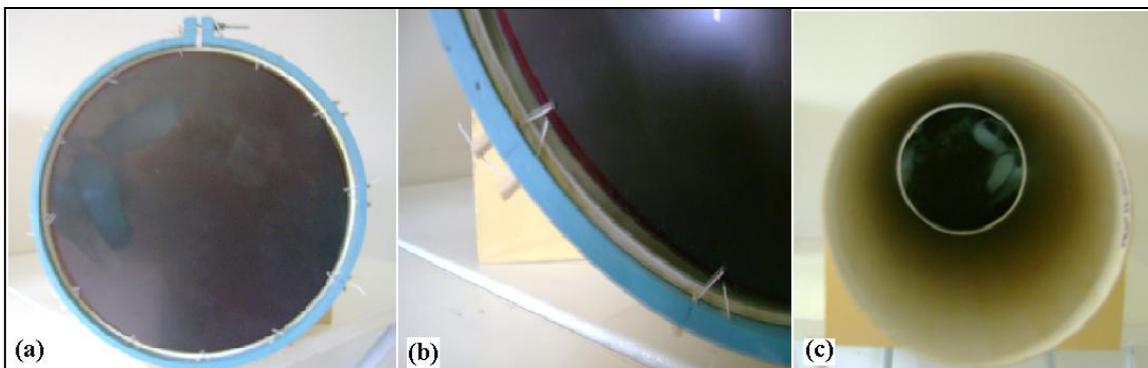


Figura 9 - Membrana utilizada na segunda versão do dispositivo experimental para estudar ondas: (a) visão frontal, (b) visão em detalhe e (c) visão pela extremidade aberta do tubo.

Para construir a membrana, recortamos o material de radiografia com um diâmetro de 23,5cm, ou seja, três centímetros a menos que o diâmetro do bastidor, observando que as medidas são proporcionais às medidas do ouvido humano.

Na figura 9 (a) podemos observar uma foto da visão frontal do dispositivo, que apresenta a lâmina ou folha circular de radiografia fixada ao bastidor. A lâmina (folha) de radiografia foi perfurada em doze pontos equidistantes, espaço correspondente a uma variação angular de trinta graus (30°). O bastidor foi perfurado em 24 (vinte e quatro) pontos. Utilizando esses pontos, unimos os dois materiais com um elástico fino, que foi fixado ao bastidor com um palito de madeira, detalhe na figura 9 (b), para a regulagem na tensão aplicada na membrana simulando os músculos do tímpano.

A membrana foi fixada na extremidade do tubo, e essa nova forma de fixá-la, com os elásticos, possibilitam uma maior mobilidade da mesma porque ela não entra em contato direto com o bastidor. A figura 9 (c) mostra o vão, parte clara em torno da membrana, que há entre a membrana e a borda do tubo.

Outro elemento do dispositivo foi construído e denominado como pistão, mostrado na figura 10 (a). Ele foi elaborado para produzir o movimento ou o deslocamento do ar dentro do tubo, simulando as regiões de compressão e rarefação do ar dentro do tubo. Este elemento provoca os efeitos produzidos na membrana quando a fonte sonora está na extremidade aberta do conduto auditivo, como por exemplo, o fone de ouvido. Este modelo de pistão permite, também, demonstrar que as vibrações produzidas na membrana respondem com fidelidade as amplitudes e frequências de oscilação do pistão, como ocorre no ouvido humano. Para a

construção do pistão utilizamos um balde de plástico de vinte litros, um pedaço de 50 cm (cinquenta centímetro) de cano e uma luva, ambos de $\frac{1}{2}$ polegada. O balde foi cortado de tal forma que pudesse ser encaixado na extremidade aberta do tubo e o cabo do pistão, constituído pelo cano e a luva, foi fixado no centro da parte externa do pedaço do balde, mostrado na figura 10 (b).

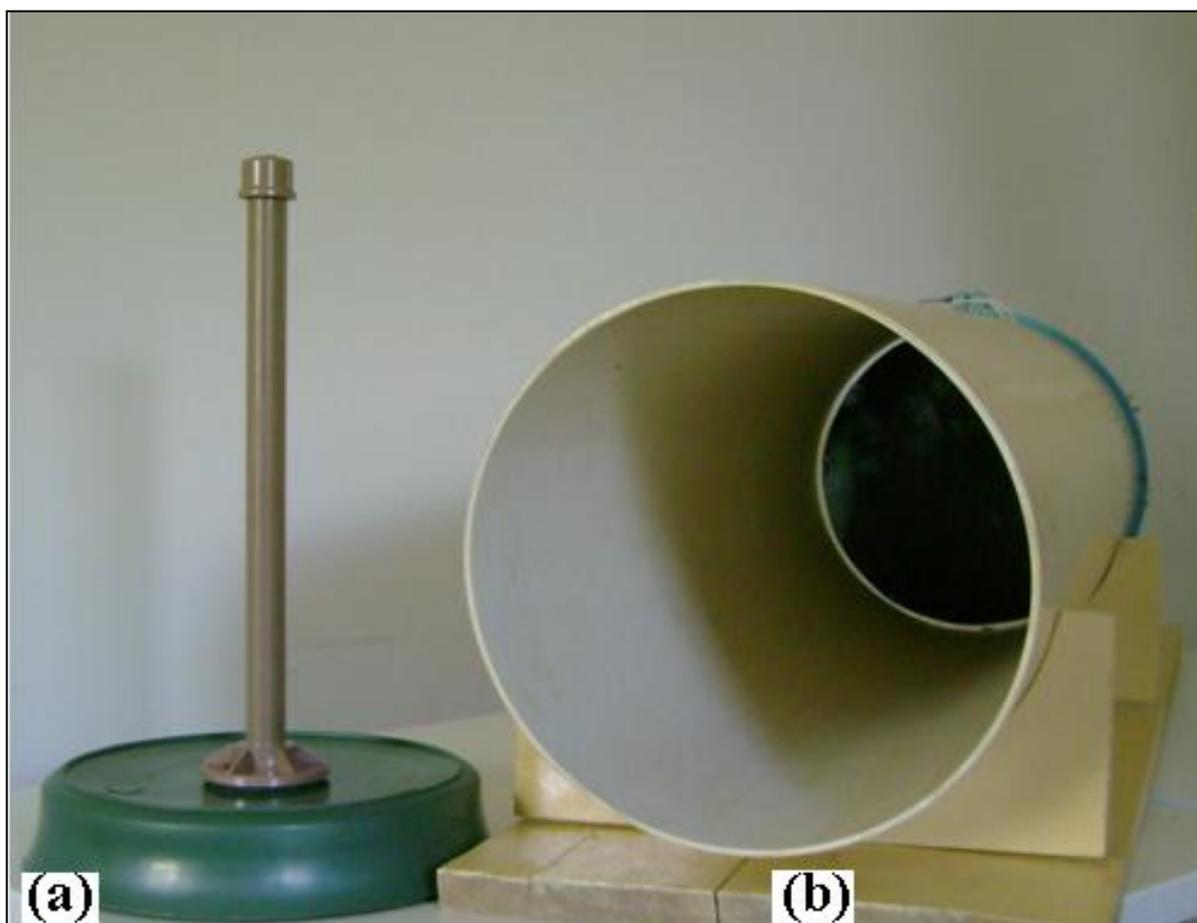


Figura 10 - a) Pistão construído para representar uma fonte sonora - fone de ouvido; b) Extremidade aberta do tubo onde será introduzida a fonte sonora/pistão.

Considerando a possibilidade de utilizar o dispositivo para estudar a propagação de uma onda sonora no ouvido externo e médio, iniciamos mais uma etapa de elaboração e construção de outros elementos que vão permitir complementar o dispositivo desenvolvido para o estudo de ondas sonoras e do funcionamento físico parcial do ouvido humano.

4.3 O DISPOSITIVO UTILIZADO PARA ESTUDAR A PROPAGAÇÃO DA ONDA SONORA DENTRO DO OUVIDO EXTERNO E MÉDIO: OUVIDO MECÂNICO

O sistema auditivo humano, apresentado no capítulo 4, é dividido em 03 (três) partes: **ouvido externo** que é composto pelo pavilhão auditivo, o conduto auditivo e a membrana timpânica; o **ouvido médio** composto pelos 03 (três) ossículos – martelo, bigorna e estribo e janela oval ou circular e o **ouvido interno**, formado pela cóclea e o labirinto. A figura 11 apresenta uma ilustração do sistema auditivo.

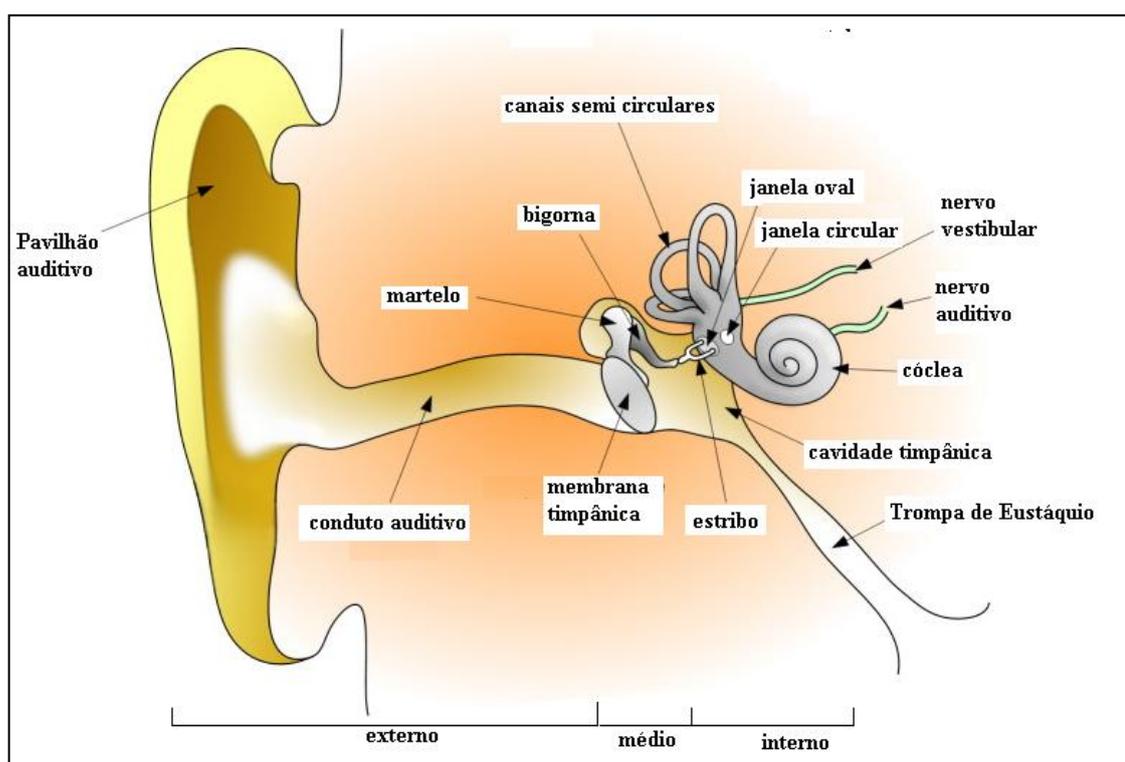


Figura 11 - Ilustração das partes do Sistema auditivo (adaptada de: <http://www.noiseoff.org/media/humana.ear.png> acesso em 23/02/2008).

De acordo com o seu funcionamento, as duas primeiras partes representadas pelo ouvido externo e médio envolvem unicamente processos mecânicos, que podem ser modelizados por meio de um dispositivo experimental.

O dispositivo experimental para o estudo de ondas (DEEDO) poderia ser utilizado para explicar o processo de recepção e transmissão de uma onda sonora dentro do ouvido externo. Entretanto, procurávamos um meio articulado para representar e explicar o funcionamento do ouvido médio.

O martelo, a bigorna e o estribo, que fazem parte do ouvido médio, constituem uma cadeia de pequenos ossos que fazem conexão entre o tímpano, (membrana que separa o ouvido externo do médio) e a janela oval (membrana que separa o ouvido médio do interno).

A área de conexão entre os ossículos possibilita a existência de uma articulação. O martelo, fortemente ligado ao tímpano recebe a vibração transmitida pela onda sonora ao ouvido externo transmitindo-a a bigorna, por meio de uma articulação entre ambos. O tímpano possui uma curta saliência com a qual estabelece a ligação com a bigorna. Esta última, por sua vez, possui uma saliência longa com a qual estabelece a ligação com o estribo. Essas saliências funcionam como braços de potência de uma alavanca interfixa, conforme mostrado na figura 12 abaixo.

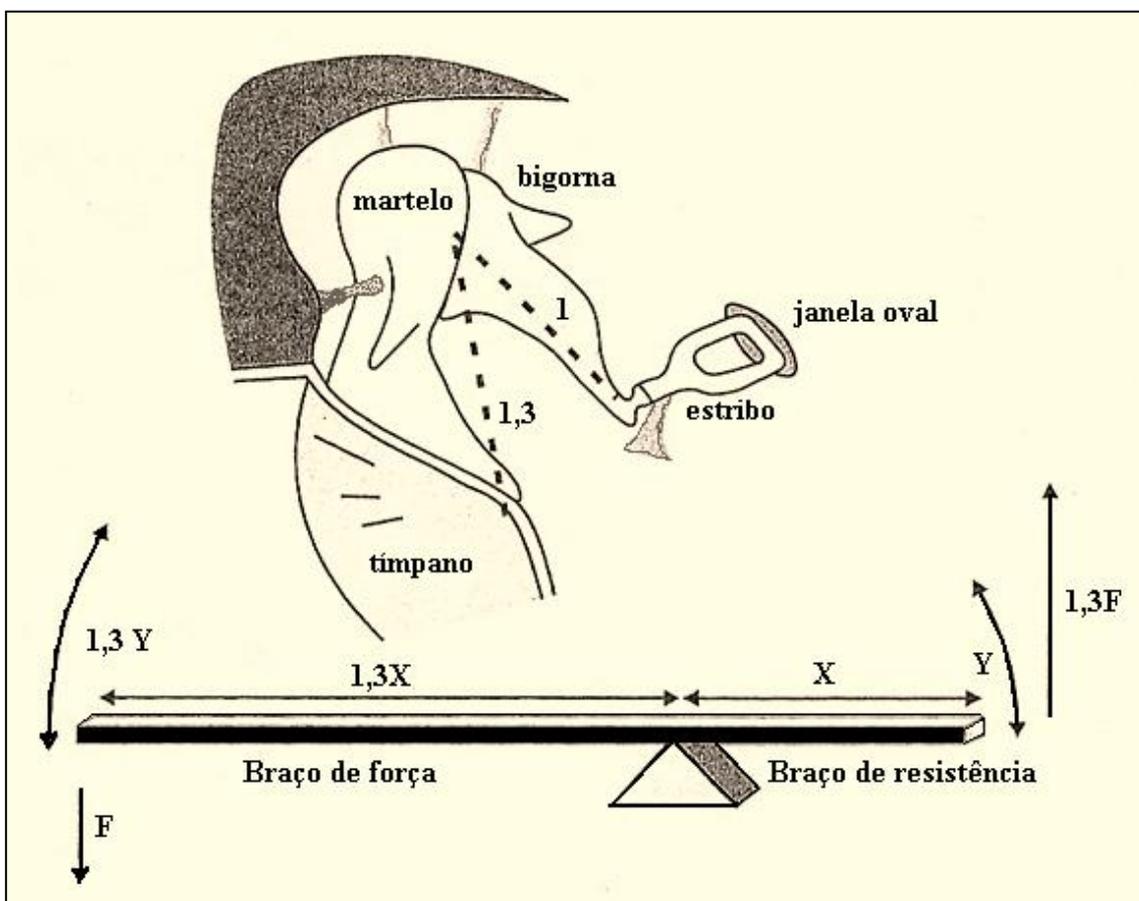


Figura 12 - Representação dos ossículos e ilustração do sistema de alavanca interfixa (adaptado de: MENEZES, CALDAS NETO e MOTTA, 2005, p. 128).

O martelo que recebe a energia sonora possui um braço de potência pequeno e a articulação que se estabelece com a bigorna representa o ponto fixo e a saliência da bigorna é o braço de potência longo. Esse sistema possibilita um ganho na energia transferido a janela oval.

Procuramos construir um protótipo para representar o funcionamento dos ossículos que permitisse explorar os efeitos da alavanca. No primeiro modelo, elaborado com lâmina de madeira, buscamos reproduzir separadamente o martelo, a bigorna e o estribo. Para conseguirmos as articulações utilizamos taxinhas e depois alfinetes, mas o atrito entre as peças que representavam os ossículos impossibilitava que o sistema se movimentasse de tal forma que pudéssemos explicar como alavancas interfixas. Para eliminar o atrito decidimos construir o sistema de ossículos como uma peça única, mostrada na figura 13 (a).

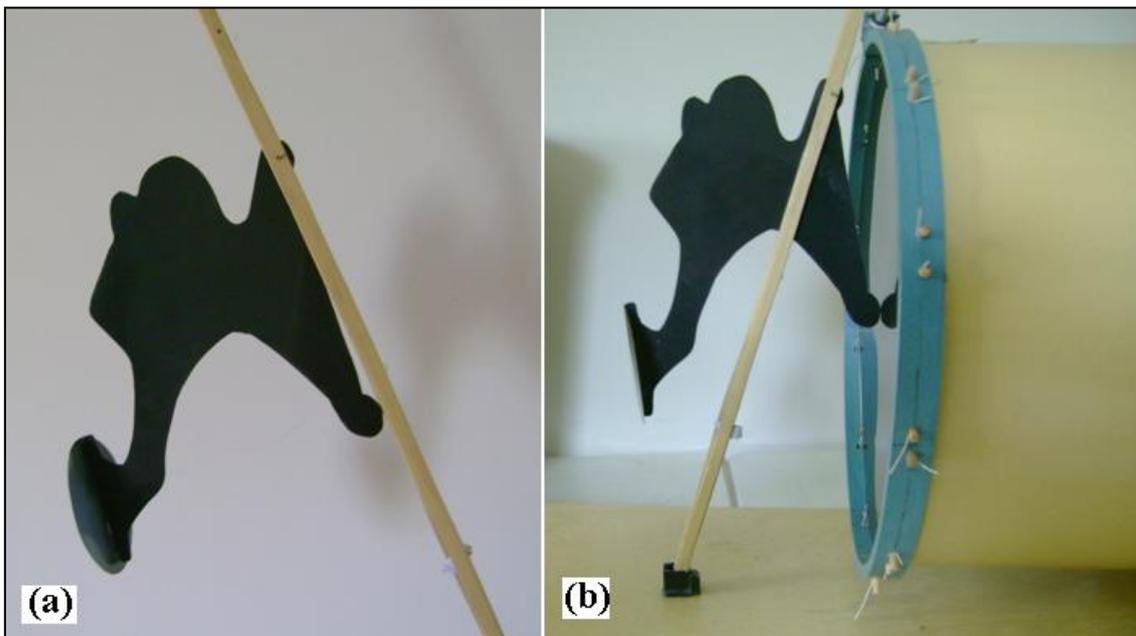


Figura 13 - (a) Detalhe da peça elaborada para representar os três ossículos (martelo, bigorna e estribo) e janela oval; (b) dispositivo *ouvido mecânico*.

A peça que representa os três ossículos foi construída com plástico de capa de DVD. A elaboração de uma peça única não nos possibilita explorar o ganho de energia no ouvido médio, devido ao sistema de alavanca, mas nos possibilitou representar a transmissão da energia e explorar o ganho de energia relacionado com a diferença entre as áreas do tímpano e da janela oval. Novos estudos e buscas foram realizados na tentativa de encontrar materiais que nos possibilitassem apresentar a articulação das peças e o sistema de alavanca interfixa que pudesse representar a transmissão da energia até a janela oval.

A janela oval foi elaborada e construída com material de radiografia, levando em consideração inclusive suas proporções em relação à membrana timpânica. Ela foi fixada com uma fina camada de cola na extremidade da peça que representa o estribo.

Esse material foi elaborado para ser acoplado ao dispositivo DEEDO, mostrado na figura 13 (b) de forma a representar as partes do ouvido externo (conduto auditivo e membrana timpânica) e do ouvido médio (martelo, bigorna, estribo e janela oval). Denominamos esse arranjo de dispositivo como *ouvido mecânico*.

O dispositivo *ouvido mecânico*, mostrado na figura 14, ficou assim constituído:

- Tubo de PVC de 250 mm – representa o conduto auditivo;
- Membrana elaborada com material de radiografia – representa o tímpano;
- Suporte de madeira para apoiar o tubo PVC;
- Peça de plástico de capa de DVD – representa os três ossículos;
- Suporte de madeira para fixar a peça que representa os ossículos;
- Balde de 20 litros – representa a fonte móvel;
- Pistão – representa o fone de ouvido;
- Fonte laser;
- Suporte para fonte laser;
- Suporte para sustentar o conduto auditivo.



Figura 14 - Dispositivo *ouvido mecânico*.

O dispositivo ouvido mecânico foi elaborado e construído para auxiliar o professor a explorar as propriedades de reflexão, refração e difração de uma onda, estudar a propagação, a transmissão e a amplificação do som dentro do ouvido externo e ouvido médio e possibilita ainda abordar os efeitos do uso inadequado do fone de ouvido.

CAPÍTULO 5

METODOLOGIA

Trata-se de uma pesquisa empírica quantitativa – qualitativa, em que buscamos verificar o efeito de uma proposta baseada no ensino experimental demonstrativo para o conteúdo de ondas, em particular para ondas sonoras, aplicada no segundo ano do Ensino Médio em uma Escola Estadual localizada no município de Campo Grande, Estado de Mato Grosso do Sul.

Esse nível escolar foi escolhido porque segundo as orientações presentes no Referencial Curricular⁶, elaborado pela Secretaria de Estado de Educação de Mato Grosso do Sul, sugere a abordagem do conteúdo de ondas sonoras no quarto bimestre do segundo ano do Ensino Médio e, nos livros didáticos em geral esse conteúdo é tradicionalmente apresentado no material destinado a este mesmo nível de ensino.

O delineamento escolhido para o desenvolvimento e análise da nossa proposta metodológica foi o delineamento quase experimental com grupo de controle não equivalente. Esse delineamento envolve grupos reunidos naturalmente, como é o caso de uma turma escolar, denominados de grupo experimental e de controle, que são submetidos a um pré e pós-teste antes e após a realização de uma intervenção (CAMPBELL, 1979).

A intervenção por nós realizada está relacionada com a testagem de uma metodologia de ensino, para o conteúdo de ondas, realizada no período de 23/11/09 a 02/12/09 com as turmas do grupo de controle e experimental.

Para a testagem e verificação proposta, elaboramos uma sequência didática constituída de quatro aulas de 50min (cinquenta minutos) cada, planejadas segundo uma metodologia de aula expositiva receptiva, baseada na teoria da aprendizagem significativa de Ausubel.

Na terceira e quarta aula da sequência preparamos uma metodologia do ensino experimental demonstrativo, utilizando dois dispositivos, elaborados e construídos com o objetivo de auxiliar o professor no desenvolvimento do conteúdo de ondas.

⁶ MATO GROSSO DO SUL. **Referencial Curricular para o Ensino Médio: Área de Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias**. Secretaria de Estado de Educação, MS, 2006.

5.1 ELABORAÇÃO DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA

A sequência didática foi constituída de quatro aulas. As aulas foram planejadas de acordo com a Teoria de Aprendizagem de David Ausubel. Um mapa conceitual, figura 15, elaborado com os conceitos chaves necessários para o estudo de ondas sonoras, foi usado como o recurso didático o para o desenvolvimento das aulas teóricas.

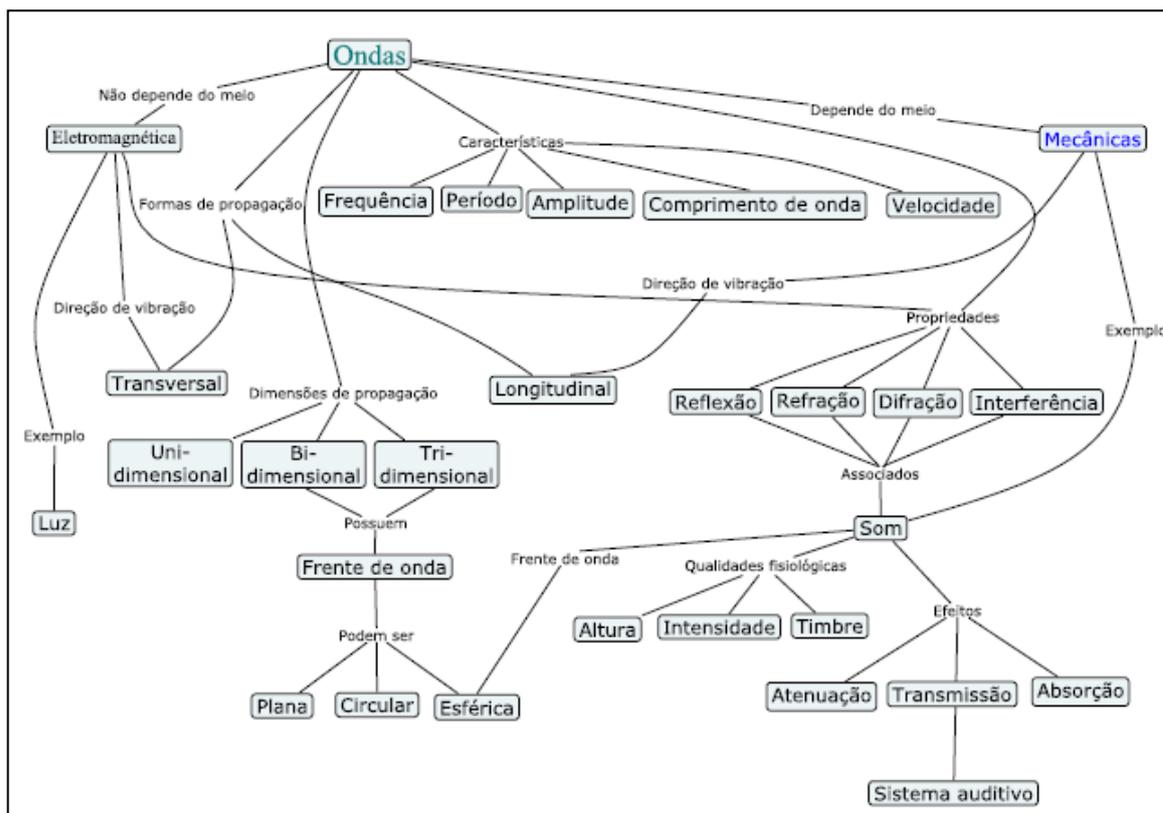


Figura 15 - Mapa conceitual de ondas.

Este mapa foi utilizado, principalmente, durante o desenvolvimento das duas primeiras aulas nas quais, inicialmente, os alunos foram questionados sobre o conceito de ondas para verificar a existência de conhecimentos prévios, os subsunçores, considerados necessários para a ocorrência da aprendizagem significativa de acordo com a Teoria de Ausubel.

A sequência didática foi aplicada apenas na turma do segundo ano do Ensino Médio escolhida como grupo experimental. Na outra turma, do mesmo nível e período, selecionada como grupo de controle, desenvolvemos o conteúdo sobre ondas sonoras seguindo uma

metodologia tradicional por meio de aulas expositivas, com algumas intervenções por parte dos alunos.

5.1.1 Planejamento das aulas expositivas receptivas

5.1.1.1 *A primeira aula: estudo sobre ondas*

A aula foi desenvolvida considerando-se os conceitos que os alunos já possuíam e, de acordo com a teoria de David Ausubel, os novos conteúdos a serem aprendidos seriam ancorados nesses conhecimentos prévios. Antes de iniciar a aula teórica os alunos foram solicitados para responder o que eles entendiam sobre ondas, e também para dar alguns exemplos sobre as ondas que eles conheciam. As respostas esperadas: ondas no rio, no mar, luz e som. Essas questões possibilitaram identificar os subsunçores existentes na estrutura cognitiva dos alunos, que são os conhecimentos necessários para que ocorra a aprendizagem dos novos conceitos sobre ondas. Portanto, os questionamentos iniciais tiveram como objetivo verificar se os alunos possuíam os subsunçores necessários para estabelecer uma ponte entre o que eles conheciam com novo conhecimento. O desenvolvimento da aula foi planejado para ser executado na forma expositiva, baseado na aprendizagem receptiva da teoria de Ausubel, discutida no capítulo 1 que trata do Referencial Teórico.

Para auxiliar a abordagem do conteúdo utilizamos uma mola tipo slink e uma corda de dois metros de comprimento, além do mapa conceitual.

O conceito de onda assim como as suas características, a frequência, o período, o comprimento de onda, a amplitude e a velocidade de propagação, foram introduzidos por meio de um mapa conceitual no qual esses conceitos foram discutidos de acordo com o princípio da diferenciação progressiva e a reconciliação integrativa, especificando como exemplos de ondas mecânicas, ondas sonoras. O plano desta aula encontra-se no apêndice A.

O objetivo estabelecido para a primeira aula da sequência foi que, ao término da mesma, os alunos estariam aptos a conceituar ondas, identificar os tipos de ondas existentes, explicitando suas características e reconhecendo o som como uma onda do tipo mecânica.

5.1.1.2 A segunda aula: estudo sobre ondas

A segunda aula também foi planejada considerando-se a teoria da aprendizagem significativa de David Ausubel, mas especificamente os princípios da diferenciação progressiva e reconciliação integrativa. O plano dessa aula se encontra no apêndice B.

Nesse planejamento, consideramos os conceitos apresentados na aula anterior como âncora para aprender os novos conceitos. Nesse sentido, iniciamos essa segunda aula fazendo uma breve revisão do conteúdo, questionando os alunos sobre os conceitos que foram abordados na aula anterior. Para fazer o fechamento dessa revisão utilizamos um painel denominado de “Lembrete” (apêndice J) onde foram listados, de forma resumida, os assuntos tratados na primeira aula: definição de onda, a classificação quanto a sua natureza (mecânica ou eletromagnética), a forma de direção de vibração das ondas (transversal ou longitudinal), número de direções de vibração (unidimensional, bidimensional e tridimensional) e características da onda (frequência, período, amplitude, comprimento de onda e velocidade).

Os conhecimentos novos discutidos nessa segunda aula foram os conceitos de frente de onda, qualidades fisiológicas do som (altura, intensidade e timbre) e as propriedades das ondas (reflexão, refração, difração, interferência, transmissão e atenuação).

5.1.2 Planejamento das aulas usando as atividades experimentais demonstrativas

As aulas destinadas à realização da atividade experimental demonstrativa, utilizando os dispositivos experimentais apresentados no capítulo 4, também foram planejadas segundo os princípios da diferenciação progressiva e reconciliação integrativa.

Antes de iniciarmos a atividade experimental questionamos os alunos sobre os conceitos que foram abordados nas duas aulas expositivas sobre ondas sonoras. Para finalizar a discussão, estimulada pelos questionamentos, utilizamos os painéis (lembretes) elaborados para apresentar de forma resumida os conceitos abordados: definição de onda, a classificação quanto a sua natureza (mecânica ou eletromagnética), a forma de direção de vibração das ondas (transversal ou longitudinal), o número de direções de vibração (unidimensional, bidimensional e tridimensional), as características físicas de uma onda (frequência, período, amplitude, comprimento de onda e velocidade), a definição de frentes de onda, qualidades fisiológicas do som e propriedades das ondas.

Finalizada a etapa de verificação de conhecimentos prévios para auxiliar o desenvolvimento das atividades experimentais, iniciamos os procedimentos planejados para o grupo experimental.

Duas atividades foram planejadas utilizando os dispositivos experimentais construídos:

- Atividade 01: desenvolvida com o dispositivo DEEDO, (descrito em detalhe no capítulo 4) que foi elaborada para abordar os conceitos de meio material, fonte sonora, frentes de onda, formas da frente de onda, amplitude e frequência de uma onda.
- Atividade 02: desenvolvida com o dispositivo ouvido mecânico (apresentado em detalhes no capítulo 4), elaborada para discutir, por meio da realização dos procedimentos experimentais, as propriedades de reflexão, refração e difração de uma onda, estudar a propagação, a transmissão e a amplificação do som no ouvido externo e ouvido médio e abordar os efeitos do uso inadequado do fone de ouvido.

Antes da aplicação definitiva da sequência para verificar os efeitos da metodologia proposta, realizamos um teste, com um grupo de alunos voluntários, que também cursavam o segundo ano do Ensino Médio em turno diferente dos grupos controle e experimental. Tínhamos como objetivo verificar a funcionalidade da sequência e do processo de coleta de dados – filmagem.

Ao analisar a filmagem dessas aulas, realizadas no teste piloto, constatamos que, apesar dos alunos participarem ativamente da atividade respondendo as perguntas que lhes foram feitas no desenvolver dos procedimentos, verificamos que essa forma de interação e a forma de registro das respostas dos alunos não nos permitiriam avaliar se o dispositivo havia ou não contribuído significativamente com o processo de aprendizagem dos alunos. Decidimos elaborar de um roteiro para registrar e acompanhar os alunos em cada uma das atividades planejadas (apêndice C).

O roteiro foi organizado e dividido em procedimentos e apresentava um determinado número de questões relacionadas com os conceitos que se pretendia abordar com a demonstração. Para cada questão destinamos dois espaços para respostas. No primeiro espaço os alunos eram solicitados a elaborar um texto expondo seu entendimento sobre o que aconteceria se determinado procedimento fosse realizado, tomando como referência os conceitos apresentados na abordagem do conteúdo de ondas durante a aula expositiva,

anteriormente realizada. No outro, os alunos poderiam complementar ou reelaborar sua resposta, caso achassem necessário, após a demonstração e realização do procedimento e discussão dos efeitos observados.

Para a opinião dos alunos sobre a sequência didática desenvolvida, aplicamos um opinário composto de oito questões objetivas e uma aberta, relacionadas com o desenvolvimento da atividade proposta.

5.2 AS ETAPAS DO ESTUDO QUANTITATIVO

De acordo com a metodologia de investigação escolhida, o estudo quantitativo do processo de aprendizagem dos conceitos de ondas sonoras teve como **hipótese a ser testada**: o desenvolvimento de atividades experimentais de demonstração a partir de um dispositivo experimental, elaborado e construído para estudar ondas, favorece o processo de aprendizagem de conceitos introdutórios sobre ondas sonoras e os conceitos relacionados ao funcionamento físico do ouvido humano.

Para verificarmos a validade da hipótese estabelecida realizamos um procedimento metodológico fundamentado no delineamento de pesquisa quase – experimental identificado por Campbell e Stanley (1979) como delineamento 10 (dez), com grupo de controle não-equivalente.

A escolha por este delineamento foi em função das opções que tínhamos para escolher os sujeitos que participaram da pesquisa porque nesse tipo de investigação a intervenção do pesquisador envolve dois grupos: um de controle e outro experimental, mas que são formados não aleatoriamente como, por exemplo, alunos de uma sala de aula naturalmente reunidos, onde se realiza a análise do ganho do pré-teste ao pós-teste. Segundo Campbell e Stanley:

[...] um esforço para explicar um ganho do pré-teste ao pós-teste, específico ao grupo experimental, em termos de fatores estranhos tais como histórias, maturação ou testagem, deve admitir como hipótese uma interação entre essas variáveis e as diferenças de seleção específicas que distinguem os grupos experimental e de controle. [...] Tal interação seleção – maturação (ou uma interação seleção – história ou ainda uma interação seleção – testagem) poderia ser tomada erroneamente pelo efeito de X [o tratamento] e, portanto, representa uma ameaça à validade interna do experimento (CAMPBELL E STANLEY, 1979, p. 83 - 84).

Para verificar o efeito da metodologia proposta e realizar a comparação entre o processo de aprendizagem entre a turma de controle, submetida a uma metodologia do tipo

tradicional com apenas aulas expositivas, e a turma experimental, em que foi utilizada a metodologia baseada na aprendizagem receptiva com o auxílio de atividades experimentais demonstrativas, elaboramos dois questionários de múltipla escolha, um pré-teste e um pós-teste. Esses testes abordaram conceitos relacionados com ondas sonoras e os processos de recepção, transmissão e amplificação de uma onda sonora no sistema auditivo.

Para testar se as questões selecionadas para compor o pré-teste e o pós-teste nos permitiriam coletar os dados necessários para verificar a aprendizagem dos conceitos de ondas, nas turmas controle e experimental fizemos a análise do coeficiente de fidedignidade ou da consistência interna dos testes.

Dentre as diversas maneiras de se estimar o coeficiente de fidedignidade dos questionários utilizamos o coeficiente alfa de Cronbach (CRONBACH,1951, apud MOREIRA e SILVEIRA, 1993). Nessa estimativa, realiza-se uma comparação entre o desempenho obtido pelos alunos em cada questão e relacionado ao teste como um todo. A ausência de uma correlação entre o resultado de uma questão e o resultado do teste é tomado como um indicativo de que aquela questão não está avaliando os mesmos atributos que as demais questões do teste.

Segundo Moreira e Silveira (1993, p. 77) “os métodos de consistência interna” não são utilizados unicamente com o objetivo de “estimar o coeficiente de fidedignidade” de um questionário, “mas também identificar itens [...] que não devem ser mantidos” no questionário “(itens ruins). A eliminação destes itens terá como consequência aumentar o coeficiente de fidedignidade”.

O valor a ser obtido em uma análise para calcular a fidedignidade, com o coeficiente alfa de Cronbach, é um número entre $-1 \leq \alpha \leq 1$. Quanto mais próximo de um (1) em módulo for o resultado obtido, mais homogêneo e confiável é o instrumento de coleta de dados.

Para verificar a fidedignidade do pré-teste e pós-teste utilizados na nossa investigação, aplicamos em dois grupos, também do segundo ano do Ensino Médio, mas que não faziam parte dos grupos selecionados para a turma de controle e experimental. Esses testes foram corrigidos e pontuados segundo as orientações apresentadas por Moreira e Silveira (1993). Com os dados obtidos na aplicação dos questionários realizamos um estudo estatístico das distribuições amostrais. Considerando que o número de alunos por sala é inferior a 30 (trinta), decidimos pela utilização da distribuição de pequenas amostras denominada t de Student com intervalo de confiança de 95%. Estabelecemos duas hipóteses e realizamos a

testagem da mesma pelas médias e a diferença entre as médias da sala controle e experimental, através da determinação da estatística t (SPIEGEL, 1979).

5.3 AS ETAPAS DO ESTUDO QUALITATIVO

Após uma leitura inicial das respostas elaboradas pelos alunos, nos roteiros que guiaram o desenvolvimento das atividades experimentais demonstrativas utilizando o dispositivo DEEDO e o Ouvido Mecânico, antes e após a realização dos procedimentos planejados, elaboramos as seguintes categorias de análise:

- Satisfatória – categoria utilizada para classificar as respostas elaboradas em conformidade com os conceitos apresentados nas aulas teóricas;
- Insatisfatória – categoria utilizada para classificar as respostas que não foram elaboradas segundo os conceitos apresentados na teórica.
- Parcialmente satisfatória – utilizamos essa categoria para classificar as respostas que não faziam uso de todos os conceitos apresentados nas aulas teóricas, mas apresentavam indícios de entendimento dos mesmos.
- Não respondeu – categoria utilizada para classificar as questões que não foram respondidas pelos alunos;
- Reelaborada – essa categoria foi utilizada para classificar as respostas reelaboradas após a realização do procedimento experimental. Consideramos para a classificação nessa categoria a elaboração de um texto diferente do apresentado na etapa que antecede a realização do experimento.
- Inalterada – categoria utilizada para classificar as respostas apresentadas após a realização do procedimento experimental em que os alunos reescreveram o mesmo texto apresentado na etapa anterior ou simplesmente escrevia “idem” no espaço dedicado a reelaboração da resposta.

Após a elaboração das categorias, realizamos uma segunda leitura para efetuarmos o enquadramento das respostas. Os resultados foram apresentados separadamente em tabelas nas quais indicamos para cada procedimento desenvolvido a quantidade de respostas classificadas por categorias. Na análise dos resultados apresentamos, para cada questão, algumas das respostas elaboradas pelos alunos a fim de embasar a discussão realizada.

CAPÍTULO 6

RESULTADOS E ANÁLISE DOS DADOS

Segundo Spiegel (1979), se os resultados obtidos nas comparações entre o grupo de controle e o experimental forem iguais ou menores que o valor t de Student, para o nível de significância escolhido, não existe diferença significativa entre as amostras, e a hipótese H_0 , que estabelece que a realização de atividades experimentais demonstrativas **não influencia** no processo de aprendizagem de conceitos de ondas, não pode ser rejeitada. Em caso de obtermos um valor superior ao valor t de Student, para o nível de significância escolhido, a H_0 é rejeitada e a diferença entre as amostras é significativa.

A análise dos dados obtidos durante o desenvolvimento da pesquisa foi dividida em duas etapas: a) uma análise quantitativa realizada com base no tratamento estatístico de pequenas amostras entre o desempenho obtido pelos alunos do grupo experimental e do grupo de controle, conforme as respostas apresentadas no pré-teste (apêndice F) e pós-teste (apêndice G) de acordo com procedimento metodológico fundamentado no delineamento de pesquisa quase experimental discutido no capítulo 5; b) uma análise qualitativa baseada nas respostas apresentadas pelos alunos nos roteiros (apêndice D e E) elaborados para orientar a participação dos alunos antes e durante a atividade experimental demonstrativa.

6.1 ANÁLISE DOS RESULTADOS DO PRÉ E PÓS-TESTE DO GRUPO EXPERIMENTAL E DE CONTROLE

Desejando avaliar a utilização dos dispositivos experimentais demonstrativos, elaborados e construídos para estudar ondas - DEEDO e o Ouvido Mecânico, buscamos verificar se existe ou não diferença estatisticamente significativa entre os resultados obtidos entre duas turmas do segundo ano de uma escola pública. O dispositivo experimental foi utilizado em uma delas para complementar o desenvolvimento de uma sequência de aulas expositivas sobre os conceitos de onda e onda sonora. Na outra turma, o mesmo professor desenvolveu o mesmo conteúdo, como habitualmente o faz, expondo o assunto com algumas solicitações de participações dos alunos ao longo da aula. A turma em que o experimento foi

utilizado foi denominada de grupo experimental e a outra turma, em que foi realizada a aula expositiva tradicional, foi denominada grupo de controle.

De acordo com o delineamento escolhido para essa pesquisa, elaboramos um pré-teste e um pós-teste para verificar se há uma diferença significativa entre os dois tratamentos.

Para verificar a fidedignidade do pré-teste e pós-teste, utilizados na nossa investigação, aplicamos esses testes em dois grupos, também do segundo ano do Ensino Médio, mas que não faziam parte dos grupos selecionados para a turma de controle e experimental. Os testes foram corrigidos e pontuados segundo as orientações apresentadas por Moreira e Silveira (1993).

Os resultados dessa testagem indicaram que o pré-teste, elaborado inicialmente com 15 questões de múltipla escolha, após a análise de correlação para estimar o coeficiente de fidedignidade, por meio do coeficiente alfa de Cronbach, ficou composto com seis questões para um $\alpha = 0,85$. O pós-teste elaborado com 20 questões de múltipla escolha, para um $\alpha = 0,90$, ficou composto com nove questões.

Os valores do alfa de Cronbach obtidos para o pré-teste e o pós-teste garantiram a homogeneidade das questões e deu confiabilidade aos questionários utilizados como instrumento de coleta de dados.

O pré-teste foi aplicado na turma experimental e de controle antes da execução da primeira aula teórica programada para abordar os conceitos de ondas e ondas sonoras. O pós-teste foi aplicado na turma de controle após a terceira aula programada para apresentar a teoria e na sala experimental após o desenvolvimento das atividades experimentais demonstrativas.

Com os dados obtidos, na aplicação do pré-teste e do pós-teste na sala de controle e experimental, realizamos um estudo estatístico das distribuições amostrais. Considerando que o número de alunos por sala é inferior a 30, decidimos pela utilização da distribuição denominada t de Student com intervalo de confiança de 95% (SPIEGEL, 1979).

Estabelecemos duas hipóteses para serem testadas:

H₀: a realização de atividades experimentais demonstrativas **não contribui** com o processo de aprendizagem de conceitos de ondas e ondas sonoras.

H₁: a realização de atividades experimentais demonstrativas **contribui** com o processo de aprendizagem de conceitos de ondas e ondas sonoras.

Para verificar essa hipótese inicial H_0 convertemos as respostas dos alunos, fornecida no pré-teste e pós-teste, em valores numéricos, de acordo com os dados mostrados na tabela 1 abaixo.

Tabela 1 - Valores para conversão dos escores obtidos pelos alunos no pré-teste e pós-teste.

RESPOSTA	PRÉ-TESTE	PÓS-TESTE
Correta	1,67	1,11
Errada	0,00	0,00

Com a conversão dos dados obtidos na aplicação do pré-teste e do pós-teste, no grupo experimental e de controle, realizamos a comparação dos cálculos da média, do desvio padrão e um estudo estatístico das distribuições amostrais, fazendo uso do teste t de Student com nível de significância 0,05.

6.1.1 Resultados do pré-teste

Os alunos da turma selecionada como grupo experimental e de controle foram submetidos ao pré-teste para verificar a existência de conhecimentos prévios sobre o conteúdo de ondas e ondas sonoras antes da realização das aulas expositivas.

Calculamos a média e o desvio padrão de cada grupo, obtendo-se os seguintes valores: i) *Grupo experimental*: média (X_1) igual a 5,628 e desvio padrão (dp_1) igual a 1,679; ii) *Grupo de controle*: média (X_2) igual a 5,474 e desvio padrão (dp_2) igual a 1,698, com base no tratamento estatístico para pequenas amostras (SPIEGEL, 1979).

Considerando nível de significância 0,05 para o estudo estatístico das distribuições amostrais, fazendo uso do teste t de Student, obtemos o valor:

$$t = 0.255$$

Para verificar a significância estatística, fizemos uso do valor apresentado na tabela Distribuição t de Student (Spiegel, 1979) para grau de liberdade (gl) igual a 54 (cinquenta e quatro) com nível de significância estatística de 0,05. O valor de t de Student, nessas condições é $t = 2,009$.

Considerando que o valor por nós obtido é inferior ao valor tabelado para grau de liberdade 54(cinquenta e quatro) e nível de significância 0,05 ($t = 0,255 < t_{0,05} = 2,009$) podemos concluir que as turmas eram homogêneas nas variáveis as quais foram testadas.

6.1.2 Pós-teste: grupo experimental X grupo controle

Ao realizarmos o tratamento estatístico entre o grupo experimental e o de controle buscamos informações para verificar a validade da hipótese inicial H_0 de que a realização de atividades experimentais demonstrativas **não influencia** no processo de aprendizagem de conceitos de ondas.

Calculamos a média e o desvio padrão do pós-teste de cada grupo, obtendo-se os seguintes valores:

i) *Grupo experimental*: média (X_1) igual a 6,837 e desvio padrão (dp_1) igual a 1,867; ii) *Grupo de controle*: média (X_2) igual a 5,748 e desvio padrão (dp_2) igual a 1,897, com base no tratamento estatístico para pequenas amostras (SPIEGEL, 1979).

Considerando nível de significância 0,05 para o estudo estatístico das distribuições amostrais, fazendo uso do teste t Student, obtemos o valor:

$$t = 4,080 > t_{0,05} = 2,009$$

Ao compararmos o resultado obtido no pós-teste pelo grupo de controle, após a realização das aulas expositivas sobre ondas e o resultado obtido pelos alunos do grupo experimental, após a realização da aula expositiva e da atividade experimental demonstrativa sobre ondas o nível de significância estatística encontrado é superior ao valor apresentado na tabela de distribuição t de Student $t = 4,080 > t_{0,05} = 2,009$.

Esse resultado nos permite afirmar com uma probabilidade de 95% de que os resultados obtidos, pelos alunos do grupo experimental, provavelmente foram influenciados pelo desenvolvimento das atividades experimentais demonstrativas e que estas contribuíram para o desempenho dos mesmos no pós-teste.

Os resultados obtidos com as comparações realizadas entre os grupos controle e experimental apresentam um valor de t de Student ($t= 4,080$) superior ao valor apresentado na tabela de distribuição T de Student (Spiegel,1979) para nível de significância $\alpha=0,05$

($t_{0,05} = 2,009$). Neste caso podemos rejeitar a hipótese H_0 e considerar que **a realização de atividades experimentais contribui com o processo de aprendizagem de conceito de ondas e ondas sonoras**. Isso nos permite afirmar que existe 95% de confiança (ou uma chance de 5% de erro) que a diferença entre os grupos pode ser atribuída ao efeito da metodologia utilizada no grupo experimental.

6.2 ANÁLISE DAS RESPOSTAS DOS ROTEIROS DA ATIVIDADE EXPERIMENTAL DEMONSTRATIVA

Os roteiros elaborados para o desenvolvimento das atividades experimentais demonstrativas com o dispositivo DEEDO e o Ouvido Mecânico apresentavam para cada questão dois espaços destinados às respostas dos alunos. No primeiro espaço o aluno deveria responder as questões com base nos conhecimentos adquiridos na aula expositiva antes da realização do procedimento e no segundo ele poderia elaborar uma nova resposta, caso achasse necessário, após a realização da atividade experimental demonstrativa.

Para realizar a análise das respostas dadas pelos alunos presentes nos roteiros das atividades experimentais demonstrativas, antes e após a realização do procedimento previsto, fizemos uso das categorias de análise apresentadas e detalhadas no *capítulo 5*.

Os resultados obtidos em cada uma das atividades estão apresentados separadamente de acordo com os procedimentos realizados ao longo da aula de demonstração. Para facilitar a visualização desses resultados elaboramos uma tabela onde são apresentados: o procedimento realizado, a identificação das questões apresentadas aos alunos e, para cada categoria, a frequência das respostas apresentadas.

O grupo experimental foi composto inicialmente por 30 alunos, mas apenas 27 participaram das duas atividades experimentais programadas: Utilização do dispositivo DEEDO e o Ouvido mecânico. Para facilitar a apresentação dos dados durante a análise realizada, cada aluno foi identificado pela letra A e um número atribuído aleatoriamente.

As atividades experimentais demonstrativas realizadas com o dispositivo DEEDO e com o Ouvido Mecânico foram elaboradas de acordo com a teoria de Ausubel com base na aprendizagem por recepção e no princípio da diferenciação progressiva e da reconciliação integrativa.

Num primeiro momento, antes de iniciar as atividades demonstrativas, os alunos foram solicitados a responderem as questões presentes nos roteiros elaborados para orientar o desenvolvimento das mesmas, e também para verificar as ideias prévias desses alunos e a ocorrência de alguns conceitos subsunçores necessários para elaborar suas respostas. Após a realização das respectivas atividades demonstrativas com a participação oral dos mesmos, conforme descrevemos na metodologia, eles foram solicitados novamente a rever suas respostas.

Tomando por referência os princípios da diferenciação progressiva e reconciliação integrativa, em que o conceito mais geral foi apresentado primeiro e os mais específicos depois, as atividades foram baseadas em processos de idas e vindas planejados com o objetivo de realizarmos uma revisão dos conceitos apresentados na aula expositiva que estavam sendo abordados no desenvolver da atividade. O grupo era questionando sobre o que havíamos discutido e estudado na aula expositiva e convidados a verificar no mapa conceitual os conceitos que estávamos explorando e utilizá-los para explicar o que eles achavam que poderia acontecer ao realizar o procedimento proposto. Buscamos, a todo o momento, estimular os alunos a participarem ativamente do desenvolvimento proposto.

Além desta participação oral, destacamos o envolvimento do grupo no desenvolvimento da atividade de demonstração por meio dos roteiros sob a forma escrita. Das 17 questões elaboradas, o que corresponde a um total de 459 respostas, apenas três respostas foram classificadas na categoria não respondeu antes da realização do procedimento e em nenhum caso os alunos deixaram de fazer o registro de sua resposta após o desenvolvimento do procedimento.

6.2.1 Dispositivo DEEDO: atividade experimental demonstrativa 1

O dispositivo DEEDO, mostrado na figura 16, foi elaborado e construído para auxiliar o professor a abordar os conceitos de: meio material, fonte sonora, frentes de onda, formas da frente de onda, amplitude de vibração longitudinal e frequência de uma onda, e as propriedades associadas às ondas (reflexão, refração e difração de uma onda).



Figura 16 - Dispositivo DEEDO, utilizado nos procedimentos da atividade experimental 1.

O roteiro proposto para orientar a atividade experimental 1 (apêndice D) possui quatro procedimentos, compostos por questões relacionadas aos conceitos que se pretende abordar com a demonstração.

A sequência das atividades e discussões foram planejadas seguindo uma organização ausubeliana, de acordo com os conceitos discutidos e apresentados em um mapa conceitual (mostrado anteriormente na figura 15), utilizado como recurso didático nas aulas expositivas que antecederam a aula experimental demonstrativa no grupo experimental.

6.2.1.1 Análise das respostas relativas ao procedimento 1.1: o balde como fonte sonora e a propagação do som

Neste procedimento uma única questão foi apresentada aos alunos com o objetivo de verificar os conhecimentos relacionados ao conceito de ondas e, em particular, às ondas sonoras, que foram diferenciados nas aulas expositivas que antecederam a atividade experimental demonstrativa. As atividades demonstrativas permitiram discutir os processos envolvidos com a audição humana e realizar uma reconciliação integrativa dos conceitos-chaves sobre ondas sonoras.

A questão elaborada para iniciar as discussões foi:

1. Quando batemos no balde com a mão, ele entra em vibração e um som é produzido. Explique como esse som chega até os nossos ouvidos.

Esperávamos encontrar nas respostas dos alunos uma descrição sobre a necessidade de um meio material para propagar o som produzido pelo balde, pois o som é classificado como uma onda mecânica. Trata-se de uma perturbação provocada pelo balde que se propaga no espaço em três dimensões, por meio de frentes de onda de forma esférica. Essas frentes de onda ao atingirem a orelha são refletidas e direcionadas para o canal auditivo, o qual transmite a vibração recebida à membrana timpânica. Ao atingir o tímpano ele começa a vibrar e essa vibração é transmitida aos ossículos, os quais produzem a amplificação do som que foi transmitido ao ouvido interno onde finalmente ocorre a percepção da onda sonora produzida no balde.

Para classificar as respostas nas categorias elaboradas fizemos uso de um conjunto de palavras chave: **vibração mecânica, meio material, frente de onda, três dimensões ou tridimensional, esférica, conduzidas pelo conduto auditivo, produzem vibração no tímpano, transmissão/amplificação pelos ossículos.**

A resposta classificada como satisfatória é aquela em que, na etapa que antecedeu a realização do procedimento, o aluno fez uso de no mínimo cinco ou mais dessas palavras para elaborar uma resposta coerente ao questionamento realizado. Se ele utilizou até quatro dessas palavras, a resposta foi classificada como parcialmente satisfatória e se ele não fez uso de nenhuma dessas palavras, a resposta foi enquadrada como insatisfatória.

Após a realização do procedimento, para o aluno que elaborou um novo texto ou complementou com o que já tinha redigido, sua resposta foi classificada como reelaborada, e se manteve sua resposta foi enquadrada como inalterada.

O resultado da classificação realizada com as respostas obtidas, antes e após a realização do procedimento, para a primeira questão do roteiro da atividade 01 está sintetizado na tabela 2.

Tabela 2 - Classificação das respostas do procedimento 01 da atividade experimental 1.1.

PROCEDIMENTO 01: O BALDE COMO FONTE SONORA E A PROPAGAÇÃO DO SOM						
	Resultados evidenciados nas respostas dadas antes da realização do procedimento demonstrativo				Resultados evidenciados nas respostas elaboradas após a realização do procedimento	
Questões	Satisfatória	Insatisfatória	Parcialmente satisfatória	Não respondeu	Reelaborada	Inalterada
1	5	4	18	0	26	1

Entre as 27 respostas dadas pelos alunos antes de realizar a atividade demonstrativa, apenas cinco apresentaram pelo menos cinco das palavras chaves, portanto, classificadas como satisfatória. Um exemplo é a resposta elaborada pelo aluno A₂₆.

A₂₆: “O som é uma onda mecânica e necessita de um meio para se propagar, no caso o ar. Vem em ondas esféricas, entra no canal auditivo, atravessa o tímpano, é amplificado pelo martelo, bigorna e estribo e depois transformado de onda mecânica em eletromagnética pela cóclea”.

Dezoito (18) respostas apresentaram até quatro dessas palavras chave como, por exemplo, as respostas dos alunos:

A₃: “Ele chega em nossos ouvidos através das frentes de onda que se propaga, em forma de uma onda esférica, até chegar ao nosso canal auditivo”.

A₂₁: “O som como sendo uma onda esférica chega até o ouvido; acontece a reflexão ele passa pelo tímpano chegando na cóclea”.

A₄: “Pela frente de onda esférica”.

A₁₉: “A mão provoca uma frente de onda que se propaga através do ar longitudinalmente e tridimensionalmente”.

Em quatro respostas foram classificadas como insatisfatória, como é o caso do aluno A₅.

A₅: “Pela amplitude”.

Como dissemos anteriormente, buscávamos verificar, nas respostas elaboradas pelos alunos, por meio desta questão que antecedeu a realização do procedimento experimental demonstrativo, quais conhecimentos discutidos nas aulas anteriores haviam sido mobilizados. Finalizada essa etapa, iniciamos o procedimento experimental utilizando o balde como fonte sonora. Além do balde, utilizamos a fonte laser direcionada para membrana, de tal forma que fosse possível refletir na parede a vibração transmitida com a perturbação produzida no balde.

Para que os alunos participassem da realização do procedimento, procuramos manter uma discussão sobre o que era necessário para que o balde se tornasse uma fonte capaz de produzir uma onda sonora que atingisse nosso ouvido. Buscando integrar os conceitos apresentados na aula expositiva, discutimos, com o grupo que ao bater no balde, a perturbação produzida faria com que ele entrasse em vibração. E que essa perturbação era transmitida para as partículas de ar que o circundavam, e assim por diante, até atingirem nosso ouvido. O ar foi o meio material utilizado para transportar a onda sonora produzida pela

vibração do balde, e as frentes de onda que chegavam até nossa orelha, sendo propagadas longitudinalmente em três dimensões.

Após a realização do procedimento experimental apenas uma resposta, classificada anteriormente como satisfatória, manteve sua resposta, os demais alunos fizeram a revisão das respostas acrescentando algum detalhe ou até mesmo refazendo toda a resposta. O aluno A₂₆ acrescentou ao texto inicial o trecho abaixo.

A₂₆: “primeiro é criado numa fonte, o som se propaga até chegar aos nossos ouvidos”.

Os alunos A₃ e A₅ elaboraram uma nova resposta.

A₃: “Ele chega em nossos ouvidos através da vibrações e das frentes de onda, que se propaga no meio material através de uma região perturbada e não perturbada, em forma de onda esférica, até chegar ao nosso canal auditivo”.

A₅: “Para que eu possa ouvir um som preciso de uma fonte e também de uma tridimensional”.

As respostas dos três casos exemplificados acima, dadas após a realização do procedimento, sugerem que a demonstração seguida de discussões contribuiu para que as informações que não haviam sido ancoradas por meio das aulas expositivas passassem a ser relacionadas com os conhecimentos que eles já sabiam sobre o assunto abordado, apesar de que em nenhum dos três casos eles chegaram a reelaborar uma resposta de tal modo que apresentassem todos os conceitos esperados.

No caso do aluno A₂₆, que já havia demonstrado ter conhecimentos sobre o assunto, verificamos que após a realização do experimento ele complementou sua questão falando da necessidade de uma fonte para produzir a perturbação que dá origem a onda sonora. O mesmo podemos dizer sobre a resposta do aluno A₃, que reescreveu seu texto acrescentando que o som necessita de um meio material para se propagar.

O aluno A₅, que anteriormente havia elaborado uma resposta classificada como insatisfatória, ao rever sua resposta, após a realização do procedimento experimental demonstrativo, reelaborou sua resposta, o que possibilitou mudá-la de categoria para parcialmente satisfatória.

6.2.1.2. Análise das respostas relativas ao procedimento 1.2: Analisando a vibração e a frente de onda

Este procedimento teve por objetivo analisar e integrar os conhecimentos dos alunos sobre a natureza da onda produzida por uma perturbação. Ele foi composto por três questões:

2.1 Se o balde não está encostado na membrana como é que ela começa a vibrar quando eu produzo a vibração nele?

2.2 Que tipo de onda eu estou produzindo?

2.3 Qual é mesmo a diferença entre uma onda eletromagnética e uma onda mecânica?

As respostas obtidas foram classificadas segundo as categorias de análise elaboradas e os resultados são apresentados na tabela 3 abaixo.

Tabela 3 - Classificação das respostas obtidas nas questões do procedimento 1.2

PROCEDIMENTO 02: ANALISANDO A ONDA QUANTO A SUA NATUREZA						
	Resposta elaborada antes da realização do procedimento				Resposta elaborada após a realização do procedimento	
Questões	Satisfatória	Insatisfatória	Parcialmente satisfatória	Não respondeu	Reelaborada	Inalterada
2.1	5	14	8	0	25	2
2.2	0	5	22	0	8	19
2.3	22	1	4	0	15	12

Na primeira questão esperávamos que os alunos respondessem que a energia que estava produzindo a vibração do balde é transmitida para as partículas do meio, no caso o ar, que também passam a vibrar e essa energia é transferida de uma parte para outra até atingirem a membrana que só então começa a vibrar.

Dos 27 alunos que participaram da atividade, cinco elaboraram respostas que foram classificadas como satisfatória para esta questão, como por exemplo, a resposta dada pelo aluno A₁₈:

A₁₈: “Ele começa a vibrar por causa da energia transmitida”.

Oito alunos elaboraram respostas que foram classificadas na categoria parcialmente satisfatória, como é o caso do aluno A₁₄:

A₁₄: “As ondas emitidas pela fonte sonora carrega partículas e energia, que chegam até a membrana produzindo vibração”.

Neste caso a resposta poderia ser considerada como satisfatória se não fosse evidenciado que o aluno A₁₄ apresenta a concepção de que onda transporta matéria, como podemos observar na sua resposta ao afirmar que “as ondas carregam partículas”. Trata-se de

uma concepção espontânea muito comum entre os alunos que ainda não estudaram ondas. Diante de tal fato classificamos a resposta como parcialmente satisfatória.

A maioria dos alunos apresentou respostas confusas, como podemos ver nas respostas dos alunos A₂₂ e A₂₇:

A₂₂: “Porque a membrana é um obstáculo pelo qual o som quer passar”.

A₂₇: “Quando uma onda se propaga para a membrana, ela vibra devido a amplificação e amplitude junto com a frequência”.

Após os alunos terem elaborado essas respostas iniciamos a realização do procedimento experimental. Com a fonte laser posicionada de modo a refletir na parede da sala a vibração produzida na membrana, começamos a produzir de forma sequenciada perturbações com o balde, batendo no fundo do mesmo. Essas perturbações foram produzidas a uma distância de aproximadamente 20,0cm da membrana, num primeiro momento, e depois distanciado de um metro. Essa variação teve por objetivo demonstrar a diferença na intensidade da vibração da membrana conforme sua proximidade com a fonte. Para favorecer a participação ativa dos alunos durante a realização do procedimento experimental os alunos eram questionados sobre os conceitos apresentados na aula expositiva. Na discussão realizada buscamos conduzi-los a concluir que a onda produzida com o balde é uma onda sonora e sendo assim deve ser classificada como mecânica, pois necessita de um meio material para se propagar e que se deslocam na forma de frentes de ondas esféricas, no espaço, e se propagam longitudinalmente em três dimensões.

Após a realização do procedimento experimental apenas dois alunos dentre as cinco respostas classificadas como satisfatória, mantiveram o texto elaborado. Os demais elaboraram um novo texto ao rever as suas respostas dadas antes da demonstração e discussões realizadas com o dispositivo experimental 01.

A₁₈: “Vibra porque ela carrega energia, transmitindo as partículas do meio até atingi-la”.

A₁₄: “Uma fonte sonora necessita de um meio para se propagar, e o som se propaga carregando energia que chegando até a membrana produz vibrações”.

A₂₂: “Isso acontece porque a onda carrega somente energia e não matéria”.

A₂₇: “Pois através do ar ela carrega energia até a membrana fazendo com que ela vibre. Quanto maior a intensidade da batida no balde, maior a energia e maior a vibração na membrana”.

Nesta questão os resultados, as elaborações de novas respostas, sugerem que a realização do procedimento contribuiu para que os alunos compreendessem que a onda transfere energia e que não ocorre o transporte de matéria durante essa propagação. Todos os alunos que haviam respondido errado à questão antes do procedimento, após a aula experimental demonstrativa reelaboraram uma nova resposta fazendo uso dos conceitos abordados.

Na questão dois, ao perguntar aos alunos que tipo de onda estava sendo produzida quando batíamos no fundo do balde, tínhamos por objetivo verificar se eles haviam compreendido que o som é uma onda classificada como mecânica, do tipo longitudinal e que quanto ao número de direções de vibrações é denominada tridimensional e a forma da frente de ondas no espaço é esférica.

Nessa questão a maioria dos alunos elaborou uma resposta apresentando pelo menos uma das palavras chave: onda mecânica, longitudinal, tridimensional ou esférica como, por exemplo, as resposta de A_{13} e A_{11} .

A_{13} : “esférica”.

A_{11} : “mecânica”.

Ao reverem suas respostas, após a realização do procedimento, esses alunos mantiveram suas respostas.

Cinco alunos tiveram suas respostas classificadas como insatisfatória como, por exemplo, a resposta do aluno A_{21} , que respondeu simplesmente “Onda plana”. Esse aluno ao rever sua resposta, após a realização do procedimento experimental demonstrativo, elaborou um novo texto, corrigindo o anterior.

A_{21} : “Onda longitudinal, mecânica”.

Apesar de oito alunos elaborarem um novo texto reformulando as suas respostas, nenhum deles apresentou uma resposta conforme havíamos previsto: o som é uma onda mecânica, tridimensional e longitudinal. Um dos fatores que devemos levar em consideração para tal resultado é que, a questão pedia o tipo de onda produzido, ao invés de perguntar que tipo de onda em relação a sua natureza (mecânica ou eletromagnética) ao número de dimensões de propagação (unidimensional, bidimensional ou tridimensional) e a direção de vibração (transversal ou longitudinal). Nesse sentido, deixamos a resposta muito aberta, pois está correto dizer que o som é uma onda mecânica apenas, ou somente longitudinal ou ainda tridimensional e essas respostas não poderiam ser consideradas como insatisfatória.

Na terceira e última questão deste procedimento perguntamos sobre a diferença entre uma onda eletromagnética e uma onda mecânica. Nessa questão esperávamos que os alunos respondessem que uma das diferenças fundamentais é que uma onda mecânica necessita de um meio para a propagação de uma perturbação enquanto que a onda eletromagnética pode se propagar na ausência deste.

A maioria, o que corresponde a 22 alunos, apresentou essa diferenciação ao elaborar sua resposta mesmo antes da realização do procedimento, mantendo-a após a realização da atividade. Essa resposta sugere que esses conceitos foram assimilados de forma significativa nas aulas que antecederam a aula com os dispositivos, e que podem servir de subsunções para a ancoragem de outros novos conceitos.

A₂₅: “A onda mecânica necessita de um meio material para se propagar e a eletromagnética não precisa de um meio”.

No espaço destinado a revisão da resposta o aluno A₂₅ escreveu “Idem”, o que indica que manteve sua resposta após a realização do procedimento.

Apenas um aluno teve sua resposta classificada como insatisfatória, tanto antes da realização do procedimento experimental, quanto no espaço destinado à reelaboração da resposta. Após a realização do procedimento ele redigiu o mesmo texto.

A₂: “mecânica→transporta matéria, necessita de um meio material.
Eletromagnética→ não necessita de um meio material”.

6.2.1.3 Análise das respostas relativas ao procedimento 1.3: abordando a transmissão e a atenuação da energia sonora

Este procedimento da atividade experimental 1 teve por objetivo analisar e integrar os conhecimentos dos alunos sobre a transmissão e a atenuação da energia. Ele é composto por cinco questões:

3.1 Quando perturbamos o balde próximo à membrana fina ela passou a vibrar porque a perturbação foi transmitida às partículas do meio até atingi-la. Agora, ao invés de produzir a vibração nessa extremidade que possui a membrana vou produzir a

perturbação desse outro lado, na extremidade aberta do tubo. O que vocês acham que vai acontecer com a membrana: ela vibrará mais, menos, igual ou não vibrará? Por quê?

3.2 Quando temos uma fonte sonora aqui no meio da sala como é a frente de onda dessa fonte? De que forma ela se propaga?

3.3 Como é a frente de onda produzida no balde? E a que atinge a membrana?

3.4 Por que a vibração aumenta quando a perturbação é produzida na extremidade aberta do tubo?

3.5 Se em nenhum dos dois casos, demonstrados acima, o balde não está encostado na membrana como é que ela começa a vibrar quando produz a vibração nele?

As respostas obtidas para cada uma dessas questões foram classificadas segundo as categorias de análise elaboradas e os resultados são apresentados na tabela 4.

Tabela 4 - Classificação das respostas obtidas nas questões do procedimento 1.3

PROCEDIMENTO 03: ABORDANDO A TRANSMISSÃO E A ATENUAÇÃO DA ENERGIA						
Questão	Resposta elaborada antes da realização do procedimento				Resposta elaborada após a realização do procedimento	
	Satisfatória	Insatisfatória	Parcialmente satisfatória	Não respondeu	Reelaborada	Inalterada
3.1	6	14	7	0	23	4
3.2	4	3	20	0	22	5
3.3	19	0	8	0	5	22
3.4	20	1	6	0	4	23
3.5	8	11	8	0	25	2

Nas demonstrações realizadas nos procedimentos anteriores utilizamos o balde voltado para a extremidade do tubo que era fechada com a membrana. Nessa etapa propomos inverter a extremidade do tubo que estaria voltada para a fonte, no caso o balde. Nosso objetivo era fazer com que eles percebessem que ao entrar no tubo a onda passaria de esférica (cônica) a plana e isso diminuiria a atenuação da energia fazendo com que a membrana vibrasse mais.

Ao realizarmos a análise das questões percebemos que muitos alunos responderam que a vibração iria aumentar com a inversão do local onde a fonte produzia a perturbação, mas apenas seis alunos justificaram suas respostas redigindo uma explicação correta para a questão apresentada

Dentre eles destacamos a resposta apresentada pelo aluno:

A₂₇: “vibrara mais, pois as ondas irão se propagar planamente, ou seja, diretamente para a membrana, não se propagando para o resto do espaço”.

Evidenciamos que sete alunos tentaram elaborar suas respostas fazendo uso dos conceitos apresentados na aula teórica. Essas respostas foram classificadas como parcialmente satisfatória. Destacamos dois exemplos:

A₁₉: “ela vibrará mais, pois a frente de onda está sendo canalizada pelo tubo”.

A₇: “Ela vibrará mais, pois a energia que a onda leva será maior porque ela não perde um pouco no ar. O tubo absorve tudo, até a membrana. Não vai perder energia no meio do caminho. Toda a energia é absorvida”.

Na resposta do aluno A₁₉ podemos dizer que ele percebe que é o tubo o responsável pelo aumento da amplitude de vibração da membrana, mas não identifica que isso ocorre porque dentro do tubo, devido a canalização, as frentes de onda se tornam planas.

A resposta elaborada pelo aluno A₇ sugere que ele compreendeu que a atenuação da energia fora do tubo é muito maior, entretanto, ele elabora uma explicação confusa sobre o motivo do aumento da vibração atribuindo-a ao fato do tubo absorver a energia. A palavra parece ter sido usada com um sentido de conduzir a energia até a membrana, pois ele afirma que a onda não vai perder energia.

Foram classificadas como insatisfatória as respostas de 14 alunos.

Como exemplos, destacamos duas respostas:

A₁₃: “vibrará menos, pois ela levará mais tempo para chegar a membrana”.

A₁₄: “vibrará menos, pois a distância da fonte a membrana será maior, pois a frente de onda está sendo canalizada pelo tubo”.

Nos dois casos os alunos consideram apenas o fato da fonte estar mais distante da membrana não levando em consideração que, apesar de mais distante, a onda vai ser canalizada e sua frente de onda passará de esférica a plana, o que diminui a atenuação da energia, produzindo o aumento da amplitude de vibração.

As respostas apresentadas acima antecederam a realização da atividade experimental demonstrativa. No desenvolvimento do procedimento utilizamos a fonte laser direcionada a membrana para permitir, com a reflexão do sinal luminoso na parede, a visualização da vibração transmitida à membrana pela perturbação produzida no balde.

Realizamos uma demonstração com o balde voltado para a membrana e outra com o balde voltado para a extremidade aberta do tubo, oposta à membrana.

Questionando os alunos sobre os tipos de frente de ondas e a dissipação de energia durante a propagação da onda. Explicitamos que, o som ao se propagar no ar livre (ondas esféricas) tem a sua área de propagação aumentada, em função do aumento da área da esfera.

Como a energia sonora emitida pela fonte é a mesma, cada vez que dobramos a distância da fonte, a área da esfera aumenta quatro vezes, diminuindo a intensidade sonora em quatro vezes, ou seis dB.

Realizamos uma discussão para levar os alunos a concluir que a frente de onda produzida no balde é esférica e que ao se propagar sofre uma diminuição na sua intensidade, isto é, a onda sofre uma atenuação em função da dissipação da energia. E que a perturbação produzida na extremidade aberta do tubo é esférica ao sair do balde, mas ao entrar no tubo passa a ser plana e não há mais a atenuação da intensidade da onda em função do aumento da área. A vibração aumenta no tubo quando a perturbação é produzida na extremidade aberta porque a frente de onda passa a ser plana.

Após a realização do procedimento demonstrativo 23 alunos reformularam suas respostas.

A₁₉: “Ela vibrará mais, pois a frente de onda esférica tem uma canalização pelo tubo e se torna plana”.

A₁₃: “vibrará mais, pois a onda se transforma em plana ficando mais concentrada”.

A₁₄: “membrana impedia que a frente de onda esférica se tornasse plana. Com a mudança de posição, a fonte sonora emitia som esfericamente, mas entrava no tubo como frente de onda plana aumentando a amplitude carregando mais energia e aumentando a vibração, assim que entra em contato com a membrana”.

Nesses exemplos, assim como na maioria das respostas após a demonstração do procedimento os alunos consideraram a mudança na frente de onda ao entrar no tubo.

Após a realização da atividade experimental o aluno A₁₄, reformulou sua resposta fazendo uso dos conceitos de frente de onda esférica e plana conforme o esperado, mas ao dizer que ocorre um aumento na amplitude da onda, ele apresenta certa confusão do conceito de amplitude e de frequência de uma onda e que é a diminuição da atenuação da onda a responsável pelo aumento da vibração na membrana.

Na segunda questão deste procedimento – Quando temos uma fonte sonora aqui no meio da sala como é a frente de onda dessa fonte? De que forma ela se propaga? – tínhamos por objetivo verificar os conhecimentos dos alunos sobre o número de direções de vibração de uma onda sonora. Esperávamos que eles dissessem que o som se desloca formando frente de onda esférica e que quanto à direção de propagação ela é classificada como longitudinal.

Somente quatro alunos tiveram sua resposta classificada na categoria satisfatória por responderem que o som é uma onda longitudinal e que a frente de onda é esférica como podemos observar no exemplo abaixo.

A₁: “Esférica, ela se propaga longitudinalmente”.

A maioria, 20 alunos, respondeu apenas como era a frente de onda da perturbação produzida na fonte deixando a segunda questão sem resposta o que nos levou a classificá-las na categoria parcialmente satisfatória.

A₆: “Para a sala – é uma fonte esférica, pois o som se propaga pelo ar fazendo toda a sala ouvir”.

No caso do aluno A₆ a resposta elaborada parece sugerir que ele considera como resposta, para a segunda questão, a direção tridimensional de vibração das partículas, ao dizer que o som se propaga pelo ar fazendo toda a sala.

Apenas três alunos tiveram suas respostas classificadas na categoria insatisfatória.

A₄: “Interferência destrutiva”.

A₉: “Longitudinal através de difração (tridimensional)”.

A₁₃: “Circular”.

Esses alunos estão entre a maioria, 22, em que as respostas que foram reelaboradas após a realização do procedimento experimental apresentando como resposta que o som é uma onda longitudinal que se propaga com frente de ondas esféricas. Dentre os alunos que mantiveram a resposta estão os quatro que já haviam respondido satisfatoriamente a questão e um que havia respondido apenas “esférica” e no espaço destinado a revisão escreveu “idem”.

Ao perguntarmos como era a frente de onda produzida no balde e a que atingia a membrana, obtivemos respostas de vinte e um alunos das respostas enquadradas na categoria satisfatória.

A₂₀: “produzida no balde = esférica atinge a membrana = plana”.

A₆: “Ao atingir a membrana – ela é uma frente esférica para a sala, mas quando se propaga para dentro do tubo ela irá se transformar em uma onda plana”.

Esta resposta provavelmente é um resultado da integração das atividades demonstrativas realizadas no procedimento 01, pois quando explicamos como o som produzido no balde chega até nossos ouvidos, abordamos a transformação da frente de onda esférica para plana ao entrar no conduto auditivo. Essa abordagem provavelmente influenciou os alunos ao elaborarem uma resposta para uma questão semelhante.

Essa questão praticamente não sofreu alterações após a realização do procedimento, 22 alunos mantiveram a resposta, como era de se esperar, visto que já tinham respondido satisfatoriamente a questão. Os alunos A₂₀ e A₆ escreveram “Idem”.

Os alunos foram solicitados a responder por que a vibração aumenta quando a perturbação é produzida na extremidade aberta do tubo. O resultado obtido sugere que eles utilizaram os conhecimentos abordados no procedimento 01, desenvolvido anteriormente. Do total, a maioria, 20 alunos apresentaram respostas parecidas com a de A₇, sendo então classificadas na categoria satisfatória, seis na categoria parcialmente satisfatória como A₂₆ e não há respostas enquadradas na categoria não respondeu.

A₇: “Porque ela passa a ser plana, ou seja, toda a energia vai reto, não vai para todos os lados, ai a energia será maior, assim a vibração também será maior. A energia não se perde no ar”.

A₂₆: “Porque a energia produzida pela fonte é canalizada”.

A maioria dos alunos, 23, como já havia respondido certo a questão, antes da realização do procedimento, eles mantiveram suas respostas após a realização do mesmo.

Na última questão deste procedimento perguntamos aos alunos: Se em nenhum dos dois casos, demonstrados acima, o balde não está encostado na membrana como é que ela começa a vibrar quando eu produzo a vibração nele?

Esperávamos uma resposta que explicitasse que quando uma perturbação é provocada no balde, ele transmite energia para as partículas que estão ao seu redor e essa energia é transferida de uma partícula a outra até atingir a membrana que a absorve e entra em vibração.

Onze alunos elaboraram uma resposta diferente do que esperávamos: como mostrado em A₈ e A₁₁ classificadas na categoria insatisfatória.

A₈: “Porque quando a onda está se propagando até a membrana ela produz energia”.

A₁₁: “Porque a onda carrega energia com mais intensidade”.

Oito alunos fizeram referência à transmissão de energia através das partículas do ar e suas respostas foram classificadas na categoria satisfatória como evidenciado em A₇ e A₁₆ e os outros oito classificados na categoria parcialmente satisfatória, como mostrada em A₁₇.

A₇: “Porque a onda que se propaga até a membrana carrega energia, o que faz com que a membrana vibre”.

A₁₆: “Ela vibrará pois o som se propaga no ar carregando energia”.

A₁₇: “Porque o som provoca uma perturbação que é transmitida para a membrana”.

Ao elaborar sua resposta antes da realização do procedimento demonstrativo o aluno A₁₇ se expressou de forma confusa ao afirmar que o som provoca a perturbação ou invés de dizer que a perturbação é que provoca o som. Ao rever sua resposta após o procedimento experimental demonstrativo, ele reformulou a sua resposta se expressando de forma mais coerente com o que foi abordado conceitualmente.

A₁₇: “Porque quando provocamos uma perturbação às partículas trocam energia entre si que é transmitida para a membrana”.

Assim como A₁₇, outros 24 alunos reformularam sua resposta após a realização dos procedimentos. Dos dois alunos que mantiveram a resposta apenas um havia respondido corretamente na etapa anterior.

6.2.1.4 - Análise das respostas relativas ao procedimento 1.4: Abordando as características de uma onda

O procedimento 04 da atividade experimental 1 teve por objetivo analisar e integrar os conhecimentos dos alunos sobre as características de uma onda. Ele é composto por três (3) questões:

- 4.1 Como eu poderia produzir com o balde uma perturbação para reproduzir um som agudo?
- 4.2 Como eu poderia produzir com o balde uma perturbação para simbolizar um som forte?
- 4.3 E uma perturbação para produzir um som fraco?

As respostas obtidas para cada uma dessas questões elaboradas pelos alunos antes da realização do procedimento experimental e após o desenvolvimento do mesmo e das discussões realizadas, foram classificadas segundo as categorias de análise elaboradas e os resultados são apresentados na tabela 5 abaixo.

Tabela 5 - Classificação das respostas obtidas nas questões do procedimento 1.4

PROCEDIMENTO 04: ABORDANDO AS CARACTERÍSTICAS DE UMA ONDA						
	Resposta elaborada antes da realização do procedimento				Resposta elaborada após a realização do procedimento	
Questões	Satisfatória	Insatisfatória	Parcialmente Satisfatória	Não respondeu	Reelaborada	Inalterada
4.1	8	19	0	0	23	4
4.2	3	0	24	0	17	10
4.3	24	0	3	0	5	22

Na primeira questão esperávamos que os alunos estabelecessem a relação entre frequência e altura, que um som agudo possui alta frequência e que, para representar um som desta natureza, teríamos que aumentar a frequência de batidas no balde ou bater rapidamente nele.

Os resultados indicam que a maioria dos alunos, 19, não conseguiu relacionar o aumento da frequência, com a produção das batidas, e que estas características poderiam ser utilizadas para representar um som agudo. A resposta do aluno A₂₄ nos sugere, ainda, que a questão não deixou claro o que realmente estávamos querendo.

A₂₄: “Assoviando”.

O aluno parece ter compreendido que um som agudo pode ser considerado como um som “fino” como o de um assovio, mas não fez a associação deste som com a frequência que ele é produzido. Ao reelaborar sua resposta, assim como a maioria dos alunos, fez a associação de um som agudo com a frequência da oscilação.

A₂₄: “batendo rápido”.

Oito alunos restantes, falaram do aumento da frequência e foram classificados como categoria satisfatória, como mostrada na resposta de A₁₄.

A₁₄: “Aumentando a frequência”.

Ao rever sua resposta o aluno A₁₄ simplesmente acrescentou mais informações ao texto inicialmente elaborado.

A₁₄: “Aumentando a frequência eu obtenho um som mais agudo”.

Na segunda questão esperávamos que os alunos fizessem a associação ao som de grande intensidade (som forte) com a amplitude de uma onda e a quantidade de energia que ela transporta. Esperávamos que os alunos dessem duas possibilidades de respostas:

a) ao produzirmos uma vibração batendo no balde com “força” estaríamos transmitindo maior energia para ele e, portanto, produzindo um som de grande intensidade ou (som forte);

b) afastando a mão do fundo do balde para representar o aumento da amplitude da onda.

A primeira possibilidade foi evidenciada em três (3) respostas, classificadas na categoria satisfatória.

A₁₆: “Só bater no balde muito forte e sairá um som forte e mais alto e o som terá sua amplitude intensa”.

A₂₂: “Batendo forte com menos rapidez”.

A₁: “Batendo muito forte”.

Em 24 respostas evidenciamos que esses alunos associam a grande intensidade ou (um som forte) com o aumento da amplitude da onda, mas os alunos não conseguiram expressar uma maneira de representar o aumento da amplitude utilizando o balde. Essas respostas foram classificadas como parcialmente satisfatórias.

A₁₁: “Quanto maior a amplitude carrega mais energia”.

A₁₉: “Bate com mais amplitude, carregando mais a energia o som é mais intenso”.

A terceira questão pedia aos alunos que descrevessem uma forma de representar uma perturbação para produzir um som de pequena intensidade ou (um som fraco). Acreditamos que como estava sendo pedido um procedimento contrário ao anteriormente demonstrado, a maioria dos alunos vinte e quatro teve sua resposta classificada na categoria satisfatória e mantiveram sua resposta após a realização do procedimento demonstrativo evidenciando a integração das atividades realizadas.

A₇: “Deve bater fraco, com pequena energia, ao contrário do som forte, menos amplitude”.

6.3 DISPOSITIVO *OUIDO MECÂNICO*: ATIVIDADE EXPERIMENTAL DEMONSTRATIVA 2

A atividade experimental demonstrativa 2 foi elaborada com o objetivo de auxiliar o professor a abordar as propriedades de reflexão, refração e difração de uma onda, estudar a propagação, a transmissão e a amplificação do som no ouvido externo e ouvido médio e abordar os efeitos do uso inadequado do fone de ouvido.

Para o desenvolvimento da atividade acoplamos ao dispositivo DEEDO ao aparato elaborado para representar o ouvido médio: os três ossículos e a janela oval. Esse arranjo como foi apresentado no capítulo 4 foi denominado Ouvido mecânico, mostrado na figura 17 abaixo.



Figura 17 - Dispositivo Ouvido mecânico, utilizado na atividade experimental 2.

O roteiro elaborado para orientar a atividade experimental 2 (apêndice E) está baseado em três procedimentos compostos por questões relacionadas aos conceitos que se pretende abordar com essa atividade experimental demonstrativa: reflexão, refração e difração de uma onda, estudar a propagação, a transmissão e a amplificação do som no ouvido externo e ouvido médio e abordar os efeitos do uso inadequado do fone de ouvido.

6.3.1 Análise das respostas relativas ao procedimento 2.1: o dispositivo e as partes do ouvido externo e médio

O procedimento 2.1, desta segunda atividade experimental, teve por objetivo verificar se os alunos seriam capazes de associar os elementos utilizados na construção do Ouvido mecânico com as partes do ouvido externo e médio, apresentados anteriormente na aula expositiva. Para tal, elaboramos uma ilustração, mostrada na figura 18. Na ilustração os alunos deveriam identificar as partes correspondentes aos números indicados. O tubo com uma extremidade aberta e outra fechada com a membrana, indicado no ouvido mecânico pelo número um deveria ser relacionado com a parte do ouvido externo denominada de conduto auditivo. O número dois foi elaborado para representar a membrana timpânica, que faz a divisão entre o ouvido externo e o médio. O número três está relacionado com o martelo, ossículo que está ligado ao tímpano. O número quatro representa a bigorna, ossículo responsável pela transmissão/amplificação da energia recebida pelo martelo ao estribo, indicado pelo número cinco que está em contato com a janela oval, indicado pelo número seis.

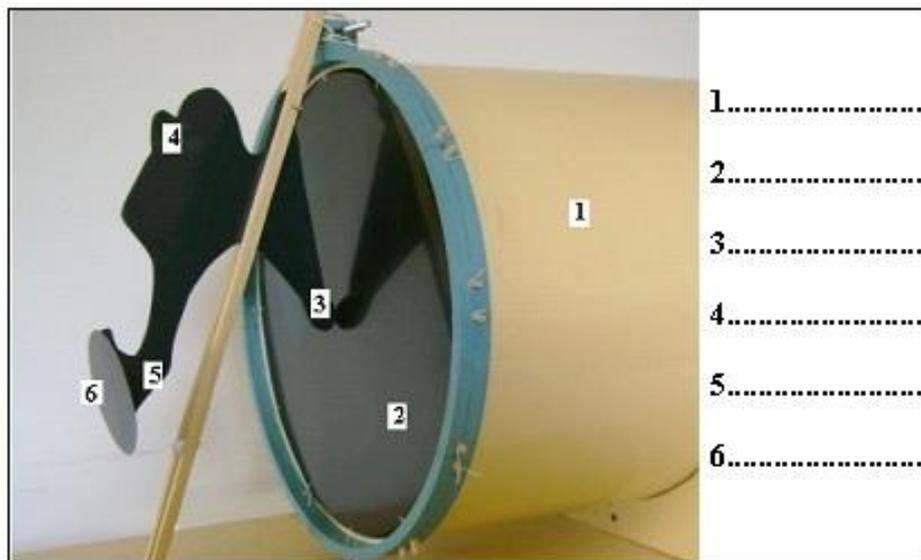


Figura 18 - Ilustração do Ouvido mecânico utilizada no roteiro 2 para relacionar os elementos do dispositivo correspondentes às partes do ouvido externo e médio.

Os resultados obtidos com as respostas dos alunos, neste procedimento, são apresentados na tabela 6 abaixo.

Tabela 6 - Resultados obtidos no procedimento 2.1

PROCEDIMENTO 01: O DISPOSITIVO E AS PARTES DO OUVIDO						
Questão	Identificou corretamente					Janela oval
	Canal auditivo	Tímpano	Martelo	Bigorna	Estribo	
1	13	22	15	8	7	0

As partes do ouvido externo apresentaram os maiores índices de acerto. O canal auditivo foi corretamente identificado por treze alunos, e o tímpano por vinte e dois dos alunos de 27 participantes na atividade. Esses resultados podem apresentar reflexos da discussão realizada na atividade desenvolvida anteriormente, no procedimento 1.1 (questão 1), em que pedimos para que os alunos explicassem como o som produzido com o balde chegava aos nossos ouvidos.

Na identificação das partes do ouvido interno (martelo, bigorna, estribo e janela oval) no dispositivo ouvido mecânico, os resultados indicam que alunos apresentaram maiores dificuldades. Tais dificuldades podem estar associadas, segundo nossa análise, a dois fatores:

- Ao abordarmos o sistema auditivo durante a aula expositiva fizemos uso de um painel ilustrativo (apêndice O) que apresentava o sistema auditivo como um todo, não destacando separadamente os órgãos que compunham cada parte do ouvido, no caso

os ossículos. Acreditamos que o resultado poderia ser diferente se tivéssemos feito uso de figuras de cada parte do ouvido para discutir as suas funções.

- Os ossículos tiveram que ser representados no Ouvido Mecânico como uma peça única dada a dificuldade de produzir três peças articuladas que não apresentassem perdas significativas de energia com atrito das junções. A identificação dos ossículos – martelo, bigorna e estribo – requisitaria dos alunos o uso de conceitos prévios associados ao conhecimento de que o martelo faz contato com a membrana timpânica, o estribo com a janela oval e a bigorna faz a ligação entre eles. Somente com base nesses conceitos subsunçores seria possível identificar corretamente, pela sequência numérica, os três ossículos que compõem o ouvido médio.

Causou-nos estranheza nenhum aluno ter relacionado o número seis à janela oval, visto que na representação do Ouvido Mecânico o formato geométrico desse elemento seria um indicativo forte na identificação do mesmo.

Ao discutirmos o sistema auditivo humano, na aula expositiva, abordamos a relação existente entre a diferença entre as áreas do tímpano e da janela oval e o ganho em pressão transmitido ao ouvido interno.

Antes de iniciarmos o procedimento 2.1, desta atividade, fizemos a apresentação do dispositivo Ouvido Mecânico aos alunos, explicando o que cada elemento indicado pela numeração, buscava representar no ouvido externo e médio. Fizemos novamente uso do painel ilustrativo do ouvido humano (apêndice O) elaborado para a aula expositiva, para apoiar nossa explicação e estimular os alunos a compreender o funcionamento do nosso ouvido.

6.3.2 Análise das respostas relativas ao procedimento 2.2: a física e a audição humana

O procedimento 2.2, da segunda atividade experimental demonstrativa, teve por objetivo verificar se os alunos possuíam os conceitos subsunçores sobre frente de ondas de uma onda sonora, direções de vibração das partículas com a propagação do som e as propriedades de reflexão, refração e difração de uma onda. Esses conceitos foram discutidos na aula expositiva e alguns deles também foram abordados durante a realização da atividade experimental 1, realizada anteriormente. Esse procedimento foi composto de quatro questões:

2.1 Quando uma fonte sonora começa a emitir um som em um ambiente aberto, a frente de onda é de que forma?

2.2 Uma frente de onda esférica implica que teremos partículas vibrando em quantas direções?

2.3 Se essa fonte sonora não estivesse aqui dentro da sala, mas lá na coordenação, por exemplo, quais as propriedades ondulatórias que poderíamos associar à trajetória dessa onda sonora que transporta apenas energia até atingir nosso ouvido?

2.4 Qual é então a função da nossa orelha?

Os alunos foram solicitados a responderem essas questões e após isso fizemos o uso do Ouvido Mecânico para demonstrar e explicar o funcionamento do ouvido externo e médio. De acordo com a metodologia proposta, os alunos revisaram as suas respostas depois da realização da atividade demonstrativa.

As respostas obtidas, antes da realização da demonstração explicativa do Ouvido Mecânico, foram classificadas segundo as mesmas categorias de análise propostas nas análises das respostas da atividade experimental demonstrativa 1, realizada com o dispositivo DEEDO. Os resultados são apresentados na tabela 7.

Tabela 7 - Classificação das respostas obtidas nas questões do procedimento 2.2

PROCEDIMENTO 02: A FÍSICA E A AUDIÇÃO HUMANA						
Questões	Resposta elaborada antes da realização do procedimento				Resposta elaborada após a realização do procedimento	
	Satisfatória	Insatisfatória	Parcialmente Satisfatória	Não respondeu	Reelaborada	Inalterada
2.1	23	4	0	0	4	23
2.2	26	1	0	0	7	20
2.3	13	0	14	0	10	17
2.4	14	13	0	0	19	8

As duas primeiras questões do procedimento tinham por objetivo verificar se os alunos possuíam os conceitos subsunçores de frente de onda e direção de vibração, abordados na aula expositiva e também na atividade experimental demonstrativa com o dispositivo DEEDO, realizada anteriormente.

Na primeira questão (Quando uma fonte sonora começa a emitir um som em um ambiente aberto, a frente de onda é de que forma?), conforme o esperado, a maioria dos alunos, 23 identificou que a frente de onda de uma onda sonora é esférica, pois se propaga em três dimensões. Esses 23 alunos mantiveram sua resposta após a realização do procedimento,

onde fazendo uso do balde como fonte sonora produzimos uma perturbação e discutimos as características da onda formada.

Apenas quatro alunos erraram a questão:

A₁: “reflexão”.

A₁₈: “circular”.

A₁₉: “a frente de onda é circular”.

A₂₄: “refração”.

Após a realização do procedimento experimental os alunos A₁, A₁₈, A₁₉ e A₂₄ reelaboraram suas respostas identificando a frente de onda de uma onda sonora como esférica.

Na segunda questão (Uma frente de onda esférica implica que temos partículas vibrando em quantas direções?), treze alunos responderam que para uma onda com frente de onda esférica existem partículas vibrando em três (3) dimensões e outros 13 alunos responderam que existiram partículas vibrando em todas as direções. Ambas as respostas foram classificadas na categoria satisfatória. Destes 26 alunos, seis complementaram sua resposta após o desenvolvimento da atividade experimental.

A₈: “Em todas pois são tridimensional”.

Apenas um aluno respondeu esta questão de forma insatisfatória antes da realização do procedimento experimental:

A₁₆: “todas menos atrás do objeto que transmite som”.

Ao reelaborar sua resposta, após a realização do procedimento experimental, o aluno A₁₆ respondeu que as partículas vibrariam em “todas as direções”.

Na terceira questão deste procedimento perguntamos aos alunos: Se essa fonte sonora não estivesse aqui dentro da sala, mas lá na coordenação, por exemplo, quais as propriedades ondulatórias que poderíamos associar à trajetória dessa onda sonora que transporta apenas energia até atingir nosso ouvido?

Esperávamos que os alunos respondessem que seria possível evidenciar a reflexão e a refração do som pelas paredes posicionadas entre os dois ambientes e a difração do som pela porta e janela da sala, ambas entre abertas.

Somente 13 alunos indicaram em sua resposta as três propriedades – reflexão, refração e difração – e 14 alunos não identificaram as três propriedades e foram classificadas na categoria parcialmente satisfatória.

Esses alunos, após a discussão realizada no procedimento experimental, reelaboraram suas respostas passando a indicar as três propriedades anteriormente citadas.

Na quarta questão do procedimento perguntamos aos alunos qual a função da orelha?

De um total de 27, 14 alunos, responderam que a função de nossas orelhas é captar o som emitido por uma fonte e tiveram suas respostas classificadas na categoria satisfatória e 13 foram classificados na categoria insatisfatória por apresentarem respostas como:

A₇: “Ouvir o som e registrar a informação”.

A₉: “Identificar a intensidade dos sons”.

Nesses dois exemplos podemos perceber que os alunos A₇ e A₉ interpretaram orelha como ouvido, o que sugere que não compreenderam a abordagem realizada sobre o sistema auditivo na aula expositiva. A orelha foi apresentada como parte do ouvido externo, composta de cartilagens e pele e que tem função de captar os sons emitidos por uma fonte.

Após a atividade experimental, a maioria dos alunos, dezenove, reelaborou sua resposta.

A₇: “Capturar os sons emitidos por uma fonte”.

A₉: “Captar os sons”.

Ao serem questionados, durante a realização do procedimento experimental, sobre a função das dobras presentes em nossas orelhas os alunos fizeram a associação com a propriedade de reflexão.

A₁₉: “As dobras da orelha fazem com que as ondas batam e reflitam as ondas”.

A₂₄: “Refletir o som”.

A₂₇: “Refletir as ondas sonoras para o canal auditivo”.

6.3.3 Análise das respostas relativas ao procedimento 2.3: A utilização do fone de ouvido

O último procedimento (03) da atividade 02 teve por objetivo, por meio da realização da demonstração experimental, conscientizar os alunos para o uso inadequado do fone de ouvido, tão difundido na faixa etária a qual ele pertence. Esse procedimento foi composto de quatro questões:

3.1 - Quando a perturbação é produzida por uma fonte fora do canal auditivo, às frentes de onda têm forma esférica. O que acontece com essa energia sonora quando ela começa a se propagar no espaço?

3.2 - O nosso fone de ouvido vai produzir a perturbação dentro do canal auditivo. O que acontece com a energia emitida pela fonte?

3.3 - O que acontece com essa energia quando percorre o tubo e chega no tímpano?

3.4 - Que tipos de sons podem prejudicar nosso sistema auditivo?

Essas questões foram propostas para verificar os conceitos subsunçores dos alunos sobre frente de ondas esférica e plana, atenuação da energia sonora e as qualidades fisiológicas do som, altura e intensidade. De acordo com a metodologia proposta os alunos inicialmente responderam essas questões e após eles participaram das atividades demonstrativas e de discussão da temática dessa etapa.

No momento da realização do procedimento experimental fizemos uso do painel com o diagrama de intensidade sonora (apêndice P) utilizado na aula expositiva, para abordar os tipos de sons que podem prejudicar nosso sistema auditivo. Procuramos mostrar aos alunos produzindo perturbações com diferentes frequência e amplitude os efeitos produzidos no tímpano e o transmitido à janela oval pelos ossículos.

Para representar o aumento da frequência aumentamos o ritmo das batida no fundo do balde num primeiro momento e depois o ritmo das incursões realizadas com o pistão. A intensidade da perturbação produzida foi associada à distância tomada entre a mão e o balde no momento de produzir a perturbação. Demonstramos aos alunos que quando produzíamos a perturbação com a mão próxima do fundo do balde, mais ou menos uns 10,0cm (dez) centímetros estamos representando uma onda de pequena amplitude e que quando tomávamos maior distância para produzir a perturbação, mais ou menos 50,0cm (cinquenta centímetros) buscávamos representar uma onda de maior amplitude. Com o pistão a amplitude da onda foi associada a distância utilizada para a incursão do pistão. Para representar uma onda de pequena amplitude o pistão era deslocado da extremidade aberta até aproximadamente um quarto da sua profundidade e para representar uma onda de grande amplitude esse deslocamento ocorria da extremidade aberta até quase tocar na membrana do outro lado.

Durante a realização do procedimento experimental demonstrativo os alunos foram questionados sobre os conceitos de frequência, amplitude, altura e intensidade de um som, apresentados na aula expositiva e novamente abordada no desenvolvimento da atividade experimental com o dispositivo DEEDO. Com o questionamento buscamos observar os conhecimentos prévios dos alunos e principalmente buscamos a participação dos alunos na realização dos procedimentos e também observamos a sua vontade de aprender.

As respostas obtidas foram classificadas segundo as categorias de análise adotadas e os resultados são apresentados na tabela 8.

Tabela 8 - Classificação das respostas obtidas nas questões do procedimento 03

PROCEDIMENTO 03: A UTILIZAÇÃO DO FONE DE OUVIDO						
	Resposta elaborada antes da realização do procedimento				Resposta elaborada após a realização do procedimento	
Questões	Satisfatória	Insatisfatória	Parcialmente satisfatória	Não respondeu	Reelaborada	Inalterada
3.1	8	6	12	1	19	8
3.2	9	13	5	0	20	7
3.3	9	7	9	2	17	10
3.4	0	3	24	0	16	11

As quatro primeiras questões do procedimento tinham por objetivo verificar a compreensão dos alunos sobre o processo de atenuação de uma onda fora e dentro do conduto auditivo, tratado anteriormente na atividade experimental com o dispositivo DEEDO.

Na primeira questão (Quando a perturbação é produzida por uma fonte fora do canal auditivo, às frentes de onda têm forma esférica. O que acontece com essa energia sonora quando ela começa a se propagar no espaço?), oito alunos responderam aproximadamente que a energia sonora quando começa a se propagar no espaço diminui com a distância ou é atenuada, sendo essas respostas classificadas na categoria satisfatória.

A₅: “Quando a fonte de energia está longe está perdendo energia”.

A₉: “Vai perder energia para o espaço”.

A₁₂: “Se o som estiver longe o som vai perdendo energia, intensidade”.

Doze alunos responderam que a energia se propaga tridimensionalmente, continua como frente de onda esférica, é transportada até chegar nos ouvidos, o que de certa forma não está invalidando a resposta e, portanto, foram classificadas como parcialmente satisfatória.

A₁: “Ela começa um processo de transporte até chegar ao ouvido”.

A₂₇: “Propaga-se para todos os lados do espaço”.

A₂₀: “Começa a mexer as moléculas e chega a membrana”.

Após a realização do procedimento esses alunos reelaboram suas respostas respectivamente:

A₁: “vai perdendo energia para o espaço”.

A₂₇: “Vai perder energia para o espaço enquanto se propaga”.

A₂₀: “Perde energia”.

Seis alunos não mencionaram perda de energia ou atenuação, nem alguma característica relacionada com uma onda sonora, antes da atividade experimental, e suas respostas foram classificadas na categoria insatisfatória.

A₁₅: “As moléculas se movimentam e se transformam em frente de onda”.

A₁₆: “Se encontra com as moléculas até chegar no tímpano”.

Esses alunos ao reverem suas respostas mencionaram a perda de energia de uma onda esférica.

Apenas o aluno A₃ deixou a questão em branco, entretanto, após a realização do procedimento ele respondeu:

A₃: “Sua energia começa a ser mais fraca”.

Ao perguntar na segunda questão o que aconteceria com a energia emitida por uma fonte dentro do canal auditivo, como a produzida por um fone de ouvido, nove (9) alunos responderam que não vai perder energia ou se propaga em ondas planas e foram classificadas na categoria satisfatória.

A₈: “Não tem como sair energia, ou perder energia o que prejudica o tímpano”.

A₂₆: “Se propaga em ondas planas”.

Não mencionaram a perda de energia 13 alunos, nem a propagação em ondas planas e foram classificadas na categoria insatisfatória.

A₂₄: “É absorvida com bastante intensidade”.

A₃: “Sua energia será mais fraca”.

Após o procedimento esses alunos, assim como a maioria reformularam suas respostas.

A₂₄: “Se transforma em frente de energia plana”.

A₃: “Sua energia será de ondas planas”.

Ao serem questionados sobre o que acontecia com a energia que percorre o tubo e atinge o tímpano, nove alunos responderam que produzirá vibração no tímpano, sendo suas respostas classificadas na categoria satisfatória.

A₁₆: “Bate no tímpano e faz com que ele vibre”.

A₈: “não perde energia e o tímpano vibrará mais”

Sete alunos tiveram suas respostas classificadas na categoria insatisfatória.

A₁: “Acelera o percurso”.

A₂₇: “Aumenta a energia”.

A resposta do aluno A₁ está completamente fora de contexto, mas a resposta do aluno A₆ assim como a dos outros cinco, também classificadas como insatisfatória, sugerem que esses alunos entenderam que a energia propagando dentro do conduto auditivo é maior do que se estivesse propagando no ar.

Nove alunos ao responderem falaram que a energia é canalizada, mas não mencionaram o que acontece com essa energia ao chegar ao tímpano sendo suas respostas classificadas como parcialmente satisfatória.

Após o procedimento 3.3, 17 alunos reformularam suas respostas, acrescentado que a energia canalizada no tubo produzia vibração no tímpano.

Ao questionarmos os alunos sobre os sons que poderiam prejudicar nosso sistema auditivo, as respostas esperadas eram que sons de grandes intensidades ou (sons fortes) são prejudiciais por transportarem grande quantidade de energia assim como sons de alta frequência ou agudos por produzirem uma vibração maior no tímpano e aqueles produzidos dentro do canal auditivo por apresentarem frente de onda plana. Uma resposta também possível, mas que não esperávamos dos alunos é que um som de baixa frequência e um som pouco intenso também pode prejudicar nosso sistema auditivo, apesar de que esse assunto foi abordado na aula expositiva durante a explicação do diagrama de nível de intensidade sonora (apêndice P), os valores de frequência e intensidade associados ao limiar da dor e ao limiar da audição.

Segundo a teoria de Ausubel, apenas uma aula desenvolvida por meio de uma discussão realizada em grande grupo e oralmente sem ancorar em conceitos que os alunos já sabem, não propicia a aprendizagem significativa. Apenas a abordagem realizada na aula expositiva, sobre os sons que prejudicam o nosso sistema auditivo, não foi suficiente para os alunos assimilarem e, conseqüentemente, utilizarem os conceitos em outras situações que não a “vívida” em sala. Ao serem questionados sobre os sons que poderiam ser prejudiciais ao ouvido, a maioria das respostas foi elaborada conforme as suposições acima levantadas, sendo classificadas na categoria parcialmente satisfatória.

A₇: “Ondas sonoras altas e planas como o fone de ouvido”.

A₁₄: “Sons agudos de alta frequência e sons altos de grande amplitude e intensidade”.

A₂₃: “Sons que passam de 20K Hz ou muito intenso”.

Apenas três alunos tiveram suas respostas classificadas na categoria insatisfatória.

A₁: “Todos”.

A₁₀: “Os que ultrapassam o som audível”.

A₄: “Hz”.

Durante a realização do procedimento experimental procuramos deixar claro nas discussões que não é só um som agudo, de frequência alta, ou um som de grande intensidade (um som forte), logo de grande amplitude que pode prejudicar nosso sistema auditivo.

As músicas que apresentam sons graves e uma grande intensidade, ou volume alto, pode prejudicar e muito o tímpano.

Discutimos ainda que um som de baixa intensidade também pode ser prejudicial. Um aluno que passa mais da metade do dia com o fone de ouvido dentro do conduto auditivo, está bombardeando seu tímpano, fazendo-o vibrar incessantemente. Essa vibração acaba afetando a elasticidade da membrana e a pessoa começa a não mais perceber sons de baixa frequência.

Após a realização do procedimento pedimos que eles respondessem a seguinte questão: Considerando tudo o que foi abordado o que vocês podem recomendar para os seus colegas, que não estudaram ainda ondas sonoras, sobre uso adequado do fone de ouvido?

As respostas elaboradas pelos alunos enfatizavam que o uso inadequado do fone de ouvido pode ser prejudicial ao sistema auditivo quando o volume é muito alto ou quando se utiliza por muito tempo.

A₄: “Que não é bom estar a usá-lo e quando usar o fone de ouvido que ouça baixo, pois se ficar surdo é para sempre”.

A₂₁: “Que ele é muito mais prejudicial do que se imagina e que seu uso deve ser evitado ao máximo que devemos observar para não ultrapassar o volume”.

A₁₈: “Que usem o fone de ouvido mais baixo e as vezes”

A₇: “Que o tímpano é frágil e precisa de cuidados, não se pode ouvir fone de ouvido muito tempo, pois a energia produzida não tem como se perder o que faz o tímpano vibrar mais e pode causar danos. O som alto pode causar os mesmos efeitos”.

Os resultados obtidos, após a realização do procedimento, sugerem que os alunos compreenderam que tipos de sons podem prejudicar nosso sistema auditivo e que suas respostas consideradas satisfatórias são indícios de que houve a aprendizagem significativa.

Após cada procedimento de demonstração os alunos observavam e verificavam se as respostas estavam corretas ou não. Os resultados evidenciaram que a maioria reformulou as respostas que foram classificadas como satisfatórias sugerindo que o material utilizado é potencialmente significativo, de modo que as atividades experimentais demonstrativas favoreceram a aprendizagem significativa por recepção.

Quando realizamos as atividades de demonstração para discutir os conceitos envolvidos naquela situação em que os alunos podiam rever suas respostas, a realização da atividade demonstrativa, juntamente com as discussões desses conceitos, permitiu aos alunos estabelecerem pontes de ancoragem por meio do processo de reconciliação integrativa dando novos significados aos conceitos, os quais ainda não haviam sido assimilados durante as aulas expositivas.

Os resultados obtidos do ponto de vista qualitativo se somam aos resultados obtidos do ponto de vista quantitativo e sugerem que as atividades experimentais demonstrativas utilizadas favoreceram a aprendizagem significativa receptiva, pois, após a realização da atividade de demonstração os alunos reformularam suas respostas que possibilitaram classificá-las como respostas satisfatórias.

Outros fatores evidenciados e que reforçam a nossa escolha e sugestão por atividades experimentais demonstrativas para o ensino de ondas sonoras foram: a atividade de demonstração que desenvolvemos pode ser realizada com apenas o conjunto de dispositivos para todos os alunos; facilidade que o professor tem para realizar o experimento demonstrativo em qualquer sala não tendo a necessidade de um laboratório específico; a atividade demonstrativa que realizamos despertou o interesse e motivação durante a aula, o dispositivo pode ser reproduzido com materiais de baixo custo.

6.4 ANÁLISE DAS RESPOSTAS RELATIVAS AO OPINÁRIO

Após alguns dias da realização dos procedimentos, foi aplicado um opinário na turma experimental, com o objetivo de saber a opinião dos alunos sobre as atividades que foram desenvolvidas por eles na sala de aula.

O opinário, que pode ser encontrado no apêndice N, foi elaborado com oito questões, para as quais os alunos poderiam escolher as opções “sim” ou “não” e uma questão aberta com quatro itens.

Vale ressaltar que todos os alunos responderam o opinário, sua identificação era opcional e seguindo o mesmo procedimento adotado na identificação dos roteiros, adotamos a letra A seguida de um número para a identificação do aluno.

Apresentamos no quadro 5 uma síntese das respostas dos alunos.

QUADRO 05 – Respostas dos alunos no opinário

Questões	Alunos que responderam “sim”	Alunos que responderam “não”
1 Participou das aulas teóricas sobre ondas sonoras.	Todos	
2 Participou das atividades experimentais demonstrativas sobre ondas sonoras	Todos	
3 Encontrou dificuldades em compreender os conceitos apresentados na aula teórica?	09	18
4 Teve dificuldades para entender o que o roteiro experimental da atividade 01 pedia para ser feito?	08	19
5 Teve dificuldades para entender o que o roteiro experimental da atividade 02 pedia para ser feito?	06	21
6 A atividade experimental de demonstração 01 auxiliou na compreensão dos conteúdos abordados na aula teórica?	26	01
7 A atividade experimental de demonstração 02 ajudou a compreender os processos de recepção, transmissão e amplificação do som?	Todos	
8 Você gostou de participar de uma aula com demonstrações em Física?	Todos	

Podemos observar que, de um modo geral, as respostas dos alunos nos itens de um até oito foram aceitáveis e que eles gostaram da atividade realizada.

As duas primeiras questões, que tratam da participação na aula, foram solicitadas para verificar se o aluno havia participado de todas as aulas e também para verificar o grau de interesse dos alunos e valorizar a participação..

Nas questões três e quatro, queríamos saber se os roteiros elaborados para as atividades experimentais demonstrativas estavam escritos de forma acessível e clara. Isto é, verificar se as orientações dos roteiros não apresentavam dificuldades de interpretação.

Nas alternativas seis e sete, são questões que buscam verificar o grau de aceitação dos alunos em relação à proposta metodológica utilizada. As respostas sugerem que a maioria dos alunos foram favoráveis à proposta de atividade demonstrativa e afirmaram que essas atividades experimentais auxiliaram na compreensão dos fenômenos físicos estudados (propagação e recepção do som pelo ouvido médio).

A questão oito evidencia um aspecto já apontado na literatura de que basta realizar uma aula diferenciada da forma tradicional para que os alunos apresentem atitudes favoráveis.

Analisando a última questão, **“Responda as seguintes questões: a) Você já havia participado de aulas de Física com atividade de demonstração dentro da sala de aula? Se a resposta for sim, em que ocasião e qual foi o conteúdo? b) Você acha que a realização de atividades de demonstração ajudou na compreensão dos conceitos físicos utilizados para explicar o sistema auditivo? Por quê? c) O que você mais gostou nas três aulas ministradas? Por quê? d) O que você não gostou nas três aulas ministradas? Por quê?”**

Na letra (a) todos responderam que **não** tinham participado de atividades demonstrativas. Por exemplo, as respostas dos alunos:

A₆: *“Não. Nunca havia participado, foi uma experiência incrível e inédita”.*

A₂₄: *“Não. Essa foi a primeira vez”.*

A₁₁: *“Não, não tinha participado de nenhuma”.*

A resposta do aluno A₆ sugere uma atitude de satisfação pela realização e pelo fato de ser uma experiência inédita.

As respostas da letra (b) desta questão, em que todos responderam “sim”, confirmam, de acordo com as justificativas dos alunos, que as atividades de demonstração auxiliaram e facilitaram a compreensão do conteúdo, como podemos observar em algumas das respostas destacadas que se seguem:

A₄: *“Sim. Ficou mais fácil de compreender o conteúdo”.*

A₂₃: *“Sim, pois com a demonstração fica mais fácil para compreender o conteúdo, pega-se mais fácil”.*

A₂₇: *“Sim. Porque fica mais interessante as explicações quando se tem uma demonstração para facilitar a compreensão do conteúdo”.*

A₆: *“Sim. Porque foi uma aula diferente, e mais fácil de entender”.*

Em relação à letra (c), a maioria das respostas dos alunos, dezessete, indicou que a demonstração realizada dentro da sala é muito interessante e desperta um maior interesse em aprender física. Entre essas respostas, seis observaram que gostaram das informações sobre o sistema auditivo e quatro responderam que a explicação do conteúdo fica mais fácil de entender com a demonstração realizada na sala de aula. A seguir, fornecemos alguns exemplos:

A₁₈: *“O experimento com as demonstrações do sistema auditivo para entender melhor como funciona”.*

A₁₂: *“Das demonstrações feitas pelo professor e da parte teórica. Sinceramente antes eu não me interessava pelas aulas de física, depois destas aulas ministradas minha visão da física mudou”.*

A₈: *“A parte que o professor demonstra com experimento fica mais simples de entender e foi interessante saber como o som se propaga”.*

O penúltimo item da questão aberta solicita para os alunos apontarem o que eles mais gostaram das aulas e o último item solicita o que eles não gostaram. Quinze alunos relataram que gostaram de tudo, valorizando a atividade; cinco falaram sobre o tempo que foi curto para responder o roteiro; quatro observaram sobre as questões contidas no roteiro e somente três alunos relataram que a filmagem causava certo constrangimento na hora das perguntas. A maioria, no entanto, observou que foi tudo bem planejado, apenas alguns não gostaram das filmagem das aulas e dos questionários, como podemos ver nos relatos abaixo:

A₂₅: *“Da filmagem, porque deixava um constrangimento na hora da dúvida”.*

A₆: *“A filmagem. Porque de uma certa maneira fique envergonhada e incomodada para fazer as perguntas, mas só isso mesmo”.*

A₂₂: *“Os questionário, porque fez com que a aula voltasse a ser normal”.*

A₂₆: *“Dos questionários, porque deixou a aula um pouco cansativa”.*

A₉: *“Gostei de tudo, pois ficam dinâmicas e bem explicadas”.*

A₁₄: *“Gostei de tudo”.*

Em resumo, as respostas relatadas pelos alunos no opinário mostraram que a maioria deles gostou da atividade experimental de demonstração, do material elaborado e de como a aula foi organizada.

6.5 ANÁLISE DOS FATORES DE VALIDADE INTERNA

Um dos fatores de validade interna é o coeficiente de correlação. Esse coeficiente quantifica uma escala em valor absoluto, está compreendido no intervalo entre zero e um, faz

uma interrelação entre duas variáveis, e quanto mais próximo de um em módulo melhor será a associação entre os dois testes (SPIEGEL, 1979).

Para verificar o coeficiente de correlação dos testes aplicados e que denominamos de pré e pós-teste, foi aplicado em uma turma de terceiro ano do ensino médio que não faziam parte dos grupos selecionados anteriormente na pesquisa. Isso nos possibilitou comparar os resultados obtidos nas respostas das questões do pré e do pós-teste.

O resultado obtido nessa nova testagem nos mostrou que o coeficiente de correlação encontrado foi de 0,384, portanto uma possível explicação para o valor encontrado entre o pré e o pós-teste, é que eles podem estar medindo coisas diferentes.

Para continuar essa investigação, vamos comparar algumas questões do pré em relação ao pós-teste. A questão de número dois do pré-teste corresponde à questão de número oito do pós-teste, ela está relacionada com a característica de uma onda. A questão de número quatro do pré-teste corresponde às questões de número dois e três do pós-teste, que trata das partes que compõem o sistema auditivo e também pela amplificação do som. A questão de número cinco do pré-teste observa sobre a importância do tímpano na audição humana, está relacionada com as questões quatro e um do pós-teste. A questão de número seis do pré-teste corresponde à questão de número cinco do pós-teste.

As questões de número um e três do pré-teste, respectivamente, envolve o conceito de onda e a outra trata da unidade de intensidade sonora.

No pós-teste, a questão de número seis, está abordando as qualidades fisiológicas do som, as questões sete e nove, quanto às formas de direção de vibração e a última está relacionada com as propriedades das ondas.

Após a retirada das questões que não tinham correspondência entre os dois testes, calculamos novamente o coeficiente de correlação e encontramos o valor 0,670, e observamos que este valor aumentou significativamente, portanto o novo valor mostra que as questões possuem uma relação entre si ou que estão medindo as mesmas informações entre eles.

Seriam necessários mais estudos para verificar os efeitos dos tratamentos realizados antes e depois da atividade da demonstração.

CAPÍTULO 7

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Considerando a falta de materiais didáticos destinados para a realização de atividades experimentais em sala de aula, em particular para o estudo de ondas, iniciamos a pesquisa empreendida com o seguinte objetivo: construir um dispositivo que possibilitasse um estudo qualitativo do conteúdo de ondas, por meio de atividades experimentais demonstrativas, utilizando materiais de baixo custo, de fácil transporte e montagem para auxiliar o professor em atividades demonstrativas dentro da sala de aula. Esse objetivo foi atingido com a construção de dois dispositivos experimentais: um denominado *DEEDO* e o outro denominado *ouvido mecânico* para a realização das atividades experimentais propostas e avaliadas.

O segundo objetivo foi formular um conjunto de orientações e sugestões para realizar as atividades experimentais demonstrativas para a utilização dos dispositivos construídos. Para atingir esse objetivo, elaboramos uma sequência didática, composta de duas aulas expositivas e duas atividades experimentais demonstrativas.

O referencial teórico que orientou o planejamento e a execução da sequência didática foi à teoria da aprendizagem significativa de David P. Ausubel, mais especificamente o princípio da diferenciação progressiva ao introduzir os conceitos chaves sobre ondas sonoras, utilizando um mapa conceitual de referência, construído para propiciar, aos estudantes, uma organização dos conceitos relacionados ao estudo sobre ondas, partindo dos conceitos mais gerais em direção aos conceitos mais específico, como sugere o referencial adotado. E o princípio da reconciliação integrativa foi utilizado no desenvolvimento das aulas demonstrativas, em particular nas discussões das questões que os alunos responderam antes e depois da realização das atividades demonstrativas. De acordo com a Teoria de Ausubel a aprendizagem pode ocorrer por recepção ou por descoberta. As aulas foram planejadas tendo como base a aprendizagem por recepção em função das estratégias de ensino escolhidas, aulas expositivas dialogadas e de demonstração.

E finalmente, buscamos verificar a contribuição do dispositivo experimental, inseridos na sequência didática planejada, para facilitar a aprendizagem significativa do conteúdo de ondas, em particular as ondas sonoras.

Para verificar a contribuição do desenvolvimento de atividades experimentais na forma de aulas demonstrativas para a aprendizagem do conteúdo de ondas sonoras, utilizamos dois grupos de alunos, um grupo que denominamos de controle e outro experimental com pré-teste e pós-testes aplicados em ambos os grupos. O tratamento estatístico dos resultados do pré e pós-teste indicaram que a utilização de atividades experimentais demonstrativas contribuiu com o processo de ensino e aprendizagem do conteúdo de ondas.

Realizamos também uma análise qualitativa das respostas elaboradas nos roteiros das atividades pelos alunos do grupo experimental cujos resultados sugerem que:

- a) A maioria dos alunos participou ativamente das atividades, não deixando de elaborar respostas, antes e depois da realização do procedimento;
- b) Após a realização dos procedimentos a maioria dos alunos acrescentou dados ou reescreveu suas respostas;

Os resultados, após a realização dos procedimentos, das duas atividades experimentais demonstrativas, indicam que a maioria dos alunos reformulou as respostas após a observação e discussão do procedimento experimental demonstrativo. Essas novas respostas foram classificadas como satisfatórias sugerindo que o material utilizado é potencialmente significativo e que a utilização de atividades experimentais demonstrativas favoreceu a aprendizagem significativa por recepção.

A análise do opinário, aplicado no grupo experimental, revelou que esses alunos não haviam ainda participado de atividades desta natureza, aulas em que o professor realiza atividades demonstrativas interativas.

Observamos, e as opiniões dos alunos também confirmaram que essas aulas planejadas usando atividades demonstrativas, desenvolvidas dentro da própria sala de aula, despertam o interesse pelo assunto e facilitam a sua compreensão.

Os resultados obtidos sugerem a investigação do uso de atividades experimentais demonstrativas em sala de aula na abordagem de outros conteúdos de física.

Como continuidade do trabalho, acreditamos que essa metodologia requer ainda novas adequações para a sala de aula e que algumas mudanças significativas podem acontecer em função das características do grupo, sendo que isso talvez possa nos ajudar a refletir a respeito de quão complexo é o trabalho com ensino, particularmente na área de Física, e como é longo o caminho a ser ainda percorrido.

REFERÊNCIAS

ALONSO, Marcelo; FINN, Edward J. **Física um curso universitário** Volume II – Campos e Ondas. São Paulo: Edgard Blücher Ltda, 1972. 565 p.

ARAÚJO, Mauro Sérgio Teixeira de; ABIB, Maria Lúcia Vital dos Santos. Atividades Experimentais no Ensino de Física: Diferentes Enfoques, Diferentes Finalidades. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 25, n. 2, p.176-194, 02 fev. 2007. Disponível em: <<http://www.sbfisica.org.br/rbef/edicoes.html>>. Acesso em: 01 jun. 2006.

AUSUBEL, D.P., NOVAK, J.D., & HANESIAN, H. **Psicologia educacional** (E. Nick, trad.) 2. ed. Rio de Janeiro: Interamericana, 1980. 328p. (obra original publicada em 1968).

AXT, Rolando; BONADIMAM, Helio; SILVEIRA, Fernando Lang da. O uso de "espirais" de encadernação como molas. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Carlos, v. 27, n. 4, p.593-597, dez. 2005. Disponível em: <http://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/v27_593.pdf>. Acesso em: 02 mar. 2008.

BARRA, Vilma Marcassa; LORENZ, Karl Michael. A produção de materiais didáticos de ciências no Brasil, período: 1950 a 1980. **Ciência e Cultura**. São Paulo. v.38, n.12, 1986. p.1970 – 1983.

BARREIRO, A. C. M, BAGNATO, V. Aulas demonstrativas nos cursos básicos de física. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v.9 n.3, 1992.

BISTAFA, Sylvio R.; Acústica aplicada ao controle de ruído, editora Edgard Blucher, 2006. 17-47p.

BLEICHER, Lucas; SILVA, Moésio Medeiros da; MESQUITA, Marcio Gurjão. Análise e simulações de Ondas Sonoras assistidas por computador. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Carlos, v. 24, n. 2, p.129-133, 01 jun. 2002. Disponível em: <http://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/v24_129.pdf>. Acesso em: 02 mar. 2008.

BRASIL, PCN+ Ensino Médio: Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais: Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias (MEC-SEMTEC, Brasília, 2002).

CAMPBELL, Donald Thomas; STANLEY, Julian C. **Delineamentos experimentais e quase – experimentais de pesquisa**. Tradução Renato Alberto T. Di Dio – São Paulo: EPU: Ed. Da Universidade de São Paulo, 138p. 1979.

CAVALCANTE, Marisa Almeida; TAVOLARO, Cristiane R C. Medir a Velocidade do Som pode ser rápido e fácil. **Revista A Física Na Escola**, São Carlos, v. 4, n. 1, p.29-30, maio 2003. Disponível em: <<http://www.sbfisica.org.br/fne/Vol4/Num1/a10.pdf>>. Acesso em: 02 fev. 2008.

CAVALCANTE, Marisa Almeida et al. O Estudo de colisões através do som. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Carlos, v. 24, n. 2, p.150-157, jun. 2002. Disponível em: <http://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/v24_150.pdf>. Acesso em: 02 mar. 2008.

CARVALHO, A. M. P. A Pesquisa no ensino, sobre o Ensino e sobre a reflexão dos professores sobre seus ensinamentos. *Educação e Pesquisa*, São Paulo, v.28, n.2, p. 57-67, jul./dez. 2002.

CHIQUITO, Adenilson José; RAMOS, Antonio Carlos Alonge. Batimentos e Ressonância de diapasões analisados usando um osciloscópio. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Carlos, v. 27, n. 2, p.219-223, jun. 2005. Disponível em: <http://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/v27_219.pdf>. Acesso em: 04 mar. 2008.

FEYNMAN, Richard P.; LEIGHTON, Robert B.; SANDS, Matthew. Lições de Física de Feynman. Tradução Adriana Válio Roque da Silva[et al.] Porto Alegre: Bookman, 2008.p.52-13.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. **Fundamentos de Física 2: Gravitação, Ondas e Termodinâmica**. 4ª. Edição, Rio de Janeiro: LTC - Livros Técnicos e Científicos Editora Sa, 1996. 292 p.

KANDUS, Alejandra; GUTMANN, Friedrich Wolfgang; CASTILHO, Caio Mario Castro de. A Física das Oscilações Mecânicas em Instrumentos Musicais: exemplo do Berimbau. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Carlos, v. 28, n. 4, p.427-433, dez. 2006. Disponível em: <<http://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/051207.pdf>>. Acesso em: 04 mar. 2008.

KELLER, Frederick J.; GETTYS, W. Eduard; SKOVE, Malcom J. **Física**. Vol.2, São Pulo SP: Editora Makron Books, 1999. 615p.

KITTEL, Charles. **Introdução a Física do Estado Sólido**. 5ª. ed. Rio de Janeiro: Editora Guanabara Dois S. A., 1978. 572 p.

KLAJN, Suzana. **Física: a vilã da escola** – Passo Fundo: UFP, 2002. 192p.

MAGNO, Wictor C. et al. Realizando Experimentos Didáticos com o Sistema de Som de um PC. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Carlos, v. 26, n. 2, p.117-123, jun. 2004. Disponível em: <<http://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/040105.pdf>>. Acesso em: 01 mar. 2008.

MELLO, Giovane Irribarem de. Produzindo Ondas Transversais em Cordas de Nylon. **Revista A Física Na Escola**, São Carlos, v. 8, n. 2, p.31-32, out. 2007. Disponível em: <<http://www.sbfisica.org.br/fne/Vol8/Num2/v08n02a08.pdf>>. Acesso em: 12 abr. 2008.

MENEZES, Pedro de Lemos; CALDAS NETO, Silvio e MOTTA, Mauricy Alves. **Biofísica da audição**. São Paulo: Lovise LTDA. 2005. 188p.

MOREIRA, Marco Antonio, *Aprendizagem significativa: a teoria de David Ausubel*, Editora Moraes Ltda, São Paulo 1982.

MOREIRA, Marco Antônio; MASINI, Elcie F. Salzano; **Aprendizagem significativa: a teoria de David Ausubel**. São Paulo: Moraes. 1982. 112p.

MOREIRA, Marco Antonio; SILVEIRA, Fernando Lang da; Instrumento de pesquisa em ensino e aprendizagem. Porto Alegre, Edi-PUCRS, 1993.101p.

NEVES, Margarida Saraiva; CABALLERO, Concesa; MOREIRA, Marco Antônio. Repensando o papel do trabalho experimental, a aprendizagem da Física em sala de aula - um estudo exploratório. **Investigações em ensino de ciências**. Vol. 11, N. 3, dez. 2006. Disponível em: <<http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/vol11/n3/31indice.html>>. Acesso em: 06 mar. 2008.

NUSSENZVEIG, Herch Moysés. **Curso de Física Básica: Fluidos - Oscilações e Ondas - Calor**. 4ª.edição revisada São Paulo: Edgard Blücher Ltda., 2002. 314 p.

PENTEADO, Paulo César M; TORRES, Carlos Magno A. Física – Ciência e Tecnologia v.2, São Paulo, Moderna, 2005.

PINHO ALVES, José. Atividade experimental: uma alternativa na concepção construtivista. **In: VIII Encontro de Pesquisa em Ensino de Física**, 2002, Águas de Lindóia. VIII Encontro de Pesquisa em Ensino de Física, 2002. Disponível em: <http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/epf/viii/trabalhos/autores_J.htm>. Acesso em: 08 mar. 2008.

RESNICK, Robert; HALLIDAY, David; **Física 2**. 4ª. edição Rio de Janeiro: Ltc - Livros Técnicos e Científicos Editora S.A, 1984. 309 p.

SAAB, Sérgio da Costa; CÁSSARO, Fabio Augusto Meira; BRINATTI, André Maurício. Laboratório Caseiro: Tubo de ensaio adaptado como tubo de Kundt para medir a velocidade do som no ar. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 22, n. 1, p.112-120, abr. 2005. Disponível em: < <http://www.fsc.ufsc.br/ccef/port/22-1/index.html>>. Acesso em: 02 mar. 2008.

SÉRÈ Marie – Geneviève; COELHO, Suzana Maria; NUNES, Antônio Dias. O papel da experimentação no ensino da Física. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v.21, edição especial, 2004.

SILVA, Wilton Pereira da et al. Velocidade do Som no ar: Um Experimento Caseiro com Microcomputador e Balde d'água. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Carlos, v. 25, n. 1, p.74-80, mar. 2003. Disponível em: <http://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/v25_74.pdf>. Acesso em: 02 mar. 2008.

SILVA, Wilton Pereira da et al. Um software para experimentos sobre batimento de ondas sonoras. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 21, n. 1, p.103-110, 01 abr. 2004. Disponível em: <<http://www.fsc.ufsc.br/ccef/port/21-1/index.html>>. Acesso em: 01 mar. 2008.

SILVEIRA, Fernando Lang da; VARRIALE, Maria Cristina. Propagação das ondas marítimas e dos Tsunami. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 22, n. 2, p.190-208, 22 ago. 2005. Disponível em: <<http://www.fsc.ufsc.br/ccef/port/22-2/index.html>>. Acesso em: 02 mar. 2008.

SILVEIRA, Fernando Lang da; Determinando a significância estatística para a diferença entre as médias. Disponível em: <http://www.if.ufrgs.br/~lang/Comparacoes_em_media.pdf> Acesso em: 08 set. 2009.

SPIEGEL, Murray Ralph. **Estatística**. 2. ed. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1979. 580p.

TAVARES, R.; SANTOS, J. N. Advance organizer and interactive animation IV Encontro Internacional sobre aprendizagem significativa. Maragogi Brasil, 2003.

TIPLER, Paul A. Física. 2.ed. Rio de Janeiro RJ Editora Guanabara dois, 1984.1051p.

VIOLIN, Antônio Geraldo. Atividades Experimentais no ensino de Física de 1° e 2° Graus. **Revista Brasileira de Ensino de Física**. São Carlos, v. 1, n. 2, p.13 – 24, 1979. Disponível em: < <http://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/vol01a12.pdf>> Acesso em: 09 maio 2008.

Apêndice A – Aula 1

ONDULATÓRIA

Identificação

Professor: Hudson Azevedo Errobidart

Disciplina: Física

Ano Letivo: 2009

Série: 2^a

Curso: Ensino Médio

Carga Horária: 1 aula

Data: /11/2009

Conteúdo: Ondas, frequência, período, amplitude, comprimento de onda e velocidade.

ESCOLA: E. E. Joaquim Murtinho

Objetivos

Ao término da aula o aluno deverá estar apto a:

- Conceituar ondas;
- Identificar os tipos de ondas existentes e classificá-las;
- Identificar as características de uma onda mecânica;
- Identificar o som como uma onda sonora.

Metodologia

A aula será desenvolvida a partir dos conceitos que o aluno já possui e, de acordo com a teoria de David Ausubel, os novos conteúdos a serem aprendidos serão ancorados nesses conhecimentos que os alunos já possuem. O desenvolvimento da aula será na forma expositiva com a utilização de materiais como: mola, corda e um dispositivo que permite explicar o funcionamento de partes do ouvido humano. O conceito de onda e suas características serão introduzidos por meio de um mapa conceitual e de acordo com o princípio da diferenciação progressiva e reconciliação integrativa, especificando como exemplos as ondas mecânicas, em particular as ondas sonoras. Um dispositivo para explicar o funcionamento do sistema auditivo será utilizado para discutir os conceitos físicos relacionados aos processos de transmissão e recepção do som pelo ouvido humano.

O procedimento da aula

A aula será iniciada com uma discussão sobre o tema: Estudo sobre ondas (falar do título da aula) e em seguida farei a seguinte pergunta para os alunos: O que você entende por onda? Dê exemplos de ondas que vocês conhecem. [As repostas dos alunos serão anotadas num canto da lousa]. Após essa pequena discussão, será apresentado o objetivo da aula, que é identificar os diferentes tipos de ondas, classificar, conceituar e identificar as características de uma onda. Para o desenvolvimento do estudo sobre ondas e em particular sobre as ondas sonoras e o funcionamento do ouvido humano, será utilizado uma mapa conceitual que apresenta os conceitos fundamentais desse conteúdo. Após, o conceito de onda, será discutido com o auxílio do mapa e na sequência os demais conceitos hierarquicamente identificados nesse mapa. Eles serão discutidos segundo o princípio da diferenciação progressiva, portanto, passando pelas classificações das ondas e sempre mostrando aos alunos em que parte do mapa esses conceitos aparecem e como eles estão relacionados entre si.

Recursos didáticos

Professor, alunos, lousa, giz, apagador, mola, corda, dispositivo experimental, sala de aula e papel, mapa conceitual.

Avaliação

1-Como o som é classificado segundo a física?

2- Em filmes de ficção científica, é comum o uso de emissão de sons por naves extragalácticas que se encontram fora da camada atmosférica. Você acha que os sons produzidos por essas naves poderiam se propagar no vácuo? Justifique a sua resposta.

Referências:

GASPAR, Alberto. **Física:** volume único. 1ª. Edição. São Paulo: Ática, 2008. 552 p.

GASPAR, Alberto. **Física: Ondas, Óptica e Termodinâmica:** volume 2. 1ª. Edição. São Paulo: Ática, 2000. 416 p.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. **Fundamentos de Física 2:** Gravitação, Ondas e Termodinâmica. 4ª. edição Rio de Janeiro: Ltc - Livros Técnicos e Científicos Editora Sa, 1996. 292 p.

MÁXIMO, Antônio Ribeiro da Luz; ALVARENGA Beatriz Álvares,. **Física:** Ensino Médio. 1ª. Edição. São Paulo: Scipione, 2008. 400p.

NUSSENZVEIG, Herch Moysés. **Curso de Física Básica: Fluidos - Oscilações e Ondas - Calor**. 4ª. edição revisada São Paulo: Edgard Blücher Ltda, 2002. 314 p.

PENTEADO, Paulo César M; TORRES, Carlos Magno A. Física – Ciência e Tecnologia v.2, São Paulo, Moderna, 2005.

Procedimento detalhado

1. Introdução

Título da aula: **Estudo sobre ondas sonoras**

Na aula de hoje vamos iniciar o estudo sobre ondas, suas características, propriedades e as ondas sonoras principalmente. Esse banner apresenta um mapa conceitual que apresenta os conceitos e as relações entre eles que iremos estudar. Além disso, para exemplificar o comportamento das ondas, realizaremos algumas atividades com esta mola e esta corda, entre outros recursos, para mostrarmos o comportamento das ondas.

2. Desenvolvimento

2.1 Ondas e suas características

Vocês já enxergaram uma onda? Como era essa onda?...

Dê outros exemplos de ondas que vocês conhecem ou que vocês ouviram. *Os alunos deverão citar alguns exemplos do que eles acreditam ser uma onda e as respostas esperadas são: ondas no rio, no mar, luz e som.*

Veja os exemplos de ondas apresentados no quadro!

Vamos agora discutir o que é uma onda do ponto de vista da física.

2.1.1 Definição de onda: Uma onda ou pulso de onda é uma perturbação que se propaga transportando energia, sem envolver o transporte de matéria.

Para exemplificar uma onda, vamos utilizar uma mola e uma corda. Veja o que acontece toda vez que a minha mão perturba a mola.

Cada ponto da mola realiza apenas um movimento de sobe e desce à medida que a perturbação se desloca. Essa perturbação provoca um movimento de suas partículas em torno de um ponto de equilíbrio. Quando cada partícula volta para a mesma posição, temos uma

oscilação completa. Veja este ponto da mola que efetua o movimento de uma oscilação completa.

P: Então, o que é uma oscilação completa?

Resposta A: “uma volta completa, descreve um vai e vem em torno de uma posição ou descreve um trajeto”. “É o tempo que o corpo leva para descrever uma trajetória, partindo de um ponto até voltar para o mesmo ponto”.

Oscilação completa: corresponde ao movimento de um corpo ou sistema que parte de uma posição inicial e retorna para essa mesma posição depois certo intervalo de tempo, efetuando um ciclo ou uma volta completa. Exemplos, como um balanço, barco Viking ou uma chumbada amarrada em um fio.

Vamos agora retomar o mapa conceitual. Discutiremos agora a natureza das ondas conforme está representado aqui nesse mapa.

2.2 Ondas quanto à sua natureza

Essas ondas, quanto a sua natureza, podem ser de dois tipos: **onda mecânica ou onda eletromagnética**. (Escrever no quadro).

A onda eletromagnética é aquela que **não necessita de um meio material para se propagar**. **Exemplos:** temos como exemplo a luz visível, raios-X, radar, microondas, ondas de rádio.

Quando **ela necessita de um meio para se propagar**, ela é denominada onda mecânica tem como exemplo a onda na água, onda numa corda e o próprio som, que é uma onda, que só se propaga em meios materiais.

Voltando ao mapa, vamos discutir as ondas quanto ao número de dimensões de propagação, isto é, em quantas dimensões essas ondas propagam.

2.3 Ondas quanto ao número de dimensões de propagação

As ondas podem ser classificadas quanto ao **número de dimensões de propagação**, ou grau de liberdade de propagação. Elas podem ser unidimensionais, bidimensionais e tridimensionais, como vemos aqui no mapa.

As ondas em uma corda é o exemplo para a propagação de uma onda em uma dimensão, chamada de **unidimensional** (*mostrar na corda*).

Para ondas bidimensionais aquela que propaga em duas dimensões, temos como exemplo, ondas que se propagam sobre uma superfície de um líquido, um lago ou rio. No caso

das ondas tridimensionais, a propagação ocorre sobre todo o espaço. Um exemplo de onda com essa característica é a propagação do som no ar. É a que estudaremos.

2.4 Formas de direção de vibração da onda

As ondas podem ser classificadas também quanto às **formas de direção de vibração** como **Transversais ou Longitudinais, veja** no mapa.

As ondas Transversais são aquelas cuja direção de vibração das partículas do meio é perpendicular à direção de propagação da onda (cada pedacinho da mola oscila numa direção perpendicular ao deslocamento da onda). Ex.: Luz.

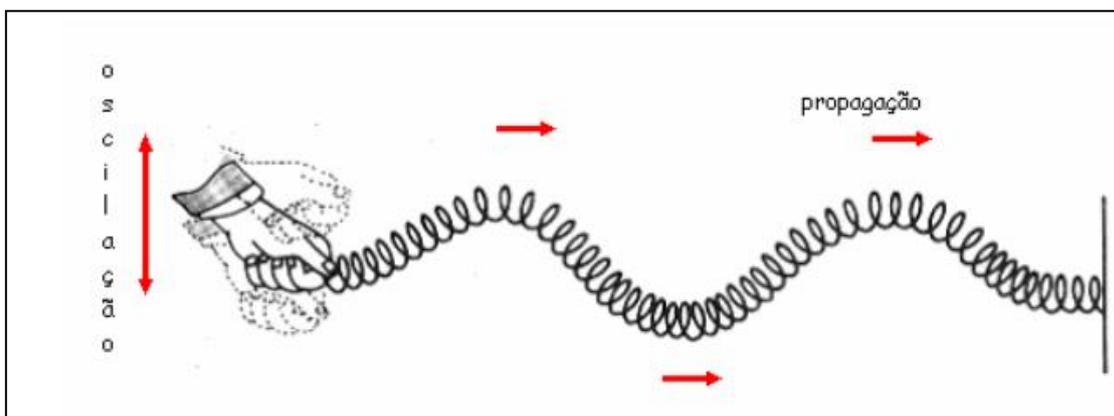


Figura 1 - Onda Transversal em uma mola

Neste momento, a mola será colocada sobre uma mesa e será perturbada com um pulso para mostrarmos uma onda transversal e logo após uma onda longitudinal.

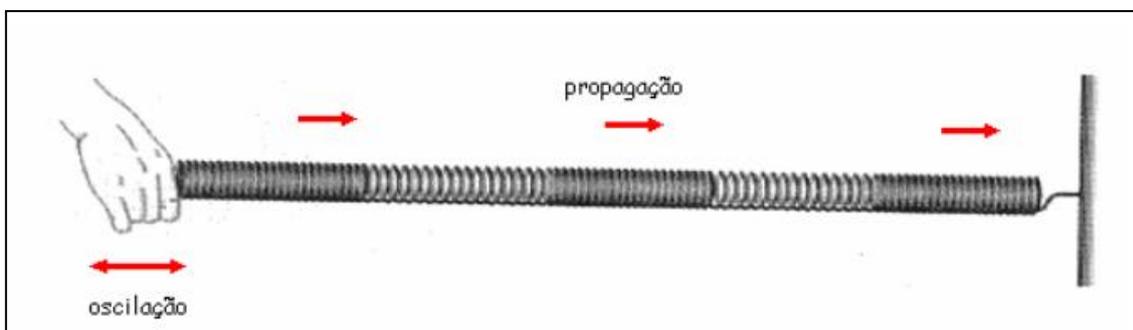


Figura 2 - Onda Longitudinal unidimensional em uma mola

Já as ondas longitudinais possuem a mesma direção tanto para a vibração das partículas do meio quanto à direção de propagação da onda. Ex.: O som. (Escrever no quadro). Afinal.

O que é uma onda?

Vamos fazer um quadro das classificações das ondas.

Quadro 1 – Classificação das Ondas.

Quanto à sua	Classifica em	Exemplos
Natureza	Mecânicas	Som, ondas em uma mola
	Eletromagnéticas	Luz, raios-X, microondas
Forma de direção de vibração	Transversais	Luz, ondas de rádio
	Longitudinais	Som
Direção de Propagação	Unidimensional	Ondas em uma corda
	Bidimensional	Ondas na superfície de um lago
	Tridimensional	Som

Após listarmos todas as classificações e exemplos no quadro, chamaremos a atenção dos alunos para as características do som listadas no quadro.

Em síntese podemos dizer que o **som é uma onda mecânica, longitudinal e tridimensional**, agora olhe no mapa.

2.5 Características das ondas

Vamos retomar o mapa e passaremos a estudar as características das ondas seguindo a diferenciação entre os conceitos relacionados com o estudo das ondas.

Essas características são: frequência, período, comprimento de onda, amplitude e velocidade. *[indicar no *mapa*].

2.5.1 Frequência (f)

A primeira característica das ondas é a frequência.

P: Vocês já ouviram falar na palavra frequência?

R: “é o Sr. controla a nossa frequência todo dia” é a chamada que o Sr. faz” “ fazer sempre a mesma coisa”.....

P: Por que a “chamada” está relacionada com essa palavra frequência?

R: “Porque é pela chamada que o Sr controla quem frequenta as suas aulas”. Porque existe o controle da nossa frequência, que é feita pela chamada. E não podemos ter muita falta”.

P: Qual a sua frequência na escola por dia?

A: "uma vez,..."

P: E durante a semana?

A: "Cinco".

P: E no mês todo?

A: "se eu vier todos os dias e o mês que tem 4 semanas a resposta será vinte vezes".

Podemos então dizer que a frequência dos alunos na escola é o número de vezes que ele (aluno) frequenta as aulas na escola num intervalo de tempo que pode ser em um dia, semana, mês, bimestre e/ou ano.

Portanto, podemos escrever a frequência (f) da seguinte forma:

Frequência (f) é igual ao número de vezes que algo que se repete (N^0) em uma unidade de tempo (Δt) (escrever no quadro).

A frequência pode ser representada matematicamente da seguinte forma:

$$F=N/\Delta t$$

Voltando ao exemplo que nós discutimos;

Qual é deve ser a frequência(f) dos alunos nas minhas aulas de física por semana? No:

3 vezes

Δt = uma semana

Então $f= 3$ vezes/ por uma semana.

E por Mês? E a frequência por ano? Se vocês podem faltar até 25%, quantas faltas vocês podem ter por ano?

Trazer essas respostas na próxima aula

Unidade da Frequência

Se a unidade de tempo for o segundo, a unidade de frequência é o Hertz (Hz) no sistema internacional de unidades (SI).

Quando se refere a uma oscilação completa ou um ciclo, a frequência pode ser definida da seguinte forma:

A frequência (f) é uma grandeza física que representa o número de oscilações completas realizadas numa unidade de tempo.

Vamos medir a frequência de um pêndulo. Pedirei aos alunos que contem quantas oscilações completas são realizadas em 10s no pêndulo e depois colocarei no quadro o número que eles falarem, por exemplo, 07(sete) oscilações completas e depois farei a dedução na lousa $f = 7/10$ logo a resposta será $f=0,7$ oscilações por segundo ou ciclos por segundo ou

Hertz. Concluir falando que o número de vibrações completas que o corpo efetua por unidade de tempo é denominado frequência(f). A equação que relaciona a frequência terá seguinte relação $f = 1/T$.(Escrever no quadro).

Depois perguntar:

P: Vocês conhecem a faixa de frequência em que as ondas sonoras são audíveis A:

Não.

P: Nunca ouviram falar mesmo? *E se eles (os alunos) já sabem alguma coisa perguntar* e aí eu vou responder que existe a faixa de frequência para as ondas sonoras.

A: Já ouvi falar em ondas e que tem uma frequência para cada ser humano.

P: Onde vocês ouviram falar sobre isso, no caso da frequência dos sons audíveis. A:

Não. Já ouvi, mas não sei o que é, é um valor ou uma tabela.

Agora vou apresentar o espectro sonoro que é a distribuição das frequências, do conjunto de todas as ondas que formam um som. **Espectro sonoro: é o conjunto de todas as ondas que compõem os sons audíveis e não audíveis (infra-sons e ultra-sons) pelo ser humano.**

O homem consegue ouvir sons entre 20 Hz e 20.000 Hz. Os sons de frequência inferior a 20 Hz são chamados de infra-sons e os sons de frequência superior a 20.000 Hz são os ultra-sons e são usados, por exemplo, nas ecografias e nos sonares.

No Reino Animal a faixa de som audível varia de acordo com as espécies; por exemplo, diferentemente do homem, os cães ouvem sons entre 15 Hz e 50.000 Hz e produzem sons entre 452 Hz e 1.800 Hz, enquanto que os morcegos ouvem e produzem, respectivamente, entre os 1.000 Hz e 120.000 Hz e a partir de 10.000 Hz.

A faixa do espectro que o ouvido do ser humano é capaz de ouvir:

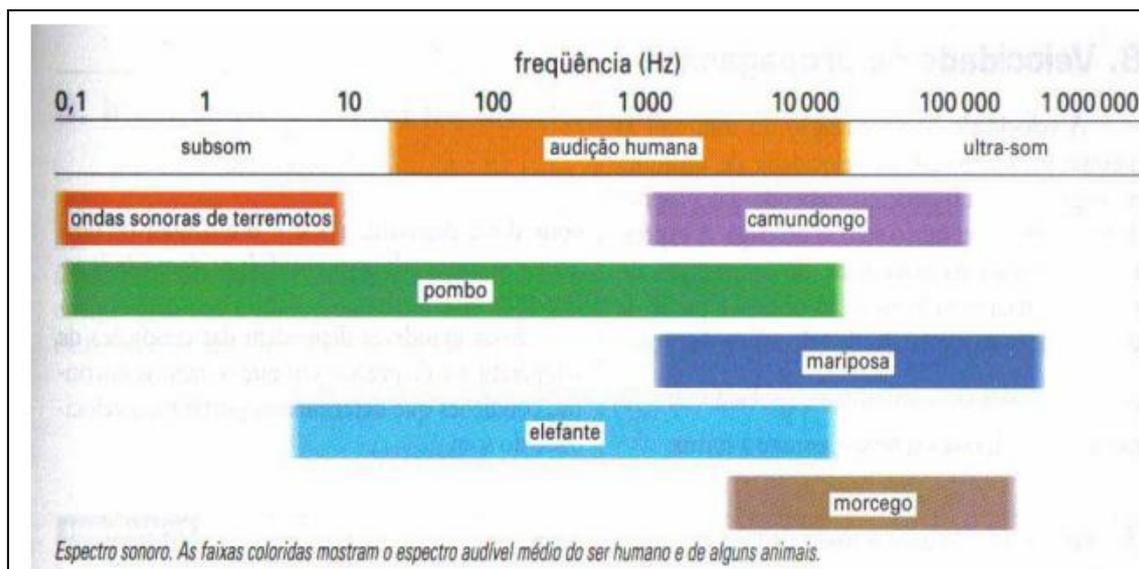


Figura 3 – Faixa de espectro sonoro (Gaspar, 2000, p.63).

Continuaremos a aula fazendo uma relação envolvendo a segunda característica da onda que é o Período. Agora vamos olhar para o mapa e fazer a abordagem da próxima característica da onda.

2.5.2 Período (T)

Vamos estudar outra característica importante denominada Período.

O **período(T)** está relacionado com o **tempo** gasto para realizar um movimento completo que se repete saindo de um ponto até retornar ao mesmo ponto. Esse movimento completo pode ser também denominado como um ciclo completo (ida e volta casa-escola-casa, por exemplo). O tempo de um ciclo recebe o nome de período e será representado pela letra T.

O período é também o tempo gasto em uma oscilação completa. Exemplo: (um barco Viking ou de um pêndulo simples). *Escrever no quadro a relação entre período e frequência, sendo que este tempo (Δt) considerado igual ao período T e se considerarmos apenas oscilações completas.* (Escrever no quadro a relação abaixo)

A relação obtida acima será $f = 1/T$ e chegaremos a conclusão que a frequência é o inverso do período. (posso também fazer uma regra de três simples)

Com um pequeno pêndulo vou pedir aos alunos que marquem no relógio 20s e contar quantas oscilações o pêndulo fez.

Pedir para os alunos fazerem o cálculo utilizando a regra de três simples:

20s-----N oscilações (17 p.ex)

1s-----x

$X = N \text{ oscilações} / 20\text{s}$ a resposta encontrada será o número de oscilações realizadas em 1s.

Irei indicar no mapa a próxima característica da onda que é a amplitude.

2.5.3 Amplitude (A)

Agora iremos discutir outra característica da onda chamada **amplitude (A)**, primeiro vamos mostrar o que é uma posição de equilíbrio utilizando um pêndulo simples (falar que o pêndulo é um pequeno objeto composto de uma massa e amarrado por um fio de massa desprezível, oscila em um plano vertical) vou utilizar para mostrar a posição de equilíbrio e seu deslocamento máximo em relação a posição de origem.

Vou utilizar a mola para fazer uma demonstração perturbando com pouco deslocamento no eixo x e depois com maior deslocamento neste eixo. Após isso vou:

Perguntaremos aos alunos:

P: O que mudou no movimento da mola. **A amplitude (A) é o maior afastamento que as partículas da mola podem apresentar em relação à posição de equilíbrio. Quanto maior a amplitude maior a energia que a onda está transportando.**

Em uma **onda sonora, a amplitude da onda está diretamente relacionada com a intensidade do som.**

Intensidade do som é a qualidade que permite distinguir um som de grande intensidade (som forte) de um som de pequena intensidade (um som fraco). Quanto maior a intensidade do som (maior amplitude), mais forte ele será, ou seja, maior será o seu volume. Quanto menor a intensidade do som (menor amplitude), mais fraco ele será, ou seja, menor será o seu volume. A intensidade do som está relacionada com a energia que é transportada pela onda sonora incidindo em uma área.

Vou retornar ao mapa para abordar a próxima característica da onda.

2.5.4 Comprimento de onda (λ)

Outra característica da onda é o **comprimento de onda**, representado pela letra grega lambda (λ) (escrever no quadro). Agora vou utilizar uma corda estendida em uma mesa,

chamarei os alunos para apresentar e representar o correspondente comprimento de onda na corda. Vou pedir para que um aluno segure em uma extremidade da corda e vou perturbá-la mostrando assim o comprimento da onda de acordo a figura abaixo utilizando uma corda:

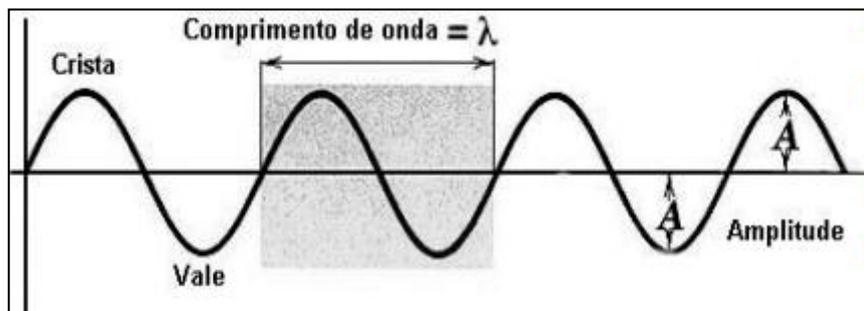


Figura 4 – Onda senoidal

A distância que a onda percorre durante um período T é denominado **comprimento de onda**.

Irei retornar ao mapa para mostrar na qual está localizada a última característica da onda, chamada velocidade de propagação da onda.

2.5.5 Velocidade de propagação da onda (v)

A última característica que apresentaremos será a **velocidade**(v) de propagação de uma onda. Vou comentar o seguinte exemplo, quando eu dou um grito próximo de um lago a velocidade do som no ar é aproximadamente 340m/s e quando atingi a água (outro meio) a velocidade muda que é 1500m/s. Em seguida vou mostrar em uma tabela que será entregue para os alunos, todos já sabem que a velocidade de uma onda depende do meio no qual ela se propaga. O som se propaga mais rápido em sólidos que em líquidos e mais rápido que nos gases, de acordo com a tabela, porque as moléculas nos sólidos estão mais juntas que nos líquidos e daí em diante. Em líquidos e em gases a velocidade do som também pode variar com a temperatura, outro fator que interfere na separação e agitação dos átomos.

O som resulta de compressões e rarefações alternadas das partículas do meio, se nesse meio não existirem partículas, também não pode haver som. Esse meio material pode ser sólido, líquido ou gasoso.

Em geral, o som propaga-se **melhor nos sólidos** do que nos líquidos e nestes melhor do que nos gases. Observe a seguinte tabela.

Tabela 01 – Velocidade do som.

MEIO	VELOCIDADE DO SOM (m/s)
AR	340
ÁGUA	1500
CHUMBO	1230
COBRE	3560
ALUMINIO	5100
FERRO	5130

A velocidade média (rapidez média) de propagação do som no ar pode ser calculada dividindo a distância percorrida pelo tempo que o som leva a percorrê-la.

Deduzir a equação no quadro $V = \Delta s / \Delta t$ lembrando que o comprimento Δs será substituído por λ que será a distância percorrida pela onda (desenhar no quadro) e Δt trocado pelo período T e a nova equação será $V = \lambda / T$ ou posso escrever $V = \lambda \cdot f$. OBS: Propriedades do meio: é válido somente para meios considerados **Homogêneos** (apresentam as mesmas propriedades físicas em todos os seus pontos) e **isotrópicos** (as propriedades físicas são as mesmas em todos os pontos que constituem o meio e em qualquer direção que são observadas).

Estudaremos as ondas sonoras que se propagam no ar, na água, no ferro, etc, e verificaremos que a velocidade de propagação é diferente para cada um desses meios.

3. Conclusão

Nesta aula discutimos o conceito físico de uma onda, classificamos a onda quanto a sua natureza, formas e dimensões de propagação e também definimos as suas características. Utilizei um mapa nesta aula para organizar a sequência dos conceitos que estão sendo propostos e identificamos o som como uma onda sonora.

4. Avaliação

Exercícios:

1. Considere os seguintes fenômenos ondulatórios:

I – Luz

II – som (no ar)

III – Perturbação propagando-se numa mola helicoidal esticada.

Podemos afirmar que:

a) I, II e III necessitam de um meio material para se propagar.

- b) I é transversal, II é longitudinal e III tanto pode ser transversal como longitudinal.
- c) I é longitudinal, II é transversal e III é longitudinal.
- d) I e II podem ser longitudinais.
- e) Somente III é longitudinal.

2. A velocidade de propagação da onda é o mesmo em todos os meios? Justifique.

Resumo da aula

Título da aula: **Estudo sobre Ondas**

Escrever no canto do quadro as respostas dos alunos em relação aos exemplos citados por eles.

Definição de onda: uma onda ou pulso de onda é uma perturbação que se propaga transportando energia, sem envolver o transporte de matéria.

Oscilação completa: corresponde ao movimento de um corpo ou sistema que parte de uma posição inicial e retorna para essa mesma posição depois certo intervalo de tempo, efetuando um ciclo ou uma volta completa.

Quanto a sua natureza, uma onda pode ser:

Mecânica - necessita de um meio material para sua propagação. Exemplo: Som.

Eletromagnética – onda que não necessita de um meio material para se propagar. Exemplo; a luz.

Ondas quanto ao número de dimensões de propagação de uma onda:

Unidimensional utiliza apenas um eixo de coordenadas. Ex. corda.

Bidimensional utiliza dois eixos de coordenadas. Ex. pedra no lago.

Tridimensional que se propagam em todas as direções. Ex. o som.

Formas de direção de vibração da onda:

Transversal: são aquelas cuja direção de vibração das partículas do meio é perpendicular à direção de propagação da onda, exemplo a luz.

Longitudinal: são aquelas que possuem a mesma direção tanto para a vibração das partículas do meio quanto à direção de propagação da onda. Ex.: O som.

Tabela 02 - Classificação das Ondas.

Quanto à sua	Classifica em	Exemplos
Natureza	Mecânicas	Som, ondas em uma mola
	Eletromagnéticas	Luz, raios-X, microondas
Forma de direção de vibração	Transversais	Luz, ondas de rádio
	Longitudinais	Som
Direção de Propagação	Unidimensional	Ondas em uma corda
	Bidimensional	Ondas na superfície de um lago
	Tridimensional	Som

Resumindo: o **som é uma onda mecânica, longitudinal e tridimensional**

Características das ondas

Frequência (f) é igual ao número de vezes que algo que se repete (N°) em uma unidade de tempo (Δt). $F=N/\Delta t$

Espectro sonoro: é o conjunto de todas as ondas que compõem os sons audíveis e não audíveis (infra-sons e ultra-sons) **pelo ser humano**. Vou colocar o espectro resumido num banner e apresentar neste momento da aula.

$$f = 1/T$$

Período(T): é o também o tempo gasto em uma oscilação completa.

$$T = 1/f$$

Amplitude (A) é o maior afastamento que as partículas da mola podem apresentar em relação à posição de equilíbrio. Quanto maior a amplitude maior a energia que a onda está transportando.

Comprimento de onda (λ) (vou comentar na demonstração com a corda).

Velocidade de propagação da onda (v):

$$V = \Delta s/\Delta t \quad \text{e} \quad V=\lambda/T \quad \text{ou posso reescrever} \quad V= \lambda.f. \quad (\text{ Lembrar que } T=1/f)$$

Apêndice B – Aula 02

ONDULATÓRIA

Identificação

Professor: Hudson Azevedo Errobidart

Disciplina: Física

Ano Letivo: 2009

Série: 2^a

Curso: Ensino Médio

Carga Horária: 1 aula

Data: /11/2009

ESCOLA: E. E. Joaquim Murinho

Conteúdo: Frentes de onda, qualidades fisiológicas do som e propriedade das ondas.

Objetivos

Ao término da aula o aluno deverá estar apto a:

- Identificar os diferentes tipos de formas das frentes de ondas;
- Identificar as qualidades fisiológicas do som
- Identificar e diferenciar as propriedades das ondas – reflexão, refração, difração, interferência e os efeitos de transmissão e absorção;

Metodologia

Considerando a teoria de David Ausubel, mais especificamente o princípio da diferenciação progressiva e reconciliação integrativa, o qual considera que o aluno utiliza-se dos conceitos apresentados na aula anterior como âncora para aprender novos conceitos, vou começar a aula fazendo uma breve revisão dos conceitos já apresentados. Inicialmente vou questionar os alunos sobre os conceitos que foram abordados na aula anterior e para fazer o fechamento dessa revisão vou utilizar um painel denominado de “Lembrete” no qual serão listados um resumo dos assuntos tratados na aula anterior: definição de onda, a classificação quanto a sua natureza (mecânica ou eletromagnética), a forma de direção de vibração das ondas (transversal ou longitudinal) e número de direções de vibração (unidimensional, bidimensional e tridimensional) e características da onda (frequência, período, amplitude, comprimento de onda e velocidade). Esse lembrete será fixado na sala permanecendo até o fim da aula. No início com uma discussão sobre os assuntos e concomitantemente vou elaborar um lembrete sobre as abordados na aula anterior.

O desenvolvimento da aula será na forma expositiva com a utilização de um mapa conceitual de ondas e uma corda para atividade demonstrativa.

Recursos didáticos

Professor, alunos, lousa, giz, apagador, mapa conceitual, corada, sala de aula e papel.

Avaliação

- 1- Como se propagam as frentes de ondas de uma onda sonora?
- 2- Quais são as propriedades de uma onda? Diferencie cada propriedade. Questão
- 3- Qual a função do pavilhão auditivo no processo de audição?
- 4- Qual a função do tímpano no sistema auditivo?
- 5- Descreva a trajetória de uma onda sonora desde sua produção na fonte até ser transformada em sinais nervosos no nosso cérebro.

Referências:

GASPAR, Alberto. **Física: Ondas, Óptica e Termodinâmica**, volume 2. 1ª. Edição. São Paulo: Ática, 2000. 416 p.

GASPAR, Alberto. **Física**: volume único. 1ª. Edição. São Paulo: Ática, 2008. 552 p.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. **Fundamentos de Física 2: Gravitação, Ondas e Termodinâmica**. 4ª. edição Rio de Janeiro: Ltc - Livros Técnicos e Científicos Editora Sa, 1996. 292 p.

MÁXIMO, Antônio Ribeiro da Luz; ALVARENGA Beatriz Álvares,. **Física: Ensino Médio**. 1ª. Edição. São Paulo: Scipione, 2008. 400p.

NUSSENZVEIG, Herch Moysés. **Curso de Física Básica: Fluidos - Oscilações e Ondas - Calor**. 4ª. edição revisada São Paulo: Edgard Blücher Ltda, 2002. 314 p.

PENTEADO, Paulo César M; TORRES, Carlos Magno A. **Física – Ciência e Tecnologia v.2**, São Paulo, Moderna, 2005.

Procedimento detalhado

1. Introdução

Vamos iniciar a aula de hoje fazendo um lembrete de tudo o que foi abordado na aula anterior. Vocês lembram qual é a definição de uma onda? [lembrar definição apresentada e anotar no canto do quadro] Vocês se lembram quais foram os conceitos apresentados? [lembrar definição de frequência, período, amplitude, comprimento de onda, velocidade e anotar no canto do quadro].

Olhem aqui no mapa conceitual! Já definimos o que é uma onda, apresentei os conceitos de frequência, período, comprimento de onda, amplitude e velocidade de propagação de uma onda. Hoje vamos trabalhar os conceitos relacionados com as propriedades das ondas [identificar no mapa os tópicos que serão abordados]. Ainda com relação à aula passada, nós vimos que quanto ao número de dimensões de propagação as ondas podem ser classificadas em [induzir os alunos a dizerem unidimensionais, bidimensionais e tridimensionais].

Quando mesmo que uma onda é classificada como unidimensional? Um pulso se propagando em uma corda pode ser considerado unidimensional?

Quando jogamos uma pedra dentro de um lago, ou um grão de feijão, por exemplo, dentro de uma bacia cheia de água o que visualizamos? Seria algo assim como estou desenhando. Isso seria então um exemplo de uma propagação bidimensional.

Se a propagação ocorre em três dimensões como, por exemplo, nas direções x , y e z usando aqui a mesma notação que vocês trabalham em matemática. Uma superfície esférica como a de uma bola seria um exemplo dessa propagação tridimensional.

Seguindo o mapa conceitual, ficou faltando na aula passada definir o que denominamos de frente de onda.

2. Desenvolvimento

2.1 Frente de onda

Em nossa vida diária, estamos continuamente em contato com diversos tipos de ondas. Algumas destas ondas são conhecidas como é o caso do som, e sem ele não existiria a comunicação verbal sonora, muito menos a audição. Também ondas que se propagam na superfície de um lago ou numa bacia cheia de água quando jogamos algo na sua superfície. Essas ondas se propagam por meio das chamadas frentes de ondas.

Voltando no nosso exemplo de uma pedra que ao cair na superfície da água produziu uma perturbação, ou seja, uma onda. O que vocês visualizam? Um único círculo é formado ou são vários círculos concêntricos, ou seja, o primeiro que se formou vai aumentando de tamanho e outro começa a se formar e mais outro e assim até termos vários. O que produziu esse primeiro círculo foi a energia que a pedra transferiu para as partículas de água do primeiro contato e estas transferiram para as que estavam ao seu lado e assim sucessivamente.

Podemos então definir **frente de onda como sendo uma linha de onda que separa a região perturbada da região não perturbada.**

No caso da onda se propagando na superfície da água as frentes de onda seriam os círculos que se formam e exemplificam esse tipo de frente de onda denominado de circular.

Mas e se ao invés de jogar a pedra na superfície da água eu utiliza-se uma régua para produzir a perturbação. A régua vai transmitir energia para cada ponto da água que ele entrar em contato e esse ponto vai transmitir essa energia para o próximo e assim sucessivamente. O que temos então?. Uma frente de onda plana.

Como vocês acham que seria uma frente de onda esférica?

Imaginem a seguinte situação: se eu colocar um aluno nesse canto da sala, outro naquele e outro ali em cima, ou seja, se eu pensar que esse lado representa o eixo X aquele o Y e o outro o Z terei um observador na extremidade de cada um desses eixos. Se o chão estivesse coberto com uma fina camada de água e eu produzisse uma perturbação. O observador lá de cima seria atingido pela frente de onda produzida?

Agora imaginem o seguinte:

Se ao invés disso eu colocasse ali no ponto de junção dos eixos, o canto da sala, uma fonte sonora que emitisse um pulso de energia, o silvo de um apito, por exemplo, será que todos os observadores seriam atingidos pela frente de onda produzida? Que tipo de frente de onda seria produzido?

O som possui uma frente de onda esférica.

Seja uma frente plana, circular ou esférica, a distância entre duas linhas consecutivas representa o comprimento de onda da perturbação produzida.

Os exemplos que vimos acima estão relacionados com propagação bidimensional e tridimensional, mas o que acontece se o pulso for unidimensional como, por exemplo, o que ocorre numa corda? Como será a forma da frente de onda?

Vejamos o seguinte: Vou fazer uma marca com tinta vermelha aqui na corda e quero que vocês observem o que vai acontecer com o essa marca quando começo a produzir oscilações sucessivas na corda.

O que acontece com a marca quando o pulso passa por ela?

Podemos dizer então que quando as ondas são unidimensionais a frente de onda é um ponto localizado em um único eixo sendo possível determinar a posição da perturbação.

Fechamos então esse lado do mapa.

Vamos agora abordar as propriedades das ondas apresentadas aqui o mapa conceitual.

3. Qualidades fisiológicas do som

Nosso ouvido distingue três qualidades nos sons, vejam aqui no mapa [apontar e ler: altura, intensidade e timbre]. Essas qualidades fisiológicas do som correspondem respectivamente às características físicas: frequência, amplitude e forma de vibração da onda.

3.1 Altura de um som

A altura de um som está relacionada com a frequência de vibração da onda sonora emitida pela fonte.

Como foi mesmo que definimos frequência?

Esta qualidade fisiológica nos permite classificar um som como sendo grave ou agudo.

Um som é grave quando possui baixa frequência de vibração.

Quem sabe dar um exemplo de um som grave?

A voz de uma mulher, ao contrário da voz de um homem é fina, possui alta frequência e é classificada com aguda.

Alguém sabe como é tratado na linguagem musical um som grave e um som agudo? [caso nenhum aluno tenha conhecimento musical explicar que na linguagem musical um som agudo é denominado como alto e um som grave é denominado como som baixo.

Uma pessoa com audição normal pode perceber sons compreendidos no intervalo que vai de 20 Hz a 20000 Hz. Esse intervalo compreende o que chamamos de som audível. Valores inferiores a frequência de 20hz são denominados de infra-sons e valores superiores a 20000 Hz são denominados de ultra-sons.

3.2 Intensidade sonora (I)

A outra qualidade fisiológica que apresentamos aqui no mapa [apontar para o mapa] é a intensidade.

Quando falamos de intensidade de um som, precisamos distinguir duas possibilidades de análise: a intensidade objetiva da vibração relacionada com o som emitido pela fonte sonora e a intensidade subjetiva relacionado com a sensação sonora correspondente, ou seja, o som recebido e percebido pelo nosso ouvido.

Levando em consideração a fonte emissora podemos dizer que intensidade sonora é a característica que nos permite diferenciar os sons fracos dos sons fortes e está relacionada com a amplitude da onda emitida.

Como foi mesmo que definimos amplitude?

A intensidade então está relacionada com a quantidade de energia de vibração da fonte, que emite a onda sonora e que é transportada para o meio. Durante a propagação, a onda sonora distribui essa energia em todas as direções.

Porque mesmo que uma onda sonora distribui essa energia em todas as direções?

A intensidade da onda sonora está relacionada com a amplitude – quanto maior a amplitude maior é a energia que ela transporta - isso caracteriza um som de grande intensidade (som forte). No dia a dia fazemos a associação desta qualidade com o volume de um som – um som intenso é vulgarmente chamado de som alto ou forte.

Uma onda de pequena amplitude, que, portanto transporta pouca energia sonora, caracteriza um som de que tipo?

[Esperar que eles respondam, caso não falar: fraco ou de baixo volume como vulgarmente denominamos no dia a dia.

A onda sonora produzida em uma determinada fonte atravessa uma superfície de área A , transportando uma quantidade de energia ΔE , num dado intervalo de tempo Δt .

A grandeza utilizada para determinar a quantidade de energia que atravessa determinada região é denominada INTENSIDADE I e é definida pela expressão:

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

[questionar os alunos se lembram o que é a relação $\frac{\Delta E}{\Delta t}$ definida lá do primeiro ano]

Vocês se lembram dessa definição lá do primeiro ano? [apontar para $\frac{\Delta E}{\Delta t}$ e caso eles não lembrem falar que esta relação representa a potência]

Como energia por unidade de tempo é a definição de potência, podemos escrever a intensidade como sendo:

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

Qual é mesmo a unidade de potência? [esperar que eles respondam Watts, caso não falar]

Qual a unidade de área?

Temos então como unidade de intensidade Watts por metro ao quadrado.

$$I = \frac{P}{A} \left(\frac{W}{m^2} \right) [\text{escrever no quadro}]$$

Essa intensidade sonora, definida exclusivamente a partir de grandezas físicas, depende da potência que ela é produzida na fonte. A potência por sua vez depende da energia do sistema oscilante que lhe deu origem, a qual depende da amplitude [caso algum aluno questione lembrar que lá no primeiro ano eles aprenderam que a energia de uma mola era calculada pela expressão $E = \frac{1}{2}KA^2$ sendo K a constante da mola e A é a amplitude de oscilação]

Essa intensidade sonora objetiva, definida a partir de grandezas físicas é diferente da intensidade sonora subjetiva, percebida pelo nosso aparelho auditivo.

Nosso aparelho auditivo reduz essa intensidade sendo necessário definir uma grandeza de caráter fisiológico.

Essa nova grandeza é denominada **nível de intensidade sonora – β** , e é definida em função de padrões fisiológicos médios.

$$\beta = 10 \cdot \log \frac{I}{I_0}$$

I_0 representa a menor intensidade que podemos perceber e seu valor corresponde a $I_0 = 10^{-12} \text{W/m}^2$.

A unidade de nível de intensidade é o decibel (db).

Para melhor compreender a intensidade subjetiva vamos analisar o gráfico de níveis de intensidade [elaborado na forma de *painel*]

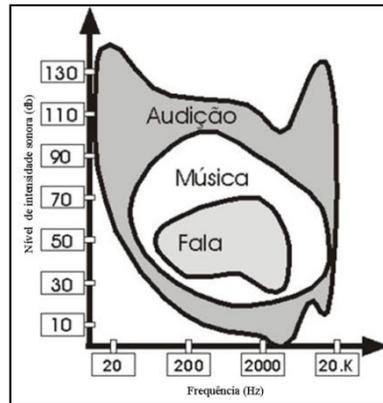


Figura 5 – Gráfico níveis de intensidade (disponível em: <http://www.acusticahoje.com.br/images/publicacoes/ruidos1.jpg>) Acesso em 02 set 2007.

No eixo vertical do gráfico temos os valores dos níveis de intensidade sonora em decibel e no eixo horizontal o valor das frequência percebidas pelo nosso aparelho auditivo.

A parte superior representa o limiar da dor. Sons muito intensos causam sensações desagradáveis e até mesmo dolorosas, podendo provocar lesões definitivas no nosso sistema auditivo.

A parte inferior do gráfico representa o limiar da audição. Essa linha indica a menor intensidade sonora capaz de produção uma sensação audível.

Percebam que o gráfico está representado entre as frequências de 20 a 20000 Hz definidas anteriormente na qualidade fisiológica denominada altura.

O gráfico representa ainda os valores de intensidade e frequência que podem ser atingidos pela fala e pela música o que geralmente nos causam sensações agradáveis.

Nessa figura [também presente no painel] representamos de um lado o valor do nível de intensidade produzido por alguns sons que conhecemos e do outro lado o correspondente valor expresso em função da pressão transmitida pela onda que sensibiliza nosso tímpano.

Todos sabem o que é tímpano?

Na próxima aula eu vou explicar o sistema auditivo e também explicar sua função assim como de outros elementos que compõem nosso ouvido.



Figura 6 – Níveis de intensidade (disponível em: <http://www.infoescola.com/files/2009/08/ondasonora6.jpg>) Acesso em 02 set 2007.

3.3 Timbre

A outra qualidade fisiológica que vamos estudar é o timbre [apontar no mapa].

Vamos fazer uma pequena demonstração para que vocês entendam o que é esta qualidade. Façam silêncio e fechem seus olhos. Eu vou encostar em alguém e essa pessoa deve dizer com grande intensidade a palavra timbre. Vou fazer isso com duas pessoas. E depois quero que os demais me digam se conseguiram identificar quem falou.

O timbre é a qualidade fisiológica do som que nos permite identificar quem está falando. Cada pessoa tem um timbre próprio de voz e por isso identificamos uma pessoa, mesmo sem vê-la, somente ouvindo sua voz.

O timbre é a propriedade que nos permite reconhecer sons provenientes de diferentes fontes independentemente da altura e da intensidade. Uma pessoa com o ouvido treinado, um

músico, por exemplo, é capaz de reconhecer e diferenciar dois sons de mesma frequência e mesma intensidade.

O timbre está relacionado com a forma da vibração a sinuosidade da onda produzida .

4 Propriedades das ondas sonoras

4.1 Ondas e suas propriedades

Vejam no mapa, esses são os outros conceitos que trabalharemos hoje: reflexão, refração, difração e interferência, transmissão e absorção de uma onda.

Vocês se lembram o que significa reflexão? Isso foi abordado quando estudamos óptica, lembram-se?

Olhem aqui no mapa. Luz é um exemplo de que tipo de onda? Uma onda eletromagnética. Vejam aqui na ligação entre os conceitos presentes no mapa.

As ondas eletromagnéticas assim como as ondas mecânicas apresentam as mesmas características que vimos anteriormente e as propriedades aqui apresentadas no mapa .

Vamos estudar agora as propriedades das ondas, e em particular das ondas sonoras que possuem as mesmas propriedades que as demais ondas: Reflexão, refração, difração e interferência como vocês podem ver no mapa. Além dessas propriedades discutiremos também os efeitos de transmissão, recepção e absorção dessas ondas.

4.1 Reflexão

A primeira propriedade a ser trabalhada que é a propriedade da **Reflexão**.

Nós já vimos essa propriedade no bimestre anterior quando estudamos óptica, lembram-se?

Voltemos novamente ao exemplo da pedra na superfície da água.

Qual é mesmo o tipo de frente?

Se essa frente circular produzida na superfície da água atingir um obstáculo como a borda de uma piscina o que acontece?

Esse propagar-se em um meio, bater em um obstáculo e voltar para o mesmo meio no qual estava se propagando é o que caracteriza a propriedade de reflexão, mas isso não ocorre de qualquer forma. Existem as leis que regem o fenômeno de reflexão.

Se frentes de onda, separadas pelo comprimento de onda λ , incidem numa superfície são refletidas de tal forma que o ângulo de incidência é igual ao ângulo de reflexão.

No caso de uma onda sonora a reflexão pode dar origem ao que chamamos de reforço, reverberação e eco. A ocorrência desses fenômenos está relacionada com o tempo de percepção do som direto, ou seja, que está saindo direto da fonte e atingindo nosso ouvido, e o som refletido em um determinado obstáculo.

Reforço

Ocorre em ambientes pequenos como a sala de aula onde o obstáculo está muito próximo da fonte e o som direto e o refletido chegam ao ouvido praticamente ao mesmo instante.

Reverberação

Ocorre em espaços onde os obstáculos encontram-se mais afastados existindo então um pequeno intervalo entre a recepção do som direto e do som refletido. A reverberação ocorre em ambientes como auditórios onde temos a impressão que o som fica prolongado dado essa pequena diferença no tempo de recepção.

Eco

O Eco ocorre quando conseguimos distinguir dois sons que nos chegam em intervalos de tempo diferentes, O som emitido pela fonte e o som refletido devem ser percebidos com um intervalo de tempo superior a 0,1 segundos.

Considerando esse intervalo de tempo de 0,1 podemos calcular qual a distância mínima entre uma pessoa e um obstáculo para que ocorra eco?

Fazendo uso então da equação da velocidade $v = \Delta s / \Delta t$ que vocês devem ter visto na primeira série.

Sendo velocidade do som, constante e igual a 340 m/s e fazendo a substituição na equação temos que a distância mínima deve ser de 17 m.

4.2 Refração

A outra propriedade da onda que também estudamos em óptica é a refração.

Como foi mesmo que definimos refração no bimestre passado?

Se ao invés da frente de onda bater na superfície e retornar, ela atravessar essa superfície que separa dois meios ocorrerá uma mudança na sua velocidade de propagação. Essa mudança na velocidade de propagação é uma das características da propriedade denominada de refração.

Mas como foi mesmo que nós definimos velocidade de uma onda? [caso eles não respondam apontar para o lembrete elaborado no início da aula].

A velocidade é definida como o produto do comprimento de onda pela frequência de oscilação da onda ($v=\lambda.f$). A frequência só depende da fonte que produziu a oscilação sendo então constante. Isso nos leva a considerar que se na refração ocorre uma mudança na velocidade de propagação ocorrerá também uma mudança no comprimento de onda. Como velocidade e comprimento de onda são diretamente proporcionais se um aumenta o outro também aumenta e se diminui o outro também diminui.

Quando estudamos a refração em óptica, nós apresentamos alguma lei que rege esse fenômeno?

Outra característica importante da refração é o desvio que ocorre na direção de propagação quando a incidência é oblíqua. Nesse caso o desvio na propagação pode ser calculado pela expressão matemática da Lei da Refração

$$\frac{\text{sen}\theta_i}{\text{sen}\theta_r} = \frac{v_i}{v_r} \text{ [escrever no quadro]}$$

Como a velocidade é $v = \lambda.f$ [escrever no quadro]

Temos substituindo esses valores na expressão da lei da refração [escrever no quadro]

$$\frac{\text{sen}\theta_i}{\text{sen}\theta_r} = \frac{\lambda_i}{\lambda_r} \text{ [escrever no quadro]}$$

Assim dizemos que uma onda se refratou quando ao passar de um meio para outro, sua velocidade e seu comprimento de onda foram alterados e, além disso, se a incidência da frente de ondas for oblíqua sua direção de propagação também será alterada.

A densidade do meio também influencia nessas alterações.

Quando a onda sai de meio menos denso para um de maior densidade sua velocidade diminui e conseqüentemente também seu comprimento de onda. Isso faz com que as linhas da frente de onda se aproximem.

Ao sair de um meio mais denso para um meio menos denso sua velocidade de propagação aumenta assim como seu comprimento de onda fazendo com que as linhas da frente de onda se afastem.

Podemos perceber a refração do som em dias muito quentes, na praia, por exemplo. Com o sol a areia da praia se aquece e o ar nas suas proximidades se expande produzindo uma diminuição na densidade deste ar. Se a densidade diminui a velocidade aumenta ocasionando o fenômeno de refração.

4.2 Difração

Agora iremos discutir outra propriedade da onda chamada de **Difração**: outro fenômeno relativo às mudanças que ocorrem nas ondas.

Esse é um dos fenômenos de mais fácil percepção. Podemos verificar a difração de uma onda sonora quando estamos conversando com uma pessoa que se encontra do outro lado de um muro, por exemplo, um vizinho de casa ou mesmo com uma pessoa em outra sala que apresenta a porta entreaberta. Nesses casos podemos evidenciar uma propriedade das ondas que lhes permitem contornar os obstáculos que encontram durante sua propagação .

Se a porta estivesse fechada, nós poderíamos ouvir o som da sala ao lado, por exemplo?

É verdade! Mesmo com a porta fechada podemos ouvir o som produzido na sala porque o som pode atravessar a superfície que separa dois meios, no nosso caso a parede. Que propriedade é essa?

Mas me digam uma coisa, a intensidade do som que recebemos é a mesma estando a porta aberta ou fechada?

Porque será que a intensidade do som diminui?

Como eu já disse e vocês devem se lembrar, a propagação de uma onda envolve transporte de energia. Qual é mesmo a característica da onda que está associada com a quantidade de energia que uma onda transporta?

Ao passar pela parede essa energia interage com as partículas que a constituem, fazendo com que vibrem e assim transmitam a energia sonora até a outra extremidade da parede para que retorne ao ar e só então atinjam nosso ouvido. Dada as características do material de que é feito a parede, parte dessa energia será gasta para romper a inércia das partículas e produzirem sua vibração. Assim sendo a intensidade da onda sonora que atinge nosso ouvido é menor, ou seja, escutamos um som de menor intensidade.

A difração é fenômeno que permite com que uma onda contorne um obstáculo e que ocorre com todo tipo de onda: eletromagnética como, por exemplo, a luz ou mecânica como, por exemplo, o som.

4.4 Interferência

Outra propriedade do som que vamos estudar é a interferência. Esse fenômeno pode ocorrer quando o meio recebe dois ou mais sons originados por diferentes fontes ou por interação entre o som emitido pela fonte e o som refletido em um obstáculo. A interação entre essas ondas sonoras pode ocorrer de duas maneiras:

Interferência destrutiva

Ocorre quando a interação entre as duas ondas com fases diferentes, ou seja, no instante em que uma delas produz uma crista a outra produz um vale ou depressão [desenhar isso no quadro] que ao interagir produzem uma onda com menor intensidade ou até mesmo se cancelam. [mostrar desenho]

Interferência construtiva

Ocorre quando da interação entre duas ondas produzidas em fase, ou seja, no instante em que uma delas produz uma crista a outra também produz uma crista [desenhar isso no quadro] que ao interagir produzem uma onda com maior intensidade.

Interferência então é a propriedade da onda que permite que, durante uma interação entre duas ou mais ondas surja uma onda resultante seja mais intensa que as ondas originais, menos intensa, ou até mesmo que se cancelem.

O fenômeno de interferência pode ser facilmente percebido quando estamos em um ambiente onde está acontecendo um show, por exemplo. Vocês já perceberam que em alguns locais é melhor para se ouvir a música do que outros?

Agora que eu expliquei o que é a propriedade de interferência como é que vocês explicam esse fato?

Isto ocorre porque as ondas emitidas pelos diferentes auto-falantes sofrem interferência do tipo construtiva e destrutivas. Um local onde se percebe bem o som é um ponto de interferência construtiva e locais onde o som é ruim ou não se escuta nada está ocorrendo interferência destrutiva.

4. Efeitos de transmissão e absorção

Voltando ao nosso mapa conceitual o que ainda está faltando ser abordado? [caso os alunos não identifiquem mostrar que o próximo conceito é o de transmissão e absorção do som]

Para explicar o efeito de transmissão vamos fazer uma pequena demonstração, para ficar mais fácil de vocês compreenderem o que acontece com a energia que é transportada na propagação de uma onda sonora.

Mas antes vamos lembrar-nos de alguns conceitos.

O que é mesmo uma frente de onda?

Como é a frente de onda de uma onda sonora?

Como não dá para representarmos uma frente de onda esférica, eu proponho uma representação de uma frente circular, só para vocês compreenderem o que acontece com a transmissão de energia.

Imaginem o seguinte: fulano é o ponto que representa a fonte que vai produzir a perturbação. Ele vai receber certa quantidade de energia que vai colocá-lo em vibração. Como ele está rodeado de outros alunos, que representam as partículas da sua vizinhança, ele vai transmitir a energia que ele possui, por meio de vibração, a essas partículas e essas as outras que estão próximas delas e assim por diante.

Como vocês acham que será essa transferência de energia? Por exemplo, se o fulano tiver 10J de energia como ele vai fazer essa transferência?

Com a propagação da onda ocorre uma diluição da energia o que provoca uma atenuação da intensidade da onda, ou seja, uma diminuição dessa intensidade.

Cada vez que dobramos a distância da fonte, a área da esfera aumenta 4 vezes, diminuindo a intensidade sonora na mesma proporção .

Além do aumento na superfície da esfera produzir essa atenuação na intensidade sonora também à poluição do ar, principalmente do monóxido e o dióxido de carbono, colaboram para o aumento da atenuação.

A absorção ocorre quando uma onda atinge um meio material, e parte da energia que está sendo transmitida pela onda é absorvida pelo meio e esta não é restituída (devolvida) para a onda. A parcela de energia absorvida pelo meio normalmente é transformada em calor.

A dissipação da energia sonora por materiais absorventes depende das propriedades do meio e da frequência do som: normalmente a dissipação é grande para sons de altas frequências (agudos) caindo para valores muito pequenos para sons de baixas frequências (graves).

A transmissão e a absorção, de certa forma modificam as características da onda incidente.

5. Conclusão

Nesta aula discutimos o conceito físico de uma onda, tipos de formas das frentes de onda, qualidades fisiológicas do som, identificamos e diferenciamos as propriedades das ondas – reflexão, refração, difração, interferência e os efeitos de transmissão e absorção. Utilizei também o mapa nesta aula para organizar a sequência dos conceitos que estão sendo propostos e identificamos o som como uma onda sonora.

6. Avaliação

Exercícios:

- 1- Quais são as frentes de onda?
- 2- Quais são as propriedades de uma onda?
- 3- Definir o que é uma onda e dê exemplos.

Apêndice C – AULA 03

ONDULATÓRIA

Identificação

Professor: Hudson Azevedo Errobidart

Disciplina: Física

Ano Letivo: 2009

Série: 2^a

Curso: Ensino Médio

Carga Horária: 1 Hora-aula

Data: /0 /2009

ESCOLA: E. E. Joaquim Murinho

Conteúdo: Ondas e o sistema auditivo.

Objetivos

Ao término da aula o aluno deverá estar apto a:

- Identificar as partes que compõem o ouvido humano;
- Descrever os processos físicos relacionados com a trajetória da onda sonora no ouvido externo e no ouvido médio.

Metodologia

A aula será desenvolvida a partir dos conceitos que o aluno já possui sobre as características das ondas e suas classificações e, de acordo com a teoria de David Ausubel, os novos conteúdos a serem aprendidos serão ancorados nos conhecimentos que os alunos já possuem. Para auxiliar esse processo será elaborado um lembrete com os conteúdos tratados na aula anterior que serão necessários para a compreensão da trajetória da onda sonora no sistema auditivo – frentes de onda, qualidades fisiológicas do som e propriedades das ondas.

Num segundo momento serão utilizados dois dispositivos experimentais elaborados e construídos com o objetivo de explorar conceitos físicos relacionados com ondas sonoras e simular o funcionamento do ouvido externo e do ouvido médio no processo de audição. Essa etapa será composta de duas atividades experimentais demonstrativas.

Primeira atividade experimental demonstrativa

O dispositivo DEEDO, mostrado na figura 7 abaixo, será utilizado para abordar os conceitos de: meio material, fonte sonora, frentes de onda, formas da frente de onda, as características ondulatórias de amplitude e frequência, propriedades de reflexão, refração e difração de uma onda.



Figura 7 - Dispositivo experimental DEEDO

Segunda atividade experimental demonstrativa

Antes de iniciarmos a atividade experimental, utilizando o dispositivo, desenvolveremos uma abordagem na forma expositiva, com a utilização de um painel ilustrativo, das partes que compõem o sistema auditivo. Nesta etapa realizaremos uma descrição das partes que compõem o sistema auditivo – ouvido externo, ouvido médio e ouvido interno – e do papel desempenhado por cada uma delas no processo de percepção de uma onda sonora.

Finalizada essa abordagem iniciaremos a atividade experimental, utilizando o dispositivo experimental ouvido mecânico, mostrado na figura 8 abaixo, com o objetivo de explicar o processo de propagação/transmissão de uma onda sonora no ouvido externo e médio. Nessa etapa, além dos conceitos mencionados acima, serão abordadas as propriedades de reflexão, transmissão e absorção de uma onda sonora e as qualidades fisiológicas do som intituladas intensidade e altura.



Figura 8 - Dispositivo experimental ouvido mecânico.

Recursos didáticos

Professor, alunos, lousa, giz, apagador, mapa conceitual, painel ilustrativo do sistema auditivo humano, dispositivos experimentais DEEDO e ouvido mecânico, sala de aula e papel.

Avaliação

Ao final das atividades os alunos serão questionados sobre os conceitos abordados. Serão utilizadas as seguintes questões:

- 1- Como são as frentes de ondas de uma onda sonora? [esféricas]
- 2- O que acontece com essas frentes de onda ao atingirem o pavilhão auditivo?[são refletidas pela superfície da orelha e direcionadas ao conduto auditivo]
- 3- O que ocorre com a forma da frente de onda da onda sonora ao entrar no conduto auditivo? [dada a forma do conduto são transformadas de esféricas em planas]
- 4- Considerando tudo o que acabamos de abordar nessa aula, como vocês descreveriam a trajetória da onda sonora, desde sua produção na fonte até atingir o ouvido médio? [quando a fonte produz uma perturbação numa certa quantidade de energia passa a ser transportada pela onda sonora que se formou. Essa onda se propaga em todas as direções, possui uma frente de onda esférica a qual ao entrar em contato com o pavilhão auditivo, ou orelha, sofre múltiplas reflexões e é direcionada ao conduto auditivo. Dada a forma do conduto a frente de onda é transformada de esférica em plana e a energia que está sendo transportada atinge o tímpano que a absorve e a partir de então entra em vibração. Essa vibração é transmitida ao três ossículos – martelo bigorna e estribo - que transmitem a energia amplificando-o na janela oval]
- 5- Por que um som grande intensidade ou de alta potência pode prejudicar o funcionamento do sistema auditivo? [nosso sistema auditivo tem a capacidade de

perceber som até certo nível de intensidade sem que o sistema auditivo seja prejudicado. Esse nível é denominado de limiar da dor. Sons de grande intensidade ou muito potentes estão relacionados com ondas sonoras de grande amplitude o que significa que está transportando muita energia. Essa energia ao ser absorvida pelo tímpano faz com que ele entre em vibração. Sua capacidade de vibração é limitada e ao ser atingido por um som de grande energia podemos sentir dor ou até mesmo danificar nossa audição.]

Referências:

- GASPAR, Alberto. **Física**: volume único. 1ª. Edição. São Paulo: Ática, 2008. 552 p.
- HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. **Fundamentos de Física 2: Gravitação, Ondas e Termodinâmica**. 4ª. edição Rio de Janeiro: Ltc - Livros Técnicos e Científicos Editora Sa, 1996. 292 p.
- MÁXIMO, Antônio Ribeiro da Luz; ALVARENGA Beatriz Álvares,. **Física**: Ensino Médio. 1ª. Edição. São Paulo: Scipione, 2008. 400p.
- NUSSENZVEIG, Herch Moysés. **Curso de Física Básica**: Fluidos - Oscilações e Ondas - Calor. 4ª. edição revisada São Paulo: Edgard Blücher Ltda, 2002. 314 p.
- PENTEADO, Paulo César M; TORRES, Carlos Magno A. **Física – Ciência e Tecnologia**. v.2, São Paulo, Moderna, 2005.
- MENEZES, Pedro de Lemos; CALDAS NETO, Silvio e MOTTA, Mauricy Alves. **Biofísica da audição**. São Paulo: Lovise LTDA. 2005. 188p.

Procedimento detalhado

Vamos iniciar nossa aula de hoje fazendo um rápido lembrete dos conceitos que foram abordados na aula passa. Olhem no nosso mapa conceitual [apontar para o mapa]. Iniciamos a aula falando de frente de onda.

Como foi mesmo que definimos frente de onda?

Como pode ser a forma da frente da onda?

No caso do som como será a forma da frente?

Com relação às qualidades fisiológicas do som, qual a grandeza física que está associada a cada uma delas e como ocorre a classificação?

$$\text{altura} - \text{frequência} \begin{cases} \text{alta frequência} - \text{som agudo} \\ \text{baixa frequência} - \text{som grave} \end{cases}$$

$$\text{volume} - \text{amplitude} \begin{cases} \text{grande amplitude} - \text{som forte (volume alto)} \\ \text{pequena amplitude} - \text{som fraco (volume baixo)} \end{cases}$$

timbre – relacionado com a forma da onda $\left\{ \begin{array}{l} \text{permite diferenciar sons de} \\ \text{mesma frequência e amplitude} \end{array} \right.$

Com relação às propriedades das ondas, como podemos caracterizar a reflexão? A refração? A Difração? A Interferência? Transmissão? A absorção?

Reflexão – o frente de onda incide na superfície de separação dos meios e retorna ao meio onde estava se propagando – velocidade, comprimento de onda permanecem constante ($\Theta_i = \Theta_r$);

Refração – a onda incidente ao atingir a superfície de separação atravessa para o meio₂. A velocidade e o comprimento de onda sofrem alterações e se a incidência for oblíqua ($\frac{\text{sen}\theta_i}{v_i} = \frac{\text{sen}\theta_r}{v_r}$)

Difração – propriedade que permite que o som contorne obstáculos.

Interferência – propriedade resultante da interação de duas ou mais onda. Pode ser: a) construtiva - quando as ondas estão em fase dão origem a uma nova onda de maior amplitude; b) destrutiva – quando as ondas não estão em fase A interação entre duas ou mais ondas da origem a uma nova onda.

Transmissão – A transmissão é feita através das interações entre as partículas subsequentes, que junto com as interações vão transferindo suas energias às subsequentes, e dependendo da forma da frente, esféricas, por exemplo, esta energia vai sendo distribuída em superfícies cada vez maior, fazendo diminuir a intensidade da onda com a distância da fonte. Com a propagação da onda ocorre uma diluição da energia o que provoca uma atenuação da intensidade da onda, ou seja, uma diminuição dessa intensidade. Essa diminuição ocorre devido o aumento da superfície.

Absorção – ocorre quando uma onda atinge um meio material, e parte da energia que está sendo transmitida pela onda é absorvida pelo meio e esta não é restituída (devolvida) para a onda. A parcela de energia absorvida pelo meio normalmente é transformada em calor.

Atividade 01

[Antes de iniciar a atividade posicionar os alunos da sala num semi-círculo para que a atividade demonstrativa seja observada por todos]

Finalizado nosso lembrete vamos começar uma atividade experimental demonstrativa utilizando esse dispositivo experimental que foi elaborado e construído para abordar alguns

conceitos físicos relacionados com o conteúdo de ondas sonoras, abordados nessas duas últimas aulas e de certa forma fazer um fechamento do conteúdo

Para facilitar a visualização de todos vamos nos posicionar em um semi-círculo aqui próximos do dispositivo.

Num primeiro momento um balde será utilizado como fonte sonora para produzir ondas que ao atingir a membrana, fixada numa das extremidades do “cano”, entrará em vibração.

Vamos iniciar então com um utensílio que todos vocês devem conhecer, o balde. Esse balde será minha fonte sonora nessa atividade. [começar a bater no balde].

Como vocês explicam, utilizando os conceitos físicos que vimos nessas últimas aulas sobre ondas sonoras o fato de eu estar batendo no balde e vocês perceberem um som?

Para melhor visualizarmos essa vibração vamos utilizar essa fonte laser que será posicionada para incidir nessa membrana localizada na extremidade do meu dispositivo experimental.. Essa membrana foi construída com material de radiografias (raios-X). Esse material possui a capacidade de refletir a luz que incide sobre ele. Ao apontar o laser sobre ele refletirá a luz vermelha do laser aqui na parede. Prestem a atenção!

Vou começar a produzir as perturbações na direção da membrana.

Estão conseguindo perceber a vibração? Vejam ali a luz refletida.

Se o balde não está encostado na membrana como é que ela começa a vibrar quando eu produzo a vibração nele?

Que tipo de onda eu estou produzindo?

Qual é mesmo a diferença entre uma onda eletromagnética e uma onda mecânica?

Vou fazer o contrário agora, ao invés de produzir a vibração nessa extremidade que possui a membrana vou produzir a perturbação desse outro lado, na extremidade aberta. Vocês percebem alguma diferença na vibração obtida?

Quem sabe explicar porque a vibração aumentou?

Porque o tubo produz esse aumento?

Como é à frente de onda da onda sonora que está saindo aqui da fonte? [esférica]

Porque ao entrar no tubo a frente de onda passa a ser plana, e a variação da intensidade da onda não varia de forma significativa, à medida que se propaga dentro do tubo, considerando que a absorção pelas paredes do tubo seja desprezível. Vocês se lembram que na aula passada eu disse, quando expliquei a propriedade de atenuação, que como a onda sonora possui frente de onda esférica a cada vez que dobramos a distância da fonte a frente de onda, a área da esfera aumenta quatro vezes, diminuindo a intensidade sonora na mesma proporção,

ou seja, quatro vezes também. Pois bem, esse é o motivo de percebermos um aumento na frequência de vibração da membrana.

Para continuar a atividade vou precisar de um voluntário. Fulano, gostaria que você produzisse com o balde uma perturbação para simbolizar um som agudo e depois uma perturbação para representar um som de grande intensidade (som forte).

Você sabe como fazer isso ou quer pedir ajuda aos seus colegas?

Vocês perceberam que quando o [nome do aluno] aumentou a frequência ou a amplitude da onda emitida na fonte sonora, representada pelo balde, a membrana vibrou mais vigorosamente, ou seja se aumentamos a frequência ou a amplitude da onda sonora que está saindo da fonte esse acréscimo será transmitido quase que integralmente a membrana.

Para finalizar essa primeira atividade gostaria que vocês me dissessem quais os conceitos que conseguimos abordar?

Atividade 02:

O objetivo desta atividade é utilizar o dispositivo para explicar o processo de reflexão, recepção e transmissão de uma onda sonora no ouvido externo e médio. Antes de iniciarmos a atividade experimental abordaremos alguns aspectos do sistema auditivo humano – ouvido externo, ouvido médio e ouvido interno utilizando um painel ilustrativo para guiar nossa discussão.

Agora vamos voltar ao nosso mapa conceitual. De todos esses conceitos ficou faltando abordar o sistema auditivo [apontar para o mapa]. É isso que vamos fazer a partir de agora.

Vocês já estudaram em algum momento o sistema auditivo humano em Biologia?

Antes de explicar os processos físicos relacionados com a propagação da onda sonora dentro do nosso sistema auditivo, vou fazer uma abordagem sucinta sobre a composição e o funcionamento do nosso ouvido. Para isso vou fazer uso deste painel ilustrativo aqui.

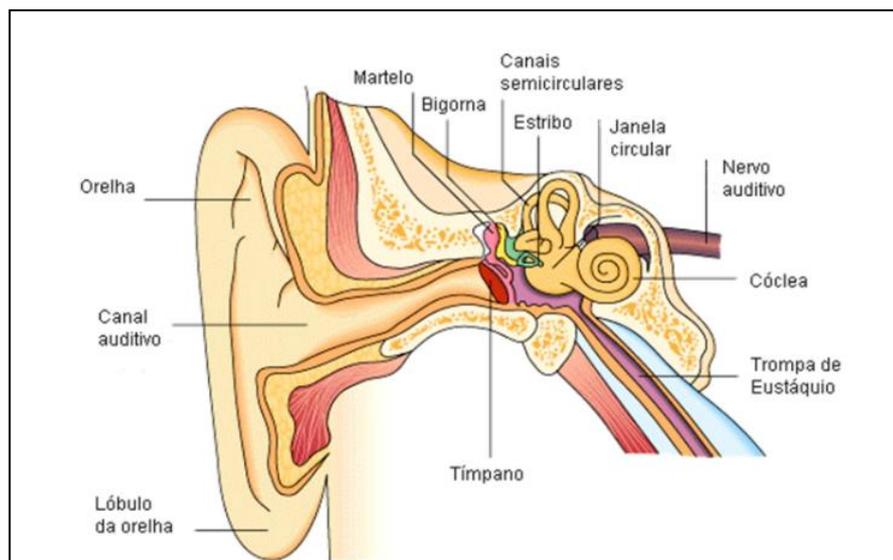


Figura 9 – Ilustração do sistema auditivo (disponível em: <http://www.granvox.com.br/arquivos/fotos/ouvido.jpg>). Acesso em 04/03/2008.

O ouvido humano divide-se em três partes: o ouvido externo composto pela orelha, o canal auditivo e o tímpano, o ouvido médio, composto pelos três ossículos – martelo, bigorna e estribo, e o ouvido interno composto pela janela oval ou circular, cóclea, trompa de eustáquio e o nervo auditivo. Cada uma destas partes desempenha funções específicas no processo de audição.

A orelha essa cartilagem que temos grudada na cabeça [segurar na orelha] é cheia de dobras e tem a função de refletir e difratar o som que sai da fonte para o conduto auditivo.

O conduto auditivo é esse local onde nós colocamos o cotonete para fazer a higienização. É um tubo que tem cerca de 3 cm de comprimento cujas paredes internas possuem saliências que dificultam a visão da membrana timpânica. A pele que recobre essa parede interna é provida de glândulas ceruminosas e sudoríparas e folículos pilosos – que são esses pelinhos que temos dentro do ouvido, que tem função protetora.

No processo de propagação da onda sonora tem a função de captar os sons e por reflexão fazer sua condução até o tímpano.

O tímpano é uma membrana localizada no final do conduto auditivo e tem por finalidade receber a energia sonora proveniente de uma fonte, para entrar e vibração com a mesma frequência com que foi excitada. Sua forma cônica faz com que a energia se concentre no centro da membrana, local onde se faz o contato com o martelo.

Mas será que qualquer frequência de oscilação que uma onda produz sensibiliza nosso tímpano?

Vimos anteriormente que só percebemos sons com frequências entre 20 e 20.000Hz. Valores inferiores a 20 Hz são denominados de infra-sons e valores superiores a 20.000Hz são denominados de ultra-sons.

E quanto ao nível de intensidade sonora. Vocês lembram os valores limites?

Sons de grande intensidades ou potência sonora podem provocar dores no tímpano chegando a alguns casos a produzir danos irreparáveis.

Isso significa que devemos tomar cuidado com a saúde do nosso tímpano.

Voltando ao painel temos os três ossículos – o martelo que, como eu disse ainda a pouco, faz a ligação com a membrana timpânica, e, portanto vibra com a mesma intensidade que o tímpano transmitindo essa vibração para a bigorna que impulsiona o estribo alternadamente para dentro e para fora da janela oval, finalizando o processo de transmissão do som.

A trajetória do som no ouvido médio é caracterizada por um mecanismo de alavanca e uma relação hidráulica, que será discutida quando da utilização do dispositivo experimental.

Voltando ao nosso painel. Ainda falta-nos falar do ouvido interno.

O ouvido interno ou orelha interna é um conjunto complexo de cavidades preenchidas por líquido e por estruturas membranosas. Estas cavidades se organizam em duas partes: o labirinto anterior ou cóclea, relacionada com a função auditiva, e o labirinto posterior, que, por sua vez compreende o vestíbulo e os canais semicirculares relacionados com o equilíbrio corporal.

O ouvido interno é responsável pela percepção sensorial e pela discriminação do som. Essa discriminação do som é denominada quantitativa quando se relaciona com a percepção da intensidade sonora e qualitativa quando relacionada a seleção de frequência.

Para demonstrar os processos físicos relacionados com a trajetória da energia sonora dentro do nosso ouvido externo e médio vamos realizar uma nova atividade experimental utilizando o dispositivo ouvido mecânico



Figura 10 - Dispositivo ouvido mecânico - utilizado para representar o ouvido externo e o médio.

Olhando para o aparato experimental que acabei de montar, vocês encontram alguma semelhança com o sistema auditivo que acabamos de analisar?

O que cada pedaço representa?

Esse cano ou tubo tem a função de representar nosso conduto auditivo. Essa membrana colocada numa das extremidades do cano vai representar a membrana timpânica.

Essa parte [apontar para os ossículos] foi elaborada com o objetivo representar os ossículos – martelo, bigorna e estribo. O dispositivo ouvido mecânico foi elaborado levando-se em consideração as proporções com o tamanho do tímpano e a distância entre o tímpano e a janela oval.

Os ossículos são ossos independentes, mas o dispositivo para representá-los foi construído como uma peça única para evitar que ocorressem perdas de energia no processo de propagação, dado que a união das peças, elaboradas para representar separadamente cada ossículo, certamente produzia atrito. Esse atrito prejudicaria o resultado da atividade.

Apesar do aparato não possuir uma orelha, e vocês vão entender o porque disso daqui a pouco, vou começar a atividade por ela.

Quando uma fonte sonora começa a emitir um som a frente de onda é de que forma? Um frente de onda esférica implica que teremos partículas vibrando em quantas direções?

Se essa fonte sonora não estivesse aqui dentro da sala, mas lá na coordenação, por exemplo, quais as propriedades ondulatórias que poderíamos supor que seriam evidenciadas na trajetória dessa onda sonora que transporta apenas energia até atingir nosso ouvido?

Verificamos que as quatro propriedades listadas no nosso mapa conceitual podem ser evidenciadas nessa trajetória.

Mas se a perturbação fosse produzida por uma fonte escondida em algum lugar aqui na sala, por exemplo, se alguém se esquecesse de desligar o seu celular e ele tocasse lá, guardado dentro da mochila, como vocês acham que nós poderíamos localizar a fonte?

Num impulso instintivo nós começamos a mexer a cabeça para melhorar a recepção do som pelo nosso ouvido. Alguns animais nem precisam mexer a cabeça eles possuem a mobilidade da própria orelha. Ficam mexendo a orelha até localizarem a direção de onde está vindo o som.

Qual é então a função da nossa orelha?

Qual a finalidade dessas dobras na orelha?

Apesar de a orelha desempenhar um papel importante no processo de audição, resolvemos utilizar o aparato para explicar os conceitos físicos relacionados com o processo de audição e também chamar a atenção de vocês para uma atitude comum entre jovens. A utilização do fone de ouvido.

Esse é o nosso fone de ouvido.

Quando a perturbação é produzida por uma fonte fora do canal auditivo, as frentes de onda têm forma esférica.

O que acontece com essa energia sonora quando ela começa a se propagar no espaço? [como a frente de onda é esférica com a propagação da onda ocorre uma diluição da energia o que provoca uma atenuação da intensidade da onda, ou seja, uma diminuição dessa intensidade. Essa diminuição ocorre devido ao aumento da superfície e da poluição do ar].

O nosso fone de ouvido vai produzir a perturbação dentro do canal auditivo. A energia emitida pela fonte será diluída ou atenuada?

O que acontece com essa energia quando percorre o tubo e chega aqui no tímpano?

Como o tímpano entra em vibração, e como ele está em contato com os ossículos ele transmite essa vibração para eles que por sua vez transmite a janela oval.

A pressão que o tímpano recebe é transmitida pelos ossículos para a janela oval sem alteração?

No ouvido médio, composto pelos ossículos, ocorrem dois processos de transmissão de energia: um associado a um mecanismo de alavanca e outro associado a um processo hidráulico.

No processo de alavanca o martelo em contato com a membrana timpânica começa a vibrar com mesma intensidade a qual transmite para a bigorna que impulsiona o estribo

alternadamente para dentro e para fora da janela oval finalizando o processo de transmissão do som.

A relação hidráulica existe graças a diferença na área do tímpano e da janela oval. O tímpano tem área de aproximadamente 55 mm^2 , enquanto que a área da janela oval é de cerca 3 mm^2 o que segundo o princípio de pascal possibilita um ganho de pressão.

Vocês se lembram do princípio de Pascal?

Nós aprendemos em hidrostática, lá no primeiro ano, que:

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

Sendo a força que atua no tímpano transmitido integralmente a janela oval, ou seja a força é constante temos:

$$F = P.A$$

Sendo a relação entre pressão e área inversamente proporcional, quando diminuimos a área aumentamos a pressão.

Quando utilizamos o fone de ouvido praticamente não temos atenuação da energia sonora e isso resulta numa maior pressão no tímpano e muito maior ainda na janela oval.

Também a vibração provocada no tímpano sofre alterações.

Nessa parte da atividade as ondas serão produzidas com um pistão. A profundidade do pistão no tubo representará a amplitude da onda que chega até o tímpano (amplitude representa a quantidade de energia que o pulso transmite ao tímpano, ou seja a intensidade da onda sonora – som de grande intensidade(som forte)e um som de pequena intensidade (som fraco). Mudando a amplitude de vibração verificaremos o efeito produzido nos “ossículos” e buscaremos conscientizar os alunos dos problemas que sons intensos (ou como denominamos no cotidiano som alto).

Aumentando a frequência de vibração do pistão e verificando os efeitos nos ossículos abordaremos os sons de altas frequências.

Se eu estou escutando um som de baixa, mas se o som for de alta intensidade o que muda?

O som agudo e o som grave que caracterizam a altura de um som, também sofrerão alterações com a proximidade da fonte?

Que característica física eu uso para classificar o som como grave ou agudo?

A frequência que é o número de oscilações por unidade de tempo.

Vou produzir um som grave com o meu fone de ouvido.

Qual a diferença relacionada com a frente de onda nos dois casos?

Considerando tudo o que foi abordado o que vocês podem falar do uso do fone de ouvido?

Lembrem-se que a membrana timpânica é flexível/elástica e que o uso prolongado do fone de ouvido pode provocar perda da elasticidade prejudicando a audição. É como se fosse uma roupa com elástico que você gosta muito e usa quase todo dia. Com o passar do tempo ele vai perdendo a elasticidade e acaba estragando. O mesmo pode acontecer com o tímpano quando o uso é muito frequente.

Se o uso não é frequente, mas as poucas vezes que ele usa ele coloca o volume com máxima intensidade isso também vai prejudicar a saúde da sua audição.

Apêndice D - ROTEIRO DA ATIVIDADE EXPERIMENTAL 1

Orientações aos alunos:

As questões do roteiro foram elaboradas com o objetivo de orientar sua participação na atividade experimental demonstrativa sobre ondas sonoras.

Cada questão tem dois espaços para a resposta. Você usará o primeiro espaço para responder antes da realização do procedimento experimental e a segunda resposta será dada após o desenvolvimento da atividade experimental.

DESENVOLVENDO A ATIVIDADE EXPERIMENTAL

Atividade 01: Usando o dispositivo 01 iremos abordar os conceitos de: meio material, fonte sonora, frentes de onda, formas da frente de onda, as características ondulatórias de amplitude e frequência, propriedades de reflexão, refração e difração de uma onda.

Procedimento 01: O balde como fonte sonora e a propagação do som

1. Quando batemos no balde com a mão ele entra em vibração e um som é produzido. Explique como esse som chega até os nossos ouvidos.

Rever resposta:

1. _____

Procedimento 02: Analisando a onda quanto a sua natureza.

2.1 Se o balde não está encostado na membrana como é que ela começa a vibrar quando eu produzo a vibração nele?

2.2 Que tipo de onda eu estou produzindo?

2.3 Qual é a diferença entre uma onda eletromagnética e uma onda mecânica?

Rever as respostas:

2.1

2.2

2.3

Procedimento 03: Abordando a transmissão e atenuação da intensidade sonora

3.1 Quando perturbamos o balde próximo à membrana fina ela passou a vibrar porque a perturbação foi transmitida às partículas do meio até atingi-la. Agora, ao invés de produzir a vibração nessa extremidade que possui a membrana vou produzir a perturbação desse outro lado, na extremidade aberta do tubo. O que vocês acham que vai acontecer com a membrana: ela vibrará mais, menos, igual ou não vibrará? Por quê?

Rever a resposta:

3.1

3.2 Quando temos uma fonte sonora aqui no meio da sala como é a frente de onda dessa fonte? De que forma ela se propaga?

3.3 Como é a frente de onda produzida no balde? E a que atinge a membrana?

Rever resposta:

3.1

3.2

3.3

3.4 Por que a vibração aumenta quando a perturbação é produzida na extremidade aberta do tubo?

Rever resposta:

3.4

3.5 Se em nenhum dos dois casos, demonstrados acima, o balde não está encostado na membrana como é que ela começa a vibrar quando eu produzo a vibração nele?

Rever resposta:

3.5

Procedimento 04: Abordando as características de uma onda

4.1 Como eu poderia produzir com o balde uma perturbação para reproduzir um som agudo?

Rever resposta:

4.1

4.2 Como eu poderia produzir com o balde uma perturbação para simbolizar um som forte?

Rever resposta:

4.2

4.3 É uma perturbação para produzir um som fraco?

Rever resposta:

4.3

Apêndice E - ROTEIRO DA ATIVIDADE EXPERIMENTAL 2

Orientações aos alunos:

As questões do roteiro foram elaboradas com o objetivo de orientar sua participação na atividade experimental demonstrativa sobre ondas sonoras.

Cada questão tem dois espaços para a resposta. Você usará o primeiro espaço para responder antes da realização do procedimento experimental e a segunda resposta será dada após o desenvolvimento da atividade experimental.

DESENVOLVENDO A ATIVIDADE EXPERIMENTAL

Atividade 2: Usando os dispositivos 01(*DEEDO*) e 02(*OUVIDO MECÂNICO*) mostrados na figura 1 abaixo, iremos discutir: as propriedades de reflexão, refração e difração de uma onda, estudar a propagação, a transmissão e a amplificação do som no ouvido externo e ouvido médio e abordar os efeitos do uso inadequado do fone de ouvido.

Procedimento 01: O dispositivo e as partes do ouvido externo e médio

1. O dispositivo experimental (Figura 1) foi elaborado para ilustrar/demonstrar os fenômenos/processos físicos relacionados com a propagação, transmissão e amplificação do som no interior do ouvido externo e médio. Identifique os elementos que compõem o ouvido indicados pelos números apresentados nesta figura.

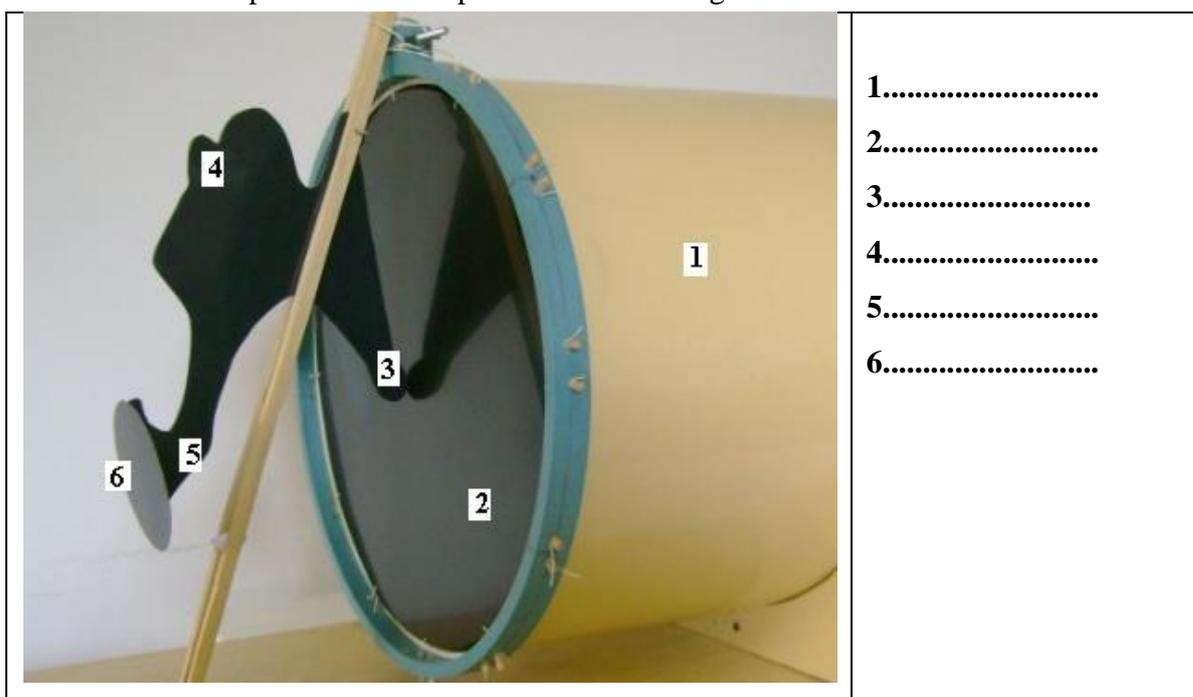


Figura 1 – Ilustrações das partes do ouvido – dispositivo ouvido mecânico.

Procedimento 02: A física e a audição humana

Antes das discussões

2.1 Quando uma fonte sonora começa a emitir um som em um ambiente aberto, a frente de onda é de que forma?

2.2 Uma frente de onda esférica implica que teremos partículas vibrando em quantas direções?

2.3 Se essa fonte sonora não estivesse aqui dentro da sala, mas lá na coordenação, por exemplo, quais as propriedades ondulatórias que poderíamos associar à trajetória dessa onda sonora que transporta apenas energia até atingir nosso ouvido?

Rever as respostas:

2.1

2.2

2.3

2.4 Qual é então a função da nossa orelha?

Rever as respostas:

2.4

3. A utilização do fone de ouvido

3.1 Quando a perturbação é produzida por uma fonte fora do canal auditivo, às frentes de onda têm forma esférica. O que acontece com essa energia sonora quando ela começa a se propagar no espaço?

3.2 O nosso fone de ouvido (pistão) vai produzir a perturbação dentro do canal aditivo. O que acontece com a energia emitida pela fonte?

3.3. O que acontece com essa energia quando percorre o tubo e chega ao tímpano?

Rever as respostas:

3.1 _____

3.2 _____

3.3 _____

3.4 Que tipos de sons podem prejudicar nosso sistema auditivo?

Rever as respostas:

3.4 _____

Avaliação da aula

Para finalizar a aula vocês devem me responder as 3 últimas questões do roteiro.

1 O que acontece com as frentes de onda ao atingirem o pavilhão auditivo?

2 O que ocorre com a forma da frente de onda da onda sonora ao entrar no conduto auditivo?

3 Considerando tudo o que foi abordado o que vocês podem recomendar para os seus colegas, que não estudaram ainda ondas sonoras, sobre uso adequado do fone de ouvido?

Apêndice F – Pré-teste

1. (F.E. São Carlos – SP- modificado) A propagação de ondas envolve necessariamente:
 - (a) Transporte de energia.
 - (b) Uma única natureza de energia.
 - (c) Transporte de matéria.
 - (d) Transporte de matéria e energia
 - (e) Não sei
2. Durante a incidência de raios numa tempestade, observamos primeiro a luz do relâmpago e somente depois o som do trovão. Isso ocorre por que:
 - (a) O meio dificulta a propagação do som e o mesmo meio dificulta a propagação da luz no ar.
 - (b) A luz emitida pelo relâmpago é muito intensa.
 - (c) O relâmpago e o trovão são produzidos em momentos diferentes.
 - (d) A velocidade de propagação do som é menor que a da luz.
 - (e) Não sei.
3. Os níveis sonoros permitidos por normas de poluição sonora para proteger o ser humano como: irritação, estresse emocional e diminuição da capacidade auditiva. Para evitar a poluição sonora, devemos limitar os níveis permitidos que são medidos em:
 - a) Hertz.
 - b) Decibéis.
 - c) Megahertz.
 - d) Watts.
 - e) Não sei.
4. A pressão exercida pelas ondas sonoras no tímpano é muito leve e deve ser amplificada durante o seu percurso até a janela oval pela ação do (a):
 - a) Pavilhão auditivo;
 - b) Martelo, estribo e bigorna
 - c) Conduto auditivo;
 - d) Trompa de Eustáquio;
 - e) Não sei.
5. A rigidez do _____ tem como função limitar nossa sensibilidade de alcance auditivo e impedir que sejamos importunados por sons externos tão baixos quanto às contrações musculares ou movimentos ósseos do nosso próprio corpo.
 - a) Pavilhão auditivo;
 - b) Tímpano;
 - c) Martelo;
 - d) Estribo.
 - e) Não sei
6. Quando uma pessoa fala, ou quando batemos em um tambor, ou em um pedaço de metal ou de madeira, estes corpos _____ e emitem _____. Todos estes corpos que são fontes sonoras emitem sons que se propagam _____ situados nas imediações.
 - a) Vibram, som, no meio material.
 - b) Param, som, no meio sólido.
 - c) Movem, luz, em apenas uma direção.
 - d) Vibram, som, no vácuo.
 - e) Não sei.

Apêndice G – Pós-teste

- Qual das partes que compõem o sistema auditivo é responsável pela transmissão dos sons?
 - Cóclea;
 - Tímpano;
 - Martelo;
 - Canal semicircular;
 - Nervo auditivo.
- Qual das partes que compõem o sistema auditivo é responsável pela amplificação dos sons?
 - Os ossículos – martelo, estribo e bigorna;
 - O canal auditivo;
 - A trompa de Eustáquio;
 - A janela oval;
 - O nervo auditivo.
- A pressão do som pode ser triplicada quando chega a janela oval do ouvido interno, graças a ação do (a):
 - Pavilhão auditivo (orelha);
 - Conduto auditivo;
 - Trompa de Eustáquio;
 - Ossículos;
 - Tímpano.
- “Embora o ouvido humano amplie uma vasta gama de intensidades de sons, o equipamento transmissor é muito rígido para reagir a sons fraquíssimos e esses não são, portanto, ouvidos”. Se não existisse um limite para o alcance auditivo, seríamos importunados “por sons tão baixos quanto as contrações musculares ou os movimentos ósseos” do nosso próprio corpo. A que equipamento o texto se refere:
 - Tímpano;
 - Martelo;
 - Bigorna;
 - Estribo;
 - Trompa de Eustáquio.
- Quando somos assediados por um som de grande _____, entram em ação dispositivos de segurança que servem para proteger nosso ouvido interno dos ruídos fortes e de grandes alterações na pressão do ar. O tímpano é tensionado por um músculo que reduz sua capacidade de _____ e o estribo é afastado do seu ponto de contato com o ouvido interno.
 - Frequência e vibração;
 - Vibração e reflexão;
 - Frequência e absorção;
 - Intensidade e vibração;
 - Amplitude e amplificação.
- A altura do som nos permite classificá-lo como _____ ou _____ e que está relacionado com a (o) _____ da onda sonora.
 - Alto, baixo, amplitude.

- b) Grave, grossa, frequência.
- c) Aguda, grave, amplitude.
- d) Grave, agudo, frequência.
- e) Grave, agudo, timbre.

7. Considere os seguintes fenômenos ondulatórios:

- I- Luz
 - II- Som no ar
 - III- Perturbação se propagando numa mola helicoidal esticada.
- Podemos afirmar que:

- (a) Somente III é longitudinal.
- (b) I e II podem ser longitudinais.
- (c) I é longitudinal, II é transversal e III é longitudinal.
- (d) I é transversal, II é longitudinal e III é tanto longitudinal como transversal.
- (e) I, II e III necessitam de um suporte material para propagar-se.

8. Um conta gotas situado a certa altura H , acima da superfície de um lago, deixa cair sobre ele uma gota de água a cada três segundos. Se as gotas passarem a cair na razão de uma gota a cada dois segundos, as ondas produzidas na água terão menor :

- (a) Amplitude;
- (b) Comprimento de onda;
- (c) Frequência;
- (d) Timbre;
- (e) Velocidade.

9. Na construção de uma “concha acústica” de boa qualidade deve-se levar em consideração sua capacidade de:

- a) Difração.
- b) Refração.
- c) Reflexão.
- d) Interferência.
- e) Dispersão.

Apêndice H – TERMO DE LICENÇA

Eu, xxxxxxxxxxxxxxxx, diretor da instituição de ensino Escola Estadual xxxxxxxxxxxx, concedo licença para que seja desenvolvido na instituição citada acima o projeto “ **A Utilização de dispositivos experimentais para ensinar ondas** ”, que será realizado por Hudson Azevedo Errobidart, mestrando no programa de Mestrado em Ensino de Ciências, e orientado pela professora Doutora Shirley Takeco Gobara.

Declaro como verdade o termo acima.

XXXXXXXXXXXXX
(Diretor da Instituição)

Hudson Azevedo Errobidart
(Mestrando)

Shirley Takeco Gobara
(Orientadora)

Campo Grande – MS, setembro de 2009.

Apêndice I - TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Você está sendo convidado a participar como voluntário de uma pesquisa que está sendo desenvolvido por Hudson Azevedo Errobidart, mestrando no Programa de Mestrado em Ensino de Ciências. Leia com atenção esse termo e se você estiver de acordo assine no final deste.

A finalidade desta pesquisa é avaliar um material didático alternativo, de baixo custo, para o ensino de Ondulatória que contemple a atividade experimental de demonstração em aulas de física e também para facilitar a aprendizagem desse tema. As aulas serão gravadas e/ou filmadas para análise posterior.

Para participar da pesquisa, o aluno deve estar cursando o Ensino Médio e a duração da investigação esta previsto para uma semana. Não haverá exibição do conteúdo, ou qualquer outro uso além da pesquisa, e a identidade dos alunos será preservada.

Sua participação não é obrigatória, e, a qualquer momento, você poderá desistir de participar e retirar seu consentimento. Sua recusa não trará nenhum prejuízo em relação a pesquisa ou com a instituição, lembrando que sua participação no estudo, é **voluntária**.

Para perguntas ou problemas ao estudo você pode contactar, por e-mail, o pesquisador Hudson Azevedo Errobidart (herobidart13@yahoo.com.br). Você receberá uma cópia desse termo e para perguntas adicionais sobre seus direitos como participante no estudo você pode consultar o Comitê de Ética em Pesquisa com Seres Humanos da UFMS, no telefone 3345-7186.

Este documento será elaborado em duas vias, sendo uma do pesquisador e outra do sujeito da pesquisa.

Declaro que li e entendi este formulário de consentimento e todas as minhas dúvidas foram esclarecidas. Sou voluntário a tomar parte neste estudo.

Assinatura do voluntário ou responsável (caso o voluntário seja menor de idade)

_____ Campo Grande, ____ de _____ de _____

Telefone ou e-mail para contato: _____

Assinatura do pesquisador

_____ Campo Grande, ____ de _____ de _____.

Apêndice J – Lembrete 01

Lembrete 01: Estudos sobre ondas sonoras

Uma onda ou um pulso de onda é uma perturbação que se propaga transportando energia sem envolver o transporte de matéria.

Quanto a sua natureza:

- **Mecânica:** necessita de um meio material para se propagar. Exemplos: ondas na corda, na água, **som**.
- **Eletromagnética:** não necessita de um meio material para se propagar. Exemplo a luz.

Quanto ao número de direções de propagação:

- **Unidimensional** – corda;
- **Bidimensional** – superfície;
- **Tridimensional** – som no ar.

Quanto às formas de direção de vibração:

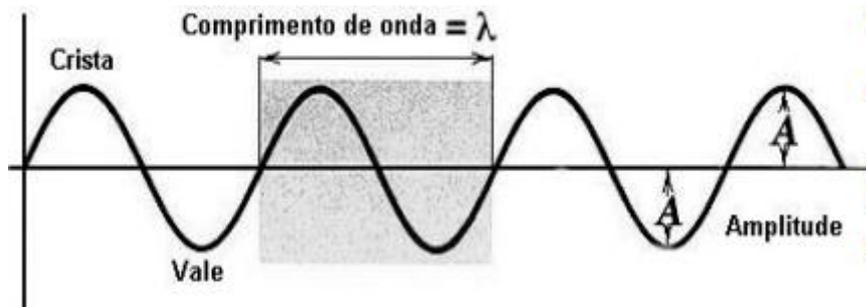
- **Transversais** – luz, ondas de rádio;
- **Longitudinais** – som.

Som é uma onda mecânica, longitudinal e tridimensional.

Apêndice K – Lembrete 02

Lembrete02: Características de uma onda

- **Frequência** – f → número de oscilações completas realizadas numa unidade de tempo (Hz).
- **Período** – T → tempo de uma oscilação completa (segundo – s).



- **Amplitude** – A → maior afastamento que as partículas podem apresentar em relação a posição de equilíbrio. Maior A – maior energia.
- **Comprimento de onda** – λ → distância que a energia da onda percorre durante um T .
- **Velocidade** – v → razão entre distância percorrida pela onda e tempo de uma oscilação completa.

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{\lambda}{T}$$

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

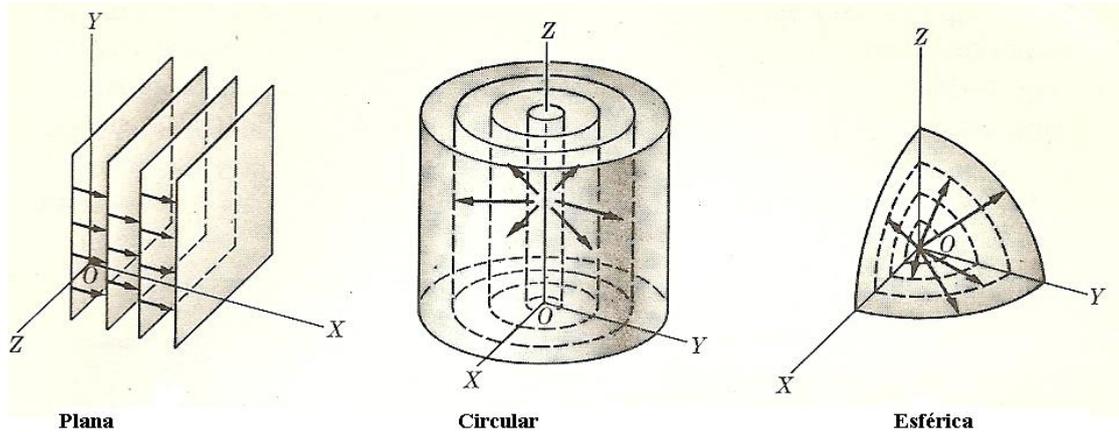
Teremos:

$$v = \lambda \cdot f$$

Apêndice L – Lembrete 03

Lembrete03: Frente de ondas e qualidades fisiológicas do som

- **Frente de onda** – linha composta por todos os pontos em fase (crista ou vale) que identifica e separa a região perturbada pela propagação do pulso de energia da região não perturbada.



- **Qualidades fisiológicas do som:**

altura – frequência { *alta frequência – som agudo*
baixa frequência – som grave

intensidade – amplitude { *grande amplitude – som forte (volume alto)*
pequena amplitude – som fraco (volume baixo)

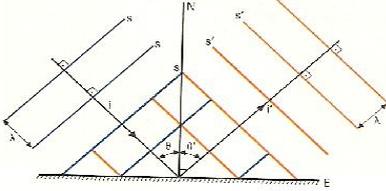
timbre – relacionado com a forma da onda { *permite diferenciar sons de*
mesma frequência e amplitude

Apêndice M – Lembrete 04

Lembrete 04: Propriedades das ondas

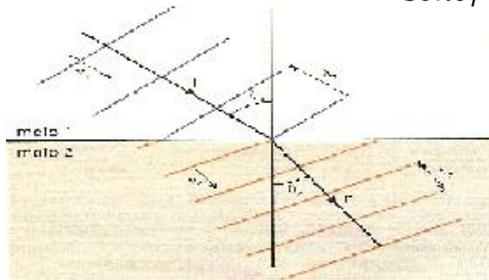
- **Reflexão** – a frente de onda incide na superfície de separação dos meios e retorna ao meio onde estava se propagando. Velocidade, comprimento de onda permanece constante.

$$\theta_i = \theta_r$$

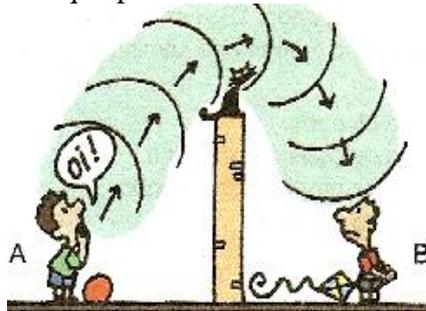


- **Refração** – a onda incidente ao atingir a superfície de separação atravessa para o meio₂. A velocidade e o comprimento de onda sofrem alterações e se a incidência for oblíqua

$$\left(\frac{\text{sen}\theta_i}{\text{sen}\theta_r} = \frac{v_i}{v_r}\right)$$



- **Difração** – propriedade que permite ao som contornar obstáculos.



- **Interferência** – resultante da interação de duas ou mais ondas.
 - a) construtiva - quando as ondas estão em fase dão origem a uma nova onda de maior amplitude;
 - b) destrutiva – quando as ondas não estão em fase produzem uma onda de menor intensidade ou até mesmo se cancelam.
- **Transmissão** – com a propagação da onda ocorre uma diluição da energia e isso provoca uma atenuação da intensidade da onda, ou seja, uma diminuição da energia. Essa diminuição ocorre devido o aumento da superfície e da poluição do ar.
- **Absorção** – ocorre quando uma onda atinge um meio material, e parte da energia que esta sendo transmitida pela onda é absorvida pelo meio e esta não é restituída (devolvida). A parcela de energia absorvida pelo meio normalmente é transformada em calor.

Apêndice N – Opiniário

Prezado (a) aluno (a):

A atividade que você realizou faz parte de uma pesquisa que sugere uma nova forma de trabalhar a Física em sala de aula, procurando facilitar a aprendizagem por meio da utilização de atividades experimentais de demonstração.

Agradecemos a sua colaboração e gostaríamos de saber a sua opinião sobre as atividades que foram realizadas.

Não é necessário colocar o seu nome.

Identificação: _____ Série: ____ Turno: _____ Idade: _____

Analise cada afirmativa e assinale com um X nas alternativas “**sim**” ou “**não**”, caso você concorde ou discorde desta afirmativa.

1. Participou das aulas teóricas sobre ondas sonoras. Sim () Não ()
2. Participou das atividades experimentais demonstrativas sobre ondas sonoras. Sim ()
Não ()
3. Encontrou dificuldades em compreender os conceitos apresentados na aula teórica? .
Sim () Não ()
4. Teve dificuldades para entender o que o roteiro experimental da atividade 01 pedia para ser feito? Sim () Não ()
5. Teve dificuldades para entender o que o roteiro experimental da atividade 02 pedia para ser feito? Sim () Não ()
6. A atividade experimental de demonstração 01 auxiliou na compreensão dos conteúdos abordados na aula teórica?
Sim () Não ()
7. A atividade experimental de demonstração 02 ajudou a compreender os processos de recepção, transmissão e amplificação do som? Sim () Não ()
8. Você gostou de participar de uma aula com demonstrações em Física?
Sim () Não ()
9. Responda as seguintes questões:

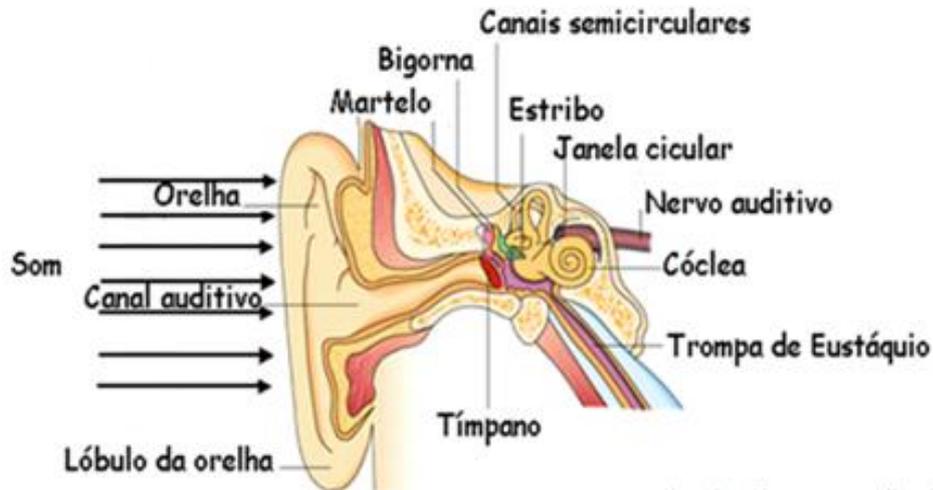
- a) Você já havia participado de aulas de Física com atividade de demonstração dentro da sala de aula? Se a resposta for sim, em que ocasião e qual foi o conteúdo?

- b) Você acha que a realização de atividades de demonstração ajudou na compreensão dos conceitos físicos utilizados para explicar o sistema auditivo? Por quê?

- c) O que você mais gostou nas três aulas ministradas? Por quê?

- d) O que você não gostou nas três aulas ministradas? Por quê?

Apêndice O – Painel Sistema Auditivo



OUVIDO EXTERNO

Orelha – Seu formato cheio de curvas e sulcos e elevações, tem como função captar as ondas sonoras e orientá-las ao canal auditivo mediante reflexões, como se fosse um funil;

Canal auditivo – Concentra as ondas sonoras, também por reflexão, e faz sua condução até o tímpano.

Tímpano - De acordo com as características, de frequência e amplitude, o som transmite energia ao tímpano fazendo-o vibrar – se o som for agudo vibra mais rapidamente do que se fosse um som grave; se o som for de grande intensidade (som forte) o tímpano vibra com movimentos de amplitude maiores do que o de se fosse um som de pequena intensidade (som fraco);

O som pode entrar pelo canal auditivo de maneira direta ou indireta, ou ser refletido pelo pavilhão auditivo, cujo formato é essencial para que ocorram essas reflexões

OUVIDO MÉDIO

Martelo, bigorna e estribo (os ossículos) – mesmo que as ondas sonoras que pressionam o tímpano sejam fortes, ele sofre apenas oscilações microscópicas, insuficientes para transmitir a energia das ondas sonoras ao ouvido interno. Os ossículos agem como uma alavanca e amplificam a pressão do som que atinge a membrana timpânica em torno de 25 vezes até atingir a janela oval;

Existem ainda no ouvido médio dois músculos que evitam que barulhos muito fortes sejam transmitidos ao ouvido interno, danificando-o. São eles:

- músculo tensor do tímpano – liga o martelo à cavidade óssea e retém o tímpano;
- músculo estapédio – liga a bigorna a cavidade óssea, afastando o estribo da janela oval.

OUVIDO INTERNO

- Cóclea – parte do sistema auditivo responsável pela transformação do som em estímulos elétricos;
- Labirinto – participa da manutenção do equilíbrio do corpo.

Apêndice P – Diagrama Nível de Intensidade

