



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 CONTEXTUALIZAÇÃO DO ENSINO DE ONDAS SONORAS POR MEIO DO CORPO HUMANO

Cláudia Santos do Nascimento

Campo Grande – MS
Dezembro de 2009



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 CONTEXTUALIZAÇÃO DO ENSINO DE ONDAS SONORAS POR MEIO DO CORPO HUMANO

Cláudia Santos do Nascimento

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 da Prof. Dra. Shirley Takeco Gobara.

Campo Grande – MS
Dezembro de 2009

Comissão Julgadora:

Prof. Dr. Antônio Tarciso Borges

Prof^a. Dr^a. Shirley Takeco Gobara

Prof. Dr. Paulo Ricardo da Silva Rosa

Prof^a. Dr^a. Maria Celina Piazza Recena

“Se o dom que possui é o de ensinar, que haja dedicação ao ensino”

Romanos 12:7

Agradecimentos

Ao término desta jornada, após ter percorrido todo o caminho e encontrado êxito, a única pessoa a quem agradeço é a Deus.

Agradeço a Deus por se fazer presente em minha vida por meio do Espírito Santo, meu companheiro nas madrugadas diante do computador, e por ter dado a mim o dom do ensino e a determinação para concluir este trabalho sem desistir em meio às muitas dificuldades que surgiram.

Agradeço a Deus por meus pais, Odilon e Maria, sem os quais jamais teria chegado à realização deste sonho. Estes pais lutaram em secreto por uma vitória que é muito mais deles do que minha, e permaneceram lutando acordados para que eu pudesse sonhar.

Agradeço a Deus por meus irmãos e parentes que compreenderam minha ausência, mesmo estando dentro de casa, e me auxiliaram em tudo dando a mim o suporte necessário para a realização deste projeto.

Agradeço a Deus por meus amigos que participaram deste momento único de minha vida e com amor e carinho me sustentaram em oração tornando mais doce e leve minha árdua caminhada.

Agradeço a Deus pela dedicação de minha orientadora que com suas valiosas discussões foi lapidando e dando forma ao que antes era apenas um amontoado de idéias.

E por fim, agradeço a Deus pelo dom da vida. Este Deus, que mesmo sendo criador e Senhor do universo, se preocupou em realizar o meu sonho de menina.

Por tudo isso, agradeço a Deus.

Resumo

Esta dissertação apresenta os resultados de um projeto de mestrado que teve como objetivo propor e testar uma metodologia de ensino contextualizada para o ensino de ondas sonoras. Trata-se de uma atividade de manipulação de alguns objetos e de observação do próprio corpo no momento em que estão produzindo som. Os alunos foram solicitados a explicar o processo de emissão do som em cada situação proposta. A atividade possibilita a utilização e aplicação dos conceitos físicos sobre ondas e acústica na compreensão do processo de produção do som da voz pelo sistema fonatório.

Em nossa pesquisa, analisamos os resultados obtidos fazendo uso de uma metodologia qualitativa. Investigamos nas respostas dadas pelos alunos durante a atividade a ocorrência de modelos explicativos, modelos mentais no sentido de Johnson-Laird, que descrevam a produção do som pelo corpo humano e a evolução destes modelos, em decorrência da realização da atividade. Essa atividade foi elaborada para auxiliar o aluno a construir um modelo explicativo coerente com o modelo consensual (conceitual) para produção do som e da voz.

A análise das respostas dos alunos sugere que houve uma evolução no modelo explicativo externado pelos alunos e que a atividade elaborada e contextualizada no corpo humano contribuiu para que a maioria dos alunos investigados reelaborasse um modelo explicativo coerente com o modelo consensual para produção da voz.

Palavras-chave: som, ondas sonoras, voz, aprendizagem.

Abstract

This dissertation aims to propose and test a methodology for teaching sound waves theory. The methodology is based on objects manipulation and observation of the own body in the moment sound has been produced. Students were asked to explain sound emission process in each given situation. The activity uses the voice production process in order to explore and apply physical concepts of waves and sounds. Hence it can help students better understand physical theory.

In this study, the method used to analyze the data was qualitative. We investigated the occurrence of mental models in student's answers, according to Johnson-Laird, describing sound production by the human body and the evolution of these models. The activities were elaborated in order to help students building an explanatory model consistent with the consensus (conceptual) model for the voice and sound production.

The analyses of student's answers suggest an evolution in the explanatory model declared by them. Furthermore, using the human body in activities contributed to most of the students reelaborate a voice production explanatory model coherent with the voice production consensus model.

Keywords: sound, sound waves, voice, learning.

Sumário

I - Introdução	01
1. A pesquisa	02
2. Estrutura da dissertação	05
II - Ondas Sonoras e Sistema Fonatório	07
1. Introdução	08
2. Ondas Sonoras	09
3. Sistema Fonatório	25
III – Referencial Teórico	35
1. Introdução	36
2. A Teoria de Modelos Mentais de Johnson-Laird	36
3. Conclusões	43
IV - Revisão de Literatura	44
1. Introdução	45
2. Classificação das pesquisas sobre ondas sonoras	45
3. Análise dos Resultados	57
4. Conclusões	59
V - Materiais e Métodos	61
1. Introdução	62
2. Elaboração da atividade	63
VI - Análise dos Resultados	73
1. Introdução	74
2. Resultados da pesquisa piloto	75
3. Análise das respostas dos alunos na “sequência didática definitiva”	78
4. Síntese dos resultados da “sequência didática definitiva”	94

VII - Conclusões	97
VIII - Referências Bibliográficas	101
Apêndices	107

Lista de Quadros

Quadro 2.1 - Velocidade do som em alguns meios	19
Quadro 2.2 - Notas Musicais	24
Quadro 6.1 - Revendo o sistema fonatório	79
Quadro 6.2 - Nome e índice dos modelos encontrados	94
Quadro 6.3 - Modelos sugeridos na introdução e conclusão da atividade	95

Lista de Figuras

Figura 2.1 - Representação de uma onda transversal	10
Figura 2.2 - Representação de uma onda longitudinal	10
Figura 2.3 - Representação de uma onda periódica	11
Figura 2.4 - Representação temporal de uma onda	12
Figura 2.5 - Superposição de ondas	13
Figura 2.6 - Representação do movimento ondulatório	16
Figura 2.7 - Superposição de ondas harmônicas	17
Figura 2.8 - Harmônicos	21
Figura 2.9 - Tubos abertos e fechados	22
Figura 2.10 - Representação da superposição de ondas	23
Figura 2.11 - Vista do conjunto de órgãos da voz	26
Figura 2.12 - Laringe e pregas vocais	27
Figura 2.13 - Pregas fechadas e pregas abertas	27
Figura 2.14 - Corte transversal das pregas vocais	28
Figura 2.15 - Representação esquemática da faringe e da laringe	30
Figura 2.16 - Aparelho respiratório	33
Figura 5.1 - Objetos utilizados na atividade	63
Figura 5.2 - Nome dos principais órgãos do Sistema Fonatório - Introdução	64
Figura 5.3 - Elástico preso no cilindro	65
Figura 5.4 - Nome dos principais órgãos do Sistema Fonatório - Conclusão	71
Figura 6.1 - Resposta dada por A13 na introdução da atividade	81
Figura 6.2 - Resposta dada por A15 na introdução da atividade	81
Figura 6.3 - Resposta dada por A11 na conclusão da atividade	91
Figura 6.4 - Resposta dada por A12 na conclusão da atividade	93

I - Introdução

I - Introdução

1. A Pesquisa

Um instrumento poderoso para a comunicação humana é a voz. Por meio da voz, o homem transmite e interpreta sentimentos e pensamentos, assim como interage com outros indivíduos numa troca de informações e experiências. Mas o que é a voz? Como funciona o mecanismo gerador de nossa linguagem verbal falada? Qual a natureza do som que emitimos com tanta frequência? Estes são questionamentos que podem ser colocados aos alunos de forma a motivá-los ao estudo da anatomia e fisiologia do sistema fonatório e dos principais conceitos físicos envolvidos na produção da voz.

1.1. Problema de pesquisa

Nosso problema de pesquisa parte do fato que o conteúdo de ondas e som, apesar de estar previsto no referencial curricular da disciplina de física para o ensino médio regular, não é ministrado pela maioria dos professores. Uma possível causa para isso é que os professores são fortemente influenciados em sua prática docente pelos livros didáticos adotados, e estes por sua vez, em sua grande maioria, não discutem os fenômenos ondulatórios de maneira contextualizada, como sugerem os Planos Curriculares Nacionais – PCN. Aqueles que o fazem, muitas vezes, trazem conceitos distorcidos e desvinculados de qualquer aplicação prática (Monteiro e Medeiros, 1998).

No ensino, o livro didático se apresenta como uma das ferramentas mais utilizadas pelo professor no planejamento das aulas a serem ministradas e mesmo dentro da sala de aula com a implantação do Programa Nacional do Livro Didático - PNLD. Se o livro didático apresenta falhas ou ausências de conteúdo, isso conseqüentemente será transferido para o processo ensino de ensino, prejudicando assim a aprendizagem.

O Ministério da Educação, por meio do Programa Nacional do Livro para o Ensino Médio (PNLEM), avaliou vários livros de física, mas somente seis foram aprovados e disponibilizados para serem adotados pelos professores de ensino médio das escolas públicas.

Dos seis livros aprovados, um (Gonçalves e Toscano, 2005) não trabalha o tema de ondas sonoras, nem mesmo os conceitos básicos de ondas. Dois (Sampaio e Calçada, 2005-1) (Sampaio e Calçada, 2005-2), trabalham o tema de ondas sem contextualizar com o corpo humano. Outros dois (Gaspar, 2008; Penteado e Torres, 2005) contextualizam o ensino de ondas no corpo humano, mas falam apenas da recepção do som e do funcionamento do ouvido.

Somente um dos seis livros aprovados (Máximo e Alvarenga, 2005) traz os conceitos de produção da voz, e ainda assim de uma maneira superficial e com terminologias em desuso ao permanecer utilizando o termo usual “cordas” vocais, e não o termo científico “pregas” vocais, o que pode gerar concepções inadequadas para o aluno e prejudicá-lo na compreensão da anatomia do sistema fonatório e dos conceitos físicos envolvidos na produção da voz, visto que as pregas vocais não são formadas por cordas musculares, e sim por pregas musculares encontradas na parede da laringe.

Diante destes fatos, a seguinte questão de pesquisa foi levantada: será que a realização de atividades de manipulação de objetos e a observação do próprio corpo podem provocar mudanças no modelo explicativo dos alunos, modelo mental no sentido de Johnson-Laird (1983), para o fenômeno de produção do som da voz e servir como uma ferramenta de ensino para a contextualização do ensino de ondas sonoras?

Para respondermos a esta questão, elaboramos e testamos uma sequência constituída por duas aulas com várias atividades de manipulação de materiais e observação do próprio corpo para auxiliar o aluno a construir um modelo explicativo coerente com o modelo conceitual para produção do som e da voz. As atividades foram orientadas por um roteiro estruturado, para ser aplicada em salas de aula do ensino médio. O conteúdo escolhido foi ondas sonoras, o som, e produção da voz.

1.2. Metodologia

Esta pesquisa caracteriza-se como uma investigação qualitativa (Ludke e André, 1986) do tipo empírica. A pesquisa empírica é a busca de dados relevantes e convenientes obtidos através da experiência, da vivência do pesquisado. Tem como objetivo chegar a novas conclusões à partir da maturidade experimental do(s) outro(s). Este tipo de pesquisa é dedicado

ao tratamento da "face empírica e fatural da realidade; produz e analisa dados, procedendo sempre pela via do controle empírico e fatural" (Demo, 2000). O valor desse tipo de pesquisa está na possibilidade de oferecer maior concretude às argumentações.

1.3. Objetivos

Nosso objetivo é propor e testar uma metodologia de ensino contextualizada para o ensino de ondas sonoras, por meio do corpo humano, que consiste em uma atividade que possibilita a utilização e aplicação dos conceitos físicos de ondas e acústica na compreensão do processo de produção do som da voz pelo sistema fonatório.

Para testar a metodologia proposta, investigamos a ocorrência de modelos explicativos, modelos mentais no sentido de Johnson-Laird, que descrevem a produção do som pelo corpo humano e a evolução destes em decorrência das atividades contextualizadas realizadas pelos alunos.

Já realizamos uma pesquisa sobre a aprendizagem de ondas sonoras em um projeto de iniciação científica no qual foi produzida e avaliada uma atividade para alunos de nono ano do Ensino Fundamental. Os conteúdos de ondas e som foram apresentados de maneira mais geral e conceitual.

Os resultados dessa investigação mostraram que quando os alunos foram submetidos a essa atividade, tornaram-se capazes de construir um modelo explicativo sobre os fenômenos sonoros e produção da voz de acordo com um modelo explicativo adequado a esse nível (Nascimento e Gobara, 2007).

Neste texto, apresentamos os resultados de uma pesquisa de mestrado cujo objetivo foi dar continuidade à investigação sobre metodologias para o ensino do som, agora para Ensino Médio, como sugere o currículo em espiral (Bruner, 1996), que visa um aprofundamento gradual dos conceitos para cada nível no qual ele é ministrado.

Assim sendo, buscamos investigar, por meio da elaboração de uma atividade para o nível médio, os modelos explicativos, modelos mentais no sentido de Johnson-Laird (1983), enfatizando conceitos que são mais elaborados e não são trabalhados no nível fundamental.

2. Estrutura da dissertação

A dissertação foi organizada em oito capítulos. São eles: Introdução, Ondas Sonoras e Sistema Fonatório, Referencial Teórico, Revisão de Literatura, Materiais e Métodos, Análise dos Resultados, Conclusão e Referências Bibliográficas. Descreveremos agora o conteúdo de cada um destes capítulos.

No capítulo de introdução é feita uma abordagem das principais tópicos que norteiam a dissertação, como a questão de pesquisa, objetivos e metodologia da pesquisa. São também listados os capítulos que compõem a dissertação.

O capítulo de ondas sonoras e sistema fonatório traz primeiramente uma abordagem dos fenômenos físicos referentes ao conteúdo de som, ondas e acústica que serão utilizados na elaboração e realização da pesquisa. Já o capítulo de ondas sonoras e sistema fonatório aborda os conceitos de ondas e som, além das questões de anatomia e fisiologia do sistema fonatório, enfatizando os conceitos que serão utilizados na pesquisa.

No capítulo de referencial teórico são discutidos os principais conceitos da Teoria de Modelos Mentais de Johnson-Laird (1983). São discutidos principalmente os conceitos de modelos mentais e de modelos consensuais (conceituais), que foram amplamente utilizados durante a pesquisa.

Para o capítulo de revisão de literatura, preparamos um resumo de algumas pesquisas que trabalharam o tema de ondas sonoras e/ou modelos mentais. Não se trata de um relato do estado da arte, mas sim uma breve discussão de como o tema de ondas sonoras tem sido tratado nas pesquisas em ensino.

No capítulo de materiais e métodos são descritos quais foram os objetos utilizados na atividade proposta, como foram escolhidos, como se deu a observação e análise destes objetos, quais foram as etapas da construção desta atividade e como foi sua aplicação para um grupo de 26 alunos do ensino médio.

As análises das respostas dadas pelos alunos no roteiro da atividade estão descritas no capítulo de análise os resultados. Neste capítulo analisamos a evolução dos modelos mentais externados pelos alunos sobre produção da voz e como a atividade contribuiu no processo de construção e evolução destes modelos.

O capítulo de conclusão trás uma abordagem geral dos resultados obtidos com a análise das respostas dos alunos e uma discussão da relação que existe entre a realização da atividade e a evolução dos seus modelos mentais. Neste capítulo também se encontra a resposta para a pergunta proposta em nossa questão de pesquisa, mostrando que a atividade contribuiu para a evolução dos modelos mentais dos alunos sobre produção da voz.

O último capítulo proposto é o de referências bibliográficas, onde estão contidas as referências das principais obras consultadas durante a pesquisa e que embasaram a construção e análise da atividade proposta. Após os oito capítulos, também são encontrados quatro apêndices compostos pelo plano de aula da aula sobre ondas, ministrada para os alunos antes da realização da atividade, o resumo da aula fornecido para os alunos, o roteiro que orientou os alunos na realização de cada etapa da atividade, e o artigo já publicado na literatura com os resultados de uma pesquisa piloto que realizamos com o objetivo de validar os materiais e o roteiro utilizados na atividade.

II - Ondas Sonoras e Sistema Fonatório

II - Ondas Sonoras e Sistema Fonatório

1. Introdução

Comunicação é o ato ou efeito de emitir, transmitir e receber informações, que pode ser através da linguagem falada ou escrita, por meio de sinais, símbolos, recursos sonoros, visuais, entre outros.

Sem comunicação é impossível viver em sociedade e o principal método de comunicação utilizado hoje pela nossa sociedade é a comunicação oral, ou seja, a fala. Fala é a capacidade ou o uso dessa capacidade de emitir sons em algum padrão (uma língua). Para falar ou cantar, movimentamos de diversas maneiras as pregas vocais, e cerca de aproximadamente uma dúzia de músculos da laringe, isso nos torna capaz de emitirmos o som da voz.

A emissão da voz é um fenômeno que comporta grandes variações. Além das consideráveis diferenças de uma pessoa para a outra, a voz se apresenta em um mesmo indivíduo de diferentes formas (Huche e Allali, 1999).

Muitas noções permeiam o fenômeno de produção da voz, e estas noções decorrem das experiências diárias que temos com a emissão de som pelo nosso próprio corpo. Resumidamente, podemos dizer que quando expelimos o ar dos pulmões, ele passa pela laringe e encontra as pregas vocais. Se estas estiverem fechadas, impedindo a passagem do ar, uma diferença de pressão entre a parte superior e inferior das pregas é produzida, fazendo com que elas vibrem horizontalmente.

Para compreendermos fisicamente como a voz é produzida pelo sistema fonatório, é necessário tratá-la como uma fonte sonora e analisarmos como o som, no caso a voz, é produzido por essa fonte. Para isso, faremos uma abordagem de alguns dos principais conceitos tratados pela física no conteúdo de acústica que envolvem o fenômeno de produção de som, e depois discutiremos como ocorre o fenômeno de produção da voz, quais são os órgãos envolvidos na fonação, e quais são os principais conceitos físicos envolvidos neste processo.

2. Ondas Sonoras

O som é uma onda. Definimos uma onda como sendo uma perturbação que se propaga transportando energia, sem envolver transporte de matéria. Dizemos que o som é uma onda mecânica, longitudinal, tridimensional e periódica. Definiremos agora algumas características das ondas, destacando dentre elas as que se atribuem as ondas sonoras. Elas podem ser classificadas quanto a sua natureza de vibração, direção de vibração, e grau de liberdade para a propagação (Halliday e Resnick, 1991).

2.1. Classificação das ondas

a) Natureza de propagação

Quanto à natureza de propagação, as ondas podem ser Mecânicas ou Eletromagnéticas. As ondas mecânicas são aquelas que não se propagam no vácuo. Um exemplo deste tipo de onda é o som. Já as ondas eletromagnéticas são aquelas que podem se propagar no vácuo. Para estas ondas a perturbação é causada em campos eletromagnéticos que pode se propagar no espaço. A luz é um bom exemplo deste tipo de onda. A luz do Sol chega até nós mesmo existindo vácuo no espaço e possui velocidade igual a 300.000 km/s no vácuo. Outros exemplos de ondas eletromagnéticas são as microondas, as ondas de rádio, Raios-X, etc.

b) Direção de propagação

Em relação à direção de propagação, as ondas podem ser classificadas como transversais ou longitudinais. As ondas transversais são aquelas que se propagam na direção perpendicular à direção de vibração do meio, e as ondas longitudinais são aquelas que se propagam na mesma direção de vibração do meio.

Um exemplo de onda transversal é uma perturbação se propagando em uma corda. Esta perturbação se propaga na direção horizontal, enquanto cada ponto da corda move-se para cima e para baixo, na direção vertical, fazendo com que a propagação da onda seja perpendicular, isto é, formando um ângulo de 90° com a direção de oscilação de qualquer ponto sobre a corda.



Figura 2.1 - Representação de uma onda transversal.

Um exemplo de onda longitudinal é uma onda se propagando em uma mola. O movimento da fonte de oscilação se dá na mesma direção de oscilação das partículas que compõem o meio em que a onda está se propagando.

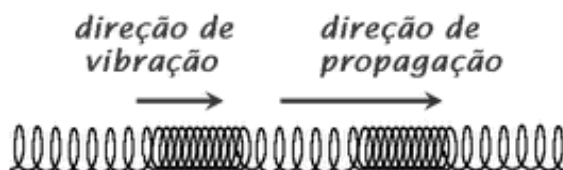


Figura 2.2 - Representação de uma onda longitudinal.

c) Grau de liberdade para a propagação

As ondas podem se propagar em uma, duas ou três dimensões. Esta característica é utilizada para classificá-las quanto ao grau de liberdade para a propagação em unidimensionais, bidimensionais e tridimensionais.

Quando uma onda se propaga apenas em uma dimensão, sobre uma linha, ela é classificada quanto ao grau de liberdade de propagação como unidimensionais. Por exemplo, uma onda se propagando em uma corda. As ondas bidimensionais são aquelas que se propagam sobre uma superfície. Exemplo disso são as ondas na superfície de líquidos. No caso das ondas tridimensionais, a propagação ocorre sobre todo o espaço. Sendo esta, a maneira que descreve a propagação do som no ar.

2.2. Ondas periódicas

O som é uma onda periódica, faz-se então necessária a descrição do que vem a ser uma onda periódica para mais posteriormente tratarmos com maior profundidade os conceitos de ondas sonoras.

Uma onda é gerada por uma perturbação. Esta perturbação pode ser causada por alguém ou por alguma fonte, e propaga-se de um ponto para o outro na forma de pulsos.

Uma sucessão de pulsos regulares dá origem a uma onda regular, isso é o que chamamos de onda periódica. É uma sucessão regular de pulsos, ou seja, o formato das ondas individuais se repete em intervalos de tempo iguais. O som é uma onda que possui esta característica.

Considere uma onda se propagando em uma corda, como mostra a figura abaixo, os pontos mais altos são denominados cristas e os pontos mais baixos são chamados ventres ou depressões.

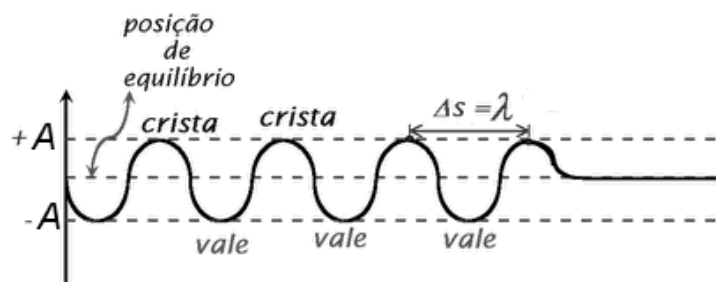


Figura 2.3 - Representação de uma onda periódica

a) Características de uma onda periódica

As principais características de uma onda periódica são Amplitude, Período, Frequência e Comprimento de onda. A amplitude (A) da onda é o valor máximo de afastamento em relação ao equilíbrio e está relacionada à energia que a onda transporta. Então, quanto maior a amplitude mais energia estará transportando. Período (T) é o tempo necessário, medido em segundos, para que se complete uma oscilação. Frequência (f) é o número de oscilações num dado intervalo de tempo, no Sistema Internacional de unidades (SI) a unidade de frequência é o Hertz. Comprimento de onda (λ) é a menor distância entre dois pontos que possuem sempre a mesma direção e sentido de vibração.

O período e a frequência se relacionam como grandezas inversas. A frequência do movimento de cada ponto do meio pelo qual se propaga a onda é, também, a frequência da onda (f), ou seja, o número de comprimentos de onda contidos dentro da distância percorrida pela onda na unidade de tempo. Assim: $f = 1 / T$. De posse destes conceitos é possível definirmos as equações que descrevem uma onda. As equações descritas a seguir tiveram como base o trabalho de Halliday e Resnick (1991).

b) Equação da Onda

Para estabelecer a equação da onda considere-se uma onda transversal que se propaga na direção do eixo X e no mesmo sentido que aquele considerado positivo para esse eixo, com velocidade de módulo v.

O padrão espacial da onda se desloca no espaço com o passar do tempo. A figura 2.4 mostra a onda no instante de tempo considerado como inicial e num instante posterior genérico.

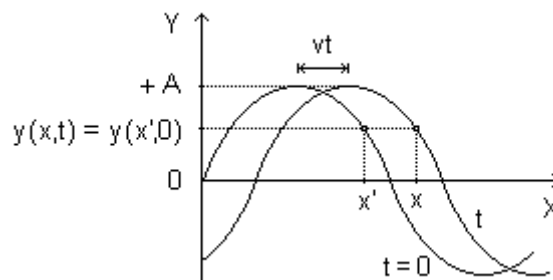


Figura 2.4 - Representação temporal de uma onda

Como, aqui, estuda-se ondas harmônicas, em qualquer instante de tempo, o padrão espacial da onda é dado por uma função harmônica (seno ou cosseno). Assim, para $t = 0$, pode-se escrever:

$$y(x,0) = A \text{ sen } kx.$$

Na qual A representa a amplitude da onda e k, o número de onda. Para justificar o produto kx no argumento da função seno deve-se levar em conta que, pela definição do seno como função periódica, com período 2π , e pela definição da onda como fenômeno periódico no espaço, com período λ (o comprimento de onda), deve-se ter:

$$y(x + \lambda,0) = y(x,0).$$

E usando a expressão acima e a relação $k\lambda = 2\pi$, segue-se uma identidade trigonométrica:

$$\text{sen } (kx + 2\pi) = \text{sen } (kx).$$

Agora, tomando os pontos x' e x tal que $x - x' = vt$, ou seja, tal que $x - x'$ representa a distância percorrida pela onda durante o intervalo de tempo t , vem:

$$y(x,t) = y(x',0) \quad \text{ou} \quad y(x,t) = y(x - vt,0).$$

Levando em conta a expressão $y(x,0) = A \sin kx$ e a relação $v = \omega / k$, segue-se que:

$$y(x,t) = A \sin (kx - \omega t).$$

Nessa expressão está implícita a condição $y(0,0) = 0$. Essa condição não precisa ser verdadeira para uma onda arbitrária. A equação geral da onda que se propaga sobre o eixo X, no sentido considerado positivo para esse eixo, pode ser escrita:

$$y(x,t) = A \sin (kx - \omega t + \delta).$$

Nesta equação δ é chamada fase inicial. Substituindo ω por $-\omega$ na demonstração acima, resulta a equação da onda que se propaga em sentido contrário àquele considerado positivo para o eixo X:

$$y(x,t) = A \sin (kx + \omega t + \delta).$$

2.3. Ondas Estacionárias

Considere-se uma corda ao longo do eixo X, com uma das extremidades fixa em $x=0$. Ao longo dessa corda se propagam, em sentidos opostos, duas ondas transversais progressivas, a onda incidente, no sentido negativo do eixo X, e a onda refletida, no sentido positivo do eixo X.

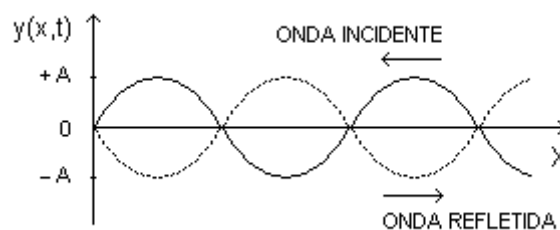


Figura 2.5 - Superposição de ondas

Estas ondas são descritas pelas expressões:

$$y_I(x,t) = A \sin (kx + \omega t)$$

e

$$y_R(x,t) = A' \sin (kx - \omega t).$$

O movimento de qualquer partícula da corda é o resultado da superposição das duas ondas e é descrito por:

$$y(x,t) = A \sin (kx + \omega t) + A' \sin (kx - \omega t).$$

Da trigonometria, $\sin (- a) = - \sin a$. Assim, em particular para $x = 0$, vem:

$$y(0,t) = (A - A') \sin \omega t.$$

Mas $y(0,t) = 0$ para qualquer t , já que a partícula da corda em $x = 0$ permanece em repouso. Portanto, $A = A'$, ou seja, além de uma diferença de fase de π rad uma em relação à outra, as ondas incidente e refletida têm a mesma amplitude. Assim:

$$\sin A + \sin B = 2 \sin [(A + B) / 2] \cos [(A - B) / 2].$$

Logo:

$$y(x,t) = 2A \sin kx \cos \omega t.$$

Como as fases $(kx + \omega t)$ e $(kx - \omega t)$ não aparecem nessa expressão, ela não descreve uma onda viajante mas, sim, o que se chama de onda estacionária. O termo $\cos(\omega t)$ indica que todas as partículas da corda descrevem movimentos harmônicos simples de mesma frequência.

O termo $2A \sin(kx)$ indica que a amplitude do movimento harmônico simples de uma dada partícula depende da sua posição ao longo da corda. A amplitude da onda estacionária é nula se $kx = n\pi$ com n inteiro ($n = 0, 1, 2, \dots$). Como $k = 2\pi / \lambda$, pode-se escrever:

$$x = n (\lambda / 2).$$

Os pontos da corda localizados nas posições dadas por essa expressão, ou seja, os pontos da corda que permanecem parados, são chamados nós. Dois nós consecutivos estão separados por uma distância igual a metade do comprimento de onda.

Se em $x = L$ a corda tem a outra extremidade fixa, deve-se ter $y(L,t) = 0$ para qualquer t . Então, da equação da onda estacionária:

$$2A \sin kL \cos \omega t = 0.$$

Assim, $\sin kL = 0$ ou, ainda, $kL = n'\pi$ com $n' = 1, 2, 3, \dots$. E como $\lambda = 2\pi / k$ e $\lambda f = v$, segue-se que:

$$\lambda = 2L / n'$$

e

$$f = n' (v / 2L).$$

A primeira expressão dá os comprimentos de onda e a segunda, as frequências das ondas estacionárias possíveis numa corda de comprimento L com as duas extremidades fixas. As posições dos nós são dadas por $x = nL / n'$ com $n = 0, 1, 2, \dots, n'$. Podem existir ondas estacionárias com qualquer número de nós.

Em uma onda harmônica progressiva, todas as partículas do meio executam movimentos harmônicos simples com a mesma amplitude. Em uma onda estacionária, as amplitudes dependem das posições das partículas. As ondas que se movem em sentidos contrários (ao longo da corda, por exemplo) produzem ondas estacionárias mesmo se têm amplitudes diferentes.

Não pode haver fluxo de energia através dos nós. Assim, não pode haver fluxo de energia ao longo da corda quando sobre ela existe uma onda estacionária. Cada partícula do meio executa o seu particular movimento harmônico simples sem perder ou ganhar energia das partículas vizinhas.

2.4. Velocidade de propagação de uma onda

A velocidade de propagação de uma onda é uma característica do meio material. Apesar de ser imposta pelo meio material, a velocidade de fase de uma onda também estará relacionada com o comprimento de onda λ , e com a frequência da onda f , que é definida pela fonte, temos que:

$$v = \lambda \cdot f = \omega / k, \quad k = 2\pi / \lambda \quad e \quad \omega = 2\pi \cdot f.$$

A velocidade de propagação que definimos é chamada velocidade de fase. Além desta, existe também a chamada velocidade de grupo. Para discutir o que se entende por velocidade de grupo, considere-se o exemplo da onda constituída pela superposição de

duas ondas harmônicas de mesma amplitude A e de frequências angulares ω' e ω quase iguais:

$$y(x,t) = A \text{ sen } (k'x - \omega't) + A \text{ sen } (kx - \omega t).$$

Pela identidade trigonométrica:

$$\text{sen } A + \text{sen } B = 2 \text{ sen } [(A + B) / 2] \cos [(A - B) / 2].$$

Segue-se que $y(x,t)$ pode ser escrita como:

$$y(x,t) = \phi_1(x,t) \phi_2(x,t).$$

Na qual:

$$\phi_1(x,t) = 2A \cos \{ [(k' - k) x - (\omega' - \omega) t] / 2 \}$$

e

$$\phi_2(x,t) = \text{sen } \{ [(k' + k) x - (\omega' + \omega) t] / 2 \}.$$

Como ω' e ω são quase iguais, pode-se tomar $\omega' + \omega \approx 2\omega$ e $k' + k \approx 2k$ e reescrever a última expressão como:

$$\phi_2(x,t) = \text{sen } (k.x - \omega.t).$$

Na figura que se segue, a função $y(x,t)$ está representada pela linha contínua e o termo $\phi_1(x,t)$, pela linha pontilhada.

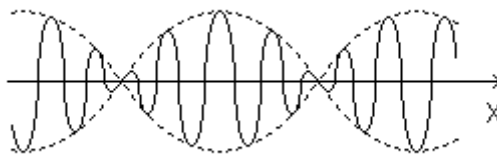


Figura 2.6 - Representação do movimento ondulatório.

O movimento ondulatório, descrito pelo termo $\phi_2(x,t)$, tem amplitude modulada, descrita pelo termo $\phi_1(x,t)$. Assim, o movimento ondulatório descrito por $y(x,t)$ é como uma seqüência de pulsos.

A amplitude modulada corresponde a um movimento ondulatório que se propaga com a chamada velocidade de grupo, cujo módulo é dado por: $n = (\omega' - \omega) / (k' - k)$

Um único pulso pode ser construído superpondo-se um grande número de ondas harmônicas de comprimentos de onda e frequências diferentes.



Figura 2.7 - Superposição de ondas harmônicas

Se o módulo da velocidade de propagação é independente da frequência, diz-se que o meio pelo qual se propagam as ondas é não dispersivo. Num meio não dispersivo, as ondas que compõem o pulso se deslocam com velocidades de módulos iguais. Nesse caso, o módulo da velocidade do pulso (velocidade de grupo) é igual ao módulo das velocidades das ondas componentes (velocidades de fase).

Num meio dispersivo, as ondas de diferentes frequências que compõe o pulso têm velocidades de módulos diferentes. O módulo da velocidade do pulso pode não ser igual ao módulo de qualquer dessas velocidades de fase.

2.5. O Som

As ondas sonoras estão presentes em quase todas as situações. Uma perturbação produzida em um ponto de um meio propaga-se progressivamente a todos os pontos deste meio. Estas ondas transportam energia que se propaga através de um meio elástico e só se propagam em substâncias que podem ser comprimidas.

O som, por sua vez, é a impressão fisiológica produzida por vibrações das ondas sonoras nos corpos, que chega ao nosso ouvido por meio da propagação destas ondas. Como estas ondas necessitam de um meio material para se propagar, o som só poderá ser produzido e transmitido num meio elástico. No vácuo o som não se propaga. Neste texto usaremos os termos som e ondas sonoras como sinônimos para ampliarmos as discussões que serão feitas nos próximos capítulos.

O ouvido humano detecta sons com frequências de valores aproximados entre 20Hz e 20kHz. Existem diferenças notáveis entre duas pessoas com limites de audição

diferentes. Os sons cujas frequências são inferiores a 20Hz são denominados infra-sons e os superiores a 20kHz são os ultra-sons. As ondas sonoras obedecem a todos os fenômenos de reflexão e refração, difração e interferência.

Toda onda quando se depara com um obstáculo irá continuar sua propagação, porém em sentido contrário e com a mesma intensidade. Isso ocorre devido à lei da Ação e Reação. Quando a extremidade em que a onda se propaga é fixa, a reflexão ocorrerá de forma inversa à normal, porém quando a extremidade for móvel ou livre, a reflexão retorna da mesma forma, sem inversão. Um bom exemplo de reflexão de ondas é o eco. Quando falamos em grandes espaços livres, onde existe um grande obstáculo, o som que emitimos é refletido, dando esse som característico.

Quando uma onda se propaga passando de um meio para outro, ela sofrerá uma mudança de velocidade e direção de propagação. Esse fenômeno é chamado de refração. Assim, quando dizemos que uma onda se refratou ao passar de um meio para outro, queremos dizer que sua velocidade foi alterada e sua direção sofreu uma mudança de sentido, passando obliquamente para o outro meio.

O outro fenômeno relativo às mudanças que ocorrem nas ondas é a difração. Um exemplo claro desse fenômeno é quando duas pessoas, separadas por um muro, conversam. Neste caso, as ondas iriam refletir para a mesma pessoa (reflexão), ou passar pelo muro (refração), porém a intensidade seria bastante menor. O fato é que a pessoa do outro lado do muro escuta perfeitamente bem o que a outra diz, isso se dá devido ao fenômeno da difração. A difração é a propriedade que a onda possui de contornar o obstáculo e se propagar. Quanto maior o comprimento da onda, mais fácil será sua difração, já que em alguns casos de ondas muito pequenas, elas provavelmente não conseguirão se difratar.

A interferência por sua vez representa a superposição de duas ou mais ondas num mesmo ponto. Esta superposição pode ter um caráter de aniquilação, quando as fases não são as mesmas (interferência destrutiva) ou pode ter um caráter de reforço quando as fases combinam (interferência construtiva).

Estas ondas podem se propagar em sólidos, líquidos ou gases. Essas perturbações se propagam fazendo com que o meio oscile gerando zonas de compressão e rarefação. A

distância entre estas duas zonas determina o comprimento de onda. No ar a velocidade de propagação das ondas sonoras é de 330 m/s. Essa velocidade em líquidos é maior do que no ar, em média é de 1.435 m/s.

Nos sólidos essa velocidade é ainda maior, pelo fato de as partículas que compõem o meio estarem mais próximas. A velocidade de propagação num meio depende da facilidade com que as partículas desse meio podem se mover. Quanto menor for a facilidade que essas partículas tem para se moverem, mais rapidamente a onda se propaga (Tipler, 2000).

Quadro 2.1 – Velocidade do som em alguns meios

Meio	Velocidade do Som (m/s)
Ar	346
Água	1498
Bronze	3810
Vidro	4540
Aço	5000
Alumínio	5070
Ferro	5200

2.6. Qualidades do Som

O som possui algumas qualidades que o definem, dentre elas, destacaremos algumas, tais como altura, intensidade, duração e timbre. Nesta pesquisa serão abordadas apenas a altura e intensidade, sobre as quais falaremos agora.

a) Altura

A altura do som em física relaciona-se à frequência (Hz) da onda. Sons mais agudos possuem maior frequência e sons mais graves possuem frequências menores. O som mais grave audível por um ouvido humano é de aproximadamente 20 Hz e o mais agudo é de aproximadamente 20 000 Hz. Frequências fora deste intervalo não são percebidas pelo ouvido humano, mas ainda assim caracterizam ondas. As vibrações que possuem frequências maiores que 20.000 Hz são chamadas de ultra-som, e às vibrações com frequências menores que 20Hz damos o nome de infra-som.

b) Intensidade

A intensidade sonora está relacionada com o volume do som. É a qualidade do som que permite ao ouvinte distinguir um som fraco (pequena intensidade) de um som forte (grande intensidade).

Esta característica é determinada pela amplitude da onda. Ao adiantarmos o botão de volume de um sistema de som, estamos aumentando a intensidade do som emitido pelo aparelho, conseqüentemente aumentando a amplitude da onda sonora emitida pelos alto-falantes. Quanto maior a amplitude, maior a intensidade da onda e maior o volume do som percebido pelos nossos ouvidos.

Sons de pequena intensidade produzem pequenos aumentos de pressão, e sons de grande intensidade produzem grandes aumentos de pressão sobre o tímpano do ouvinte. As diferentes pressões sobre o tímpano é que permitem ao ouvinte comparar sons fortes e sons fracos. Para o cálculo da intensidade sonora temos que:

$$I = \Delta p^2 / 2v\rho \quad (\text{w/m}^2).$$

Nesta equação, ρ é a densidade do meio no qual a onda se propaga e v é a velocidade da onda neste meio.

Para uma frequência de 1000 Hz, o ouvido humano pode detectar sons com uma intensidade que varia, aproximadamente, de 10^{-12} w/m² (limiar da audição) a 1 w/m² (limiar da dor). Em virtude do tamanho deste intervalo, para expressar a intensidade de um som utiliza-se o Nível de Intensidade Sonora, dado em decibel (dB), definido por:

$$\beta = 10\log(I / I_0) \quad (\text{dB}).$$

Onde I é a intensidade do som e I_0 é o nível de referência tomado como limiar da audição. A intensidade de quando falamos é de 40 dB. A partir de 120 dB, o som começa a prejudicar nossa audição.

2.7. Notas Musicais

Com já dito anteriormente, as ondas sonoras são ondas mecânicas longitudinais e o que se chama de som é a percepção auditiva de uma onda sonora. Assim, um objeto que vibra, como uma corda de violão ou de piano, a palheta de um saxofone ou a membrana de um tambor ou de um alto-falante, movimentando-se para frente e para trás, repetidamente, gera regiões de compressão e de rarefação que se propagam no ar como uma onda sonora.

O módulo da velocidade de propagação de uma onda pode ser escrito $v = \lambda.f$, onde λ representa o comprimento de onda e f , a frequência da onda. O módulo da velocidade de propagação de qualquer onda sonora num dado meio é constante e depende apenas das propriedades desse meio. Ou seja, o módulo da velocidade de propagação não depende nem do comprimento de onda nem da frequência da onda. Isso garante, por exemplo, que uma música seja percebida do mesmo modo a qualquer distância da fonte.

O módulo da velocidade de propagação de uma onda numa corda é dado por:

$$v_c = (F / \mu)^{1/2}$$

onde F é o módulo da tensão e μ , a massa por unidade de comprimento da corda.

A altura de um som, ou seja, o fato de ele ser grave ou agudo, está associada à frequência da onda sonora: quanto maior a frequência, mais agudo (mais alto) é o som. O volume de um som está associado à intensidade da onda, ou seja, à quantidade de energia transportada, que é proporcional ao quadrado da amplitude. No caso de uma onda sonora, a amplitude é dada pela diferença entre a pressão de uma região de compressão (ou de rarefação) máxima e a pressão atmosférica normal.

a) Ondas Estacionárias numa Corda

As ondas estacionárias numa corda de comprimento L com as duas extremidades fixas podem ter os seguintes comprimentos de onda: $\lambda_1 = 2L$ (modo fundamental ou primeiro harmônico), $\lambda_2 = \lambda_1 / 2 = L$ (segundo harmônico), $\lambda_3 = \lambda_1 / 3 = 2L / 3$ (terceiro harmônico), e assim por diante. As frequências correspondentes são dadas pela expressão $f = v_c / \lambda$.

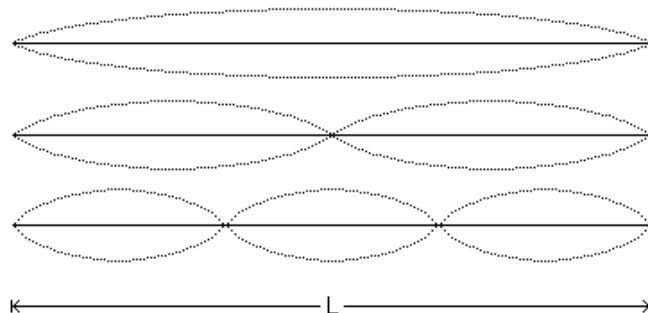


Figura 2.8 - Harmônicos

A corda, vibrando segundo qualquer uma de tais ondas estacionárias, produz, no ar, ondas sonoras com a frequência correspondente.

b) Ondas Estacionárias em Tubos

Nas extremidades de um tubo aberto, a onda sonora exibe ventres, isto é, regiões onde a pressão do ar é a pressão atmosférica normal. As ondas estacionárias num tubo aberto de comprimento L podem ter os seguintes comprimentos de onda: $\lambda_1 = 2L$ (modo fundamental ou primeiro harmônico), $\lambda_2 = \lambda_1 / 2 = L$ (segundo harmônico), $\lambda_3 = \lambda_1 / 3 = 2L/3$ (terceiro harmônico), e assim por diante.

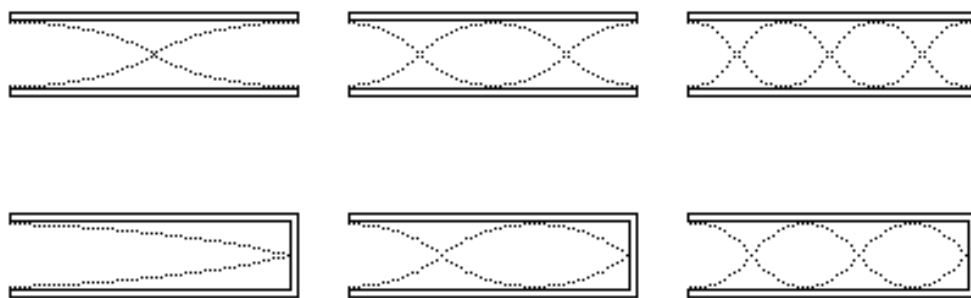


Figura 2.9 - Tubos abertos e fechados

Na extremidade fechada de um tubo, a onda sonora exibe um nó, isto é, uma região de compressão ou rarefação máximas. As ondas estacionárias, nesse caso, podem ter os seguintes comprimentos de onda: $\lambda_1 = 4L$ (modo fundamental ou primeiro harmônico), $\lambda_3 = \lambda_1 / 3 = 4L / 3$ (segundo harmônico), $\lambda_5 = \lambda_1 / 5 = 4L / 5$ (terceiro harmônico), e assim por diante.

c) Formação das notas musicais

Quando uma corda é posta a vibrar, desenvolve-se nela uma onda complexa que é a superposição do modo fundamental com uma série de harmônicos superiores. Nota musical é a onda sonora desenvolvida no ar por essa onda complexa.

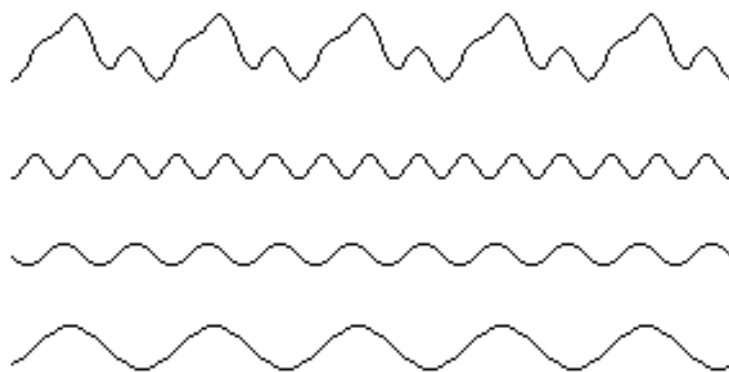


Figura 2.10 - Representação da superposição de ondas

O mesmo vale para uma coluna de ar dentro de um tubo ou para uma membrana. A nota é musical, ou seja, agradável ao ouvido humano, porque as frequências das componentes (o modo fundamental e os harmônicos) guardam entre si relações matemáticas simples. Caso contrário, a onda sonora seria associada a um som desagradável (ruído).

De qualquer forma, é a frequência do modo fundamental que define a nota. Por exemplo, independentemente dos harmônicos que possam se somar ao modo fundamental, se esse tem uma frequência de 256 Hz, a nota é chamada dó.

d) Timbre

Duas ondas sonoras podem ter a mesma frequência fundamental, mas se forem emitidas por fontes diferentes, terão harmônicos também diferentes. Assim, essa diferença entre os harmônicos produzidos por cada fonte sonora dá uma identidade única para cada som percebido, isso nos permite distinguir sons emitidos por diferente fonte, mesmo que eles tenham a mesma frequência fundamental. A essa identidade dá-se o nome de timbre.

e) Ressonância

Um pêndulo ou um diapasão oscilam cada um com sua frequência natural própria. Obrigados a oscilar por um impulso periódico externo, numa frequência diferente, eles o farão com uma amplitude pequena, mas, obrigados a oscilar com sua frequência natural, eles o farão com amplitudes cada vez maiores, mesmo que o impulso externo periódico seja pouco intenso.

A coincidência da frequência do impulso periódico externo com a frequência natural é o que se chama de ressonância. Quase todos os instrumentos musicais possuem uma caixa de ressonância capaz de aumentar a amplitude apenas de determinados harmônicos e, com isso, definir a qualidade das suas notas musicais, ou seja, o seu timbre.

f) Escalas Musicais

Uma escala musical é uma sucessão de notas de frequências (alturas) crescentes cujas relações têm efeito agradável ao ouvido humano. Quando a frequência de uma nota é o dobro da outra, dizemos que estas duas notas estão separadas por uma oitava. Dentro deste intervalo, existem as subdivisões que dão origem às notas que compõem a oitava. Por exemplo, na escala diatônica maior, as frequências das notas compreendidas numa oitava obedecem as seguintes relações matemáticas entre suas frequências:

Quadro 2.2 - Notas musicais

Nota	Dó	Ré	Mi	Fá	Sol	Lá	Si	Dó
Relação	1	9/8	5/4	4/3	3/2	5/3	15/8	2
f (Hz)	256	288	320	341,3	384	426,7	480	512

Os instrumentos musicais fazem vibrar o ar de diversas maneiras. O violão e o piano, por cordas, a flauta, por uma borda pontiaguda e o saxofone, por uma lingüeta flexível no caminho do ar soprado, o tambor, por uma membrana, etc. Uma corda comprida dá uma nota mais grave do que uma corda curta. Assim, no violão e no violino, a nota desejada é obtida diminuindo-se apropriadamente o comprimento da corda com os dedos de uma das mãos.

No caso de um piano ou de uma harpa, existem cordas com todos os comprimentos correspondentes às notas do instrumento. Por outro lado, como a altura da nota produzida por uma corda depende, além do seu comprimento, também da tensão e da massa por unidade de comprimento, as cordas são esticadas por tensões diferentes e/ou têm diâmetros diferentes.

Um tubo comprido dá uma nota mais grave do que um tubo curto. Assim, a nota desejada é obtida controlando-se o comprimento efetivo do tubo fechando alguns orifícios, como no caso de uma flauta, abrindo, como no caso de um saxofone ou

movendo uma vara em forma de U, como no caso de um trombone. No caso de um órgão, existem tubos com os comprimentos correspondentes às notas do instrumento.

Depois de descrevermos alguns dos principais conceitos das ondas sonoras, abordaremos as características que definem como a voz é produzida pelo sistema fonatório. A nossa intenção não é abordar detalhes específicos de fisiologia da voz, mas sim, através das características fisiológicas do sistema fonador, compreender conceitos físicos de som, ondas sonoras e de acústica.

3. Sistema Fonatório

O sistema fonatório é responsável pela produção do som no corpo humano e é composto por órgãos do sistema digestório e respiratório. No sistema digestório temos os lábios, que tem a função de conter os alimentos na boca e fazer a articulação de sons bilabiais, como por exemplo, os sons compostos com as vogais *b*, *p* e *m*, e sons labiodentais, como por exemplo, os sons formados pelas vogais *f* e *v*.

No sistema digestório também temos os dentes, que trituram os alimentos e escoam o som; a língua, que direciona o alimento para o estômago e participa de todos os sons produzidos; o palato duro, que dá suporte a língua e projeta a voz; e a faringe, que direciona o ar para os pulmões e os alimentos para o estômago e atua no processo de fonação como caixa de ressonância.

No sistema respiratório, por sua vez, encontramos as cavidades nasais, que além de filtrar, aquecer e umedecer o ar, também atuam como caixa de ressonância, amplificando o som; a faringe, que é uma via de passagem de ar que também amplia o som; a laringe, uma via de passagem de ar que atua como vibrador e contém as pregas vocais

A traquéia, via de passagem de ar que oferece defesa à via aérea e suporte para vibração das pregas vocais; os pulmões, responsáveis pelas trocas gasosas, além de servirem como reservatório de ar para a vibração das pregas vocais; e o diafragma, que desencadeia o processo respiratório e produz a pressão no ar que sai. O sistema fonador é dividido em três partes: a) os foles, b) o vibrador e c) os ressonadores.

3.1. Os foles

Quando respiramos, os pulmões são cheios pela ação dos músculos inspiradores e se esvaziam pelo simples retorno desses músculos ao repouso. Mas na fonação, a expiração é ativa: o ar é expulso dos pulmões pela ação dos músculos expiradores. A expiração ativa necessária à produção da voz chama-se *sopro fonatório* (Huche e Allali, 1999).

Quando a voz é projetada corretamente, a expiração perde sua característica de sopro e assume a qualidade de vibração. O sopro fonador não é sempre produzido da mesma maneira ele pode ser produzido pelo abaixamento da caixa torácica (sopro torácico superior); pode ser produzido pela ação dos músculos abdominais (sopro abdominal); às vezes, pode fazer uso da flexão torácica (dorso arredondado), é o que ocorre na voz de insistência ou de alerta e no comportamento de estresse vocal.

O ar é a matéria-prima da voz, por isso para que haja a produção da voz é necessário armazenar o ar dentro dos pulmões, pois a emissão do sopro fonador é precedida de um impulso respiratório. O diafragma, músculo inspirador principal, é uma lâmina muscular em forma de calota que separa o tórax do abdome. Acima dele situam-se coração e pulmões, abaixo, as vísceras do abdome: estômago, fígado, baço, intestino. O diafragma desempenha um importante papel na projeção vocal produzindo o impulso vocal e regulando o sopro fonador no momento da produção da voz. Ver figura 2.11.

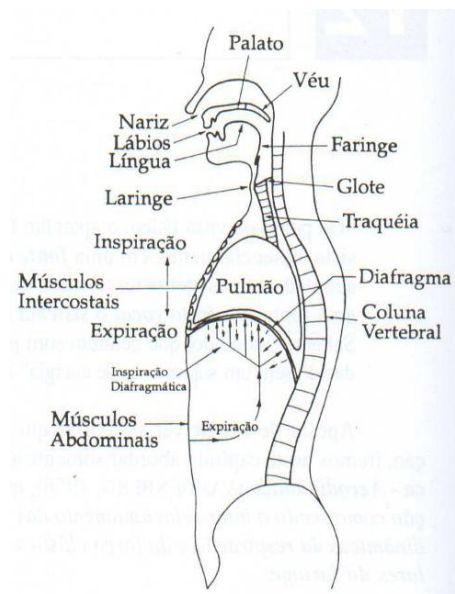


Figura 2.11 - Vista do conjunto de órgãos da voz (Huche e Allali, 1999).

Na inspiração, o ar penetra nos pulmões pela traquéia, depois segue para os brônquios divididos sucessivamente em secundários e em bronquíolos, chegando por fim, a cada alvéolo pulmonar. Durante a fonação, o ar percorre o caminho inverso para chegar à laringe, com pressão e velocidade reguladas em função da voz que será produzida.

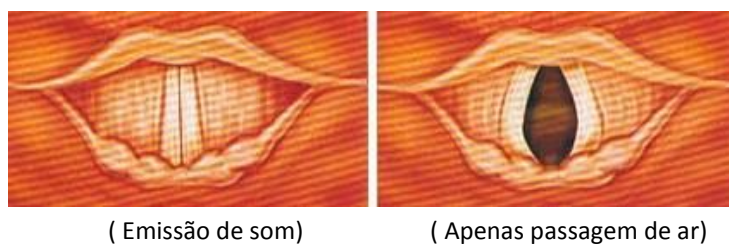
3.2. O vibrador (a laringe)

A laringe está especialmente adaptada para agir como um vibrador. Conceitualmente, dizemos que ela é um tubo com as funções de respiração, fonação e proteção das vias aéreas. No adulto, possui cerca de 5 cm de comprimento, no sexo masculino, sendo um pouco menor na mulher. A produção do som se origina na laringe como um tom fundamental que é então modificado por várias cavidades de ressonância acima e abaixo da laringe.



Figura 2.12 - Laringe e pregas vocais (Félix, 2005).

O som é finalmente convertido em voz por ação da faringe, língua, palato, lábios e estruturas relacionadas. A frequência fundamental do som é produzida por vibrações das chamadas cordas vocais que na realidade são *pregas vocais*, situadas ao longo das paredes laterais da laringe, estiradas e posicionadas por vários músculos específicos, no limite da própria laringe (Okuno, 1982).



(Emissão de som)

(Apenas passagem de ar)

Figura 2.13 - Pregas fechadas e pregas abertas (Instituto Ciência Hoje, 2005).

As pregas vocais são compostas por três partes que nos permitem produzir diversas frequências. No centro de cada prega há um ligamento parecido com uma corda. Na parte interna dos ligamentos há músculos contráteis, pequenas tiras de músculos, controladas separadamente por fibras nervosas diferentes.

As tiras de músculos próximas às extremidades das pregas vocais podem contrair-se separadamente daquelas próximas à parede da laringe, e de outras porções individuais destes músculos. Cerca de 90% do volume das pregas vocais é composto por tecidos musculares. Estas tiras são totalmente revestidas por uma membrana mucosa bastante flexível.

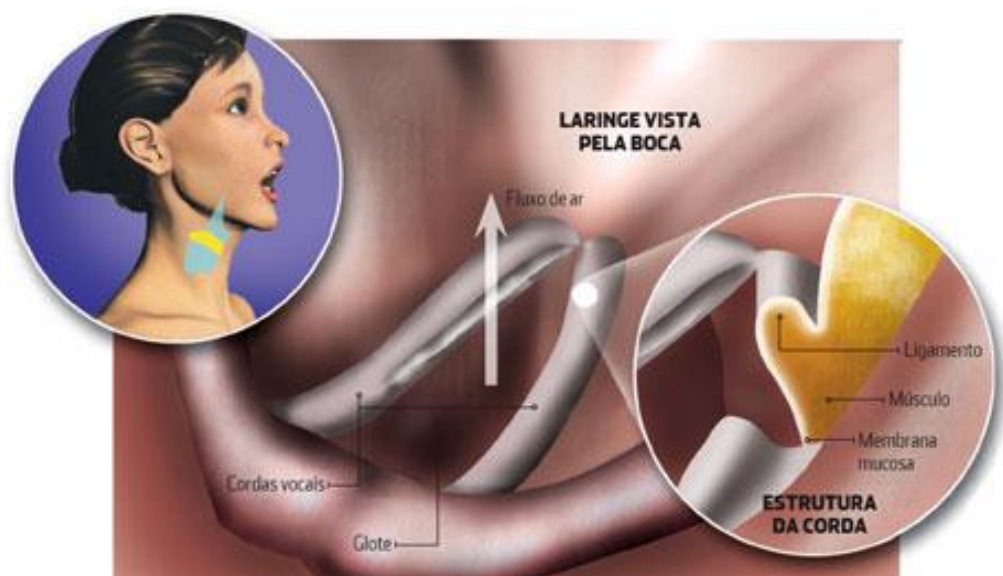


Figura 2.14 - Corte transversal das pregas vocais (R.S.A.B., 2008).

A superfície macia e flexível da membrana exterior oscila como resultado da passagem do fluxo de ar que vem de baixo, expirado pelos pulmões com o auxílio de alguns músculos torácicos. As pregas vocais vibram entre si, perturbando o ar com vibrações, produzindo a voz.

A tensão do ligamento aumenta rapidamente com o alongamento feito pelos músculos que movimentam as cartilagens anexas às pregas, o que facilita a produção de frequências mais altas. Ao se contrair, o músculo da prega vocal consegue aumentar a tensão, com isso, ele gera uma variação de frequência ainda maior.

Estas contrações controlam o formato das pregas vocais, se grossas ou finas, e também ajudam a controlar a tensão das pregas durante os diferentes tipos de fonação.

A contração maior ou menor dos músculos influencia na qualidade da voz e nossa voz depende destas modificações físicas ocorridas nas pregas vocais.

A frequência de vibração das pregas vocais depende da massa efetiva e da tensão da parte vibratória da prega vocal. No homem, a frequência fundamental típica é cerca de 125Hz, acompanhada de diversos harmônicos, que são as frequências múltiplas superiores à emitida com maior amplitude, chamada frequência fundamental. Em geral, as pregas vocais da mulher possuem menor massa e são mais curtas, por consequência, a frequência fundamental típica da mulher é cerca de 250Hz. Podendo ser alterada por meio de variação na tensão das pregas vocais.

A área em contato das duas pregas vocais varia de acordo com a entonação. Em tons baixos, a área em contato é grande. Elevando-se o tom a prega torna-se mais fina (delgada) e a área de contato é menor.

As pregas vocais não vibram na mesma direção do fluxo de ar. Ao contrário disso, elas vibram lateralmente. A causa da vibração é a seguinte: quando as pregas vocais são aproximadas e o ar é expirado, a pressão do ar, proveniente de baixo, primeiro empurra e separa as pregas vocais, o que permite o fluxo rápido de ar entre as suas margens. A seguir, o fluxo rápido de ar cria imediatamente, um vácuo parcial entre as pregas vocais, que tende a aproximá-las novamente, isso faz parar o fluxo de ar. Surge então uma pressão através das pregas, e estas se abrem novamente, persistindo, assim, em um padrão de vibração.

Acima das pregas vocais, existem duas dobras um tanto semelhante, as pregas vestibulares (ou bandas ventriculares, ou falsas cordas vocais), que não desempenham nenhum papel na produção da voz normal. A glote é o espaço compreendido entre as pregas vocais, quando estas se encontram afastadas uma da outra.

A epiglote encontra-se acima deste conjunto, trata-se de uma espécie de válvula que, ao voltar-se para trás quando da deglutição, forma uma tampa para a laringe, de maneira que os alimentos passam do esôfago para o estômago (e não pela traquéia para os pulmões).

Mais exatamente, o conjunto da laringe eleva-se, enquanto que a epiglote se abaixa sobre ele. Pode ocorrer uma passagem errônea de alimentos ou da saliva se a

epiglote não se posiciona suficientemente rápido, mas esse erro provoca de imediato um acesso de tosse, cujo efeito é o de expulsar da traquéia e da laringe alimentos ou saliva ali introduzidos acidentalmente.

A epiglote faz parte da laringe, ainda que, quando erguida, esteja inteiramente situada na cavidade da faringe. A laringe resume-se, afinal, ao conjunto composto pelas pregas vocais, pela epiglote e pelas cartilagens que lhes servem de suporte e proteção, para os homens, a mais importante dessas cartilagens corresponde ao pomo-de-adão.

3.3. Os ressonadores

Os órgãos ressonadores são compostos pelo pavilhão faringobucal e as cavidades anexas. A laringe abre-se, em sua porção superior, dentro da faringe. Essa é uma encruzilhada aerodigestiva; uma cavidade que se segue à boca, por trás da língua, a que chamamos garganta.

Trata-se de uma cavidade muscular capaz de se contrair lateralmente ou no sentido de trás para frente, mediante a ação dos músculos constritores da faringe. Seu volume também pode variar verticalmente. Essas variações dependem dos movimentos de elevação e de abaixamento da laringe. Esses movimentos participam de maneira muito importante na articulação das vogais.

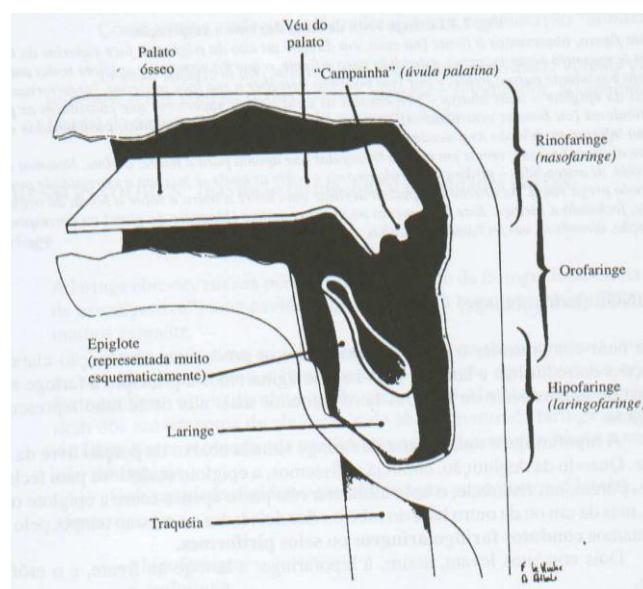


Figura 2.15 – Representação esquemática da faringe e da laringe (Huche e Allali, 1999).

Essa cavidade divide-se em três estágios superpostos. São eles, de baixo para cima, a hipofaringe, a orofaringe, e a rinofaringe (nasofaringe). A figura 2.15 mostra uma representação esquemática dos três estágios da faringe e das ligações da hipofaringe com a laringe

Ainda fazem parte deste grupo a boca, que possui funções distintas como, mastigação, deglutição, articulação da fala e mímica, sendo que, estas diversas funções são ligadas umas às outras. Assim, a boca é o principal ressonador juntamente com a faringe, e também principal articulador.

3.4. Articulação e Ressonância

Para uma boa comunicação, é fundamental que haja uma boa articulação dos sons produzidos. Os três órgãos principais da articulação são os lábios, a língua e o palato mole. A fonética ou fonologia estuda os fonemas, que são os sons emitidos pelo corpo humano para efetivar a comunicação. Para isso, ela conta com as vogais e as consoantes.

As vogais são os sons formados pelas vibrações das pregas vocais e modificados segundo a forma das cavidades na parte superior da laringe. Não há obstáculo para a saída do ar, a não ser as pregas vocais. As vogais são a base da sílaba. Não há sílaba sem vogal. As consoantes são obstáculos a corrente de ar, e só existem junto a uma vogal.

As vogais existentes na língua portuguesa são “a”, “e”, “i”, “o”, “u”. Os fonemas emitidos quando pronunciamos estas vogais podem ser:

abertos: a (língua com posição muito baixa),

semiabertos: é, ó (língua com posição baixa),

semifechados: ê, ô (língua com posição média),

fechados: i, u (língua com posição alta),

nasais: ã, õ (língua com posição muito alta).

Para cada um destes fonemas temos uma configuração para o trato vocal. O trato vocal é um tubo flexível limitado entre as pregas vocais, até os lábios e as narinas. A configuração do trato vocal é fundamental na formação de cada fonema. No caso das

vogais fechadas, o estreitamento do trato vocal possibilita uma maior amplitude e qualidade no registro em altas frequências. Já no caso de vogais abertas, ocorre o oposto.

Os fonemas emitidos com as consoantes são divididos em fonemas surdos e sonoros. Esta diferença pode ser notada pronunciando as consoantes “s” e “z”. No caso da consoante s as pregas vocais estão relaxadas e há apenas a passagem de ar pela laringe.

O som de chiado que se ouve é devido a perturbação causada no ar no momento em que ele rompe a barreira oferecida pelos dentes a sua passagem. Isto é o que chamamos de fonema surdo. Já no caso da consoante z, as pregas vocais estão tensionadas, e vibram com a passagem do ar. Isto caracteriza o som de um fonema sonoro.

Nos sons nasais, a corrente de ar sai da laringe e entra na cavidade faríngea, na qual há uma encruzilhada: a cavidade bucal e a nasal. O véu palatino é o que obstrui ou não a entrada de ar na cavidade nasal. O fonema nasal é aquele em que o ar sai pela cavidade bucal e nasal, por exemplo, o fonema *m*. Já o fonema oral é aquele que o ar sai somente pela cavidade bucal, por exemplo, o fonema *b*.

Há uma grande semelhança entre as consoantes *p* e *b*, a única diferença entre elas é que *b* é sonora, e *p* é surda, isso explica o porquê de se usar *m* e não *n* antes de *p* e de *b*. Como os fonemas *p* e *b* são orais, com saída de ar somente pela boca, há dificuldade de pronunciarmos logo em seguida um fonema nasal, fazendo o ar sair pela boca e pelas narinas.

Cada fonema produzido é amplificado pelas cavidades de ressonância. Ressonância, como já dito, é a capacidade de um objeto vibrar com a mesma frequência de outro corpo vibrante que se encontra nas proximidades. Este é um fenômeno que pode ocorrer com praticamente qualquer sistema físico.

Os órgãos ressonadores incluem a boca, o nariz com os seios nasais associados, a faringe e até mesmo a própria cavidade torácica. A função dos ressonadores nasais é percebida pela mudança na qualidade da voz quando uma pessoa está com um resfriado intenso que bloqueia as passagens de ar para esses ressonadores.

3.5. Respiração

A fonte geradora de pressão do ar é composta pela estrutura torácica, músculo cartilaginoso e pulmões, e pela musculatura abdominal. Este grupo de estruturas tem como função gerar uma força suficiente para mobilizar o ar contido nos pulmões para a laringe. O tórax possui um total de 12 pares de costelas.

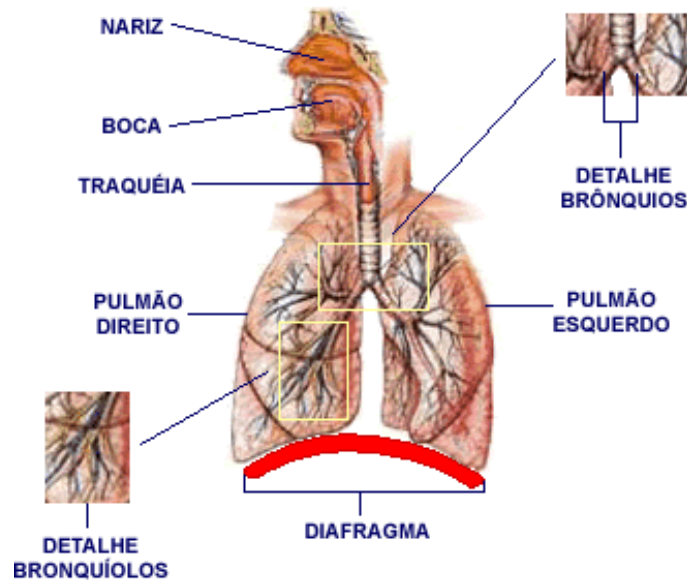


Figura 2.16 - Aparelho respiratório (Nogueira, 2005).

Há dois grupos musculares inseridos nas costelas, os intercostais internos, participantes da expiração, e os intercostais externos, responsáveis pela inspiração. Fechando a caixa torácica inferiormente, está o músculo diafragma que tem a forma de cúpula e que, quando se contrai, empurra o intestino inferiormente. Também os músculos abdominais têm a sua atuação na respiração.

Para que o ar entre nos pulmões, o diafragma se contrai, e ajudado pelos músculos intercostais externos, gera uma pressão interna menor que a atmosférica, com isso, o ar é sugado para os pulmões, preenchendo-os. No momento de expirar, há um relaxamento do diafragma, e dos intercostais externos, o que facilita o mecanismo elástico do tecido pulmonar, e das cartilagens costais, levando o tórax a sua posição de repouso e a saída de ar dos pulmões. A expiração pode ser ajudada pela contração dos músculos abdominais (retos, transversos e oblíquos), levando a uma expiração forçada e mais profunda (Costa, 1998).

III – Referencial Teórico

III – Referencial Teórico

1. Introdução

A psicologia cognitiva possui vários conceitos que nos ajudam a compreender como se constrói o conhecimento humano. Na educação, estes princípios estão tendo uma utilização cada vez maior por meio das teorias de aprendizagem. No ensino de ciências, estas teorias são um recurso para tornar mais interessante e eficiente a aprendizagem dos conceitos. A utilização destas teorias veio da necessidade de compreender os processos mentais que dão suporte à aprendizagem.

Dentre as teorias de representações internas, um conceito que tem sido muito utilizado na pesquisa em ensino de ciências é o de *modelo mental*. Trata-se de um referencial teórico para interpretar as concepções presentes nos alunos e os seus modos de raciocínio. Recorrendo aos modelos mentais é possível abordar o ensino de física e de outras ciências com uma fundamentação mais consistente.

De modo geral, modelos mentais são representações psicológicas de situações reais, hipotéticas ou imaginárias, construídas pelas pessoas para representar o mundo que às rodeia. Assim, cada pessoa entende o mundo construindo modelos mentais que predizem e explicam os acontecimentos. São representações individuais, concretas, mais ou menos abstraídas, de conceitos, de objetos ou de acontecimentos. Falaremos agora um pouco mais sobre os principais conceitos que norteiam esta teoria.

2. A Teoria de Modelos Mentais de Johnson-Laird

Para Johnson-Laird (1983), a mente funciona por meio de representações internas chamadas *representações mentais*, que são maneiras de “re-presentar” internamente o mundo externo. De acordo com Johnson-Laird, as pessoas não captam o mundo exterior diretamente, elas constroem representações mentais dele e estas representações podem ser analógicas ou proposicionais (Moreira, 1996, p.1).

Um dos primeiros a estudar as representações existentes na mente foi Charles Sanders Peirce (1839-1914). Sua biografia (Brent, 1993), relata que ele dedicou parte de sua vida à Teoria dos Signos, também chamada de Semiótica. Nesta teoria, um signo é qualquer coisa que esteja na mente de uma pessoa e seja utilizada por ela para representar um conceito. Parte dos trabalhos de Peirce foram publicados, após sua morte, em uma coleção de oito volumes sob o título “Collected Papers of Charles Sanders Peirce”(Hartshorne e Weiss, 1931-1935; Burks, 1958).

O primeiro a postular a idéia de modelos mentais foi o psicólogo Kenneth Craik em 1943. Segundo Craik (apud Johnson-Laird, 1998, p.1), a mente constrói modelos em pequena escala da realidade, que usa para se antecipar a eventos, raciocinar e embasar explicações.

A utilização do conceito de modelos mentais tornou-se ampla após a divulgação do livro de Genter e Stevens (apud Borges, 1997, p.2), com o título “Mental Models”, resultado da organização de vários artigos produzidos a partir de um seminário sobre o tema; e do livro de Johnson-Laird (1983), com o mesmo título, que busca explicar o raciocínio dedutivo e a compreensão do texto escrito.

Estes autores definem modelo mental como sendo um construto psicológico que o indivíduo forma na interação com outras pessoas, com o meio ou com algum objeto. Depois de construir esse modelo mental, o indivíduo deve ser capaz de validar esse modelo por meio de novas interações com meio. Além disso, com este modelo, o indivíduo deve ser capaz de predizer o comportamento do meio em interações posteriores.

Não existe uniformidade na definição do termo modelo mental, e outras definições além destas são encontradas na literatura (Borges, 1999, p.1). Neste trabalho enfatizaremos a definição dada por Johnson-Laird, e é sobre ela que discorreremos a seguir.

2.1. Representações proposicionais, imagens e modelos mentais

As representações analógicas são imagens regidas por regras pouco rígidas, concretas e individuais. São representações bastante específicas que retêm muitos

aspectos específicos de determinados objetos ou situações particulares. Já as representações proposicionais são individuais, abstratas, e captam a essência do conteúdo que a mente cria a partir da informação encontrada no mundo externo. São representações de significados (símbolos), que podem ser verbalmente expressáveis.

Na psicologia há dois grupos de pesquisadores. Alguns sugerem que a cognição deve ser analisada exclusivamente em termos de representações proposicionais, ou seja, não há necessidade de supor que as imagens são um tipo especial, separado, de representação mental. Para estes, as imagens podem ser reduzidas a representações proposicionais.

Mas existem os que defendem a existência de representações baseadas em imagens, que não aceitam a redução das imagens às representações proposicionais. A questão imagens/proposições é polêmica na Psicologia Cognitiva. Johnson-Laird define então uma terceira forma de representação mental chamada *modelos mentais*, que são análogos estruturais ou representações internas que correspondem aos objetos ou eventos que estão sendo representados (Moreira, 1996, p. 2).

Para exemplificarmos estas três formas de representações mentais, podemos construir a representação de uma situação simples, como: “há um barco no lago”. Esta situação pode ser expressa verbalmente (representação proposicional); pode ser expressa genericamente, com uma representação de qualquer barco em qualquer lago (modelo mental); ou ainda pode ser expressa de maneira específica com um barco e um lago em particular com características bem definidas (imagem).

Nesta teoria, Johnson-Laird trata a imagem como uma linguagem própria da mente. Esta linguagem é uma representação que não tem a ver com a língua e não utiliza a modalidade de percepção. Podemos dizer então que imagens são representações que têm aspectos perceptivos de determinados objetos ou acontecimentos, analisados de um determinado ponto de vista, com características próprias desses mesmos objetos ou acontecimentos. As proposições, no entanto, são representações de significados, completamente abstraídas, e que podem ser verbalmente expressas.

A teoria dos modelos mentais permite avançar no reconhecimento do caráter essencial da imagem, pois para Johnson-Laird:

“Modelos mentais são representações internas de informações que correspondem ao mundo real, são uma construção psicológica que o indivíduo forma na interação com outras pessoas, com o meio ou com algum material, dando a ele possibilidade de avaliar estas interações e prever como um sistema físico se comportará depois de um dado tempo (...). Representações proposicionais são cadeias de símbolos que correspondem à linguagem natural, modelos mentais são análogos estruturais do mundo e imagens são modelos vistos de um determinado ponto de vista”. (Johnson-Laird, 1983, p. 165).

Para compreender qualquer fenômeno ou estado de coisas, precisamos ter um modelo funcional dele. Embora limitados, estes modelos mentais devem ser capazes de descrever o mundo de forma satisfatória para o sujeito que os concebem. Apesar de fazerem uma representação que nem sempre é completamente fiel ao mundo real, estes modelos mentais são funcionais.

Além disso, nossa habilidade em dar explicações está diretamente ligada à nossa compreensão daquilo que é explicado. Esse critério de expressabilidade verbal é a diferença que existe entre a definição de modelos mentais proposta por Johnson-Laird das definições propostas por outros psicólogos cognitivistas.

Estes modelos permitem ao sujeito compreender fenômenos e eventos. Alguns desses modelos são concebidos por meio de interações com o meio, com outras pessoas, ou pelas experiências sensoriais. Portanto, não existe um único modelo mental para um determinado estado de coisas. Assim, para identificar modelos mentais de outras pessoas é necessário compreendermos como estes modelos mentais são organizados na mente das pessoas.

É importante salientar que representação proposicional é diferente de modelo proposicional. Quem faz uso de uma representação meramente proposicional utiliza regras soltas, sem significados e não consegue, com o uso destas regras, avaliar situações diferentes, isto é, não consegue compreender, o que implica explicar a estrutura conceitual de uma teoria ou de um princípio e os fenômenos vinculados.

A pessoa que usa uma representação do tipo modelo proposicional, também utiliza regras, mas articuladas, interrelacionadas e através delas consegue prever e explicar fenômenos físicos e extrapolar seu conhecimento a situações diferentes.

Outro conceito importante para Johnson-Laird é o de modelo conceitual. Falaremos agora de como este conceito é definido na visão deste autor e qual relação ele estabelece entre modelo mental e o que ele denomina como modelo conceitual.

2.2. Modelo mental e modelo conceitual

Para Johnson-Laird, *modelo conceitual* consiste em um modelo preciso, consistente e completo que é elaborado por pesquisadores ou grupos de interesses para facilitar a compreensão de sistemas físicos que são usados para determinados fins econômicos e para o ensino (op. cit. p. 7).

Os modelos mentais são modelos que as pessoas criam para explicar os fenômenos ou sistemas físicos. Esses modelos, em geral, têm validades restritas, não são precisos como o modelo conceitual, mas devem ser funcionais. Modelos mentais são representações internas de informações que correspondem, analogamente, ao estado de coisas que estiver sendo representado, seja qual for ele.

Podemos dizer então que modelos mentais são análogos estruturais do mundo. Estes modelos mentais são gerados por indivíduos ao serem solicitados para explicar um determinado fenômeno ou resolver um problema em que os modelos conceituais não foram vistos ou assimilados completamente. Será possível estabelecer analogias entre os modelos conceituais e os modelos mentais?

Os modelos conceituais são delineados, projetados, por pessoas que usam modelos mentais, para facilitar a compreensão de sistemas físicos por parte de outras pessoas que também utilizam modelos mentais. No ensino, o professor ensina modelos conceituais e espera que o aprendiz construa modelos mentais consistentes com esses modelos conceituais que, por sua vez, devem ser consistentes com os sistemas físicos modelados.

Os modelos conceituais são, portanto, instrumentais, meios e não fins. O objetivo do ensino é, por meio de modelos conceituais, levar o aprendiz a formar modelos mentais adequados e coerentes com os sistemas físicos. São listados três fatores funcionais aplicáveis tanto aos modelos mentais como aos modelos conceituais (op. cit, p. 12).

a) *O sistema de crenças*: Os modelos mentais de uma pessoa refletem suas crenças sobre o sistema físico representado, adquiridas por observação, instrução ou inferência. O modelo conceitual de modelo mental deve contemplar o sistema de crenças da pessoa.

b) *Observabilidade*: Deve haver uma correspondência entre parâmetros e estados do modelo mental que são acessíveis à pessoa e parâmetros e estados do sistema físico que a pessoa pode observar. Esta mesma correspondência deve existir entre parâmetros e estados do modelo conceitual de modelo mental e o sistema físico.

c) *Potência preditiva*: A finalidade de um modelo mental é permitir que a pessoa entenda e antecipe o comportamento do sistema físico. Isso significa que o modelo deve ter capacidade de prever o comportamento do meio em futuras interações com este meio, tanto com regras de inferência como por derivações procedimentais; ou seja, a pessoa deve poder “rodar” mentalmente o modelo. Portanto, o modelo conceitual de modelo mental deve considerar também as estruturas de conhecimento e de processamento de informação humanas que tornam possível à pessoa usar seu modelo mental para compreender e prever o sistema físico.

O que Johnson-Laird define como modelo conceitual, Gilbert e Boulter (1998) definem como modelo consensual. O modelo consensual é um modelo que foi submetido a testes por um grupo social, como por exemplo, uma comunidade científica, e é definido por meio de um consenso do grupo. Segundo esses autores é preciso fazer uma distinção entre: sistema-alvo, modelo consensual, modelo pedagógico e modelo mental.

O sistema alvo é um sistema real que se deseja modelar. O modelo consensual é um modelo que foi submetido a testes por um grupo social, como por exemplo, uma comunidade científica, e é definido por meio de um consenso do grupo. O modelo pedagógico, por sua vez, é construído e usado para auxiliar na compreensão de um modelo consensual. O modelo mental é uma representação pessoal e íntima do sistema-

alvo. O modelo expresso, por sua vez, é uma versão do modelo mental expressada por meio da ação, da fala ou da escrita.

Apesar de entendermos estes termos como sinônimos e adotarmos como referencial a teoria de Johnson-Laird, neste texto faremos uso do termo modelo consensual que evidencia a idéia da existência de que há um consenso para a formação do modelo. Além disso, o termo modelo conceitual pode remeter a falsa idéia de que o modelo mental não é formado por conceitos, o que não concorda com a definição dada por Johnson-Laird para modelos mentais.

2.3. Modelos mentais e o raciocínio dedutivo

Na visão de Johnson-Laird (Moreira, 1996, p. 5), o raciocínio dedutivo é melhor interpretado como uma destreza prática do que como uma habilidade esotérica, abstrata. Além disso, o que separaria “especialistas e novatos”, “experimentados e iniciantes”, em termos de raciocínio seriam diferenças no espaço disponível na memória de trabalho para construir e manipular modelos mentais complexos, bem como a persistência na testagem de conclusões.

As dificuldades de muitos problemas de raciocínio dedutivo estão relacionadas com o número de modelos mentais necessários para representar adequadamente as premissas do argumento dedutivo. Argumentos que envolvem apenas um modelo mental podem ser resolvidos rapidamente. Para o caso em que se possui vários modelos, o indivíduo deve manter na memória de trabalho cada um dos vários modelos para poder chegar a uma conclusão ou para testar uma conclusão.

2.4. Pensamento e raciocínio

Outro âmbito de aplicação da teoria dos modelos mentais está relacionado com o *pensamento* e o *raciocínio*. Neste domínio, dá-se grande importância às representações na memória de curto-prazo. Inclusive, a quantidade requerida de processamento e armazenamento nesta memória tem sido usada para explicar a dificuldade sentida pelos alunos em resolver problemas ou interpretar situações aparentemente similares. Estas

dificuldades podem ser atribuídas à limitação da memória, pois quanto mais modelos mentais se necessita para resolver um problema que exige raciocínio, mais difícil ele se torna.

Estes modelos podem ser considerados como os tijolos fundamentais na construção do conhecimento, mas eles só podem ser eficazmente utilizados se forem moldados pelo raciocínio. A teoria dos modelos mentais tem como uma das finalidades compreender o raciocínio em geral, incluindo inferência na compreensão da linguagem, o raciocínio indutivo e, também, o raciocínio dedutivo.

3. Conclusões

A idéia de que as pessoas, ou os alunos no caso, constroem modelos mentais do mundo e “re-presentam” internamente o mundo externo, é atraente. O problema é que é difícil investigar tais modelos. Os modelos mentais das pessoas, ao invés de serem precisos, consistentes e completos, como os modelos consensuais (conceituais) são simplesmente funcionais. Na pesquisa, ao invés de buscar modelos mentais claros e elegantes, teremos que procurar entender os modelos incompletos, instáveis que os alunos tendem a externar.

Se o aluno, ao entrar em contato com um novo conceito, é capaz de explicar, generalizar, e aplicar aquele conhecimento em outras situações, então ele construiu um modelo mental sobre aquele conceito. Por meio de uma pesquisa qualitativa, buscamos identificar a ocorrência e a evolução de modelos mentais sobre a produção da voz nas explicações dos alunos.

IV - Revisão de Literatura

IV - Revisão de Literatura

1. Introdução

Este capítulo tem como objetivo retratar analiticamente, por meio de uma revisão bibliográfica das pesquisas em ensino de ciências e de física, como os temas sobre ondas sonoras, som e acústica têm sido investigados e quais são as propostas para o ensino e a aprendizagem desses conceitos, em particular aquelas que tratam da construção de modelos mentais destes conceitos pelos alunos.

Durante a revisão de literatura, poucas pesquisas foram encontradas na área de ensino de ondas sonoras, som e acústica, bem como sobre o modelo mental destas situações, deixando evidente a necessidade e a relevância de pesquisas sobre este tema, justificando assim nosso interesse e busca por este conhecimento.

2. Classificação das pesquisas sobre ondas sonoras

Para fazermos esta revisão da literatura, a metodologia usada foi a busca de artigos de pesquisas em ensino de ciências e de física, que continham palavras que remetessem ao tema sobre ondas sonoras, som, acústica e/ou modelos mentais, no sentido de Johnson-Laird (1983). Esta busca foi norteada pela disponibilidade dos artigos de pesquisa em ensino nos periódicos, atas e bancos de teses na internet. Nesta busca, 33 trabalhos de pesquisa foram selecionados para serem analisados. Não foi nosso alvo analisar os trabalhos que abordavam o ensino de ondas eletromagnéticas. Todos os trabalhos analisados tinham como objetivo geral o ensino de ondas mecânicas.

Os trabalhos encontrados foram lidos e analisados quanto aos objetivos propostos na pesquisa; metodologia utilizada; abordagem dada ao tema de ondas sonoras, som e acústica; coerência com os resultados obtidos em outras pesquisas; aplicabilidade dos resultados da pesquisa em sala de aula. Classificamos os trabalhos encontrados em cinco grupos. O primeiro refere-se a trabalhos que fazem uso do computador para o ensino de ondas sonoras. No segundo, estão relatadas atividades práticas realizadas por alunos visando o ensino. No terceiro, estão as pesquisas que trazem propostas de aulas e

atividades para o ensino de ondas sonoras. No quarto grupo, são trazidas as pesquisas que abordam os modelos mentais dos alunos sobre ondas sonoras, som e acústica. E no quinto grupo, foram colocadas as pesquisas que não se encaixam nos três grupos anteriores, mas que visam o ensino de ondas sonoras, som e acústica. Os 33 trabalhos analisados foram:

2.1. Uso do Computador

a) A Aprendizagem de Ondas Sonoras Sob a ótica de desafios em um ambiente virtual potencialmente significativo (Diogo, 2008).

Nesta pesquisa foi elaborado um ambiente virtual tendo como público alvo alunos do ensino médio. Os dados obtidos foram analisados e as análises revelaram a existência de obstáculos epistemológicos que prejudicaram a aprendizagem de alguns dos conceitos físicos problematizados nos desafios. Com os resultados desta pesquisa, pode-se afirmar que quando utilizamos de maneira adequada os recursos disponíveis no computador, ele pode beneficiar a construção do conhecimento pelo aluno, por isso deve ser considerado como mais um recurso didático na promoção da aprendizagem significativa.

b) Análise e Simulação de Ondas Sonoras Assistidas por Computador (Bleicher, 2002).

Neste trabalho, é apresentada a utilização de um software de computação simbólica Matemática, como ferramenta auxiliar no ensino de Física. Com este software é possível verificar as relações de frequências numa escala musical e o efeito do batimento, através de análise matemática e reprodução sonora via computador. Alguns sons são analisados matematicamente, ressaltando-se a possibilidade do aprendizado autônomo pelos alunos.

c) Aquisição de dados com a placa de som do computador (Montarroyos e Magno, 2001).

Um programa de computador é utilizado como um osciloscópio para captação de sinais eletrônicos utilizando a placa de som de um microcomputador e alguns componentes eletrônicos simples. Este sistema de baixo custo foi testado e comparado

com um osciloscópio convencional. São sugeridas outras aplicações destes equipamentos em aulas de física para produção e análise de sinais eletrônicos.

d) Decodificando o Controle Remoto com a Placa de Som do PC sobre batimento de ondas sonoras (Montarroyos e Magno, 2001).

Como o próprio título traz, este trabalho analisa um controle remoto de televisão, utilizando uma placa de som de um computador. O aparelho computador é utilizado com conversor de sinal. Assim como na pesquisa relatada acima, um software também é utilizado com osciloscópio permitindo observar na tela do computador o sinal emitido pelo controle remoto. Esse tipo de equipamento pode ser utilizado para suprir a falta de materiais nas escolas de ensino médio e superior. Apesar disso, o autor do artigo não dá ênfase ao ensino de ondas, mas faz apenas uma abordagem analítica e matemática do tema.

e) Experimento Didático para Determinação da Velocidade de Propagação do Som no Ar, Assistido por Computador (Barbeta e Marzzull, 2000).

Neste trabalho é apresentada a construção de um equipamento didático para a determinação da velocidade de propagação do som, medindo o tempo que uma onda sonora leva para passar em duas posições sucessivas do receptor. São apresentados alguns dados obtidos com a utilização do equipamento, mas sempre com o enfoque matemático e pouco consensual.

f) O ensino da física do som baseado em investigações (Borges e Rodrigues, 2005).

O trabalho traz os resultados de uma atividade realizada com alunos de nono ano do ensino fundamental e segundo ano do ensino médio em um curso de física do som utilizando o computador. Os estudantes, divididos em três grupos, estudaram o texto do curso em seu próprio ritmo. Ao longo do estudo os grupos resolviam exercícios de fixação e respondiam a questões abertas. Algumas questões desafiavam os grupos a planejarem atividades de investigação para resolver problemas conceituais. Os dados analisados foram construídos a partir das gravações em vídeo das sessões dos grupos no ambiente de aprendizagem e de testes de conhecimento específico aplicados antes e depois do curso. Os resultados indicaram melhoria no desempenho no pós-teste comparado com o pré-teste e na compreensão dos tópicos abordados no curso.

g) O Estudo de Colisões através do Som (Cavalcante, 2002).

O experimento proposto neste artigo permite ao professor de Física estabelecer uma metodologia para medir o coeficiente de restituição em colisões através do espectro sonoro emitido por impactos sucessivos de uma esfera em uma superfície plana. Foi utilizado um software de análise do espectro sonoro disponível na internet. Mas assim como nos outros casos, trata-se apenas de um software de análise analítica de grandezas físicas.

h) “Visible” waves: In a web site a teaching pathway from everyday knowledge toward the scientific knowledge (Gagliardi, 2008).

Este trabalho traz uma proposta de utilização de um web site para ajudar professores na elaboração de projetos e aulas sobre fenômenos ondulatórios. Este é um dos poucos artigos que trazem uma abordagem não formal dos fenômenos ondulatórios, por meio de fotos, desenhos, filmes, animações e simulações computacionais, através da realização de experimentos didáticos com o sistema de som de um computador.

i) Um software para experimentos sobre batimento de ondas sonoras (Silva, 2004).

Este artigo procura enfatizar a importância da experimentação na compreensão de um fenômeno físico sobre interferência, denominado batimento de ondas sonoras. Algumas alternativas para a realização do experimento são apresentadas e as limitações de cada uma delas são apontadas. O artigo apresenta também um software disponibilizado na internet desenvolvido para este experimento. A experiência foi realizada com a utilização desse software, e os resultados obtidos, tanto qualitativos quanto quantitativos, foram bastante satisfatórios. Neste experimento, foi encontrada uma abordagem mais consensual e menos matemática do fenômeno de batimento.

j) Velocidade do Som no Ar Um Experimento Caseiro com Microcomputador e Balde D’água (Silva, 2003).

Este é mais um artigo que usa software para determinação de velocidade do som. Embora tenha havido uma preocupação com a elaboração de um experimento caseiro, tendo como público alvo o ensino médio e superior, o trabalho abordou de forma limitada os conceitos físicos decorrentes dos fenômenos ondulatórios.

2.2. Experimentos Com Materiais Alternativos

a) Aprendizagem de ondas sonoras por meio de uma situação adidática (Gobara, 2008).

Com uma preocupação maior com o ensino, este artigo propõe uma situação adidática para o ensino de ondas sonoras. O referencial teórico usado foi Brousseau e a atividade consiste em uma situação problema com um desafio proposto para os alunos. Vários conceitos físicos são abordados na realização da atividade e não é dada ênfase ao caráter analítico e matemático dos conceitos. Houve também uma preocupação com o levantamento das concepções alternativas dos alunos sobre som.

b) Desenvolvendo a abstração para aulas de vibrações e ondas (Cançado, 2007).

Este trabalho traz uma proposta para o ensino de ondas de uma maneira conceitual e contextualizada, tomando como referencial teórico a teoria de Piaget. São utilizados alguns recursos didáticos, tais como experiências, demonstrações, vídeos e simulações de computador, afim de que os estudantes pudessem manipular e visualizar o modelo estudado, evitando a forma tradicional de ensino e procurando desenvolver um processo de aprendizado pautado pela relação entre estudante e modelo.

Os autores partem da hipótese de que a visualização e a interação dos estudantes com modelos ou com analogias palpáveis auxiliam na assimilação dos conceitos, resultando em uma base mais sólida para o entendimento dos fenômenos estudados. Esta hipótese foi comprovada quando foi observado um aumento no interesse dos estudantes pelo tema estudado e uma capacidade de utilização dos conceitos teóricos da física ondulatória na compreensão fenômenos de vibração e propagação de ondas.

c) Laboratório caseiro: tubo de ensaio adaptado como tubo de Kundt para medir a velocidade do som no ar (Saab, 2005).

Este artigo propõe um experimento para alunos de ensino médio, para medir a velocidade do som no ar com um tubo de ensaio adaptado como tubo de Kundt. O uso do aparato proposto permitiu encontrar para a velocidade do som um valor muito próximo ao indicado na literatura. Apesar de demonstrar uma preocupação com o ensino de ondas sonoras, utilizando uma atividade viável em sala de aula, os conceitos de som e acústica são abordados de uma maneira limitada, dando enfoque a poucos aspectos da

física ondulatória, como propagação do som em tubos abertos e fechados. Mas para o objetivo proposto, medir a velocidade do som, o experimento é grandemente relevante e pode ser muito útil em sala de aula, sendo utilizado sozinho ou associado a outros experimentos, abordando outros aspectos da física ondulatória.

d) Measurement of the speed of sound in a metal rod (Se-Yuen Mak, 2000).

Neste trabalho dois métodos são sugeridos para medir a velocidade de som em uma haste de metal. No primeiro, um cronômetro é utilizado para medir o tempo que um pulso de compressão leva para viajar ao longo da haste de uma extremidade à outra. Na outra, um microfone é usado para medir a frequência fundamental de vibração de uma haste livre. Para realizar os cálculos, a relação utilizada foi $v = f \lambda$.

Esta atividade possibilita a aquisição de habilidades e competências importantes para o ensino de ciências pelo fato de tratar os conceitos experimentalmente através da medição de grandezas físicas. Porém, para que este trabalho seja considerado uma pesquisa em ensino, propriamente dita, é necessário um maior rigor teórico.

e) O método da redescoberta orientada e a criação e desenvolvimento de um laboratório de acústica para o curso de física (Tavares, 1989).

Esta pesquisa traz relatos de propostas de experimentos, explicitando os procedimentos que professores do ensino médio podem utilizar para realizar experimentos em sala de aula ou no laboratório. Não apresentam descrições da aplicação dos procedimentos com grupos de estudantes. A fundamentação dos artigos refere-se apenas aos conceitos físicos tratados no experimento, não explicitando uma preocupação maior com o ensino.

2.3. Propostas Didáticas

a) Atividade de ondas sonoras (Pereira, 2006).

Trata-se de uma atividade onde o aluno deveria ler um texto de apoio sobre som e ondas sonoras, e depois responder algumas questões sobre este assunto. Não há uma abordagem prática dos conceitos, mas tanto o texto quanto o questionário respondido pelos alunos podem ser usados como parte de uma atividade mais ampla a ser proposta.

b) O clarinete - uma introdução à análise física do instrumento (Hümmelgen, 1996).

Analisa-se o clarinete sob o ponto de vista da Física, partindo do tratamento de problemas simples como a determinação dos modos de vibração da coluna de ar confinada em tubos cilíndricos. Descrevem-se algumas das características físicas específicas do instrumento e o modo pelo qual a sua tessitura pode ser ampliada, com o objetivo de não se restringir ao simples comportamento de um tubo cilíndrico. Apesar não se tratar de uma atividade onde o aluno manipula conceitos e constrói modelos explicativos, a observação de um instrumento musical pode trazer uma abordagem ampla dos conceitos de som e acústica e pode ser um ótimo recurso para introdução ao conteúdo de ondas sonoras.

c) Proposta para o Ensino de Ondas e Acústica Utilizando Música e Instrumentos Musicais (Lopes, 2005).

Este trabalho propõe uma maneira de ensinar conceitos da física do som para alunos do segundo ano do ensino médio, por meio da apresentação de uma palestra sobre música e instrumentos musicais, avaliando o conhecimento espontâneo dos alunos sobre ondas e acústica e analisando o impacto da palestra sobre os alunos. Os modelos mentais externados pelos alunos são levados em conta na análise dos resultados. A palestra consiste em estabelecer relações entre a física e a música, criando uma ponte entre o conhecimento científico e o cotidiano do aluno. Apesar de levar em conta os modelos mentais dos alunos, classificamos esta pesquisa no grupo de propostas didáticas porque o objetivo maior do autor foi verificar se a introdução do conteúdo de ondas, por meio de uma palestra sobre instrumentos musicais, auxiliaria na aprendizagem de som, acústica e ondas sonoras. Seja como agente motivador, ou como contextualização de conceitos.

d) O uso do aparelho fonador para o ensino de ondas sonoras (Nascimento e Gobara, 2007).

Este trabalho apresenta uma proposta didática diferenciada para a introdução do conteúdo de ondas sonoras para o nono ano do ensino fundamental, Trata-se de uma atividade contextualizada em que os alunos são levados a construir modelos explicativos

sobre a produção da voz ao realizarem as atividades com objetos e partes do corpo, o que contribuiu para que eles se apropriassem de alguns conceitos relacionados às ondas sonoras, som e acústica.

Esta atividade foi proposta para ser aplicada em sala de aula visando a promoção da aprendizagem significativa dos princípios da física ondulatória e a compreensão da produção da voz.

e) Um recurso didático para ensino de ondas de física, biologia e música (Rui e Steffani, 2006).

Neste trabalho é apresentado um recurso didático que pode ser explorado em Ciências, Física, Biologia e Música. Trata-se de um painel sobre audição humana, focalizando os fenômenos físicos que ocorrem ao longo do ouvido externo, ouvido médio e ouvido interno no processo da audição. A vantagem do uso deste recurso em relação aos outros é a grande possibilidade de interdisciplinaridade que ele proporciona. Abordar fisicamente os assuntos tratados por outras áreas traz uma grande contribuição para o ensino de Física. Isso exige cooperação profissional entre professores de diferentes áreas e séries de ensino. Da maneira que foi construído, apesar de não possibilitar uma manipulação concreta dos fenômenos sonoros, o painel pode ser usado para abordar uma grande quantidade de conceitos físicos sobre som, e nisto consiste sua relevância.

f) Uma proposta para a apresentação de conceitos de acústica no ensino médio (Tavares e Souza, 2007).

O presente trabalho foi realizado com o objetivo de oferecer subsídios aos professores de física do ensino médio para o ensino de acústica. A partir dos conceitos principais de acústica, foi tratada a acústica de ambientes. Foram analisados alguns fatores, tais como isolamento contra o ruído, o eco, a distribuição sonora e a reverberação adequada, que interferem na qualidade do som produzido em uma sala de concertos e que devem ser levados em consideração pelos arquitetos, engenheiros e técnicos de som.

Em particular, foi feita a análise da acústica do teatro Trianon, localizado na cidade de Campos dos Goytacazes. Os pontos analisados foram os coeficientes de absorção dos materiais utilizados, as áreas das superfícies e o volume total do teatro, além de

determinar o tempo de reverberação para três frequências, que correspondem aos sons graves, médios e agudos. Apesar de colocarmos esta pesquisa no grupo de atividades propostas, acreditamos que a realização desta atividade pode ser conduzida de forma a abordar de uma maneira concreta e prática, e não apenas matemática ou teoria, os conceitos de acústica.

2.4. Modelos Mentais

a) A study of tertiary physics student's Conceptualizations of Sound (Linder e Erikson, 1989).

Esta pesquisa discute as concepções que os estudantes acadêmicos de física possuem sobre som. Dez acadêmicos foram entrevistados e estas entrevistas foram analisadas com o objetivo de levantar possíveis modelos explicativos sobre som externados pelos alunos. As implicações dos resultados desta pesquisa na ação do professor em sala de aula também são discutidas pelos autores.

b) De onde vem o som da voz (Nascimento e Gobara, 2005).

Nesta pesquisa buscou-se fazer um levantamento dos modelos mentais de alunos do sétimo e oitavos do ensino fundamental. Foram feitas entrevistas com alguns destes alunos onde eles foram questionados sobre como eram produzidos os sons de alguns objetos e por fim, como era produzida a voz. Os resultados destas entrevistas mostraram a influência do uso de terminologias do dia a dia na elaboração de modelos mentais e conseqüentemente na aprendizagem significativa dos conceitos de som, ondas sonoras e de produção da voz.

A maioria dos alunos associou a produção do som com a vibração dos objetos manuseados, e não identificou o som como uma onda porque eles não conheciam este conceito, mas apresentaram uma noção intuitiva (transporte de matéria) ao associá-lo ao deslocamento do ar. Eles apresentaram também algumas das propriedades do som como altura, intensidade, etc, porém sem utilizar essas terminologias.

c) Identifying students models of sound propagation (Hrepic, 2002).

Foram investigamos os modelos mentais dos estudantes sobre a propagação sonora em turmas que estavam iniciando o curso de física. Além do modelo científico, os estudantes usaram o modelo da “entidade”. Neste modelo o som é uma entidade independente do meio, mas que se propaga através dele. Todos os outros modelos alternativos observados são variações do modelo entidade, mas que possuem características de outros modelos. O autor descreve cada um destes modelos e os denomina de modelos híbridos. Esta pesquisa é um bom ponto de partida para quem deseja melhorar o ensino de física, em especial o ensino de ondas sonoras.

d) *Le raisonnement des étudiants dans la physique des ondes* (Maurines, 2002).

Nesta pesquisa, procurou-se estabelecer um modelo de raciocínio que permite interpretar as dificuldades encontradas por grupos não homogêneos de alunos. Esta é apenas uma primeira etapa na elaboração de seqüências de ensino adaptadas às dificuldades dos alunos, que tem como alvo a apresentação de propostas pedagógicas para o ensino de som e de ondas sonoras. Assim como na pesquisa relatada acima, os resultados obtidos podem ser utilizados em outras pesquisas e na elaboração e planejamento de atividades para o ensino de som.

e) *Making Sense of Secondary Science: Research into Children's Ideas* (Driver, 1994).

Em um trabalho que buscou descrever as idéias das crianças sobre alguns conceitos da ciência, o autor aborda em um capítulo sobre produção e propagação do som, o fato de que os estudantes não estão cientes de algumas idéias essenciais a respeito da geração e da propagação de ondas sonoras, suas fontes, natureza da onda, propriedades físicas das ondas, e sua interação com meio e não recorrem a algumas abstrações necessárias para representar as características das ondas sonoras com modelos mentais.

f) *Obstáculos conceptuales en el aprendizaje de la energia de las ondas* (Welti, 2005).

No presente artigo, são analisadas algumas dificuldades que os alunos possuem na compreensão do conceito de energia que está contido no estudo de ondas. Em particular, é estudada uma onda mecânica unidimensional, por se tratar de um modelo mais

simples. Segundo os autores, a dificuldade na compreensão do conceito de energias das ondas, é um obstáculo conceitual na aprendizagem dos conceitos de som, ondas sonoras e acústica.

g) O conceito de ondas na visão dos estudantes (Gobara, 2007).

Este é um trabalho que foi escrito como parte inicial de uma pesquisa sobre ensino de ondas sonoras onde se buscou levantar os modelos explicativos que os alunos possuem sobre ondas. Alguns modelos foram levantados e todos eles condizem com os já encontrados na literatura. As autoras relatam a dificuldade de se encontrar pesquisas de modelos mentais sobre a física ondulatória. Daí nossa preocupação em abordar de forma mais abrangente este tema.

h) University physics students' conceptualizations of factors affecting the speed of sound propagation (Linder, 1993).

Este relatório discute as concepções de 14 acadêmicos de física do Canadá e África do Sul sobre os fatores que afetam a velocidade de propagação do som. A origem dos dados consiste em um jogo das explicações detalhadas que os graduandos forneceram durante entrevistas que tratam de sua compreensão sobre o som. As concepções são ilustradas com exemplos dos diálogos feitos nas entrevistas.

2.5. Outros

a) Distorções conceituais dos atributos do som presentes nas sínteses dos textos didáticos: aspectos físicos e fisiológicos (Monteiro, 1998).

Esta pesquisa mostra que os livros didáticos exibem uma tendência reducionista e, ao mesmo tempo, distorcida na apresentação dos diversos conteúdos da física clássica. O tema investigado foi a física ondulatória. A investigação consistiu na catalogação e análise das apresentações das qualidades fisiológicas do som por textos didáticos do ensino fundamental e médio. Foram constatadas várias distorções conceituais no processo de transposição didática, evidenciando uma forte negligência no tratamento dos aspectos fisiológicos, presentes na apresentação dos conceitos de altura, intensidade e timbre. A importância dessa pesquisa se dá pelo fato de que o livro didático, ainda hoje, tem sido

em alguns casos, a única fonte de informação e formação para o professor, que tem seu fazer pedagógico orientado unicamente pelo livro didático, e depende dele desde o planejamento até a execução de sua aula.

b) Levantamento dos trabalhos em ensino de física que investigam ondas sonoras (Jardim, 2008).

Este é um dos trabalhos que mais embasaram nossa pesquisa por também buscar uma revisão de literatura sobre o ensino de som, ondas sonoras e acústica. Foram analisados trabalhos publicados em periódicos e disponibilizados na internet que traziam em seu corpo as palavras som, acústica, ondas sonoras e/ou transposição didática. É um importante relato de como está a pesquisa em ensino de ondas sonoras. A discrepância deste trabalho para a pesquisa realizada neste artigo está justamente no enfoque dado aos modelos mentais externados pelos alunos, e na ênfase dada a metodologia utilizada em cada trabalho.

c) Ondas Longitudinais: determinação da velocidade do som em metais (Speziali e Veas, 1986).

Neste trabalho é analisada uma situação onde uma barra metálica cai verticalmente sobre uma superfície dura e, devido ao choque, pula para cima. Discute-se um modelo de propagação de um pulso longitudinal através de uma barra, fazendo-se uma analogia com uma mola tipo “slinky”. A seguir apresenta-se no modelo uma metodologia que permitem calcular a velocidade do som em barras metálicas. Há um grande enfoque no aspecto matemático, e é dada pouca atenção para as questões de ensino aprendizagem dos conceitos de som.

d) Uma discussão sobre as densidades de energia em ondas mecânicas unidimensionais (Bruno-Afonso e Florêncio, 2004).

Em uma abordagem algébrica, são estudadas as médias temporais das densidades das energias cinéticas e potenciais em ondas mecânicas unidimensionais. Demonstra-se que o movimento harmônico simples dos elementos do meio não é suficiente nem necessária para que aquelas médias sejam iguais. Isso contradiz as abordagens em textos de Halliday et al. e Nussenzveig. O conceito de som não é enfatizado e as questões relacionadas ao ensino também não são devidamente abordadas.

3. Análise dos Resultados

Grande parte dos trabalhos levantados faz uso do computador como instrumento de ensino. O uso desta ferramenta tem sido cada vez mais difundido nos meios educacionais e tem sido de grande valia para o ensino e a aprendizagem.

Os trabalhos analisados que fazem uso de computador se limitam apenas em medir grandezas físicas relacionadas ao som e a ondas sonoras, sem dar a devida importância à formação do conceito na mente do aluno. Há uma grande ênfase em deduções matemáticas e quantificação de conceitos. Estas características também se fazem presentes nos outros artigos, mas não com tanta evidência. Acreditamos que uma atividade de observação e manipulação de objetos seria necessária para o ensino de ondas sonoras, por se tratar de um tema abstrato e que está presente em todo o cotidiano do aluno.

O conteúdo de ondas tem sido muito estudado por pesquisadores da área de física moderna, mas para o ensino de ondas sonoras, não acreditamos ser necessário este nível de contextualização, visto a infinita gama de exemplos práticos de ondas sonoras disponíveis a nossa volta que podem ser analisados. A relevância de atividades práticas e contextualizadas no ensino de som está justamente no fato de que estas atividades possibilitam ao aluno vivenciar os fenômenos sonoros de uma maneira concreta e não apenas teórica ou virtual, experienciando o conceito a ser ensinado.

Além de computador e experimentos alternativos, algumas das pesquisas encontradas utilizaram atividades diferenciadas para o ensino de ondas sonoras. Estas pesquisas que classificamos como propostas didáticas tratam de atividades demonstrativas ou aulas expositivas sobre som, com exposição de materiais, instrumentos musicais e uso de recursos audiovisuais, mas sem promover a interação direta do aluno com os fenômenos sonoros, o que limita a mobilização de sua estrutura cognitiva para a aprendizagem.

Acreditamos que a música pode ser utilizada como uma ótima maneira de contextualizar o ensino de ondas sonoras. Apesar disso, foram encontrados poucos artigos que abordavam o ensino de acústica usando este recurso. A análise da arquitetura de salas acústicas também pode ser utilizada como uma grande ferramenta para o ensino

de som, mas que praticamente não tem sido explorada em sala de aula. O estudo do corpo humano também pode ser um instrumento muito rico de ensino em diferentes áreas, visto a sua abrangência e complexidade. O ensino de ondas sonoras, som e acústica pode ser amplamente contextualizado se tratarmos a voz como fonte sonora e o ouvido como receptor, promovendo assim o ensino interdisciplinar, apontado como um dos principais objetivos dos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCNEM, 1999), que tem como princípios fundamentais a interdisciplinaridade, a contextualização e a formação de um cidadão.

Os trabalhos encontrados sobre modelos mentais mostram como os alunos constroem modelos para explicar os fenômenos sonoros e trazem algumas características destes modelos. Alguns modelos externados pelos alunos são relatados e muitos deles aparecem em vários contextos, mostrando a veracidade dos resultados obtidos nestas pesquisas. Alguns dos modelos encontrados foram o consensual, o modelo entidade, o modelo em que a onda transporta matéria, e os modelos híbridos, que são as junções de alguns destes modelos alternativos com o modelo consensual. Em alguns modelos, o som é tratado como uma substância.

Alguns alunos também estabelecem uma relação direta entre frequência e amplitude, para eles, quanto maior a frequência, maior a amplitude, ou seja, sons agudos são necessariamente mais intensos. É também encontrada uma relação direta entre amplitude e velocidade, na qual quanto maior a amplitude, maior a velocidade da onda sonora, ou seja, um som mais intenso se propaga mais rapidamente que um som menos intenso.

Saber qual o modelo mental que o aluno possui sobre o conceito a ser ensinado é fundamental, pois nossa habilidade em dar explicações está diretamente ligada à nossa compreensão daquilo que é explicado.

Os trabalhos relatados são contribuições para o ensino de ondas sonoras, som e/ou acústica, mas não consistem em uma proposta de ensino para a aprendizagem destes conceitos. Contudo, são importantes por tratarem de aspectos que influenciam o ensino-aprendizagem dos fenômenos sonoros.

Os resultados obtidos nesta revisão de literatura contribuem para uma reelaboração das ações dos professores em sala de aula, mostrando a dificuldade que os alunos possuem para compreenderem os conceitos abstratos sobre ondas sonoras, som e acústica motivando a preparação de aulas contextualizadas e interativas, com materiais concretos que contribuam para a aprendizagem desses conceitos.

Em nossa pesquisa, esta revisão de literatura contribuiu para verificarmos quais conceitos físicos do conteúdo de ondas os alunos possuem mais dificuldades e quais modelos mentais que os alunos possuem sobre som e ondas e são quais são sugeridos pela literatura. Investigamos também as vantagens e desvantagens das metodologias utilizadas nas pesquisas em ensino de ondas sonoras. Estes dados direcionaram a seleção dos conceitos abordados na atividade e auxiliaram na idealização dos materiais utilizados para discussão destes conceitos.

4. Conclusões

Nesta revisão de literatura sobre pesquisas em ensino de som, ondas sonoras e acústica, foi evidenciada uma ênfase dada ao uso de computador, tanto como fonte sonora, através de caixas de som, quanto como receptor e decodificador de espectros sonoros, por meio de softwares especializados.

A utilização de um ambiente virtual para o ensino de um conceito abstrato como o som, deve ser cuidadosamente analisada e preparada para que não se limite apenas a uma quantificação de grandezas físicas, sem de fato promover uma aprendizagem significativa do conceito a ser ensinado.

Os experimentos com materiais alternativos são baseados em atividades práticas com a manipulação de materiais concretos e não são muito facilmente encontrados na literatura, dada a sua complexidade. Apesar disso, são eles que acreditamos proporcionar uma melhor abordagem dos fenômenos sonoros, pois proporcionam ao aluno um experiência real do conceito de som. Alguns dos experimentos relatados acima trazem uma abordagem limitada dos conceitos tratados pela física ondulatória, mas podem ser associados a outras atividades como forma de se complementarem.

As propostas didáticas analisadas nos pareceram uma boa alternativa para a introdução do conteúdo de ondas sonoras, apesar de suas limitações, como é o caso dos trabalhos analisados que fazem uso de computador, que se limitam apenas em medir grandezas físicas relacionadas ao som e a ondas sonoras, sem dar a devida importância à formação do conceito na mente do aluno. Há uma grande ênfase a deduções matemáticas e quantificação de conceitos. Estas características também se fazem presentes nos outros artigos, mas não com tanta evidência.

Algumas limitações também são encontradas nas pesquisas que fazem levantamento de modelos mentais sobre som. Se estas pesquisas não forem utilizadas no ensino, não terão participação na aprendizagem destes conceitos.

Contudo, dada a pouca quantidade de publicações encontradas sobre o tema na literatura e a complexidade e abstração dos conceitos que envolvem a física ondulatória, e também os vários modelos mentais não coerentes com o consensual externados pelos alunos, podemos afirmar que ainda há uma grande carência de pesquisas na área de ensino de som, ondas sonoras e acústica.

V - Materiais e Métodos

V - Materiais e Métodos

1. Introdução

Trata-se de uma pesquisa qualitativa empírica (Demo, 2000), desenvolvida para verificarmos a influência de uma atividade proposta para alunos do segundo ano do ensino médio regular na construção de modelos explicativos (modelos mentais) como elementos da aprendizagem de conceitos relacionados às ondas sonoras.

Usando uma atividade contextualizada no corpo humano, os conceitos relacionados às ondas sonoras foram abordados de acordo com os seguintes questionamentos: o que é necessário para que haja som, e como é produzida a voz pelo sistema fonador (situação-alvo).

A sequência didática proposta é constituída por dois momentos. O primeiro é uma aula teórica expositiva sobre os principais conceitos sobre ondas e som, tais como frequência, amplitude e comprimento de ondas (elementos do modelo consensual). Essa aula teve a duração de aproximadamente cinquenta minutos, um tempo de aula, e o plano de aula consta no apêndice 1 desta dissertação. Um resumo desta aula foi entregue aos alunos. Este resumo consta no apêndice 2 desta dissertação.

O segundo momento é a realização de uma atividade prática de manipulação de objetos e observação do próprio corpo humano, no momento em que estão emitindo som (modelo pedagógico). Para que os alunos realizassem a atividade prática, um roteiro estruturado foi elaborado e disponibilizado aos alunos. Neste roteiro estão todas as orientações de como os alunos deveriam observar os objetos e observar o próprio corpo durante a produção da voz. Esta aula prática teve uma duração de aproximadamente uma hora e quarenta minutos (dois tempos e aula). O roteiro da atividade consta no apêndice 3 da dissertação. Descreveremos agora como foi o processo de construção da atividade prática.

2. Elaboração da atividade

Primeiramente, construímos os objetos a serem utilizados na atividade. Para a construção dos objetos, optamos pela utilização de materiais recicláveis e/ou de baixo

custo, de fácil aquisição. Os objetos propostos foram: um elástico preso em um cilindro; um apito de corneta; e uma garrafa pet, com três balões de borracha (bexigas) e um apito pequeno presos a ela, simulando o sistema fonatório. A figura 5.1 ilustra os materiais propostos e utilizados na atividade.



Figura 5.1 - Objetos utilizados na atividade.

Descreveremos agora como foram construídos os objetos propostos para a realização da atividade e as etapas que compõem a atividade. Nosso objetivo com este relato é possibilitar ao leitor a reprodução desta atividade em sala de aula e a utilização desta sequência didática como ferramenta de ensino para o conteúdo de ondas sonoras.

2.1. Construção da primeira etapa - Introdução

Na primeira etapa, antes de manipular os objetos, os ânulos devem ler o seguinte texto contido na introdução do roteiro:

“A voz é um som emitido pelo corpo humano por meio de um conjunto de órgãos chamado Sistema Fonatório. Estes órgãos possuem outras funções além da produção da voz. Mas o que é a voz? Como funciona o mecanismo de produção de som do corpo

humano? Antes de realizar esta atividade sobre produção do som, você responderá algumas questões sobre os conceitos que serão discutidos.”

Depois de lerem este pequeno texto, os alunos devem responder duas questões, sendo uma sobre anatomia e outra sobre a fisiologia da voz. O objetivo foi obter estes dados para serem comparados posteriormente com as respostas dadas pelos alunos na última etapa da atividade e assim verificar se houve ou não uma evolução no modelo mental dos alunos. A questão proposta sobre anatomia foi:

“Na figura abaixo, estão numerados os principais órgãos que compõem o sistema fonatório. Relacione cada região numerada da figura que constitui o sistema fonatório, com a coluna ao lado. Relacione na figura apenas os nomes dos órgãos que você conhece.”

A figura 5.2 acompanhava a questão.

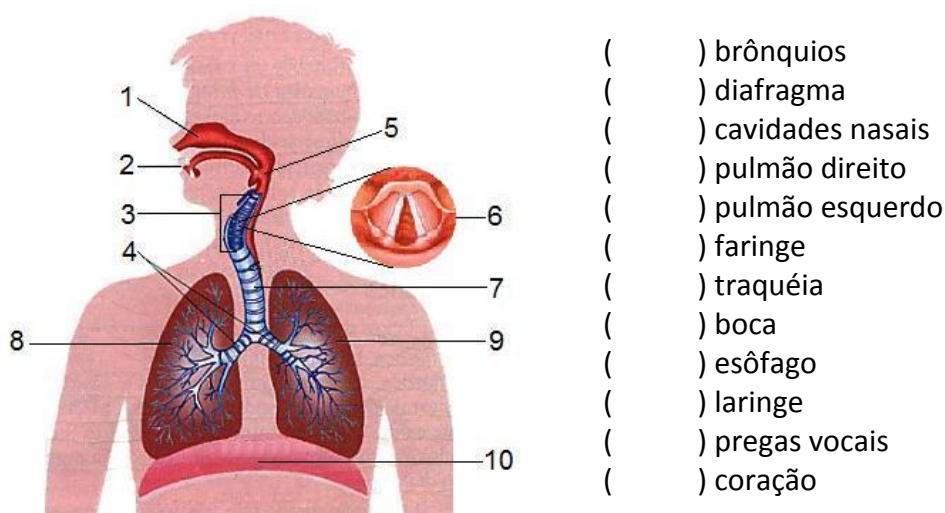


Figura 5.2 – Nome dos principais órgãos do Sistema Fonatório - Introdução (Leal, 2009).

A questão proposta sobre fisiologia foi: “Faça um desenho ou explique com suas palavras como a voz é produzida.”

2.2. Construção da segunda etapa – Observação dos Objetos

Na segunda etapa, os alunos devem manipular e observar alguns objetos que emitem som e descrever como o som é produzido por estes objetos. O objetivo dessa

etapa é levar o aluno a explicar como os objetos emitem som e possibilitar que ele relacione a produção de som dos objetos com a produção da voz.

a) Cilindro com elástico

O primeiro objeto a ser manipulado pelos alunos é o cilindro com o elástico de dinheiro. Ele foi construído com um tubo de PVC com diâmetro de 7,5cm e altura de 5,0cm. Como elástico, utilizamos uma borracha. Cortamos a borracha em pedaços de aproximadamente 7,0cm, amarramos as extremidades, e fixamos no cilindro com uma fita adesiva transparente larga. Desta forma foi construído o cilindro com elástico.

A manipulação deste material foi proposta com o objetivo de levar o aluno a perceber que para que um som seja produzido por um determinado material é necessário que algo perturbe este material fazendo com que ele vibre.

Com os dedos, o aluno deve perturbar o elástico de tal forma a fazê-lo emitir som. Depois ele deve pressionar as laterais do cilindro deixando-o elíptico, de modo a provocar uma variação no comprimento do elástico, alterando a sua tensão e frequência de vibração. Em cada situação os alunos devem descrever e explicar o que está acontecendo.

As perguntas propostas para esta etapa foram:

“Você tem um elástico preso em um cilindro de plástico, como mostra a figura.”

Para ilustrarmos o material, a figura 5.3 foi fornecida no roteiro.

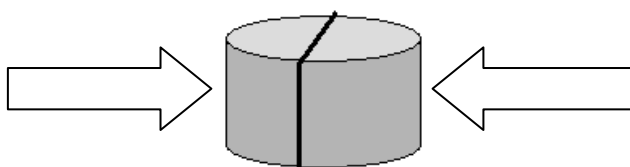


Figura 5.3 – Elástico preso no cilindro.

Com a ponta dos dedos, toque o elástico, como em um violão, para que você consiga produzir som. Descreva o que acontece com o elástico enquanto você produz som. Toque o elástico suavemente e depois toque o elástico com mais força. Qual a diferença que você observou nas duas situações? Qual das características da onda foi alterada para que ocorresse essa diferença? Com uma das mãos pressione o cilindro, como indicado pelas setas da figura, para deixá-lo levemente achatado, de tal maneira que o elástico fique mais esticado. Com o cilindro achatado, toque no elástico para que

você consiga produzir som. Qual a diferença entre o som produzido pelo elástico quando o cilindro está pressionado e quando o cilindro não está pressionado? Qual das características da onda foi alterada para que ocorresse essa diferença?”

b) Apito

O segundo objeto a ser manipulado é um apito de corneta que possui uma palheta interna que pode ser visualizada no momento da emissão do som. O apito utilizado foi retirado do interior da corneta de fole, pois optamos por não utilizar toda a corneta e sim apenas o apito. Acreditamos que isso facilita a visualização da vibração da palheta no apito e direciona o aluno a estabelecer uma relação mais direta entre o corpo e a palheta, pois com a corneta completa, era o fole que provocava a passagem de ar pela palheta. Já se utilizarmos somente o apito, o aluno precisa utilizar o ar dos próprios pulmões para promover a passagem de ar pelo apito.

A manipulação deste apito foi proposta com o objetivo de fazer com que o aluno perceba que para que o som seja produzido pela palheta, é necessário que passe ar pelo apito e que ela vibre. Ao final da atividade o aluno deverá ter condições de relacionar a passagem de ar pelo apito e a vibração da palheta com a passagem de ar pela laringe e com a vibração das pregas vocais. Para esta etapa as perguntas propostas foram:

“Agora você tem um apito. Dentro deste apito há uma palheta. Sobre o apito pelo lado mais fino e descreva o que acontece. Segure a palheta com o dedo, deixando espaço para o ar passar pelo apito. Ainda com o dedo na palheta, sobre o apito e descreva o que acontece. Explique com suas palavras qual a função da palheta na produção do som do apito.”

c) Garrafa Pet

O terceiro objeto a ser utilizado na atividade é uma representação do sistema fonatório humano e consiste em uma garrafa pet cortada, com um apito pequeno fixado na tampa, dois balões de borracha presos no seu interior e um balão de borracha preso em sua base (ver figura 5.1). O apito representa a laringe e as pregas vocais, a garrafa representa a caixa torácica, os balões internos representam os pulmões, e o balão externo representa o músculo diafragma. Este material possibilita relacionar os órgãos

envolvidos na respiração com a função que eles possuem na produção do som e auxilia o aluno a identificar a importância do diafragma para o processo fonatório.

Para construção deste material, foram utilizados uma garrafa pet de 350 ml com tampa, três balões de festa número Nº7, uma rolha de madeira com 2,0 cm de diâmetro, dois canudos de 2,0 cm de comprimento e 0,8 cm de diâmetro, um apito de mordedor infantil de 0,5 cm de diâmetro e 1,0 cm de comprimento, elásticos, cola quente, e fita adesiva transparente larga.

Primeiramente, fixamos com o elástico um balão na extremidade de cada um dos dois canudos e deixamos a outra extremidade livre para a entrada de ar. Cortamos a rolha de modo a deixá-la com apenas 0,5 cm de espessura e fizemos nela dois pequenos orifícios. Com a cola quente, fixamos as extremidades livres dos canudos na rolha nos pontos onde fizemos os orifícios.

Depois, fizemos um orifício de 0,5 cm de diâmetro no centro da tampa da garrafa e inserimos nele o apito extraído do mordedor infantil. Feito isto, encaixamos a rolha 1,0 cm abaixo da boca da garrafa pet e tampamos a garrafa. Por fim, cortamos a garrafa ao meio, fizemos um orifício de 1,5 cm de diâmetro na base do balão que ainda não havia sido utilizado e fixamos com a fita adesiva a base do balão na base da garrafa pet. Assim concluímos a confecção deste material. A maioria das pessoas reconhece a importância da respiração para a nossa sobrevivência, mas não percebe os órgãos envolvidos e como o diafragma e os músculos intercostais ajudam e muito neste processo.

A manipulação deste material foi proposta com o objetivo de fazer com que o aluno comparasse a produção de som no material com a produção de som no sistema fonatório. O aluno deverá ser capaz de observar as semelhanças no funcionamento dos dois sistemas e, posteriormente, na próxima etapa da atividade, estabelecer relações entre as partes que compõem o material e os órgãos do sistema fonatório. As perguntas propostas para esta etapa foram:

“Você tem uma garrafa pet pequena com três balões. Dois balões estão presos na parte de dentro da garrafa, o outro está preso na parte de fora. Com uma das mãos segure a garrafa, e com a outra puxe para baixo e para cima o balão que está preso na parte de fora da garrafa. O que acontece com os balões que estão dentro da garrafa?

Explique com suas palavras por que os balões que estão dentro da garrafa se enchem? O que acontece com o apito preso na garrafa no momento em que você empurra o balão de fora? Explique com suas palavras por que o apito preso na tampa da garrafa produz som?”

2.3. Construção da terceira etapa – Observação do Próprio Corpo

Nesta etapa os alunos são instruídos a observar o próprio corpo ao emitir um determinado som e a explicar o que eles observam. O objetivo desta etapa é fazer com que eles comparem as observações feitas nos objetos com as observações no corpo humano. Essa atividade foi elaborada para levá-los a relacionar as partes responsáveis pela produção de som e o processo de produção de som nos objetos com os principais órgãos que compõem o sistema fonatório e o mecanismo de produção de som no corpo humano que dá origem a voz. As partes do corpo a serem observadas pelos alunos são a garganta e o abdome.

a) Garganta

A garganta é a primeira parte do corpo selecionada para observação, pois é nela que se encontram as pregas vocais, responsáveis pela vibração que dá origem a voz. O objetivo desta observação é fazer com que o aluno compare a vibração da borracha, que estava presa no cilindro, com a vibração das pregas vocais na produção da voz. Para esta observação foram propostas as seguintes questões:

“Pronuncie algumas palavras colocando uma de suas mãos na garganta e outra na nuca. Qual a diferença entre estas duas regiões enquanto você fala? Explique com suas palavras qual é o motivo dessa diferença? Compare as observações feitas na garganta com as observações feitas no apito. Existe algo na garganta que tenha a mesma função da palheta no apito? Explique sua resposta.”

b) Abdome

A segunda parte do corpo a ser observada pelos alunos é o abdome, pois é nele que se encontra o músculo diafragma, um dos principais músculos do sistema fonatório,

responsável pela entrada e saída de ar nos pulmões. Ele expelle ar dos pulmões, faz com que o ar passe pela laringe e faz vibrar as pregas vocais.

No protótipo representado pela garrafa, o balão fixado na parte externa expelle o ar dos balões fixados na parte interna da garrafa, fazendo com que o ar passe pelo apito, produzindo som. Este processo é semelhante ao que ocorre no sistema fonatório. O objetivo dessa observação é levar o aluno a perceber esta semelhança.

Para esta observação foram propostas as seguintes questões:

“Pronuncie algumas palavras colocando uma de suas mãos no seu abdome. Ainda com a mão no abdome, inspire e pronuncie letamente a sílaba ‘si’. O que acontece com seu abdome no momento em que você emite este som? Há variação do ar nos seus pulmões? Explique com suas palavras por que isso acontece. Compare as observações feitas nas bexigas da garrafa pet com as observações feitas no seu abdome enquanto você pronunciava a sílaba ‘si’. O que há de semelhante nestes dois casos?”

2.4. Construção da quarta etapa – Discussão

Propomos esta etapa da atividade para facilitar a comparação dos processos de produção de som em cada um dos casos observados. Após ter manipulado os objetos e observado o próprio corpo espera-se que o aluno seja capaz de estabelecer relações entre as observações feitas nas duas etapas anteriores. Baseado nessas relações e por comparações construir modelos explicativos mais elaborados para a produção do som em diferentes materiais e no sistema fonatório.

a) Cilindro com elástico X Garganta

Para que os alunos estabeleçam relações entre as observações feitas no cilindro e as observações feitas na garganta, eles são questionados sobre o que provoca o som e a vibração em cada uma das duas observações.

Para esta observação foram propostas as seguintes questões:

“Na atividade do elástico preso no cilindro, o que você fez para produzir som com o elástico? O que acontece com o elástico no momento em que ele emite som? O que

aconteceu com as pregas vocais no momento em que você falava? Na atividade de observação da garganta, o que você fez para produzir a voz?”

b) Apito X Pregas Vocais

O objetivo dessa parte é fazer com que os alunos percebam que assim como é necessário que a palheta vibre para que o apito emita som, também é necessário que as pregas vocais vibrem para que a voz seja produzida. Para isso, eles são questionados sobre o que é necessário que aconteça com a palheta e com as pregas vocais para que haja a produção do som.

Para esta observação foram propostas as seguintes questões:

“Para que o apito emita som, o que é necessário que aconteça com a palheta? Para que ocorra a produção do som da voz, o que é necessário que aconteça com as pregas vocais?”

c) Garrafa Pet X Abdome

Esta parte foi proposta para levar os alunos a relacionarem o comportamento dos balões internos da garrafa pet com o comportamento dos pulmões e o comportamento do balão externo com o do diafragma.

Para esta observação foram propostas as seguintes questões:

“Na atividade com a garrafa pet, que parte do corpo humano os balões internos estão representando? Que parte do corpo humano o balão externo está representando? Que parte do corpo humano o apito preso na tampa da garrafa está representando?”

2.5. Construção da quinta etapa - Conclusão

Para encerramento da atividade, os alunos foram levados a ler o seguinte texto sobre sistema fonatório:

“A voz é um dos principais sons emitidos pelo corpo humano. Ela é produzida por um conjunto de órgãos chamado sistema fonatório. Ele é composto por órgãos do sistema digestório, respiratório e pela boca. A voz é produzida na laringe, onde se localizam as pregas vocais. Ao respirarmos as pregas vocais se abrem e o ar entra e sai

dos pulmões. Ao falarmos o diafragma relaxa, e ao relaxar comprime os pulmões e o ar é expulso. Ao ser expulso, o ar passa por duas pregas localizadas na faringe, as chamadas pregas vocais. Elas se aproximam e o ar que sai dos pulmões faz com que elas se perturbem produzindo uma vibração que dá origem ao som da voz.

No momento em que as pregas vocais estão mais tensionadas, a frequência de vibração é maior, produzindo um som mais agudo. Se as pregas vocais estão menos tensionadas, o número de vezes que elas vibram a cada segundo é menor, ou seja, a frequência de vibração é menor, produzindo um som mais grave. A laringe participa na tensão das pregas vocais como vimos na atividade do cilindro com as borrachas quando você pressionou o cilindro e deixou as borrachas mais esticadas. Da mesma maneira, a laringe também se movimenta deixando as pregas vocais mais ou menos tensionadas (esticadas), o que nos ajuda a produzir sons agudos e graves.

Podemos controlar voluntariamente o grau de tensão das pregas vocais e com isso modulamos a nossa voz. O som produzido passa pela laringe, faringe e cavidades nasais e é articulado na boca, dentes, língua, lábios, mandíbula e palato (céu da boca). Estas estruturas criam uma resistência à passagem do ar e modificam o som produzindo a fala. Pronuncie algumas sílabas, como por exemplo 'la', 'ti', 'be', 'na', e observe como a língua e as partes internas da boca se movimentam para que cada som seja corretamente emitido.”

O texto foi acompanhado da figura 5.4.

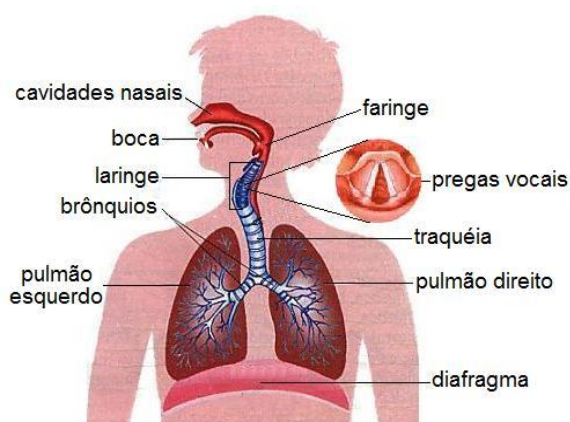


Figura 5.4 – Nome dos principais órgãos do Sistema Fonatório - Conclusão (Leal, 2009).

Após a leitura, o texto foi recolhido e a mesma questão sugerida na primeira etapa foi retomada pelos alunos. A questão foi proposta da seguinte forma:

“Agora que você já realizou todas as etapas da atividade, usando as informações obtidas durante cada uma das etapas, explique por meio de um desenho ou com suas palavras como é produzida a voz humana.”

O que se espera com esse procedimento é que eles utilizem os conceitos mobilizados com a realização da atividade. O objetivo dessa etapa foi verificar qual modelo explicativo os alunos construíram sobre o processo de produção da voz e comparar esse modelo explicativo com aquele externado no início da atividade. E, por meio dessa comparação, verificar se a atividade contribuiu ou não para a construção ou evolução de um modelo explicativo mais elaborado e coerente com o modelo consensual.

Descreveremos a seguir como essa atividade foi testada e quais foram os resultados obtidos nas testagem realizadas.

VI - Análise dos Resultados

VI - Análise dos Resultados

1. Introdução

Para verificar a adequação da primeira versão da atividade, uma primeira testagem foi realizada com 13 alunos voluntários. Estes alunos estavam cursando a terceira série do ensino médio de uma escola pública e faziam parte de uma das turmas regulares nas quais lecionamos. A escolha desses alunos foi em função do currículo escolar, pois os conceitos de ondas sonoras estão previstos para serem abordados no final da segunda série do ensino médio.

Estes alunos, matriculados no período matutino, realizaram a atividade em um contra turno, no período vespertino, nas dependências da escola. Esta testagem foi realizada para validar o material e o roteiro. Os detalhamentos desta testagem, bem como os resultados obtidos estão disponíveis em um artigo que foi apresentado no VII Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências disponível na literatura (Nascimento e Gobara, 2009). Este artigo consta no apêndice 4 desta dissertação.

As respostas dos alunos foram analisadas e com base nos resultados obtidos nestas análises foram feitas algumas modificações no roteiro da atividade, no material e na composição da sequência didática. A principal modificação foi a inclusão da aula sobre os conceitos introdutórios de som, ondas, suas características, tipos e classificações.

Feitas as modificações, uma pesquisa piloto foi realizada para validar as modificações feitas no material e conseqüentemente na proposta. Esta pesquisa piloto foi realizada em uma classe composta por 26 alunos que também estavam cursando a terceira série do ensino médio no período matutino na mesma escola em que foi realizada a primeira testagem. A pesquisa piloto foi realizada no horário de aula, dentro da sala de aula.

Os alunos voluntários que realizaram a primeira testagem relatada acima não pertenciam a esta turma em que realizamos a pesquisa piloto.

Como já relatamos anteriormente, a sequência didática proposta é composta por dois momentos, os quais foram testados com a turma piloto. Em um primeiro momento,

ministramos a aula teórica sobre os conceitos introdutórios de ondas e som, que teve a duração de cinquenta minutos (uma aula). Com esta aula, buscamos abordar conceitos básicos de ondas para que os alunos utilizassem estes conceitos na elaboração do modelo explicativo sobre produção da voz.

Três dias depois, em um segundo momento, retornamos a esta turma e realizamos a aplicação da atividade prática, que teve a duração de uma hora e quarenta minutos (duas aulas). As etapas de introdução e conclusão da atividade prática foram realizadas individualmente, porém as etapas de manipulação dos objetos, observação do próprio corpo e discussão, foram realizadas em duplas.

Com esta pesquisa piloto, buscamos verificar se a sequência didática sugerida estava adequada para ser realizada em uma situação de sala de aula, e se a mesma estava adequada para que os alunos pudessem construir modelos explicativos sobre a produção da voz utilizando os conceitos físicos sobre ondas sonoras.

Relataremos agora a aplicação desta pesquisa piloto e a análise dos dados obtidos.

2. Resultados da pesquisa piloto

Após a aplicação de toda a sequência didática na etapa piloto, as respostas dadas pelos alunos foram analisadas e categorizadas. Para o relato dos resultados obtidos, os alunos foram identificados pelo índice "A", seguido de um número de identificação.

Na introdução da atividade, de acordo com as respostas dadas, apenas os alunos A10, A15, A23 e A24 apresentaram uma resposta um pouco mais elaborada sobre produção da voz, mas mesmo assim ainda deixaram de citar órgãos importantes na produção da voz, tais como laringe, pulmões, diafragma e cavidades nasais. O restante dos alunos não conseguiu explicar como a voz é produzida.

Os alunos A01, A02, A07, A09, A14, A22 e A26 disseram claramente que não sabiam como a voz é produzida. Alguns atribuíram a produção da voz apenas às pregas vocais, sem explicar como a voz é produzida.

Os alunos A13, A22 e A25 disseram que o som produzido na garganta foi causado pela passagem do ar, sem citar as pregas vocais, externando o modelo explicativo do ar independente já identificado em pesquisa anterior (Gobara e Nascimento, 2005).

Na conclusão da atividade, apenas os alunos A15, A16, A19, A20, A21 e A22 externaram um modelo explicativo incompleto ou inconsistente com o consensual. O restante dos alunos foi capaz de relacionar de maneira satisfatória as observações feitas nos objetos e relacioná-las com aquelas feitas no corpo humano, levando-os a construir um modelo explicativo completo e coerente com o modelo consensual.

O aluno A07 disse que: *“Nossa voz é produzida por um sistema chamado sistema fonatório. Ela vem da laringe, assim como no apito, é preciso que nossas cordas vocais vibrem para que o som saia. E assim como acontece com as bexigas, ao respirarmos espiramos o ar nossos pulmões ficam cheios, e ao soltar, eles ficam vazios. Podemos controlar o som da nossa voz como no cilindro do elástico, quando falamos mais alto, a vibração é maior”*.

Nesta resposta percebemos uma relação direta estabelecida entre as observações feitas nos objetos e no próprio corpo. O aluno utilizou as observações para construir um modelo explicativo para a produção da voz.

O aluno A18 respondeu: *“O diafragma pressiona o ar dos pulmões e o ar pressionado passa pelas pregas vocais fazendo-as vibrar produzindo a voz que pode ser modelada pela boca”*. Esta resposta sugere um modelo descrito de uma forma simples, completo e coerente com o modelo consensual.

Para nós, uma resposta completa é aquela que consegue descrever corretamente cada etapa do processo de produção da voz. Comparando as respostas dadas após a atividade com as respostas dadas antes, percebemos que, em geral, estas últimas são bem mais elaboradas e completas, ao contrário das primeiras, que se atribuem a produção da voz apenas às pregas vocais ou a outros modelos não coerentes com o consensual.

A passagem de ar e a vibração das pregas vocais foram colocadas como fatores necessários para a produção da voz por quase todos os alunos. Apenas os alunos A09, A15, A16, A19, A20, A21 e A22 não deixaram clara este aspecto da produção da voz.

A análise das respostas dos alunos sugere que após a realização da sequência didática proposta, houve uma evolução no modelo mental externado pelos alunos tal que o modelo apresentado pela maioria dos alunos é coerente com o modelo consensual para produção da voz pelo sistema fonatório. Isso pode ser atestado comparando a complexidade encontrada nas respostas dadas na conclusão com a complexidade encontrada nas respostas dadas na introdução da atividade.

Alguns conceitos físicos como frequência, período, amplitude e comprimento de onda não foram utilizados na explicação final dos alunos. O que sugere que apenas a aula que antecedeu a atividade não foi suficiente para que os alunos apreendessem esses novos conceitos, ou seja, utilizá-los em novas situações.

Os resultados da testagem piloto levaram-nos a elaborar uma reformulação na redação do plano da aula introdutória, no sentido de enfatizar as características das ondas sonoras, para que os alunos utilizem esses conceitos ao explicitar os seus modelos mentais relacionados à produção e propagação do som, pois nosso objetivo é que eles aprendam física por meio do funcionamento de sistema fonatório.

Além disso algumas revisões na redação do roteiro também foram feitas. Após as reformulações, aplicamos a “sequência didática definitiva” em outra turma do terceiro ano previamente escolhida para este momento da pesquisa, que também continha 26 alunos. Os alunos desta turma não haviam tido qualquer contato anterior com a sequência didática proposta.

Assim como na pesquisa piloto, em um primeiro momento ministramos para esta turma a aula teórica proposta pela sequência didática e, dois dias depois, no segundo momento, aplicamos a atividade prática de manipulação dos objetos e observação do próprio corpo, orientada pelo roteiro estruturado.

Descreveremos agora os resultados obtidos com a análise dos dados coletados por meio dos roteiros respondidos pelos alunos durante a realização da atividade. Buscamos verificar quais modelos mentais os alunos utilizam para descrever a produção da voz e como a atividade proposta contribuiu para a construção e evolução deste modelo mental, de acordo com os referenciais didáticos propostos para esta pesquisa.

3. Análise das respostas dos alunos na “sequência didática definitiva”.

A sequência definitiva foi aplicada em uma classe normal, com 26 alunos de uma escola da rede pública estadual do Estado de Mato Grosso do Sul que estavam cursando a terceira série do ensino médio. Descreveremos a análise das respostas dos alunos obtidas durante a realização da atividade, segundo momento da sequência.

Como já havíamos dito, escolhemos alunos desta série em função do currículo escolar, pois de acordo com o referencial curricular adotado, os conceitos de ondas sonoras devem ser abordados no final da segunda série do ensino médio. Entretanto, raramente esse conteúdo é ministrado.

Nesse sentido, propor uma atividade sobre o conteúdo de ondas, em particular sobre ondas sonoras, se constitui em um caso não usual para os alunos dessa escola. Quanto à escolha da sala, esta tem a particularidade de ser uma turma regular, com alunos da mesma faixa etária, interessada e disposta a participar de uma experiência extracurricular. Diferentemente das outras turmas, encontramos nos alunos desta sala uma motivação individual maior que em outras turmas.

O bom relacionamento entre os alunos torna a sala um grupo coeso e propício para a realização de trabalhos individuais e em grupo, que exijam habilidades de cooperação e trabalho em equipe, necessários para a realização de uma atividade como a que estamos propondo.

Primeiramente, os alunos participaram da aula sobre os conceitos introdutórios sobre as ondas, suas características, classificação, tipos de ondas, em particular as ondas sonoras. O plano desta aula consta no apêndice 1. Nesta aula, uma mola helicoidal foi usada para demonstrar as principais características das ondas. Um resumo desta aula, que consta no apêndice 2, foi entregue aos alunos. Dois dias depois, eles realizaram a atividade prática de manipulação dos objetos propostos e de observação do próprio corpo. Esta atividade prática foi orientada por um roteiro estruturado que consta no apêndice 3 desta dissertação.

As respostas dadas pelos alunos no roteiro da atividade prática foram analisadas e agrupadas de acordo com o nível de complexidade e adequação do modelo mental externado com o modelo consensual. Para uma melhor compreensão das respostas dadas

pelos alunos, algumas observações foram colocadas entre parenteses em meio as transcrições das respostas. Os alunos foram identificados pelo índice “A”, seguido de um número de identificação.

3.1. Análise das respostas dadas na primeira etapa - Introdução

Esta primeira etapa da atividade foi realizada pelos alunos individualmente. A primeira pergunta feita aos alunos foi sobre anatomia do sistema fonatório. Os alunos relacionaram os nomes dos principais órgãos que compõem o sistema fonatório com uma figura do sistema fonatório fornecida no roteiro. No quadro 6.1 estão listados quais órgãos foram relacionados corretamente pelos alunos.

Quadro 6.1 - Revendo o sistema fonatório

Órgãos relacionados corretamente	Cavidades nasais	Boca	Pulmões	Brônquios	Diafragma	Pregas vocais	Traquéia	Laringe	Faringe
A 01	X	X	X	X	-	-	X	-	-
A 02	X	X	X	X	-	X	-	-	-
A 03	X	X	X	X	-	X	X	X	X
A 04	X	X	X	X	-	X	X	-	X
A 05	X	X	X	X	X	X	X	X	X
A 06	X	X	X	-	-	-	-	-	X
A 07	X	X	X	X	X	-	-	-	-
A 08	-	X	X	X	X	X	-	-	-
A 09	X	X	X	-	-	-	X	X	-
A 10	X	X	X	X	-	X	X	-	-
A 11	X	X	X	X	X	X	X	-	-
A 12	X	X	X	X	X	X	X	-	-
A 13	X	X	X	X	-	-	X	X	X
A 14	X	X	X	X	-	-	X	-	X
A 15	X	X	X	X	X	-	X	-	-
A 16	X	-	X	-	-	-	X	X	X
A 17	X	X	X	X	-	X	X	-	-
A 18	X	X	X	X	-	X	-	X	X
A 19	X	X	X	X	-	-	X	-	X
A 20	X	X	X	X	-	-	X	-	-
A 21	X	X	X	X	X	-	X	-	-
A 22	X	X	X	-	-	-	-	-	-
A 23	X	X	X	X	-	X	X	X	X
A 24	X	X	X	X	X	-	X	-	X
A 25	X	X	X	X	-	-	-	-	X
A 26	X	X	X	X	-	-	-	-	X

Nesta questão sobre anatomia, os alunos demonstraram ter algum conhecimento sobre o nome e a localização dos principais órgãos do sistema fonatório. Com exceção de A06, A08, A09, A16 e A22, todos os alunos relacionaram corretamente as cavidades nasais, boca, pulmões e brônquios. Porém, apesar de possuírem algum conhecimento sobre anatomia do sistema fonatório, alguns órgãos fundamentais para a produção do som da voz, tais como diafragma, pregas vocais e laringe, não foram relacionados corretamente. Acreditamos que isso ocorra pelo fato de no ensino regular este conteúdo não faz parte do conteúdo propostos no referencial curricular. Alguns relacionaram apenas um ou dois destes órgãos. O único aluno que conseguiu relacionar corretamente estes três órgãos foi A05.

Alguns órgãos foram confundidos com bastante frequência pelos alunos. Um exemplo é a confusão feita entre as posições da faringe, laringe e pregas vocais. Os alunos A01, A03, A09, A10, A11, A12, A17, A20, A22 e A24, confundiram a posição destes órgãos. Acreditamos que esse fato ocorre devido à falta de conhecimento por parte dos alunos da função exercida por cada um destes órgãos. Além da questão de anatomia do sistema fonatório, foi elaborada uma questão de fisiologia, no qual os alunos foram solicitados para descreverem como eles acreditam ser produzida a voz.

Como já foi dito, as respostas dos alunos foram analisadas e agrupadas de acordo com o nível de complexidade e adequação do modelo mental externado com o modelo conceitual. As respostas dos alunos foram analisadas, nesta primeira etapa, e atribuímos às suas explicações certos modelos mentais identificados.

Para agruparmos as respostas dos alunos, foram feitas várias leituras dos roteiros e a princípios, agrupamos as respostas que estavam exatamente iguais ou muito parecidas. Formamos então 10 grupos de respostas. Feito isto, realizamos uma nova leitura das respostas e colocamos no mesmo grupo as respostas que estavam escritas de maneira diferente, mas que sugeriram a mesma idéia. Reduzimos então as análises para seis grupos de resposta.

Por fim, após uma terceira leitura dos roteiros, tendo como base o grau de complexidade das respostas e qual aspecto o aluno enfatizou para explicar a produção da voz pelo sistema fonatório. Feita esta análise, agrupamos as respostas em cinco

categorias de acordo com o modelo explicativo sugerido na resposta. Os modelos encontrados foram chamados por nós de modelo inconsistente, modelo das pregas vocais independentes, modelo da vibração das pregas vocais, modelo do ar independente e modelo consensual. Descreveremos agora cada um desses modelos.

a) Primeiro grupo de respostas - Modelo inconsistente

O primeiro grupo é composto pelos alunos A03, A05, A06, A07, A13, A15 e A17. Estes alunos não externaram um modelo explicativo claro sobre a produção da voz. As respostas dadas por eles são pouco específicas e não sugerem qualquer modelo explicativo para a produção da voz. Um exemplo disso é a resposta dada por A03: “A voz é produzida pelos órgãos do sistema fonatório”. Ou a resposta dada por A07: “A voz é um som emitido pelo corpo humano por meio de um conjunto de órgão chamado sistema fonatório”. Os alunos A13 e A15 também externaram esse tipo resposta por meio das figuras 6.1 e 6.2, respectivamente.



Figura 6.1 - Resposta dada por A13 na introdução da atividade.



Figura 6.2 - Resposta dada por A15 na introdução da atividade.

Encontramos também respostas equivocadas, não coerentes com o modelo consensual, como a resposta dada por A05: “A voz é produzida por meio de contrações da laringe”. Esta resposta sugere um modelo equivocado em que a laringe se contrai e produz o som da voz.

b) Segundo grupo de respostas - Modelo das pregas vocais independentes

O segundo grupo é composto pelos alunos A04, A09, A10, A18, A19, A20, A21 e A23. Neste grupo, estão as respostas que sugerem um modelo em que a voz é produzida apenas pelas pregas vocais. Este modelo já foi encontrado em uma pesquisa anterior

(Nascimento e Gobara, 2007) e recebeu o nome de modelo das pregas vocais independentes. Um exemplo disso é a resposta dada por A10: *“a produção da voz decorre das cordas vocais”*. Outro exemplo são as respostas das por A19, A20, A21 e A23, que disseram simplesmente que *“a voz é produzida pelas pregas vocais”*.

Este modelo não mostra a necessidade de passagem de ar pelas pregas vocais para que a voz seja produzida. Também não fala sobre a vibração que ocorre nas pregas vocais no momento em que o ar expirado dos pulmões pelo diafragma passa por elas. Este modelo não é coerente com o consensual por ser incompleto. A existência das pregas vocais é uma condição necessária para a produção da voz, porém não suficiente.

c) Terceiro grupo de respostas - Modelo da vibração das pregas vocais

Neste grupo, estão os alunos A08, A22, A24, A25 e A26. Diferentemente do modelo das pregas vocais independentes, neste grupo encontramos respostas que sugerem um modelo em que há a necessidade de vibração das pregas vocais para que haja a produção da voz, como disse o aluno A24, afirmando que a voz é produzida *“através das vibrações das cordas vocais”*.

Os alunos A25 e A26 disseram apenas que a voz é *“produzida pelas vibrações”*, sem deixar claro que são as pregas vocais que vibram para que ocorra a produção da voz. Apesar disso, eles enfatizaram a necessidade de que ocorra vibração, característica não encontrada nos modelos descritos anteriormente.

Nas respostas deste grupo não foi encontrada qualquer referência à necessidade de passagem de ar pelas pregas vocais para que ocorra a vibração. Apesar de perceberem que a voz é produzida pela vibração das pregas vocais, eles não relataram o que faz as pregas vocais vibrarem. Por conta disso, este modelo também é incompleto e inconsistente com o modelo consensual.

d) Quarto grupo de respostas - Modelo do ar independente

Os alunos que compõem este grupo são A01, A02, A11, A14 e A16. O modelo externado por estes alunos sugere que o ar, por si só, é capaz de produzir a voz. Um exemplo de resposta que expressa essa idéia é a dada pelo aluno A16: *“a voz é produzida de acordo com o ar, ou seja, o meio gás oxigênio”*. Nesta resposta, o aluno deixa claro que

a produção do som da voz depende do ar, mas não diz o que é necessário que ocorra com o ar para que a voz seja produzida.

Este modelo, no qual o ar é capaz de produzir a voz sem que seja necessária a ocorrência de qualquer outro processo, também já foi encontrado em pesquisa anterior (Nascimento e Gobara, 2007).

Nesta pesquisa este modelo recebeu o nome de modelo do ar independente, pois sugere que o ar por si só produz som, sem enfatizar a necessidade de que haja uma vibração para a produção do som.

e) Quinto grupo de respostas - Modelo consensual

O único aluno que conseguiu externar um modelo em que o ar expirado dos pulmões pelo diafragma faz as pregas vocais vibrarem, dando origem à voz, foi A12. Este aluno respondeu que *“o pulmão aplica uma força sobre as pregas vocais, fazendo-as vibrar, essas vibrações são a voz”*.

Dos 26 alunos que realizaram a atividade, apenas A12 externou um modelo mental coerente com o consensual. Para este aluno, a atividade poderá ser útil para a aquisição de termos científicos e aumento no grau de complexidade do modelo externado. Para os outros alunos, espera-se que a realização da atividade contribua para a aquisição de um modelo mental sobre produção da voz que seja mais próximo e coerente com o consensual.

Os modelos mentais externados pelos alunos nesta primeira etapa da atividade serão comparados com os modelos mentais externados na conclusão da atividade, com isso será possível verificar se a atividade contribuiu para a evolução dos modelos mentais dos alunos sobre o processo de produção da voz e sobre os principais conceitos de ondas envolvidos nesse processo.

3.2. Análise das respostas dadas na segunda etapa - Observação dos objetos

Esta segunda etapa da atividade foi realizada em dupla, mas cada aluno respondeu seu roteiro. Isso justifica o fato de muitas das respostas serem iguais. Descreveremos agora o resultado da análise das respostas dadas pelos alunos na segunda

etapa proposta da atividade que consistiu na observação orientada pelo roteiro dos objetos fornecidos aos alunos.

a) Cilindro com elástico

O primeiro objeto observado foi o cilindro com elástico. As respostas dadas pelos alunos foram agrupadas levando em conta a coerência da resposta e a utilização de conceitos físicos para a explicação da produção do som pelo objeto. Os alunos A25 e A26 estabeleceram uma relação de proporcionalidade inversa entre a força aplicada e o número de ondulações produzidas no elástico dizendo ambos que *“quanto maior a força aplicada no elástico menos ondulações é (são) produzidas”*.

Os alunos A11, A12A, A13, A14, A15, A16 e A20 relacionaram a força aplicada no elástico com a frequência da onda produzida pelo elástico e não com a amplitude, como era esperado. Um exemplo disso é a resposta dada por A15 e A16: *“Quando tocar (o elástico) suavemente ele vai obter menos frequência, quando tocar com mais força irá obter mais frequência”*.

Já os alunos A03, A04, A05, A06, A17 e A18, relacionaram a força aplicada no elástico não só com a frequência de oscilação da onda, mas também com a intensidade de vibração da onda (amplitude). Uma resposta que mostra esta relação é a dada por A03 e A04: *“Ele (elástico) vibra e produz ondas menos frequentes quando tocado suavemente. Já tocado com mais força, ele produz ondas com maior frequência e vibra com maior intensidade”*.

Os alunos A01, A02, A07, A08, A09, A10, A12, A19, A21, A22, A23 e A24, relacionaram a força aplicada no elástico com a amplitude da onda. Um exemplo disso é a resposta dada por A23 e A24 que disseram: *“no 1º (caso em que o elástico é perturbado com pouca força) o som é mais fraco pois a (há) pouca vibração, no 2º (caso em que o elástico é perturbado com muita força) o som é mais forte pois a (há) mais vibração”*. Eles também disseram que a característica da onda que é alterada para que acontecesse essa diferença é a “intensidade”.

Outro exemplo é a resposta dada por A10 dizendo que *“a intensidade (do som) decorre da maior força empregada”*, estabelecendo uma relação de proporção direta entre a força aplicada no elástico e a intensidade do som produzido.

Alguns alunos, apesar de sugerirem um modelo explicativo coerente com o consensual para a produção do som no elástico, não utilizaram apenas os termos intensidade ou amplitude da onda para explicar este fenômeno, mas disseram que além da amplitude, a frequência e o período da onda também aumentam quando a força aplicada para perturbar o elástico aumenta.

No roteiro os alunos foram instruídos a pressionar o cilindro de tal modo a deixar o elástico mais esticado, e com isso aumentar a tensão no elástico e a frequência da onda sonora produzida pelas suas vibrações.

A grande maioria dos alunos percebeu esta característica das ondas sonoras em uma corda. Apenas os alunos A25 e A26 disseram que: *“quando pressionado (elástico) produz um som grave, quando não pressionado produz um som agudo”*. Talvez, estes alunos responderam de maneira contrária a esperada por terem pressionado o cilindro de maneira diferente da indicada na figura do roteiro. Nós testamos essa possibilidade e vimos que isso é possível.

O restante dos alunos percebeu que quando o cilindro é pressionado de acordo com a orientação do roteiro, o elástico se estica, a tensão no elástico aumenta, e o som fica mais agudo em relação ao som emitido com o cilindro sem ser pressionado.

Apesar disso, os alunos A03, A04, A05, A06, A09 e A10 não relacionaram essa diferença com a frequência de vibração da onda, mas sim com a pressão do elástico, e os alunos A23 e A24 relacionaram essa diferença com uma mudança nas vibrações produzidas pelo elástico.

Os alunos A07, 08, A11, A12, A13, A14, A15, A16, A17, A19 e A20, apesar de terem percebido que quando o cilindro é pressionado o som é mais agudo, como relataram os alunos A07 e A08 ao dizerem que *“quando o cilindro está pressionado o som fica mais agudo e quando o cilindro não está pressionado o som fica mais grave”*, relacionaram essa diferença à amplitude da onda, e não à tensão no elástico e a frequência da onda produzida por ele, como era esperado.

Esta falta de clareza na diferença entre frequência e amplitude nos modelos mentais externados pelos alunos já foi encontrada em pesquisas anteriores (Nascimento

e Gobara, 2007). Já os alunos A01, A02, A18, A21 e A22 atribuíram corretamente a diferença entre os sons emitidos pelo elástico à variação na frequência da onda emitida.

Um exemplo disso é a resposta dada por A01 quando respondeu que *“quando o cilindro está normal o som fica mais grave e pressionado (o som fica mais) agudo”*.

b) Apito

O segundo objeto manipulado pelos alunos foi o apito. Nesta observação, todos os alunos perceberam que quando a palheta é segurada, o apito não emite som. Apesar disso, os alunos A05, A06, A07, A08, A09, A10, A23 e A24 disseram que a função da palheta no apito era amplificar o som, ou torná-lo mais intenso. Já os alunos A03, A04, A13, A21, A22, A25 e A26 disseram que a função da palheta no apito é produzir som.

Os alunos A14, A15, A16, A17 e A18 foram além e ressaltaram a necessidade de que haja uma vibração na palheta para que o som seja produzido, como disse o aluno A14: *“A palheta faz com que o apito produza o som, ela faz isso através de sua vibração”*.

Os alunos A01, A02, A11, A12, A19 e A20 disseram ainda que o que dá origem a esta vibração da palheta é a passagem de ar que ocorre no momento em que o apito é soprado, como descreveram os alunos A01 e A02 dizendo que a função da palheta é *“vibrar e reproduzir o som de acordo com a intensidade do ar assoprado”*. Ou ainda como disse A12: *“A força do ar (que passa pelo apito) faz a palheta vibrar e produz som”*.

c) Garrafa pet

O terceiro objeto manipulado pelos alunos foi uma garrafa pet com um apito e três balões de borracha (bexigas) fixados nela (ver figura 5.1). Na realização desta parte da atividade, todos perceberam que o balão externo à garrafa era puxado para baixo e os balões internos se enchiam com a entrada de ar pelo orifício do apito, e depois quando o ar era expelido pelo balão externo, o ar que estava nos balões internos passava pelo apito e produzia som. Como foi o caso de A7: *“quando o ar sai das bexigas o apito produz som”*; e de A10: *“e o ar de dentro da garrafa é pressionado e o ar sai pelo furo de cima, pelo apito”*.

A maioria dos alunos se limitou apenas a esse relato, mas os alunos A01, A02, A03, A04, A11, A12, A15 e A16, além de descreverem a passagem de ar pelo apito, relataram

que o ar expelido faz vibrar a palheta dentro do apito e essa vibração produz som. Um exemplo disso é a resposta dada por A02 dizendo que o apito produz som *“porque a palheta que está dentro do apito vibra quando o ar passa por ela”*.

Outro exemplo é a resposta dada por A12 quando disse que o apito produz som *“porque tem uma palheta dentro do apito e ocorrem vibrações”*.

3.3. Análise das respostas dadas na terceira etapa - Observação do próprio corpo

A terceira etapa consiste na observação do próprio corpo. Como já foi dito no capítulo anterior, as partes do corpo que foram observadas foram garganta e abdome. Os resultados das análises das respostas estão relatados a seguir.

a) Garganta

Na atividade de observação da garganta, todos perceberam que na garganta há uma vibração no momento em que estamos falando, e na nuca não. Os alunos A05, A06, A09 e A11 não atribuíram essa diferença a presença das pregas vocais na garganta. Estes alunos também não conseguiram estabelecer uma relação entre a função da palheta no apito e das pregas vocais na garganta.

O aluno A19, apesar de ter citado a presença das pregas vocais como causa da vibração sentida na garganta, não conseguiu relacionar a função das pregas vocais na garganta com a da palheta no apito.

O restante dos alunos que realizou a atividade percebeu esta semelhança entre a palheta e as pregas vocais, mas somente os alunos A01, A04, A03, A10, A12, A15, A16 e A18 descreveram que a semelhança entre as pregas vocais e a palheta está no fato de ambas serem responsáveis pela vibração que dá origem ao som, como relatou A01 dizendo que *“sim existe uma comparação (entre as pregas vocais e a palheta) pois na garganta existem pregas vocais que vibram com a passagem do ar produzindo um som”*. Outro exemplo é a resposta dada por A16: *“as cordas vocais estão vibrando (...) tanto a garganta quanto o apito necessita de ar para emitir som”*.

b) Abdome

A maioria dos alunos percebeu que quando falamos há variação de ar nos pulmões. Os únicos que disseram não ter percebido essa diferença foram os alunos A05 e A06, pois eles pensaram que a pergunta do roteiro se referia a variação de ar entre um pulmão e outro e não a variação de ar que ocorre nos dois pulmões enquanto o ar está sendo expelido para produzir a fala. Eles responderam que não há variação de ar, pois *“eles trabalham igualmente”*.

Todos os alunos conseguiram perceber a semelhança que existe entre o movimento do abdome pressionando os pulmões no momento em que estamos falando e o movimento feito pelos balões quando o apito produz som. Um exemplo é a resposta dada por A03 e A04: *“Quando puxamos o ar para dentro os pulmões enchem e quando soltamos o ar eles ficam vazios”*. Outro exemplo é a resposta dada por A05 e A06: *“Ambos expulsam o ar para fora”*.

3.4. Análise das respostas dadas na quarta etapa - Discussão

a) Cilindro com elástico X Garganta

A grande maioria dos alunos conseguiu estabelecer uma relação entre o que acontece com o elástico no cilindro e com as pregas vocais na garganta. Como exemplo, podemos relatar a resposta dada por A18: *“Eu impulsionei a borracha (elástico) ela está vibrando, oscilando. Impulsionei o ar dos meus pulmões para fora. Elas (as pregas vocais) vibram”*. Os únicos alunos que não conseguiram estabelecer esta relação foram A25 e A26, pois relataram que no momento em que a borracha (elástico) emite som *“ela se propaga”*.

b) Apito X Pregas vocais

Os alunos não encontraram dificuldades em perceber que assim como as pregas vocais vibram para que haja produção de som, as palhetas do apito também vibram para que o som seja produzido. Apenas os alunos A09 e A20 disseram que para que haja a produção do som, é necessário que a palheta e as pregas vocais *“estejam livres”*, sugerindo o modelo explicativo do ar independente, que já foi descrito acima.

Os alunos A10, A19, A21, A22, A23 e A24 responderam que para que a voz seja produzida, é necessário que as pregas vocais vibrem, mas quando questionados sobre a palheta no apito, eles descreveram apenas a passagem de ar pelo apito, sem citar a vibração da palheta.

c) Garrafa pet X Abdome

Com a realização da atividade, espera-se que os alunos sejam capazes de relacionar as partes que compõem a garrafa, com os principais órgãos do sistema fonatório. Todos os alunos conseguiram perceber a semelhança entre o comportamento dos balões internos da garrafa quando o apito está emitindo som e o funcionamento dos pulmões quando a voz está sendo produzida.

A grande maioria dos alunos relacionou o balão externo com o nariz. Acreditamos que isso ocorreu pelo fato de eles acreditarem que assim como o nariz puxa o ar para dentro dos pulmões, o balão externo puxa o ar para dentro dos balões internos, isso pode ter sido o motivo de eles terem relacionado o balão externo com o nariz, e não com o diafragma ou com o abdome, como esperávamos. Porém os alunos A05, A06 relacionaram corretamente o balão externo com o diafragma, e os alunos A07 e A08 relacionaram com o abdome, o que também está coerente com o modelo consensual.

Os alunos A01, A02, A03, A04, A07, A08, A13, A14, A15, A16, A17, A18, A25 e A26 relacionaram o apito na garrafa com a boca. Eles sugerem que assim como o ar sai pela boca, no momento em que falamos o ar também sai pelo apito, quando ele está emitindo som.

Já os alunos A05, A06, A09, A10, A11, A12, A19, A20, A21, A22, A23 e A24 relacionaram o apito na garrafa com a faringe, as pregas vocais, ou a garganta. Um exemplo disso é a resposta dada por A05 e A06, dizendo que o apito está representando *“a laringe, pregas vocais”*. Outro exemplo é a resposta dada por A10 e A20, dizendo que o apito representa *“a garganta, as pregas vocais”*.

3.5. Análise das respostas dadas na quinta etapa - Conclusão

Descreveremos agora os resultados da análise das respostas dadas pelos alunos nesta última etapa da atividade, que denominamos como etapa da conclusão. Como já foi dito, os modelos mentais externados pelos alunos na primeira etapa serão comparados com os modelos mentais externados nesta última etapa, e com isso buscamos verificar se a atividade contribuiu para a evolução dos modelos mentais dos alunos sobre o processo de produção da voz e sobre os principais conceitos de ondas envolvidos nesse processo.

Assim como na primeira etapa, as respostas dos alunos foram analisadas e agrupadas de acordo com o nível de complexidade e adequação do modelo mental externado com o modelo consensual. Os modelos mentais encontrados foram: modelo inconsistente, modelo do diafragma, modelo da passagem de ar, modelo das pregas vocais estáticas e modelo consensual. A seguir, discutiremos cada um destes modelos.

a) Primeiro grupo de respostas - Modelo inconsistente

Neste grupo estão as respostas dadas pelos alunos A25 e A26. A resposta dada por estes dois alunos foi que a voz *“é produzida por um conjunto de órgãos, faringe, laringe, pulmões, pregas vocais, cavidades nasais e é emitida pela boca”*. Na análise da resposta verificamos que eles apenas citaram a anatomia do sistema fonatório e não descreveram a fisiologia da voz, não externaram um modelo sobre como a voz é produzida.

Como relatamos anteriormente, na introdução da atividade estes alunos responderam que a voz era *“produzida pelas vibrações”*. Comparando estas respostas percebemos que para estes dois alunos a atividade contribuiu para a aquisição de nomenclaturas científicas, mas não foi suficiente para a construção de um modelo explicativo sobre como se dá o processo de produção da voz.

b) Segundo grupo de respostas - Modelo do diafragma

Neste grupo estão os alunos A06, A13 e A14. As respostas destes alunos sugerem um modelo explicativo em que basta o diafragma expelir o ar dos pulmões para que a voz seja produzida. Um exemplo é a resposta dada por A13 e A14. Eles disseram que *“no momento da respiração ocorre a contração do diafragma, quando ele se descontrai, expulsa o ar dos pulmões fazendo com que a voz sai”*.

Este modelo já foi encontrado em uma pesquisa realizada anteriormente (Nascimento e Gobara, 2007) e recebeu o nome de modelo do diafragma. Este modelo se assemelha ao modelo do ar independente, sendo que a diferença entre eles é que no modelo do ar independente o ar por si só é capaz de produzir som, já no modelo do diafragma, o ar não é completamente independente na produção do som, ele precisa do diafragma para expeli-lo dos pulmões.

c) Terceiro grupo de respostas - Modelo da passagem de ar

Os alunos que compõem este grupo são A01, A02, A07, A08, A11 e A17. Nas respostas deste grupo, não está clara a idéia de que é o ar expelido que causa a vibração das pregas vocais.

Nenhum deles falou da necessidade de vibração das pregas vocais, de modo geral, eles disseram apenas que o ar entra e sai dos pulmões e isso produz a voz. Para exemplificar, relatamos a resposta dada pelos alunos A07 e A08 que disseram: *“a voz produzida na laringe, onde se localiza as pregas vocais, ao respirarmos as pregas vocais se abrem e o ar entra e sai dos pulmões”*. Relatamos também a resposta dada por A11, que ilustrou o sistema fonatório com a figura 6.3.

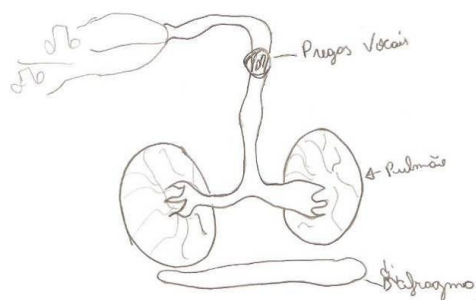


Figura 6.3 - Resposta dada por A11 na conclusão da atividade.

Nestas respostas foi relatado apenas o processo de respiração, e não o de fonação. Este é um modelo para a produção de voz que não é coerente com o modelo consensual. Além disso, para que a voz seja produzida, é necessário que as pregas vocais estejam fechadas no momento em que o ar estiver sendo expelido e não abertas, como disse A17 ao relatar que *“(...) as pregas vocais se abrem, para a passagem desse ar e assim ocorre o processo (de produção da voz)”*.

Chamaremos este modelo de “Modelo da passagem de ar”, visto que, com este modelo, os alunos sugerem a idéia de que o ar passa livremente pelas pregas abertas, e mesmo assim o processo de fonação acontece. Isso mostra que, neste aspecto, este modelo não é coerente com o modelo consensual.

d) Quarto grupo de respostas - Modelo das pregas estáticas

Neste grupo estão as respostas dadas pelos alunos A09, A19, A21 e A22. No modelo descrito por estes alunos, o ar é expelido pelo diafragma dos pulmões, passa pela laringe onde estão as pregas vocais e produzem o som. Este modelo é incompleto, em relação ao modelo consensual, pois não foi relatada a necessidade de vibração das pregas para que haja a produção do som da voz. Por isso chamamos este modelo de pregas vocais estáticas, pelo fato de se enfatizar o movimento das pregas vocais no momento de emissão da voz.

Esse modelo aparece na resposta dada por A21: *“o ar entra, vai para os pulmões, e quando é liberado passa pelas cordas vocais, emitindo som”*. Diferentemente do modelo da passagem de ar, estes alunos destacaram o fato de que a voz é produzida somente quando o ar é expelido, e não quando é inspirado. Para que o modelo das pregas vocais estáticas se torne coerente com o consensual, os alunos devem perceber a necessidade da vibração das pregas vocais devido à passagem de ar.

e) Quinto grupo de respostas - Modelo consensual

Os alunos que compõem este grupo são A03, A04, A05, A10, A12, A15, A16, A18, A20, A23 e A24. Na introdução da atividade, apenas A12 conseguiu sugerir um modelo mental coerente com o consensual. Agora, porém, após a realização da atividade, dos 26 alunos que realizaram a atividade, 11 alunos descreveram modelos explicativos que continham os aspectos principais do processo de produção da voz.

Para classificarmos as respostas dos alunos neste grupo, verificamos se o modelo sugerido era capaz de explicar de maneira coerente com o modelo consensual cada uma das etapas que compõem o processo de produção da voz, como descritas no capítulo de fisiologia. Para exemplificar, relatamos a resposta dada por A12, que respondeu a etapa da conclusão por meio da figura 6.4.



Figura 6.4 - Resposta dada por A12 na conclusão da atividade

Nesta figura estão ilustrados com bastante clareza os principais órgãos que compõem o sistema fonatório e como a voz é produzida. O aluno A12 mostra que o ar sai dos pulmões, expelido pelo diafragma, passa pela laringe, encontra as pregas vocais, faz com que elas vibrem, e este som produzido é projetado até a boca. Outro exemplo é a resposta dada por A04: *“A voz é produzida na laringe, onde estão as pregas vocais, quando respiramos as pregas vocais se abrem para a passagem de ar até os pulmões. Depois os pulmões relaxam e expulsam o ar fazendo assim, que o ar passe pelas pregas vocais que irão vibrar emitindo som”*.

Relatamos ainda a resposta dada por A10: *“A voz é produzida na laringe onde estão as pregas vocais, ao respirarmos o ar entra pelas pregas e sai criando uma perturbação nas cordas, fazendo-as oscilarem e saindo em forma de som. O que faz variar entre agudo e grave é quando pressionamos as pregas”*.

Este modelo explicativo além de estar coerente com o consensual, ainda faz uso de uma das etapas da atividade que é a observação do elástico preso no cilindro. Nesta etapa da atividade o aluno foi levado a relacionar o aumento da tensão na corda com som mais agudo, e a diminuição da tensão na corda com o som mais grave. Isso foi utilizado por A10 na resposta da conclusão, mostrando que a atividade contribuiu para a elaboração do modelo mental externado por ele.

Apresentaremos a seguir uma síntese dos resultados obtidos pela análise feita nas respostas dadas pelos 26 alunos relatados na descrição da aplicação desta atividade da “Sequência didática definitiva”.

4. Síntese dos resultados da “sequência didática definitiva”.

Esta síntese tem como objetivo facilitar a visualização, por parte do leitor, da evolução nos modelos explicativos dos alunos para a produção da voz decorrente da realização da atividade. Visto a grande quantidade de informações contidas nas análises descritas.

Primeiramente, listamos e numeramos os modelos encontrados nas respostas dadas na introdução e na conclusão da atividade pelos 26 alunos participantes. O nome dado a cada um destes modelos foi atribuído por nós e expressa as idéias principais sugeridas pelo modelo ao qual se refere.

Os modelos foram ordenados e numerados de 1 a 8 de forma crescente de acordo com a semelhança encontrada em cada modelo listado com o modelo consensual. Quanto maior a numeração maior o grau de complexidade e semelhança encontrado em cada modelo e maior a quantidade de aspectos descritos como necessários para o processo da produção da voz.

Quadro 6.2 - Nome e índice dos modelos encontrados

Nome do modelo	Índice do modelo
Modelo inconsistente	1
Modelo das pregas vocais independentes	2
Modelo da vibração das pregas vocais	3
Modelo do ar independente	4
Modelo do diafragma	5
Modelo da passagem de ar	6
Modelo das pregas estáticas	7
Modelo consensual	8

A seguir, identificamos quais foram os alunos que utilizaram cada um dos modelos identificados por nós na introdução e na conclusão da atividade. O quadro a seguir estabelece uma comparação entre o modelo encontrado na resposta de cada aluno na introdução da atividade e na conclusão da atividade. Além disso, na última coluna, para cada aluno, demonstramos a diferença existente entre o modelo sugerido na introdução e na conclusão da atividade.

Quadro 6.3 - Modelos sugeridos na introdução e conclusão da atividade

Aluno	Modelo sugerido na introdução da atividade	Modelo sugerido na conclusão da atividade	Diferença entre os modelos
A01	4	6	2
A02	4	6	2
A03	1	8	7
A04	2	8	6
A05	1	8	7
A06	1	5	4
A07	1	6	5
A08	3	6	3
A09	2	7	5
A10	2	8	6
A11	4	6	4
A12	8	8	0
A13	1	5	4
A14	4	5	1
A15	1	8	7
A16	4	8	6
A17	1	6	5
A18	2	8	6
A19	2	7	5
A20	2	8	6
A21	2	7	5
A22	3	7	4
A23	2	8	6
A24	3	8	5
A25	3	1	-2
A26	3	1	-2

Na terceira coluna, os números positivos representam uma evolução no modelo explicativo, e os números negativos representam um retrocesso no modelo explicativo externado pelo aluno na conclusão, em relação ao modelo externado na introdução da atividade. Esta diferença no modelo explicativo serve como um indicador da evolução ocorrida no modelo mental de cada aluno.

Dos 26 alunos que realizaram a atividade, 15 tiveram uma evolução significativa em seus modelos mentais. Estes alunos tiveram uma evolução no índice de modelo mental igual ou maior que cinco. Isso sugere que a complexidade e coerência do modelo mental usado na conclusão estão pelo menos cinco níveis acima em relação à complexidade e coerência encontrada no modelo mental usado na introdução. Cada um destes alunos utilizou em seu modelo mental pelo menos cinco itens a mais do que havia utilizado na introdução da atividade para explicar o funcionamento do sistema fonatório, mostrando assim um salto qualitativo significativo no modelo mental dos alunos sobre produção da voz.

Do restante dos alunos, 8 tiveram uma evolução entre 1 e 4 em seus modelos mentais. Isso indica que a atividade contribuiu para uma evolução no modelo explicativo, mas não de forma tão significativa como no caso dos 15 alunos mencionados anteriormente. Essa diferença pode ter ocorrido pelo fato dos alunos possuírem diferentes níveis de motivação e capacidade de estabelecer relações entre as observações feitas durante a atividade.

Outro caso é o do aluno A12, que não modificou seu modelo explicativo. Este aluno, já na introdução da atividade, externou um modelo mental coerente com o consensual. Desta forma, era esperado que ele não modificasse seu modelo, mas sim mantivesse a explicação dada na introdução. Para este aluno a atividade contribuiu para testar o modelo existente e confirmar a aplicabilidade do modelo.

Por fim, os alunos A25 e A26 regrediram dois níveis em seu modelo explicativo. Uma possível causa para isso pode ser o fato de estes dois alunos terem chegado atrasados, apresentarem sonolência durante toda a atividade, e não demonstrarem interesse em realizar a atividade até a sua conclusão. Acreditamos que estas características encontradas nestes dois alunos tenham influenciado de forma negativa nas respostas dadas por eles na realização da atividade.

VII - Conclusões

VII - Conclusões

Essa pesquisa é a continuidade de um projeto que iniciamos há dois anos que tem como objetivo propor e verificar uma sequência didática contextualizada no corpo humano, abordando os conceitos de ondas sonoras, o som, e produção da voz, que se baseia em uma atividade prática de manipulação de objetos e observação do próprio corpo.

Com esta pesquisa pretendeu-se responder a seguinte questão de investigação: será que a realização de atividades de manipulação de objetos e a observação do próprio corpo podem provocar mudanças no modelo explicativo dos alunos, modelo mental no sentido de Johnson-Laird, para o fenômeno de produção do som da voz?

Para responder a questão de investigação, elaboramos e testamos uma sequência didática constituída por uma aula teórica sobre ondas e uma atividade de manipulação de materiais e observação do próprio corpo para auxiliar o aluno a construir um modelo explicativo coerente com o modelo consensual sobre produção do som e da voz.

A atividade foi orientada por um roteiro estruturado, para ser aplicada em salas de aula de ensino médio. O conteúdo escolhido foi ondas sonoras, por se tratar de um conteúdo complexo, que embora faça parte do referencial curricular adotado para o ensino médio, não é ministrado pela grande maioria dos professores.

Na primeira etapa da atividade proposta, os alunos foram solicitados a explicar como o som da voz é produzido. Vários modelos mentais (Johnson-Laird, 1983) foram identificados: modelo inconsistente, modelo das pregas vocais independentes, modelo da vibração das pregas vocais, modelo do ar independente, evidenciando que esses alunos possuíam modelos mentais incompletos, limitados e inconsistentes com o modelo consensual sobre o processo de produção da voz pelo corpo humano. Alguns destes modelos, como o modelo do ar independente e o modelo das pregas vocais independentes, já haviam sido encontrados em pesquisa realizada anteriormente (Nascimento e Gobara, 2005).

Na conclusão da atividade os alunos responderam novamente como a voz é produzida. Comparamos as respostas dadas na introdução e na conclusão da atividade e a

análise das respostas dos alunos evidenciou que houve uma evolução no modelo explicativo externado pelos alunos e atribuímos isso a realização da atividade proposta.

Os modelos mentais por nós identificados na conclusão da atividade foram modelo inconsistente, modelo do diafragma, modelo da passagem de ar, modelo das pregas vocais estáticas e modelo consensual.

Cada um destes modelos foi discutido e verificamos uma ocorrência muito maior de modelos coerentes com o científico na conclusão da atividade tal que onze dos vinte e seis alunos apresentaram o modelo explicativo coerente com o modelo consensual para produção da voz pelo sistema fonatório. Dos demais, treze externaram modelos coerentes com o consensual, porém incompletos em alguns aspectos e características da produção da voz, obtendo diferentes graus na evolução de seus modelos explicativos e dois sugerem uma involução aparente.

A análise destes dados sugere que dos 26 alunos que realizaram atividade, 24 apresentaram uma evolução no seu modelo mental e que a atividade elaborada sobre a produção da voz contextualizada no corpo humano contribuiu para a evolução dos modelos mentais dos alunos.

Alguns termos como grave e agudo, pressão, oscilação, ondas sonoras, tensão em cordas vibrantes, que não haviam sido utilizados pelos alunos na introdução da atividade, puderam ser encontrados nas respostas dadas na conclusão, como a resposta dada por A10 quando disse que “A voz é produzida na laringe onde estão as pregas vocais, ao respirarmos o ar entra pelas pregas e sai criando uma perturbação nas cordas, fazendo-as oscilarem e saindo em forma de som. O que faz variar entre agudo e grave é quando pressionamos as pregas”.

Observamos que os termos utilizados são relacionados a uma explicação mais fisiológica. Alguns conceitos físicos como frequência, período, amplitude e comprimento de onda não foram utilizados na explicação final dos alunos, mas foram utilizados durante a realização da atividade, contribuindo para a construção do modelo explicativo do aluno. Desta forma acreditamos que os alunos utilizaram estes conceitos para elaborar um modelo mental sobre as características e variações da voz humana.

Estes dados sugerem que a atividade contribuiu para a evolução e a construção de um modelo mental sobre produção da voz coerente com o modelo consensual desses alunos que participaram da pesquisa.

Considerando-se que esses alunos não haviam estudado anteriormente este conteúdo, acreditamos que a realização desta sequência didática com a atividade prática envolvendo os conceitos de som e acústica, contextualizada no corpo humano, é capaz de contribuir para a construção e evolução de modelos mentais externados pelos alunos para a produção da voz, funcionamento do sistema fonatório, visto que, como mostramos nas análises dos dados coletados, os alunos fizeram uso das observações feitas e dos conceitos físicos de ondas e som, abordados durante a atividade.

Sugerimos como continuidade desse trabalho uma avaliação após um determinado tempo, por exemplo, um ou dois meses, como ocorrem as avaliações bimestrais nas escolas, para verificar se a evolução observada não foi somente o efeito da memória temporária ou memória de trabalho, definida como conjunto total dos códigos armazenados temporariamente, na qual as representações do conhecimento e os procedimentos mantêm e atualiza a informação que pode ser aplicada para desempenhar tarefas cognitivas (Fialho, 2009).

Além disso, sugerimos como continuidade desse trabalho, incluir na sequência didática algumas atividades que introduzam os conceitos de ressonância e timbre, relacionados com o som e a fonética das palavras produzidas pelo sistema fonatório.

VIII - Referências Bibliográficas

VIII - Referências Bibliográficas

- BARBETA, V. B., Marzzull, C. R. *Experimento Didático para Determinação da Velocidade de Propagação do Som no Ar, Assistido por Computador*. Revista Brasileira de Ensino de Física, São Paulo, SP, v. 22, n. 4, p.447-455, 2000.
- BLEICHER, L. et al. *Análise e Simulação de Ondas Sonoras Assistidas por Computador*. Revista Brasileira de Ensino de Física, São Paulo, SP, v. 24, n. 2, p.129-133, 2002.
- BORGES, A. T. *Como evoluem os modelos mentais*. Revista ensaio, Belo Horizonte, v.1, n. 1, 85-125, 1999.
- BORGES, A. T. *Um estudo de modelos mentais*. Investigações em Ensino de Ciências, Porto Alegre, v. 2, n 3, dez. 1997.
- BORGES, A. T.; Rodrigues, B. A. *O Ensino da Física do Som Baseado em Investigações*. En publicacion: Ensaio: Pesquisa em educação em ciências, vol. 7, no. 2. FaE, Faculdade de Educação, UFMG, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, Brasil: Brasil. dezembro. 2005.
- BRASIL. *Ministério da Educação – MEC, Secretaria de Educação Média e Tecnológica – Semtec. Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio*. Brasília: MEC/Semtec,1999.
- BRENT, J. *Charles Sanders Peirce: A Life*. Bloomington and Indianapolis: Indiana University Press. 1993.
- BRUNER, J. *Uma nova teoria da aprendizagem*. Rio de Janeiro: Bloch, 1966.
- BURKS, A. *Collected Papers of Charles Sanders Peirce*. Volumes VII-VIII. Harvard University Press. Cambridge, 1958.
- CANÇADO, I. P. et al. *Desenvolvendo a abstração para aulas de vibrações e ondas*. In: XVII Simpósio Nacional de Ensino de Física XVII SNEF, 2007. São Luiz, MA. Atas do XVII SNEF. São Luiz, MA. 2007.
- CAVALCANTE, M. A.; SILVA, E.; PRADO, R.. *O Estudo de Colisões através do Som*. Revista Brasileira de Ensino de Física, São Paulo, SP, v. 24, n. 2, p.150-157, 2002.
- COSTA, H. SILVA, M. *Voz Cantada – Evolução, Avaliação e Terapia*. São Paulo/SP: Editora LOVESE, 1998.
- DEMO, P.. *Metodologia do conhecimento científico*. São Paulo: Atlas, 2000.
- DIOGO, R. C. *A Aprendizagem de Ondas Sonoras Sob a ótica de desafios em um ambiente virtual potencialmente significativo*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. Centro de Ciências Humanas e Sociais. Campo Grande-MS, 2008.

DRIVER, R. and al. *Making Sense of Secondary Science: Research into Children's Ideas*, Routledge, London, UK. 1994.

FÉLIX, S. *Saúde e Higiene Vocal*. Disponível em: <http://www.salamedica.com.br/imagens/laring_01a.ipj> Acesso em: 09 de agosto de 2005.

FIALHO, F. A. P. *Memória de trabalho e comportamento*. Disponível em: <<http://www.grcc.ufsc.br/publicacoes/memoria.pdf>> Acesso em: 26 de setembro de 2009. 2009.

GAGLIARDI, M., GIORDANO, E., ONIDA M., RECCHI M., ROSSI S. "Visible" waves: In a web site a teaching pathway from everyday knowledge toward the scientific knowledge. Physics Dept of Bologna University. Faculty of Education of Milano-Bicocca University, Piazza Ateneo Nuovo 1, 20126 Milano, Italy. Disponível em: <http://www.fisica.ucr.ac.cr/varios/ponencias/4ondas%20visibles.pdf> Acessado em 29 de outubro de 2008. 2008.

GASPAR, A. *Física – volume único*. Ed. Ática, São Paulo, 2008.

GILBERT e C. BOULTER, in, *Modelos e Educação em Ciências*, editado por D. Colinvaux. Ravil, Rio de Janeiro. 1998.

GOBARA, S. T. NASCIMENTO, C. S. *Uma introdução para o ensino de ondas sonoras*. In: Atas do XVII Simpósio Nacional de Ensino de Física - XVII SNEF – Maranhão. 2007.

GOBARA, S. T.; ERROBIDART, N. C. G.; MARQUES, S. M.; JARDIM, M. I. A.; ERROBIDART, H. A.; PLAÇA, L. F.. *O Conceito de Ondas na Visão dos Estudantes*. In: VI Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências – VI ENPEC, 2007, Florianópolis, SC. Atas do VI ENPEC. Florianópolis, 2007. v.1.

GOBARA, S. T.; M., S. M. *Aprendizagem de ondas sonoras por meio de uma situação didática*. In: XI Encontro de Pesquisa em Ensino de Física – XI EPEF, 2008, Curitiba. Atas do XI EPEF. Curitiba, 2008. v.1.

GONÇALVES FILHO, A. TOSCANO, C. *Física*. Volume único, São Paulo, Scipione, 2005.

GUYTON, A. C. *Tratado de Fisiologia Médica*. Rio de Janeiro: Guanabara, 1986.

HALLYDAY, D., RESNICK, R. *Fundamentos de Física* v.2. Rio de Janeiro: LTC, 1991.

HARTSHORNE, C. e WEISS, P. *Collected Papers of Charles Sanders Peirce*. Volumes I-VI. Harvard University Press, Cambridge, 1931-1935.

HREPIC, Z., ZOLLMAN, D. and REBELLO, N.S. *Identifying Students' Models of Sound Propagation*. In S. Franklin, K. Cummings and J. Marx (Eds.), Proceedings of the 2002. Physics Education Research Conference (pp. 59-62). 2002.

HUCHE, F. L. e ALLALI, A. "A Voz ". 2. ed. Porto Alegre: Editora Artes Médicas Sul Ltda., 1999.

HÜMMELGEN, I. A.. *O clarinete - uma introdução à análise física do instrumento*. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, Florianópolis, SC, v. 13, n. 2, p.139 -153, 1996.

INSTITUTO CIÊNCIA HOJE. Disponível em: <<http://cienciahoje.uol.com.br/controlPanel/materia/view/2231>> Acesso em: 21 de agosto de 2005.

JARDIM, M. I. A., ERRIBIDART, N. C. G., GOBARA, S. T. *Levantamento dos trabalhos em ensino de física que investigam ondas sonoras*. In: XI Encontro de Pesquisa em Ensino de Física – XIEPEF, 2008, Curitiba. Atas do XI EPEF. Curitiba, 2008. v.1.

JOHNSON-LAIRD, P.N. *Mental Models: Towards a Cognitive Science of Language, Inference, and Consciousness*. Cambridge: Cambridge University Press; Cambridge, MA: Harvard University Press. 1983.

JOHNSON-LAIRD, H.; Girotto, V.; Legrenzi, P. *Mental Models: A gentle guide for outsiders*. 1998.

LEAL, E. *Studio Mel*. Disponível em: <<http://www.studiomel.com/18.html>>. Acessado em 24 de março de 2009.

LINDER, C. J. *University physics students' conceptualizations of factors affecting the speed of sound propagation*. International Journal of Science Education, v. 15, n. 6, p. 655-662, 1993.

LINDER, C. J.; ERIKSON, G. L. *A study of tertiary physics student's Conceptualizations of Sound*. International Journal of Science Education, v.11, Special Issues, p. 491-501, 1989.

LOPES, F. C., BELLAN, C. L., TAGLIATI, J. R. *Proposta para o Ensino de Ondas e Acústica Utilizando Música e Instrumentos Musicais*. In: XVI Simpósio Nacional de Ensino de Física XVISNEF, 2005. Rio de Janeiro, RJ. Atas do XVI SNEF. Rio de Janeiro, RJ. 2005.

LUCIO, N.; OMAR, F.. *Ondas Longitudinais determinação da velocidade do som em metais*. Revista Brasileira de Ensino de Física, São Paulo, SP, v. 8, n. 1, p.3-8, 1986.

LÜDKE, M.; ANDRÉ, M. E. D. A. *Pesquisa em Educação: Abordagens Qualitativas*. Editora Pedagógica e Universitária LTDA. 1986.

LUNA, S. V. *Planejamento de pesquisa: uma introdução*. São Paulo: EDUC, 1997.

MAURINES, L. (2002). *Le raisonnement des étudiants dans la physique des ondes*. Bulletin de la société française de physique, décembre 2002-janvier 2003, n°137, p. 30.

MÁXIMO, A., Alvarenga, B. *Física – ensino médio*. v. 1,2,3, Ed. Scipione, São Paulo, 2005.

MONTARROYOS, E.; MAGNO, W. C. *Aquisição de Dados com a Placa de Som do Computador*. Revista Brasileira de Ensino de Física, São Paulo, SP, v. 23, n. 1, p.57 - 62, 2001.

MONTARROYOS, E.; MAGNO, W. C. *Decodificando o Controle Remoto com a Placa de Som do PC*. Revista Brasileira de Ensino de Física, São Paulo, SP, v. 24, n. 4, p.497-499, 2002.

MONTEIRO, F. N. Jr.; MEDEIROS, A. *Distorções conceituais dos atributos do som presentes nas sínteses dos textos didáticos: aspectos físicos e fisiológicos*. Ciência e Educação, Bauru, SP, v. 5, n. 2, p.1 -14, 1998.

MONTEIRO, F.N; MEDEIROS, A. *Distorções conceituais dos atributos do som presentes nas sínteses dos textos didáticos: Aspectos físicos e fisiológicos*. IN. Ciência e educação. Bauru: Unesp, n. 2, v.5, 1998.

MOREIRA, M. A. *Modelos mentais*. Revista Investigação em ensino de ciências. v. 1, n. 3, p. 193-232, 1996.

NASCIMENTO, C. S.; GOBARA, S. T. *De onde vem o som da Voz*. In: V Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Ciências – V ENPEC, 2005, Bauru. Ata do V ENPEC. Bauru: ABRAPEC, v. 1, 2005.

NASCIMENTO, C. S.; GOBARA, S. T. *O uso do aparelho fonador para o ensino de ondas sonoras*. In: VI Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Ciências – VI ENPEC, 2007, Florianópolis. Ata do VI ENPEC. Florianópolis: ABRAPEC, v. 1, 2007.

Nascimento, C. S.; Gobara, S. T. *A contextualização do ensino de ondas sonoras por meio do corpo humano*. In: VII Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Ciências – VII ENPEC, 2009, Florianópolis. Ata do VII ENPEC. Florianópolis: ABRAPEC, v. 1, 2009.

NAYLOR, O. *A Física da Música*. Número 25. Acessado em 19 de março de 2009. Disponível em: <http://www.cdcc.sc.usp.br/ciencia/artigos/art_25/musica.html>. Abril de 2004.

NOGUEIRA, S. *Respiração*. Disponível em: <<http://www.lesaomedular.com.br/respiracao.htm>> Acesso em: 09 de agosto de 2005.

NORMAN, D.A. *Some observations on mental models*. In Gentner, D. and Stevens, A.L. (Eds.). *Mental models*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates. p. 6-14. 1983.

OKUNO, E., CALDAS, I. L., CHOW, C. *Física para ciências biológicas e biomédicas*. São Paulo: Harbra, 1982.

PENTEADO, P. C.M., TORRES, C.M. *Física – ciência e tecnologia*. Ed. Moderna, v. 1,2 e 3, São Paulo, 2005.

PEREIRA, J. L. *Atividade de ondas sonoras*. Proposta elaborada em Atividades Acadêmicas Curriculares – Iniciação à Extensão I, no 2º semestre letivo de 2006.

R.S.A.B. - Revista Scientific American Brasil. *“O refinado instrumento humano”*. Fevereiro de 2008, pg. 62-69. 2008.

RUI, L.R. STEFFANI, M. H. *Um recurso didático para ensino de ondas de física, biologia e música*. I Encontro Estadual de Ensino de Física - RS (1. : 2005 : Porto Alegre, RS). Atas / Encontro Estadual de Ensino de Física - RS; Organizadores Ives Solano Araujo ... [et al.]. – Porto Alegre : Instituto de Física – UFRGS, 2006. 212 p.: il.

SAAB, S. C.; CÁSSARO, F. A. M.; BRINATTI, A. M. *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, SC, v. 22, n. 1, p.112-120, 2005.

SAMPAIO, J. L., CALÇADA, C. S. *Física Volume Único*. 2 ed. Ed. Atual, São Paulo, 2005-1.

SAMPAIO, J. L., CALÇADA, C. S. *Universo da física*. 2 ed. Ed. Atual, São Paulo, 2005-2.

SE-YUEN MAK, YEE-KONG NG, KAM-WAH WU. *Measurement of the speed of sound in a metal rod*. Physics Education, (35) 2000. pp. 439-445.

SILVA, W. P. et al. *Um software para experimentos sobre batimento de ondas sonoras*. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, Florianópolis, SC, v. 21, n. 1, p.103 -110, 2004.

SILVA, W. P. et al. *Velocidade do Som no Ar: Um Experimento Caseiro com Microcomputador e Balde D'água*. Revista Brasileira de Ensino de Física, vol. 25, no. 1, Março, 2003.

TAVARES, A. D. et al. *O método da redescoberta orientada e a criação e desenvolvimento de um laboratório de acústica para o curso de física*. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, Florianópolis, SC, v. 6, n. 3, p.135 -147, 1989.

TAVARES, J. R. ; Souza, M. O. *Uma Proposta para a Apresentação de Conceitos de Acústica no Ensino Médio*. In: XVII Simpósio Nacional de Ensino de Física, 2007, São Luís. Anais do XVII Simpósio Nacional de Ensino de Física, 2007.

TIPLER, *Física, vol 1*, 4ª edição, LTC, Rio de Janeiro, 2000.

WELTI, R. *Obstáculos conceptuales en el aprendizaje de la energía de las ondas*. Revista Brasileira de Ensino de Física, São Paulo, SP, v. 27, n. 3, p.487-490, 2005.

Apêndices

Apêndice 1 – Plano de Aula



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA
PROGRAMA DE MESTRADO EM ENSINO DE CIÊNCIAS



PLANO DE AULA - ONDULATÓRIA

Identificação

Professora: Cláudia Santos do Nascimento.

Disciplina: Física

Ano Letivo: 2009

Série: 3ª

Curso: Ensino Médio

Carga Horária: 1 hora-aula

Data: 05/08/2009

Conteúdo: Onda, onda periódica, frequência, período, amplitude, comprimento de onda.

Material: Mola helicoidal de plástico.

Objetivos

Na conclusão da aula o aluno deverá estar apto a identificar as características que definem uma onda; classificar o som como uma onda sonora; e determinar a frequência, o período, a amplitude e o comprimento de onda de uma onda.

Procedimentos

1. Introdução:

Daremos início à aula falando que esta será uma atividade extracurricular sobre ondas e que para a realização desta aula utilizaremos uma mola helicoidal, formada por uma barra enrolada em torno de um eixo imaginário.

2. Desenvolvimento:

Perguntaremos aos alunos o que é uma onda. Os alunos deverão citar alguns exemplos do que eles acreditam ser uma onda. Uma onda ou pulso de onda é uma perturbação que se propaga transportando energia, sem envolver transporte de matéria. Utilizaremos uma mola para exemplificar uma perturbação que será formada por pulsos feitos na mola. Toda vez que a 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. O que é uma oscilação completa?

Possíveis respostas dos alunos: Uma volta completa, uma circunferência, um balanço da mão. Caso os alunos não saibam o que é uma oscilação completa, os seguintes exemplos serão utilizados: o Barco Viking , mostrar um movimento com uma pedra amarrada em um fio.

Os exemplos de ondas dados pelos alunos serão classificados quanto a sua direção de vibração das partículas do meio, natureza de vibração, e grau de liberdade para a propagação.

Quadro – Classificação das Ondas.

Características	Classificação	Exemplos
Natureza de Vibração		
Direção de Vibração		
Grau de Liberdade de Propagação		

Quanto à natureza de vibração, as ondas podem ser mecânicas ou eletromagnéticas. As ondas mecânicas precisam de um meio material para se propagar. Ex.: Som. Porém, as ondas Eletromagnéticas não precisam de um meio para se propagar e possuem velocidade igual a 300.000 km/s no vácuo. Ex.: Raios-X, Ondas de rádio, microondas, luz visível.

As ondas podem ser classificadas como Transversais ou Longitudinais. As ondas Transversais são aquelas cuja direção de vibração das partículas do meio é perpendicular à direção de propagação da onda. Ex.: Luz.

Já as ondas Longitudinais possuem a mesma direção tanto para a vibração das partículas do meio quanto a direção de propagação da onda. Ex.: O som, ondas em uma mola.

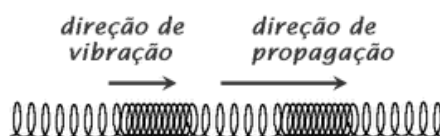


Figura 1 – Onda longitudinal.

Um terremoto, por exemplo, produz ondas longitudinais e transversais, simultaneamente, que se propagam pela crosta terrestre.

As ondas podem se propagar em uma, duas ou três dimensões. Esta característica é utilizada para classificá-las quanto ao grau de liberdade para a propagação em Unidimensionais, Bidimensionais e Tridimensionais.

Quando uma onda se propaga apenas em uma dimensão, por exemplo, uma onda numa corda ou como no exemplo da mola, ela é classificada quanto ao grau de liberdade de propagação como Unidimensional. As ondas Bidimensionais são aquelas que se propagam sobre uma superfície. Exemplo disso são as ondas na superfície de líquidos. 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. **O som é uma onda mecânica, longitudinal e tridimensional.**

2.1. Onda Periódica:

Veremos então como se define uma onda periódica. Para isso, vamos utilizar uma mola helicoidal, como ilustrado na figura 2.

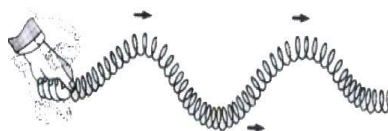


Figura 2 – Mola helicoidal

Uma única perturbação simples é denominada um pulso de onda. Uma sucessão de pulsos iguais produz uma onda periódica. Se estes pulsos não forem regulares, a onda não é periódica.

2.2. Características das Ondas:

As ondas periódicas possuem algumas características que serão apresentadas utilizando a mola.

a) Frequência:

A primeira característica a ser demonstrada será a frequência (f). Ao demonstrar várias oscilações na mola (pulsos), pediremos para que os alunos contem quantas oscilações são feitas em um intervalo de tempo. Por exemplo, em 10s. Os alunos deverão fazer um cálculo usando a regra de três:

10 s -----a oscilações

1s----- X oscilações

X= a/10 oscilações que é o número de oscilações realizadas em **1 s**

O aluno A consegue produzir **a/10 oscilações em 1 segundo**. Portanto a sua **frequência** de produção de pulsos (oscilações completas) é: **a/10 oscilações por segundo**.

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

$$f = \frac{\text{Número de Oscilações (N)}}{\text{Tempo de Oscilação (\Delta t)}}$$

Se a unidade de tempo for o segundo, a unidade de frequência é o Hertz (Hz), em homenagem ao físico alemão Heinrich Rudolf Hertz (1857 - 1894). Esta é a unidade de frequência no sistema internacional de unidades (SI).

Em uma onda sonora, quando a sua frequência de vibração é alta, temos sons altos (agudos), quando sua frequência é baixa, temos sons mais baixos (graves).

b) Período:

Se nós saímos de nossa casa e nos deslocamos até a escola, depois saímos da escola e voltamos para casa, temos então um percurso completo. Saímos de um ponto e depois retornamos para este mesmo ponto. O tempo correspondente a este percurso completo é chamado de **período (T)**. **O período é também o tempo gasto em uma oscilação completa.**

Vamos considerar a definição de frequência: $f = \text{Número de oscilações completas} / \text{unidade de tempo}$. Quando o número de oscilações completas for igual a 1, o tempo de uma oscilação é o período T. Substituindo esses valores na relação da frequência temos:

$$N (\text{número de oscilações completas}) = 1$$

$$\Delta t (\text{tempo de uma oscilação completa}) = T$$

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

Pela relação obtida, concluímos que a frequência é o inverso do período.

c) Amplitude:

Perturbaremos a mola com pouca e depois com muita força. Perguntaremos aos alunos 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. 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.

d) Comprimento de Onda:

A distância que a onda percorre durante um período (T) é chamada comprimento de onda (λ). O comprimento de onda pode ser medido pela distância entre duas cristas consecutivas ou dois vales consecutivos. A figura 3 representa uma onda transversal.

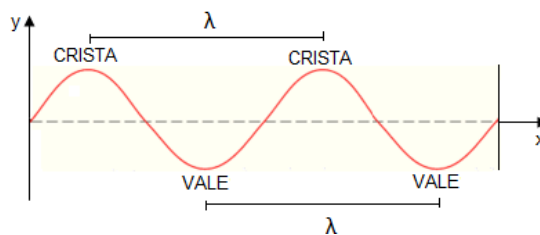


Figura 3 – Cristas e Vales

2.3. Propagação de Ondas Sonoras

Dissemos anteriormente que as ondas sonoras são mecânicas, longitudinais e tridimensionais. Vejamos agora como as ondas sonoras podem ser produzidas. Vamos comparar a onda sonora emitida por um alto falante com a onda se propagando na mola como ilustrado na figura 4. Ao ser perturbada a mola passa a vibrar periodicamente, da mesma forma com que as partículas do ar também vibram periodicamente quando o alto falante vibra. Estas vibrações provocam compressões e rarefações do ar do ambiente que passam a se propagar e constituem a onda sonora.

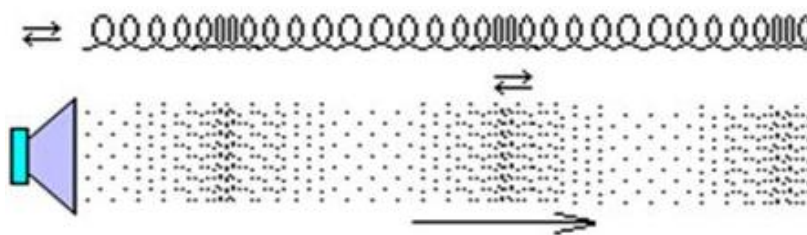


Figura 4 – Regiões de compressão e rarefação.

Vamos agora comparar a onda sonora a uma onda transversal, como ilustrado na figura 3. A crista da onda corresponde à região de maior compressão, e o vale, à região de maior rarefação. Quanto maior a compressão na onda longitudinal, maior será sua amplitude e, conseqüentemente, maior a energia transportada pela onda.

3. Conclusão:

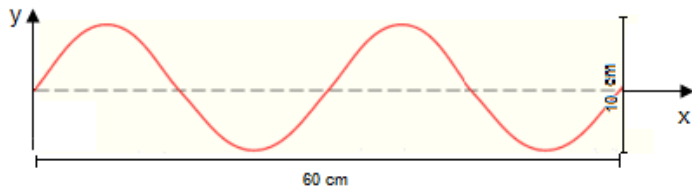
Para concluirmos, faremos uma revisão dos conceitos de ondas, características das ondas, frequência, período, amplitude e comprimento de onda, abordados nesta aula. Revisaremos também as características das ondas sonoras e o que a mudança de cada uma delas produz no som que ouvimos.

4. Avaliação

De acordo com a onda ilustrada na figura, determine:

1. Se as oscilações ilustradas na figura demoram 4s para serem executadas, qual é a frequência de cada oscilação da onda?

2. Qual é o período da onda?
3. Qual o comprimento de onda?
4. Qual amplitude da onda?



Apêndice 2 – RESUMO DA AULA



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA
PROGRAMA DE MESTRADO EM ENSINO DE CIÊNCIAS



Ondas

1. O que é uma onda?

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

2. Ondas em uma mola

Uma perturbação simples correspondente a um pulso é denominada um pulso de onda.

3. Classificação das Ondas

Características	Classificação	Exemplos
Direção de Vibração		
Natureza de Vibração		
Grau de Liberdade de Propagação		

O som é uma onda mecânica, longitudinal e tridimensional.

4. Onda Periódica

Uma única perturbação simples é denominada um pulso de onda. Uma sucessão de pulsos iguais produz uma onda periódica.

5. Características de uma onda

Frequência (f)

A frequência é uma grandeza física que representa o número de oscilações completas realizadas em uma unidade de tempo.

$$f = \frac{\text{Número de Oscilações (N)}}{\text{Tempo de Oscilação (\Delta t)}}$$

Período (T)

O período é o tempo gasto em uma oscilação completa.

Relação entre período e frequência:

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

Amplitude (A)

A amplitude é o maior afastamento que as partículas da mola podem apresentar em relação à posição de equilíbrio.

Comprimento de onda (λ)

O comprimento de onda é a distância que a onda percorre em um período. O comprimento de onda pode ser medido pela distância entre duas cristas consecutivas ou dois vales consecutivos.

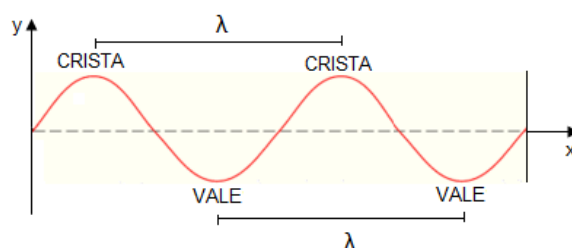


Figura 1 – Cristas e Vales

2.3. Propagação de Ondas Sonoras

Ao ser perturbada a mola passa a vibrar periodicamente, da mesma forma com que as partículas do ar também vibram periodicamente quando o auto-falante vibra.

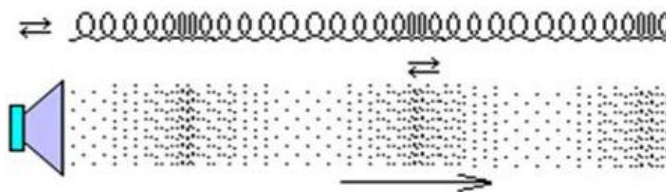


Figura 2 – Regiões de compressão e rarefação.

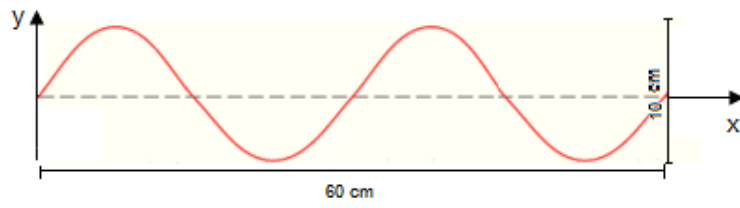
Exercício:

De acordo com a onda ilustrada na figura, determine:

1. Se as oscilações ilustradas na figura demoram 4s para serem executadas, qual é a frequência de cada oscilação da onda?
2. Qual é o período da onda?

3. Qual o comprimento de onda?

4. Qual amplitude da onda?



Apêndice 3 – ROTEIRO DE ATIVIDADE



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA
PROGRAMA DE MESTRADO EM ENSINO DE CIÊNCIAS



Você vai realizar uma atividade que faz parte de um projeto de pesquisa para melhorar o Ensino de Ciências. Não se preocupe se as respostas estão certas ou erradas, queremos saber se ao final dessa atividade você consegue explicar como é produzido o som da nossa voz. Obrigada pela sua participação.

Grupo de Pesquisa em Ensino de Física da UFMS.

ATIVIDADE - DE ONDE VEM O SOM DA VOZ?

ALUNO: _____ SÉRIE: _____

1. Introdução

A voz é um som emitido pelo corpo humano por meio de um conjunto de órgãos chamado Sistema Fonatório. Estes órgãos possuem outras funções além da produção da voz. Mas o que é a voz? Como funciona o mecanismo de produção de som do corpo humano?

Antes de realizar esta atividade sobre produção do som, você responderá algumas questões sobre os conceitos que serão discutidos.

1.1. Relacione:

Na figura 1, estão numerados os principais órgãos que compõem o sistema fonatório. Relacione cada região numerada da figura que constitui o sistema fonatório, com a coluna ao lado. Relacione na figura apenas os nomes dos órgãos que você conhece.

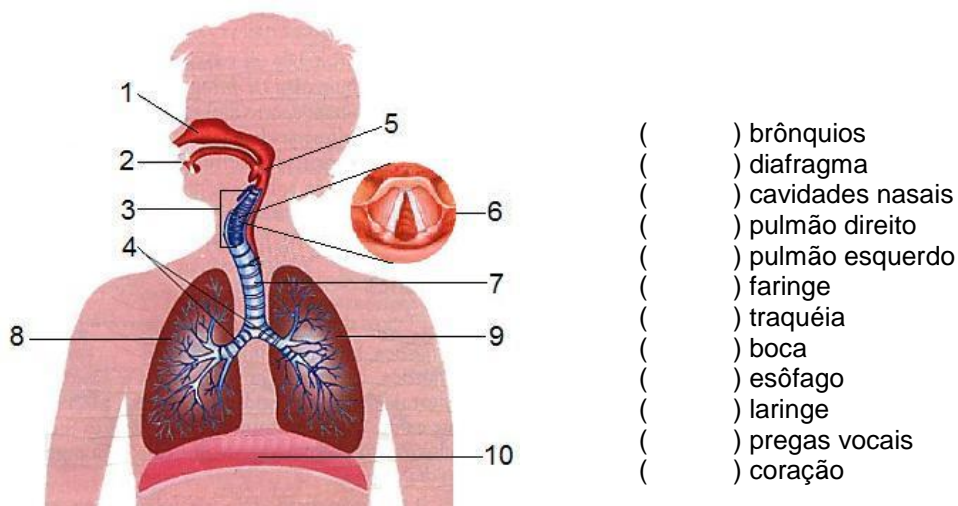


Figura 1 - Principais órgãos do Sistema Fonatório (Leal, 2009).

1.2. Responda:

Faça um desenho ou explique com suas palavras como a voz é produzida.

ATIVIDADE - DE ONDE VEM O SOM DA VOZ?

ALUNO: _____ SÉRIE: _____

Agora você vai manipular alguns objetos e descrever o que você observa no momento em que eles estão emitindo som. Depois, você irá observar seu próprio corpo e descrever o que acontece no momento em que a voz está sendo produzida.

2. Observação dos objetos

2.1. Cilindro com elástico:

Você tem um elástico preso em um cilindro de plástico, como mostra a Figura 2:

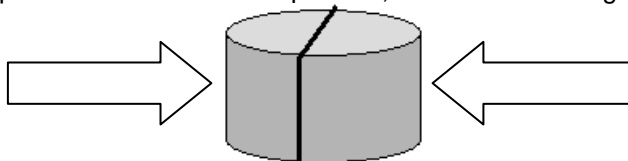


Figura 2 - Elástico preso no cilindro.

a) Com a ponta dos dedos, toque o elástico, como em um violão, para que você consiga produzir som. Descreva o que acontece com o elástico enquanto você produz som.

b) Toque o elástico suavemente e depois toque o elástico com mais força. Qual a diferença que você observou nas duas situações?

c) Qual das características da onda foi alterada para que ocorresse essa diferença?

d) Com uma das mãos pressione o cilindro, como indicado pelas setas na Figura 2, para deixá-lo levemente achatado, de tal maneira que o elástico fique mais esticado. Com o cilindro achatado, toque no elástico para que você consiga produzir som. Qual a diferença entre o som produzido pelo elástico quando o cilindro está pressionado e quando o cilindro não está pressionado?

e) Qual das características da onda foi alterada para que ocorresse essa diferença?

2.2. Apito:

a) Agora você tem um apito. Dentro deste apito há uma palheta. Sopre o apito pelo lado mais fino e descreva o que acontece.

b) Segure a palheta com o dedo, deixando espaço para o ar passar pelo apito. Ainda com o dedo na palheta, sopre o apito e descreva o que acontece.

c) Explique com suas palavras qual a função da palheta na produção do som do apito.

2.3. Garrafa Pet:

a) Você tem uma garrafa pet pequena com três balões. Dois balões estão presos na parte de dentro da garrafa, o outro está preso na parte de fora. Com uma das mãos segure a garrafa, e com a outra puxe para baixo e para cima o balão que está preso na parte de fora da garrafa. O que acontece com os balões que estão dentro da garrafa?

b) Explique com suas palavras por que os balões que estão dentro da garrafa se enchem?

c) O que acontece com o apito preso na garrafa no momento em que você empurra o balão de fora?

d) Explique com suas palavras por que o apito preso na tampa da garrafa produz som?

3. Observação do próprio corpo

3.1. Garganta:

a) Pronuncie algumas palavras colocando uma de suas mãos na garganta e outra na nuca. Qual a diferença entre estas duas regiões enquanto você fala?

b) Explique com suas palavras qual é o motivo dessa diferença?

c) Compare as observações feitas na garganta com as observações feitas no apito. Existe algo na garganta que tenha a mesma função da palheta no apito? Explique sua resposta.

3.2. Abdome:

a) Pronuncie algumas palavras colocando uma de suas mãos no seu abdome. Ainda com a mão no abdome, inspire e pronuncie letamente a sílaba 'si'. O que acontece com seu abdome no momento em que você emite este som?

b) Há variação do ar nos seus pulmões? ()SIM ()NÃO
Explique com suas palavras por que isso acontece.

c) Compare as observações feitas nas bexigas da garrafa pet com as observações feitas no seu abdome enquanto você pronunciava a sílaba 'si'. O que há de semelhante nestes dois casos?

4. Discussão

Você já manipulou alguns objetos e observou seu corpo no momento em que emitia som. Agora para o término dessa atividade, responda atentamente as questões a seguir.

4.1. Cilindro com elástico X Garganta:

a) Na atividade do elástico preso no cilindro, o que você fez para produzir som com o elástico?

b) O que acontece com o elástico no momento em que ele emite som?

c) Na atividade de observação da garganta, o que você fez para produzir a voz?

d) O que aconteceu com as pregas vocais no momento em que você falava?

4.2. Apito X Pregas Vocais:

a) Para que o apito emita som, o que é necessário que aconteça com a palheta?

b) Para que ocorra a produção do som da voz, o que é necessário que aconteça com as pregas vocais?

4.3. Garrafa Pet X Abdome:

a) Na atividade com a garrafa pet, que parte do corpo humano os balões internos estão representando?

b) Que parte do corpo humano o balão externo está representando?

c) Que parte do corpo humano o apito preso na tampa da garrafa está representando?

ATIVIDADE - DE ONDE VEM O SOM DA VOZ?

5. A Voz

A voz é um dos principais sons emitidos pelo corpo humano. Ela é produzida por um conjunto de órgãos chamado sistema fonatório. Ele é composto por órgãos do sistema digestório, respiratório e pela boca. A voz é produzida na laringe, onde se localizam as pregas vocais. Ao respirarmos as pregas vocais se abrem e o ar entra e sai dos pulmões. Ao falarmos o diafragma relaxa, e ao relaxar comprime os pulmões e o ar é expulso. Ao ser expulso, o ar passa por duas pregas localizadas na faringe, as chamadas pregas vocais. Elas se aproximam e o ar que sai dos pulmões faz com que elas se perturbem produzindo uma vibração que dá origem ao som da voz.

No momento em que as pregas vocais estão mais tensionadas, a frequência de vibração é maior, produzindo um som mais agudo. Se as pregas vocais estão menos tensionadas, o número de vezes que elas vibram a cada segundo é menor, ou seja, a frequência de vibração é menor, produzindo um som mais grave. A laringe participa na tensão das pregas vocais como vimos na atividade do cilindro com as borrachas quando você pressionou o cilindro e deixou as borrachas mais esticadas. Da mesma maneira, a laringe também se movimenta deixando as pregas vocais mais ou menos tensionadas (esticadas), o que nos ajuda a produzir sons agudos e graves.

Podemos controlar voluntariamente o grau de tensão das pregas vocais e com isso modulamos a nossa voz. O som produzido passa pela laringe, faringe e cavidades nasais e é articulado na boca, dentes, língua, lábios, mandíbula e palato (céu da boca). Estas estruturas criam uma resistência à passagem do ar e modificam o som produzindo a fala. Pronuncie algumas sílabas, como por exemplo 'la', 'ti', 'be', 'na', e observe como a língua e as partes internas da boca se movimentam para que cada som seja corretamente emitido. Veja a Figura 4.

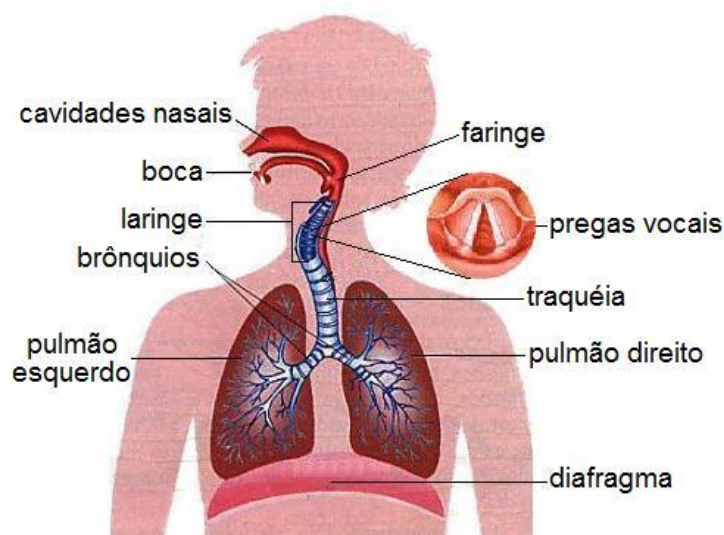


Figura 4 – Nome dos principais órgãos do Sistema Fonatório (Leal, 2009).

ATIVIDADE – DE ONDE VEM O SOM DA VOZ?

ALUNO: _____ SÉRIE: _____

6. Conclusão

Agora que você já realizou todas as etapas da atividade, usando as informações obtidas durante cada uma das etapas, explique por meio de um desenho ou com suas palavras como é produzida a voz humana.

7. Referências

LEAL, Ernesto. *Studio Mel*. Disponível em: <<http://www.studiomel.com/18.html>>. Acessado em 24 de março de 2009.
NETTO, Luiz Ferraz. *Anéis Ressonantes*. Disponível em: <http://www.feiradeciencias.com.br/sala10/10_01.asp> Acessado em 09 de abril de 2009.

Apêndice 4 – ARTIGO

A CONTEXTUALIZAÇÃO DO ENSINO DE ONDAS SONORAS POR MEIO DO CORPO HUMANO

THE CONTEXTUALIZATION OF THE EDUCATION OF SOUND WAVES BY MEANS OF THE HUMAN BODY

Cláudia Santos do Nascimento¹

Shirley Takeco Gobara²

¹UFMS/DFI/cfisicaufms@yahoo.com.br

²UFMS/DFI/gobara@dfi.ufms.br

Resumo

Este artigo tem como objetivo relatar os resultados preliminares de um trabalho que investigou se os alunos são capazes de construir um modelo explicativo que descreva a produção do som pelo corpo humano. Trata-se de uma metodologia qualitativa em que os alunos são levados a manipular alguns objetos que emitem som, a observar seu próprio corpo e são solicitados a explicarem sobre o processo de emissão de som em cada situação proposta e usando essas atividades construir o conceito de som por meio de sua produção. A análise das respostas dos alunos sugere que houve uma evolução no modelo explicativo externado pelos alunos e que o modelo explicativo apresentado pela maioria dos alunos é coerente com o modelo científico para produção da voz. Concluímos que a atividade elaborada e contextualizada no corpo humano contribui para promover a aprendizagem significativa de conceitos introdutórios sobre ondas sonoras.

Palavras-chave: som, ondas sonoras, voz, aprendizagem.

Abstract

This article has as objective to tell the preliminary results of a work that investigated if the pupils are capable to construct a clarifying model that describes the production of the sound for the human body. One is about a qualitative methodology where the pupils are taken to manipulate some objects that emit sound, to observe its proper body and are requested to explain on the process of emission of sound in each situation proposal and using these activities to construct the concept of sound by means of its production. The analysis of the answers of the pupils suggests that it had an evolution in the clarifying model extern ado by the pupils and that the clarifying model presented by the majority of the pupils is coherent with the scientific model for production of the voice. We conclude that the activity elaborated and contextualized in the human body contributes to promote the significant learning of introductory concepts on sonorous waves.

Key-words: sound, sound waves, voices, learning.

APOIOS: FUNDECT/MS E UFMS

1. INTRODUÇÃO

A voz é um poderoso instrumento que não apenas transmite a mensagem como também acrescenta algo ao seu sentido. Através da comunicação, o homem transmite e interpreta sentimentos e pensamentos, assim como interage com outros indivíduos numa troca de informações e experiências. Mas o que é a voz? Como funciona o mecanismo gerador de nossa linguagem verbal? Qual a natureza do som que emitimos com tanta frequência? Estes são questionamentos que devem ser colocados aos alunos de forma a motivá-los à compreensão e ao estudo da anatomia do sistema fonatório e dos principais conceitos físicos envolvidos na produção da voz.

Os livros didáticos, em sua grande maioria, não discutem os fenômenos ondulatórios associados a produção da voz. E aqueles que o fazem, muitas vezes, trazem conceitos distorcidos e desvinculados de qualquer aplicação prática (Monteiro e Medeiros, 1998). O Ministério da Educação, por meio do Programa Nacional do Livro para o Ensino Médio (PNLEM), avaliou vários livros de física, mas somente seis foram aprovados e disponibilizados para serem adotados pelos professores de ensino médio das escolas públicas.

Dos seis livros aprovados, um (Gonçalves e Toscano, 2005) não trabalha o tema de ondas sonoras, nem mesmo os conceitos básicos de ondas. Dois (Sampaio e Calçada, 2005-1), (Sampaio e Calçada, 2005-2), trabalham o tema de ondas sem contextualizar com o corpo humano. Outros dois (Gaspar, 2008), (Penteado e Torres, 2005), contextualizam o ensino de ondas com o corpo humano, mas falam apenas da recepção do som e do funcionamento do ouvido. Somente um dos seis livros aprovados (Máximo e Alvarenga, 2005) traz os conceitos de produção da voz, e ainda assim de uma maneira superficial e com alguns equívocos.

Este artigo tem como objetivo relatar os resultados preliminares de um trabalho que tem como objetivo investigar se os alunos são capazes de construir um modelo explicativo, modelo mental no sentido de Johnson-Laird (1983), que descreva a produção do som pelo corpo humano e, portanto, serem capazes de explicar a produção da voz.

2. REFERENCIAIS TEÓRICOS

Os conceitos abordados nessa atividade tratam das definições de ondas sonoras e suas características, bem como fisiologia e biofísica do sistema fonatório.

2.1. Ondas Sonoras

Para discutirmos como se dá a emissão do som no sistema fonatório, bem como sua atuação na produção da fala, é necessário fazer um levantamento do que vem a ser o som e de suas características principais, para então estabelecermos uma relação com a emissão do som no corpo humano.

De acordo com a teoria ondulatória proposta e aceita pela comunidade científica atual, o som deve ser tratado como uma onda. Definimos como onda uma perturbação que se propaga transportando energia, sem envolver transporte de matéria. Ela pode ser classificada quanto a sua direção de vibração, natureza de vibração, e grau de liberdade para a propagação. Dizemos que o som é uma onda Mecânica, Longitudinal,

Tridimensional e Periódica. Definiremos agora algumas classificações das ondas, destacando dentre elas as características que se atribuem às ondas sonoras.

Natureza de Vibração: Quanto à natureza de vibração, as ondas podem ser mecânicas ou eletromagnéticas. As ondas mecânicas precisam de um meio para se propagar. Ex.: Som, terremotos. Porém, as ondas eletromagnéticas não precisam de um meio para se propagar e possuem velocidade igual a 300.000 km/s no vácuo. Ex.: Raio X, Ondas de rádio, microondas, luz visível, etc .

Direção de Vibração: As ondas podem ser classificadas como transversais ou longitudinais. As ondas transversais são aquelas cuja direção de vibração é perpendicular a propagação da onda. Já as ondas ditas longitudinais, possuem a mesma direção de vibração da propagação da onda. Ex.: O Som.

Grau de Liberdade para a Propagação: As ondas podem se propagar em uma, duas ou três dimensões. Esta característica é utilizada para classificá-las quanto ao grau de liberdade para a propagação. Quando uma onda se propaga apenas em uma dimensão ela é classificada, quanto ao grau de liberdade de propagação, como unidimensional. Quando uma onda se propaga em duas dimensões, ela é classificada como bidimensional. Quando uma onda se propaga em três dimensões, ela é classificada como tridimensional. Este é o caso das ondas sonoras (Ferrado, 2001).

Uma onda correspondente a uma perturbação simples é denominada pulso. Uma sucessão regular de pulsos iguais produz uma onda periódica. As principais características de uma onda periódica são Período, Frequência, Amplitude e Comprimento de onda. O Período (T) é o tempo de uma oscilação completa de qualquer ponto da onda; a Frequência (f) é o número de vibrações em um ponto da corda por unidade de tempo; Amplitude (A) é o maior valor de alongação da onda e o Comprimento de onda (λ) é o menor distância entre dois pontos que tem sempre mesmo sentido de movimento (Halliday, 1991).

2.2. Anatomia do Sistema Fonatório

A voz é produzida por um conjunto de órgãos chamado sistema fonatório. Os principais órgãos que compõem este sistema são cavidades nasais, boca, faringe, laringe, pregas vocais, traquéia, brônquios, pulmões e diafragma (Guyton, 1986).

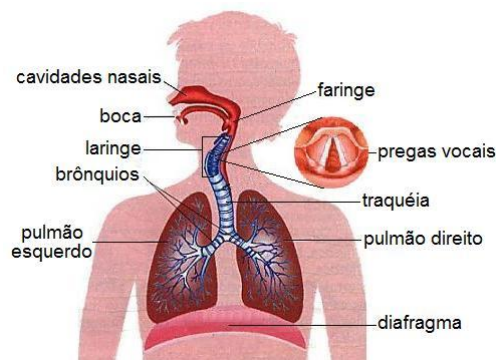


Figura 1 - Principais órgãos do Sistema Fonatório (Leal, 2009).

Para que a voz seja produzida, o ar que foi inspirado e está armazenado nos pulmões é expelido pelo músculo diafragma. Este ar expelido passa com uma grande pressão pela traquéia, e depois pela laringe, onde estão situadas as pregas vocais, que

são duas dobras na parede da laringe constituídas por muitas pequenas tiras de músculos, controladas separadamente por fibras nervosas diferentes (Okuno, 1982).



Figura 2 - Laringe e Pregas vocais (Tomiyama, 2009).

As pregas vocais vibram entre si como resultado da passagem do fluxo de ar que é expirado dos pulmões com o auxílio do músculo diafragma, e esse padrão de vibração dá origem à voz (Costa, 1998).

3. REFERENCIAIS DIDÁTICO-METODOLÓGICOS

As referências didático-metodológicas a serem apresentadas embasaram a elaboração e realização desta atividade com materiais e as análises das respostas dos alunos que geraram os resultados a serem apresentados neste texto.

3.1. A Teoria Cognitivista de David Ausubel:

Uma das teorias relevante para nossa pesquisa é a Teoria Cognitivista de *David Ausubel* (Moreira, 1999). Ausubel tenta explicar o processo de cognição assumindo o desenvolvimento cognitivo ou evolução do conhecimento no aprendiz como um processo no qual o conhecimento em questão é construído sobre estruturas cognitivas previamente determinadas. Ele usa o termo *estrutura cognitiva* como sendo uma estrutura hierárquica de conceitos.

Para Ausubel, quando um conceito relaciona-se de forma efetiva com outros conceitos contidos na estrutura cognitiva do aluno, ocorre a chamada *aprendizagem significativa*. Estes outros conceitos já existentes na estrutura do aluno, necessários à aprendizagem, são chamados de *subsunçores*. Desta forma o novo conceito se ligará aos subsunçores e será incorporado a uma estrutura mais abrangente de conceitos.

Em nossa pesquisa buscaremos a promoção desta aprendizagem significativa elaborando uma atividade que possibilite a aprendizagem significativa dos conceitos relacionados aos fenômenos sonoros, em particular, a produção da voz humana.

3.2 A Teoria dos Modelos Mentais de Johnson-Laird:

Outro referencial que julgamos importante para a análise das produções dos alunos é a Teoria dos Modelos Mentais de Johnson-Laird. Modelos Mentais são representações internas de informações que correspondem ao mundo real. Apesar de fazerem uma representação que nem sempre é completamente fiel ao mundo real, estes modelos mentais são funcionais, ou seja, embora limitados, descrevem o mundo de forma satisfatória para o sujeito que os concebem.

A teoria de modelos mentais de Johnson-Laird (1983) diz que nossa habilidade em dar explicações está diretamente ligada à nossa compreensão daquilo que é explicado, e

para compreender qualquer fenômeno ou estado de coisas, precisamos ter um modelo funcional dele. Estes modelos permitem ao sujeito compreender fenômenos e eventos. Alguns desses modelos são concebidos por meio de interações com o meio, com outras pessoas, e/ou pelas experiências sensoriais. Portanto, não existe um único modelo mental para um determinado estado de coisas.

As representações mentais podem existir na forma de representações proposicionais, modelos mentais e imagens. Representações proposicionais são cadeias de símbolos que correspondem à linguagem natural, modelos mentais são análogos estruturais do mundo e imagens são correlatos perceptivos dos modelos sob um particular ponto de vista. (Johnson-Laird, 1983, p.165, In: Moreira e Lagreca 1999).

Outro conceito relevante é o de *modelo conceitual* que consiste em um modelo preciso, consistente e completo que é elaborado por pesquisadores e/ou grupos de interesses para facilitar a compreensão de sistemas físicos que são usados para determinados fins econômicos e/ou para o ensino. Os modelos mentais são modelos que as pessoas criam para explicar os fenômenos ou sistemas físicos. Esses modelos, em geral, têm validade restrita, não são precisos como o modelo conceitual, mas devem ser funcionais. Estes modelos mentais são gerados por indivíduos ao serem solicitados para explicar um determinado fenômeno ou resolver um problema em que os modelos conceituais não foram assimilados. Assim, para identificar modelos mentais de outras pessoas é necessário compreendermos como estes modelos mentais são organizados na mente das pessoas.

Com a atividade proposta neste trabalho, buscaremos verificar a construção de modelos mentais pelos alunos sobre a produção da voz, após a interação com os objetos fornecidos a eles e na observação do próprio corpo.

3.3. A Pedagogia de Jerome Bruner – O Currículo em Espiral:

O terceiro referencial metodológico relevante para nossa pesquisa é o da pedagogia de Jerome S. Bruner (Bruner, 1966), em especial o conceito de Currículo em Espiral. De acordo com esse autor, o currículo deve organizar-se de forma espiral, isto é, trabalhar de forma periódica os mesmos conteúdos, cada vez com maior profundidade, para que o aluno continuamente modifique e amplie as suas representações mentais, os modelos mentais no sentido de (Johnson-Laird, 1983). Quando o aluno está acomodado com os conhecimentos adquiridos, cabe ao professor propor-lhe dúvidas, e uma das maneiras de se fazer isso é a proposição do currículo em espiral.

Com este conceito de currículo em espiral, Bruner afirma que se pode ensinar qualquer coisa para qualquer criança em qualquer estágio de desenvolvimento, pois o fundamental é a interação entre: criança, assunto e modo pelo qual ele é apresentado. Nessa concepção o aluno é colocado em uma situação ativa, encarado como o construtor de sua própria aprendizagem e situando o professor como elemento desafiador e não apenas como um fornecedor de respostas prontas.

Cada momento deve se identificar com o anterior, oferecendo outros níveis de profundidade. Os conteúdos se relacionam para manter uma coerência em todo o currículo nesta estrutura em espiral. A concepção das estratégias propostas por Bruner possui o grande mérito de superar uma concepção estritamente associacionista do

pensamento e ainda de ressaltar a importância de uma série de fatores psicológicos necessários para a formação de conceitos.

Já existe na literatura uma pesquisa sobre a aprendizagem de ondas sonoras, na qual foi produzida uma atividade para alunos de nono ano do Ensino Fundamental, onde os alunos, ao serem submetidos a uma atividade semelhante a que está sendo proposta neste trabalho, foram capazes de construir um modelo explicativo sobre os fenômenos sonoros e produção da voz de acordo com um modelo explicativo adequado a esse nível (Gobara, Nascimento, 2007).

Este artigo apresenta os resultados preliminares de uma pesquisa de mestrado cujo objetivo é dar continuidade à investigação sobre a produção de metodologias para o ensino do som, agora para Ensino Médio, tendo como embasamento teórico o currículo em espiral, que visa um aprofundamento gradual dos conceitos para cada nível no qual ele é ministrado.

Assim sendo, buscamos investigar, por meio da elaboração de uma atividade para o nível médio, os modelos explicativos dos alunos desse nível, enfatizando conceitos que são mais elaborados que não são trabalhados no nível fundamental.

4. DESENVOLVIMENTO DA ATIVIDADE E ANÁLISE DAS RESPOSTAS

Trata-se de uma pesquisa qualitativa exploratória do tipo estudo de caso, desenvolvida para verificarmos a eficácia de uma atividade proposta para alunos do segundo ano do ensino médio regular que aborda, por meio de uma atividade contextualizada, os conceitos relacionados às ondas sonoras: o que é necessário para que haja som e como é produzida a voz pelo sistema fonador.

Este artigo relata os resultados de uma pesquisa piloto, realizada para avaliar os materiais e meio propostos na atividade da pesquisa e a ocorrência da aprendizagem significativa sobre a produção da voz no corpo humano. Ela foi realizada com 13 alunos de uma escola da rede pública estadual do estado de Mato Grosso do Sul que haviam concluído a segunda série do ensino médio. A escolha desses alunos foi em função do currículo escolar, pois os conceitos de ondas sonoras devem ser abordados no final da segunda série do ensino médio.

A atividade foi elaborada em cinco etapas e os alunos participaram em duplas. Eles foram orientados, por meio de um roteiro estruturado, a manipularem alguns objetos que emitiam som, a observarem o próprio corpo no momento em que falavam e a descreverem como se dá a produção da voz pelo corpo humano.

4.1. Primeira Etapa - Introdução

Na primeira etapa, antes de manipular os objetos, os alunos responderam duas questões, sendo uma sobre anatomia e outra sobre a fisiologia da voz. O objetivo foi obter estes dados para compararmos posteriormente com as respostas dadas pelos alunos na última etapa da atividade e assim verificarmos se houve ou não uma evolução no modelo explicativo dos alunos.

Na questão sobre anatomia, os alunos demonstraram ter um bom conhecimento sobre o nome e a localização dos principais órgãos do sistema fonatório. Já na questão sobre fisiologia, as respostas foram, na sua grande maioria, incompletas e pouco

elaboradas. Na tabela abaixo estão listadas as respostas dadas pelos alunos na questão sobre fisiologia, em que os alunos deveriam desenhar ou descrever como se dá o processo de produção da voz no corpo humano. Os alunos foram identificados pelo índice “A”, seguido de um número de identificação.

Relacionou a produção da voz com:	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	A13
Movimento das pregas vocais			X	X	X	X	X	X	X	X			X
Produção de som				X	X	X	X	X		X			
Passagem de ar				X			X			X			
A fala		X									X	X	
Movimento do diafragma							X			X			
Não sabe	X												

Tabela 1 – Respostas dos alunos sobre fisiologia da voz antes da atividade.

De acordo com as respostas dadas, apenas os alunos A7 e A10 apresentaram uma resposta um pouco mais elaborada sobre produção da voz, mas mesmo assim ainda deixaram de citar órgãos importantes na produção da voz, tais como laringe, pulmões, cavidades nasais. O restante dos alunos não conseguiu explicar como a voz é produzida, atribuindo a produção da voz apenas ao movimento das pregas vocais e a produção do som, com exceção de A4 que percebeu a necessidade de passagem de ar pelas pregas vocais para que o som seja produzido.

4.2. Segunda Etapa – Observação dos Objetos

Na segunda etapa, os alunos manipularam e observaram alguns objetos que emitem som e descreveram como o som é produzido por estes objetos. O objetivo dessa etapa era fazer com que os alunos explicassem como os objetos emitem som e relacionassem a produção de som dos objetos com a produção da voz.

Os objetos analisados foram: elásticos de dinheiro presos em um cilindro; um apito de corneta; e uma garrafa pet, com três balões de borracha e um apito pequeno acoplados a ela, simulando o sistema fonatório. A imagem da figura 3 ilustra os materiais utilizados.



Figura 3 – Objetos utilizados na atividade.

4.2.1. Cilindro com elásticos de dinheiro

O primeiro objeto manipulado pelos alunos foi o cilindro com os elásticos de dinheiro. A manipulação deste material foi proposta com o objetivo de levar o aluno a perceber que para que um som seja produzido por um determinado material é necessário que algo perturbe este material fazendo com que ele vibre.

Com os dedos, os alunos perturbaram os elásticos de tal forma a fazê-las emitirem som. Depois eles pressionaram as laterais do cilindro deixando-o elíptico, de modo a provocar uma variação no comprimento dos elásticos, alterando a sua tensão e frequência de vibração. Em cada situação os alunos deveriam descrever e explicar o que estava acontecendo.

Todos os alunos descreveram que quando os elásticos são perturbados com os dedos, eles vibram emitindo som. A grande maioria dos alunos percebeu que quando as laterais do cilindro são pressionadas como indicado no roteiro por meio de uma figura, o som emitido pelos elásticos fica mais agudo. Apenas o aluno A2 não percebeu essa diferença. Os alunos A4, A8, A9 e A10 atribuíram a diferença entre os sons à variação da tensão nos elásticos, estabelecendo uma relação direta entre tensão em uma corda vibrante e sua frequência de vibração.

4.2.2. Apito

O segundo objeto manipulado foi um apito de corneta que possui uma palheta interna que pode ser visualizada no momento da emissão do som. A manipulação deste apito foi proposta com o objetivo de fazer com que o aluno perceba que para que o som seja produzido pela palheta, é necessário que passe ar pelo apito e que ela vibre. Ao final da atividade o aluno deverá ter condições de relacionar a passagem de ar pelo apito e a vibração da palheta com a passagem de ar pela laringe e com a vibração das pregas vocais.

Dos treze alunos que realizaram a atividade, sete descreveram corretamente a produção do som pelo apito, relatando que é necessário que o ar passe dentro do apito e que a palheta vibre para a produção do som. Apenas os alunos A2 e A3 não deixaram clara a necessidade de vibração da palheta, mas perceberam que para emitir o som é necessário que o ar passe pelo apito. Já os alunos A6, A8, A9, e A13 não enfatizaram a passagem de ar pelo apito como fator necessário para a emissão de som, mas perceberam que quando a palheta não vibra, não há emissão de som.

4.2.3. Garrafa Pet

O terceiro objeto utilizado na atividade é uma representação do sistema fonatório humano e consiste em uma garrafa pet cortada, com um apito pequeno fixado na tampa, dois balões de borracha presos no seu interior e um balão de borracha preso em sua base (ver figura 3). O apito representa a laringe e as pregas vocais, a garrafa representa a caixa torácica, os balões internos representam os pulmões, e o balão externo representa o músculo diafragma.

A manipulação deste material foi proposta com o objetivo de fazer com que o aluno comparasse a produção de som no material com a produção de som no sistema fonatório. O aluno deverá ser capaz de observar as semelhanças no funcionamento dos

dois sistemas e, posteriormente, na próxima etapa da atividade, estabelecer relações entre as partes que compõem o material e os órgãos do sistema fonatório.

Todos os alunos perceberam que quando puxaram o balão externo para baixo, os balões internos se encheram. O aluno A7 conseguiu já nesta etapa estabelecer uma relação clara entre os balões internos e os pulmões, e os balões externos e o diafragma. Como já foi dito acima, nós esperávamos que os alunos estabelecessem esta relação apenas na próxima etapa da atividade que consiste na observação do próprio corpo.

4.3. Terceira Etapa – Observação do Próprio Corpo

Nesta etapa os alunos foram instruídos a observar o próprio corpo no momento em que emitiam som e explicar o que eles estavam observando. O objetivo desta etapa foi fazer com que eles comparassem as observações feitas nos objetos com as observações feitas no corpo humano, relacionando as partes responsáveis pela produção de som e o processo de produção de som nos objetos com os principais órgãos que compõem o sistema fonatório e o mecanismo de produção de som no corpo humano que dá origem a voz.

As partes do corpo observadas pelos alunos foram a garganta e o abdome. Cada observação foi devidamente relatada por eles no roteiro, sempre de modo a estabelecer relações de semelhança com os objetos observados.

4.3.1. Garganta

A garganta foi a primeira parte do corpo selecionada para observação, pois é nela que se encontram as pregas vocais, responsáveis pela vibração que dá origem a voz. O objetivo desta observação foi fazer com que o aluno percebesse que assim como os elásticos de dinheiro que estavam presos no cilindro vibram e produzem som quando perturbados, na garganta também existe algo que vibra e produz som, que são as pregas vocais.

Todos os alunos perceberam que na garganta existe um padrão de vibração que não é encontrado nas outras partes do corpo, porém apenas os alunos A7, A8, A9, A10, A11, A12 a A13 atribuíram essa sensação de vibração à presença das pregas vocais na garganta. O restante dos alunos disse apenas que a vibração sentida na garganta era causada pela passagem do ar, com exceção de A1, que não respondeu a essa questão. A grande maioria dos alunos conseguiu estabelecer uma relação direta entre a função da palheta no apito e das pregas vocais na laringe. Apenas os alunos A1, A11 e A12 não deixaram clara essa relação, dizendo apenas que existia algo na garganta que tem a mesma função das palhetas na produção do som, mas sem citar as pregas vocais.

4.3.2. Abdome

A segunda parte do corpo observada pelos alunos foi o abdome, pois é nele que se encontra o músculo diafragma, um dos principais músculos do sistema fonatório, responsável pela entrada e saída de ar nos pulmões. O objetivo dessa observação foi levar o aluno a perceber que da mesma forma que, na garrafa, o balão externo expeliu o ar dos balões internos, fazendo com que o ar passasse pelo apito, o músculo diafragma também expelle ar dos pulmões, fazendo com que o ar passe pela laringe e faça vibrar as pregas vocais.

Com exceção de A6, todos os alunos conseguiram perceber o movimento realizado no abdome no momento em que falavam, e destes, com exceção de A1, todos atribuíram isso a passagem de ar no interior do corpo.

4.4. Quarta Etapa – Discussão

Após ter manipulado os objetos e observado o próprio corpo, esperava-se que o aluno fosse capaz de estabelecer relações entre as observações feitas nas duas etapas anteriores, de tal modo a listar semelhanças e construir modelos explicativos mais generalizados e elaborados para a produção do som em diferentes materiais e no sistema fonatório. Com este objetivo, propomos esta etapa da atividade, para tornar mais clara a semelhança nos processos de produção de som em cada um dos casos observados.

4.4.1. Cilindro com elásticos de dinheiro X Garganta

Para que os alunos estabelecessem relações entre as observações feitas no cilindro e as observações feitas na garganta, eles foram questionados sobre o que provocou o som e a vibração em cada uma das duas observações.

No caso do cilindro, a grande maioria conseguiu perceber que o movimento dos dedos que provocou a vibração dos elásticos e isso fez com que eles emitissem som. Apenas A1 não conseguiu estabelecer essa relação e disse apenas que o que havia produzido o movimento nos elásticos era a tensão, não deixando clara a idéia de que é necessário que algo perturbe os elásticos para que eles vibrem. Já na descrição das observações feitas na garganta, os alunos A2, A10, A11 e A12 disseram que o que provocou o som na garganta foi apenas a passagem do ar, sem citar as pregas vocais, externando o modelo explicativo do ar independente já identificado em pesquisa anterior (Gobara, Nascimento, 2005).

4.4.2. Apito X Pregas Vocais

O objetivo dessa parte é fazer com que os alunos percebam que assim como é necessário que a palheta vibre para que o apito emita som, também é necessário que as pregas vocais vibrem para que a voz seja produzida. Para isso, eles foram questionados sobre o que é necessário que aconteça com a palheta e com as pregas vocais para que haja a produção do som.

Com exceção de A10, todos os alunos perceberam que para que haja produção de som, é necessário que haja vibração. No caso de A10, ele apenas destacou a necessidade de passagem de ar, sem citar as pregas vocais ou a palheta do apito.

4.4.3. Garrafa Pet X Abdome

Esta parte foi proposta para levar os alunos a relacionarem o comportamento das bexigas internas da garrafa pet com o comportamento dos pulmões e o comportamento da bexiga externa com o do diafragma.

Os alunos A1, A4, A7, A10 e A11 fizeram a relação de maneira correta. Os alunos A2, A3, A9 e A13 relacionaram os balões internos com os pulmões, mas não relacionaram os balões externos com o diafragma. Já os alunos A5 e A6 relacionaram o funcionamento do diafragma com o do balão externo, mas não descreveram qualquer semelhança dos balões internos da garrafa com os pulmões. Apesar de estarem parcialmente corretos, eles conseguiram construir um modelo explicativo que apesar de incompleto, está

coerente com o modelo conceitual. Ao contrário destes, o aluno A8 não estabeleceu uma relação correta entre as partes e o funcionamento do material fornecido com os órgãos e o funcionamento do sistema fonatório. Por fim, o aluno A12 respondeu corretamente, mas depois inverteu as respostas, respondendo incorretamente.

4.5. Quinta Etapa - Conclusão

Para encerramento da atividade, os alunos foram orientados a explicar novamente como se dava o processo de produção da voz, mas agora utilizando os conceitos adquiridos ou não com a realização da atividade. O objetivo dessa etapa foi verificar qual modelo explicativo os alunos construíram sobre o processo de produção da voz e comparar esse modelo explicativo com aquele externado no início da atividade para verificarmos se a atividade contribui ou não para a construção ou evolução de um modelo explicativo mais elaborado e coerente com o modelo científico. Estão listadas na tabela 2 os termos presentes nas respostas dadas pelos alunos na conclusão da atividade.

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	A13
Produção de som	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Passagem de ar		X	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X
Laringe			X								X		
Faringe									X				
Movimento das pregas vocais			X	X	X	X	X		X	X	X	X	X
Vibração			X	X	X		X	X	X		X	X	
Respiração				X									
Diafragma				X	X	X	X			X			
Pulmões						X	X		X				X
Pressão na boca								X					

Tabela 2 - Respostas dos alunos sobre fisiologia da voz depois da atividade.

De acordo com a tabela, apenas os alunos A1, A2 e A8 não externaram um modelo explicativo coerente com o científico. O restante dos alunos foi capaz de relacionar de maneira satisfatória as observações feitas nos objetos e relacioná-las com aquelas feitas no corpo humano, levando-os a construir um modelo explicativo completo e coerente com o científico.

Comparando as respostas dadas após a atividade com as respostas dadas antes, percebemos que, em geral, estas últimas são bem mais elaboradas e completas, ao contrário das primeiras, que se limitaram a descrever a produção da voz apenas com a passagem de ar pelas pregas vocais.

5. CONCLUSÃO

De posse das análises acima, podemos afirmar que antes da realização da atividade, os alunos possuíam modelos explicativos incompletos e limitados sobre o processo de produção da voz pelo corpo humano. A análise das respostas dos alunos após a atividade sugere que houve uma evolução no modelo explicativo externado pelos alunos tal que o modelo explicativo apresentado pela maioria dos alunos é coerente com o modelo científico para produção da voz pelo sistema fonatório.

Com base nestes dados, concluímos que a atividade elaborada contribui para promover a aprendizagem significativa de conceitos introdutórios sobre ondas sonoras, usando como recurso uma atividade de observação e manipulação de materiais com uma abordagem contextualizada no corpo humano.

6. REFERÊNCIAS

Bonjorno, José Roberto; Bonjorno, Regina A.; Bonjorno, Valter; Ramos, Clinton Márcico. *Física Fundamental*: volume único. São Paulo: FTD, 1999. 672 p.

Bruner, J. *Uma nova teoria da aprendizagem*. Rio de Janeiro: Bloch, 1966.

Borges, F. C. *Por trás da Fala*. Instituto Ciência Hoje. Disponível em: <<http://cienciahoje.uol.com.br/controlPanel/materia/view/2231>> Acesso em: 04 de agosto de 2009. 2001.

Cruz, Daniel. *Ciência & Educação Ambiental*. Editora Ática. 2003.

Ferrado, Nicolau Gilberto; Penteado, Paulo Cesar Martins; Soares, Paulo Toledo; Torres, Carlos Magno. *Física ciência e tecnologia*: volume único. São Paulo, Moderna, 2001, 665p.

Gobara, S. T. Nascimento, C. S. *Uma introdução para o ensino de ondas sonoras*. In: Atas do XVII Simpósio Nacional de Ensino de Física - XVII SNEF – Maranhão. 2007.

Gobara, S. T. Nascimento, C. S. *De onde vem o som da voz?* In: Atas do VI Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências - VI ENPEC – Bauru. 2005.

Guyton, A. C. *Tratado de Fisiologia Médica*. Rio de Janeiro: Guanabara, 1986

Halliday, D., Resnick, R. *Fundamentos de Física* v.2. Rio de Janeiro: LTC, 1991.

Instituto Ciência Hoje. Disponível em: <<http://cienciahoje.uol.com.br/controlPanel/materia/view>

/2231> Acesso em: 04 de agosto de 2009. 2001.

Johnson-Laird, P. N. *Mental Models*, Cambridge: Cambridge University Press, 1983.

Leal, Ernesto. *Studio Mel*. Disponível em: <<http://www.studiomel.com/18.html>>. Acessado em 04 de agosto de 2009.

Monteiro, F.N; Medeiros, A. *Distorções conceituais dos atributos do som presentes nas sínteses dos textos didáticos: Aspectos físicos e fisiológicos*. IN. Ciência e educação. Bauru: Unesp, n. 2, v.5, 1998.

Moreira, M. A. *Aprendizagem significativa*. Brasília: Editora Universidade de Brasília. 1999.

Moreira M. A., Lagreca, M. C. B. Tipos de Representações Mentais Utilizadas por Estudantes de Física Geral na Área de Mecânica Clássica e Possíveis Modelos Mentais Nessa Área. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, vol. 21, no. 1, Março, 1999.

Okuno, E., Caldas, I. L., Chow, C. *Física para ciências biológicas e biomédicas*. São Paulo: Harbra, 1982.

Tomyjama, Oswaldo. *Câncer de Laringe*. Saúde e Higiene Vocal. Disponível em: <<http://salamedica.com/cancer.php>> Acesso em: 04 de agosto de 2009. 2009.

