



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

CONSTRUÇÃO DE INSTRUMENTOS MUSICAIS ARTESANAIS  
POR ALUNO, PARA AUXILIAR NA APRENDIZAGEM DE  
CONCEITOS FÍSICOS RELACIONADOS ÀS ONDAS  
SONORAS

Gláucia da Silva Maeoca

Campo Grande - MS

Abril de 2012

I



**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



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

CONSTRUÇÃO DE INSTRUMENTOS MUSICAIS ARTESANAIS  
POR ALUNO, PARA AUXILIAR NA APRENDIZAGEM DE  
CONCEITOS FÍSICOS RELACIONADOS ÀS ONDAS  
SONORAS

Gláucia da Silva Maeoca

Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado em Ensino de Ciências da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, como requisito final para a obtenção do grau de Mestre em Ensino de Ciências, sob a orientação da Profa. Dra. Shirley Takeco Gobara.

Campo Grande - MS

Abril de 2012

III

## **Comissão Julgadora:**

---

Prof. Dr. Fernando Cesar Ferreira

---

Profa. Dra. Shirley Takeco Gobara

---

Profa. Dra. Nádia Cristina Guimarães Errobidart

---

Prof. Dr. Rodolfo Langhi

## **AGRADECIMENTOS**

Ao término desta jornada, agradeço a Deus, por ter me dado o dom da vida e aberto as portas para que eu finalizasse mais essa etapa, ao meu marido, por compreender o tempo que precisei dedicar a este trabalho, aos meus pais, por me apoiarem durante todo o curso e à minha orientadora que me guiou durante toda essa pesquisa.

## RESUMO

A pesquisa em ensino de ciências busca, entre outros temas, investigar formas que contribuam para minimizar as dificuldades existentes no ensino e na aprendizagem de ciências. Uma delas é a dificuldade que os alunos têm na aprendizagem dos conceitos de física. Sendo assim, é importante e necessário que haja pesquisas voltadas para essa área, que investiguem propostas alternativas para o ensino de conceitos físicos e que ofereçam aos alunos meios para compreender e construir os conceitos científicos de forma eficaz e mais interessante. Nesse sentido, o presente trabalho de investigação buscou discutir e avaliar a proposta de uma sequência didática, contextualizada por meio da construção, pelos alunos, de instrumentos musicais artesanais, de sopro e de corda, para o ensino e a aprendizagem de conceitos sobre ondas sonoras, em particular o conceito de frequência e amplitude. Trata-se de uma proposta inovadora, baseada nos pressupostos da teoria construtivista piagetiana. A sequência didática foi aplicada em uma classe com alunos do primeiro e segundo ano de uma escola pública de ensino médio. Utilizamos a técnica análise de conteúdo para fazer uma análise qualitativa das informações registradas ao longo do desenvolvimento dessa sequência didática, evidenciando que os alunos foram estimulados a refletirem sobre suas ações, além de contribuir para que eles estabelecessem relações entre as características do instrumento construído e características do som, favorecendo assim a construção do conhecimento.

**Palavras-chaves:** construtivismo, ondas sonoras, instrumento musical de corda, instrumento musical de sopro.

## ABSTRACT

The search in teaching of science see, among other things, investigate ways to will help minimize the difficulties in teaching and learning of science. One is the difficulty the students have in learning physics concepts. Is therefore important and necessary that research for this area, to investigate alternative proposals for the teaching of physics concepts and offer for students ways and means to understand and make scientific concepts effectively and more interesting. The present work discusses the proposal of a didactic sequence context with the blow musical instrument and a stringed musical instrument, to teach concepts about sound waves, in particular the concept of frequency and amplitude. Then, was introduced an innovative proposal for teaching these concepts, based on Piaget's constructivist theory, where we investigated like a didactic sequence context by the construction of the musical instruments handmade has helped the student learning of physics concepts. We concluded that the didactic sequence designed stimulated the students to think about their actions, establishing relationships between characteristics of the instrument construction and characteristics of sound, thereby facilitating the construction of the knowledge.

**Keywords:** constructivism, sound waves, musical instrument strings, woodwind musical instrument.

## SUMÁRIO

<b>1 Introdução</b> .....	1
1.1 Objetivos Gerais.....	5
1.2 Objetivos Específicos .....	5
<b>2 Ondas Sonoras</b> .....	7
2.1 Conceitos Gerais.....	7
2.2 Propagação das ondas sonoras.....	8
2.3 Características das ondas sonoras.....	9
2.4 Interferência e Onda Estacionária.....	11
2.5 Parâmetros fisiológicos do som.....	13
2.5.1 Altura.....	13
2.5.2 Intensidade.....	15
<b>3 Referencial Teórico</b> .....	17
3.1 Epistemologia Genética de Jean Piaget.....	17
3.2 Piaget e o Ensino de Ciências.....	21
<b>4 Revisão Bibliográfica</b> .....	23
4.1 Revistas .....	23
4.1.1 Caderno Brasileiro de Ensino de Física.....	23
4.1.2 Revista Brasileira de Ensino de Física.....	24
4.1.3 Ciência e Cultura, Investigação em Ensino de Ciências, Ensaio e Pesquisa em Educação em Ciências.....	25
4.2 Eventos.....	25
4.2.1 Simpósio Nacional de Ensino de Física (SNEF).....	25
4.2.2 Encontro de Pesquisa em Ensino de Física (EPEF) .....	32
<b>5 Análise de Conteúdo</b> .....	34
<b>6 A Pesquisa</b> .....	39
6.1 O Teste Piloto.....	39
6.2 Interpretação dos dados do teste piloto.....	41
6.3 Resultados do teste piloto e implicações na pesquisa.....	54
6.4 Considerações preliminares do teste piloto .....	56
6.5 A sequência Didática Final.....	56
6.6 Interpretação dos Dados da Sequência Didática Final.....	60
<b>7 Conclusão</b> .....	76



<b>8 Referências Bibliográficas.....</b>	<b>78</b>
<b>Apêndices.....</b>	<b>83</b>

## LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 - Sistema de Categorias e indicadores referentes às hipóteses dos alunos em relação ao som durante o teste piloto.....	42
QUADRO 2 - Sistema de Categorias e indicadores referentes às conclusões dos alunos referentes ao som durante o teste piloto.....	43
QUADRO 3 - Sistema de Categorias e indicadores referentes às hipóteses dos alunos sobre o som no instrumento de sopro.....	61
QUADRO 4 - Sistema de Categorias e indicadores referentes às conclusões dos alunos com relação ao som no instrumento de sopro.....	63
QUADRO 5 - Sistema de Categorias e indicadores referentes às conclusões dos alunos referentes ao som no instrumento de corda.....	71

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Representação de uma onda senoidal.....	9
Figura 2 – Representação das camadas sucessivas de ar (C, G, K e O) .....	10
Figura 3 - Representação do movimento do ar dentro do tubo PVC pelo aluno A1.....	50
Figura 4 - Representação do movimento do ar dentro do tubo PVC pelo aluno A2.....	51
Figura 5 - Representação do movimento do ar dentro do tubo PVC pelo aluno A5.....	51
Figura 6 - Representação do movimento do ar dentro do tubo PVC pelo aluno A6.....	52
Figura 7 – Representação da Flauta Pan.....	58
Figura 8 – Representação do Violopão de caixa de papelão.....	59
Figura 9 – Fotografia da Flauta Pan construída pelo grupo 2.....	70
Figura 10 – fotografia do Violopão construído pelo grupo 5.....	74
Figura 11 – Marcação das notas musicais no Violopão.....	74

## LISTA DE ABREVIATURAS

**P:** Fala da pesquisadora transcrita

**A:** Fala do aluno

## 1 INTRODUÇÃO

Um dos principais meios para proporcionar uma melhoria no ensino e aprendizagem de ciências, seja para alunos do ensino médio ou graduação, é a pesquisa nessa área.

A pesquisa em ensino de ciências busca, entre outros temas, investigar formas que contribuam para minimizar as dificuldades existentes no ensino e na aprendizagem de ciências nos seus diferentes níveis de ensino. Uma delas é a dificuldade que os alunos têm na aprendizagem de conceitos de física. Por isso a importância de pesquisas que investiguem propostas alternativas para o ensino de conceitos físicos e que ofereçam aos alunos meios que lhes permitam compreender e construir os conceitos científicos de forma eficaz e mais interessante. De acordo com Rezende e Ostermann (2005), os professores encontram dificuldades em relacionar o conteúdo teórico com fenômenos do cotidiano. De fato, “a pesquisa em ensino contribui fortemente para a inovação metodológica com propostas inovadoras teoricamente fundamentadas” (REZENDE e OSTERMANN, 2005, p. 325). O presente trabalho se insere dentro dessa problemática e nessa perspectiva.

As pesquisas em ensino de ciências evidenciaram que o aluno muitas vezes possui ideias prévias sobre determinado conceito, que não estão cientificamente corretas, e que nem sempre é possível tirá-las, elas podem permanecer e conviver juntas, cada qual sendo usada em contextos apropriados (MORTIMER, 1996). Como por exemplo, no estudo sobre a aprendizagem de ondas sonoras, conteúdo de interesse dessa pesquisa, Diogo e Gobara (2008), usando um ambiente virtual, mostraram que os alunos acreditavam que o som é uma substância que se propaga com o ar e que transporta matéria, resultado esse já mostrado na literatura.

As pesquisas também mostram que os alunos continuam desmotivados e apresentam muitas dificuldades para aprender conceitos físicos, em particular os conceitos relacionados às ondas sonoras. Propostas e metodologias alternativas para ensino e aprendizagem de ondas sonoras ainda são poucas.

Apresentar o conteúdo de forma interessante, mesmo com todo o aparato tecnológico disponível, não é suficiente para que o aluno aprenda, é necessário também que ele esteja preparado para assimilar determinado tipo de conhecimento. Para isso, estudos são realizados a fim de investigar o que é necessário para que o aluno possa se apropriar dos conhecimentos científicos.

Buscando minimizar a dificuldade que o aluno enfrenta em apreender, em particular os conceitos de ondas sonoras, elaboramos uma sequência didática utilizando como estratégia de aprendizagem a construção de um instrumento musical de sopro e um de corda, ambos artesanais e de baixo custo, a fim de estimular o desenvolvimento da capacidade de abstração do aluno e auxiliá-lo na aprendizagem de conceitos físicos relacionados às ondas sonoras, em particular os conceitos de frequência e amplitude. Esses conceitos foram escolhidos porque acreditamos que são os conceitos chaves, ou conceitos básicos para o estudo de ondas sonoras, pois a assimilação deles favorece e requer dos alunos certo grau de abstração. Além disso, a utilização de instrumentos musicais é muito favorável para o estudo do som. Conforme afirma Cançado et. al. (2007), a utilização de recursos visuais, simulações e experiências favorecem o desenvolvimento da abstração no aluno.

A sequência didática que propomos não possui como fundamento o conhecimento da teoria ou habilidade musical, ou seja, não é necessário que, ao construir o instrumento musical, o aluno saiba tocar algum instrumento desta natureza, ou que conheça a teoria musical, visto que o objetivo da proposta é a aprendizagem de conceitos da física.

A escolha do conteúdo *onda sonora* surgiu também do interesse que a pesquisadora tem na área musical, particularmente no estudo e execução de músicas clássicas. Além desse tema ser também de interesse do Grupo de Pesquisa em Ensino de Ciências - GINPEC, dado que o conteúdo de ondas sonoras está praticamente ausente no ensino médio (JARDIN, ERROBIDART e GOBARA, 2011). Com esse trabalho, buscamos associar a física com a música ao propor a utilização dos instrumentos musicais como contexto para a aprendizagem de conceitos de física. Entretanto, não foi objetivo desta pesquisa trabalhar a habilidade de tocar um instrumento musical, a relação física e música foi explorada apenas na construção do instrumento musical com a discussão dos conceitos físicos presentes.

A pesquisa foi fundamentada na teoria epistemológica de Jean Piaget. De acordo com essa teoria, o conhecimento não reside nas estruturas do sujeito, nem no objeto, e sim na interação entre eles (BECKER, 2003). A interação acontece no mundo das relações entre sujeito e objeto, e para que haja aprendizagem, é necessário que o sujeito interaja com o objeto. Ele age sobre o objeto (aquilo que se vai conhecer), e essa ação deverá ser levada à sua consciência por meio de situações de desequilíbrios e reequilíbrios decorrentes dessa ação, mediada pelo professor. O que for generalizável nessa ação, que será reutilizado na solução de novos problemas e que não estava previsto nas ações que geraram a primeira ação,

é chamado de esquema. Ao agir sobre o objeto, o sujeito tenta transformá-lo para encontrar o que procura, ocorre então a assimilação. Porém, ao tentar isso, o objeto oferece-lhe resistência, sendo então necessário que o sujeito transforme a si mesmo para melhorar sua capacidade de assimilação, ou seja, melhorar a capacidade de incorporar objetos da cognição à sua estrutura cognitiva.

Ao se deparar com um problema, o objeto tem a função de provocar o sujeito de tal forma que o leve a certo desequilíbrio cognitivo, pois os esquemas que ele tem não o permite resolver a situação. Portanto, é necessário que ele interaja com o objeto para construir a solução e despertar o interesse para achar a resposta que procura (BECKER, 2003).

Baseados nessas ideias utilizamos um instrumento musical de sopro e um de corda para auxiliar os alunos a construírem novos esquemas de assimilação para os conceitos relacionados às ondas sonoras. As ações dos alunos foram mediadas pelo professor por meio de uma sequência didática, elaborada para proporcionar as interações dos alunos com os objetos de conhecimentos.

Durante toda a sequência didática, os alunos fizeram observações e responderam algumas questões que foram colocadas durante o processo de construção dos instrumentos. Nessas observações, surgiram dúvidas que levaram os alunos a refletirem sobre suas ações para respondê-las.

Desta forma, a presente pesquisa teve por objetivo investigar como uma sequência didática, contextualizada pela construção de instrumentos musicais artesanais, auxilia o aluno na aprendizagem de conceitos físicos relacionados às ondas sonoras.

Verificamos na literatura que algumas pesquisas (LOPES, BELLAN e TAGLIATI, 2005) usaram instrumento musical para abordar conceitos de frequência, amplitude e comprimento de onda, mas não se preocuparam em investigar a apropriação desses conceitos, apresentando apenas as consequências desses fenômenos sobre uma determinada nota musical quando tocada.

Este trabalho, ao propor a construção de instrumentos musicais pelos alunos, para facilitar a aprendizagem desses conceitos físicos, pode ser considerado inovador porque rompe com o modelo de aprendizagem baseada na transmissão de conhecimento. Os alunos são solicitados a construírem instrumentos musicais artesanais, e por meio da interação com os objetos de conhecimento, e com os seus colegas, passam a discutir os conceitos físicos

relacionados ao funcionamento desses instrumentos, orientados pela sequência didática e pelo professor.

Segundo Pugliese e Zanetic (2007), a forma tradicional de ensino de física, fundamentada basicamente em transmissão de equações e algumas demonstrações experimentais, não é suficiente para esclarecer as várias dimensões das ciências físicas. Outras dimensões, como temas da história da física, diferentes modelos epistemológicos e a relação do conteúdo da física com outras áreas do conhecimento podem atrair o aluno para o estudo da física.

Por isso, associar a física com algum aspecto da música traz ao aluno um leque de possibilidades de aprendizagem, pois cada detalhe no instrumento musical tem uma função para a produção da onda sonora, que pode ser trabalhado tanto no olhar da física quanto no olhar da música. Construí-lo envolve tanto habilidade motora quanto capacidade de abstração em relação ao conhecimento pretendido, e, em alguns momentos, até mesmo a criatividade.

Utilizar a interdisciplinaridade física-música para abordar conceitos relacionados à física ondulatória já foi discutido por Conceição et. al. (2007). Eles acreditam que com a relação física-música é possível que os alunos resolvam situações que ainda não foram trabalhadas. Assim, acreditamos que a proposta que elaboramos é uma alternativa diferenciada de ensino desses conteúdos, que estimula o aluno a querer aprender física, utilizando para isso o que gostamos de ouvir: o som produzido por um instrumento musical.



## **1.1 Objetivos Gerais**

Investigar como uma sequência didática contextualizada pela construção de instrumentos musicais artesanais auxilia o aluno na aprendizagem de conceitos físicos relacionados às ondas sonoras.

## **1.2 Objetivos Específicos**

Elaborar um roteiro inserido numa sequência didática para o aluno construir um instrumento musical de sopro e um de corda.

Verificar como o aluno constrói o conceito de frequência, amplitude e comprimento de onda e como explica os fenômenos físicos sonoros associados ao instrumento construído.

## **1.3 Organização do trabalho**

Iniciamos o trabalho com o estudo das ondas sonoras, visto que esse conteúdo é o foco de estudo da nossa pesquisa. No capítulo 2, discutimos alguns conceitos físicos relacionados às ondas sonoras e que foram utilizados no decorrer da pesquisa. Para isso, definimos o que é onda sonora, assim como suas características físicas: amplitude, comprimento de onda e frequência. Em seguida, discutimos o fenômeno da interferência para depois diferenciar as características físicas e fisiológicas do som.

Escolhemos como referencial teórico a teoria construtivista piagetiana para a elaboração da sequência didática e para interpretação dos resultados. No capítulo 3, descrevemos de forma sucinta a teoria construtivista piagetiana. Apresentamos os principais conceitos dessa teoria: interação sujeito-objeto, assimilação e acomodação, equilíbrio, noção de reversibilidade, transitividade e conservação. Todos esses conceitos foram utilizados na interpretação dos dados. No final do capítulo, apresentamos como Piaget e alguns autores se posicionam em relação à sala de aula, como é uma prática pedagógica construtivista.

Usamos a técnica análise de conteúdo para coletar os dados e retirar das falas dos alunos frases que evidenciassem a ideia central dos discursos. No capítulo 5, descrevemos a técnica análise de conteúdo segundo Bardin (2009), como deve ser utilizada, o que oferece ao pesquisador e como os dados devem ser coletados e analisados.

No capítulo 4, fizemos um levantamento bibliográfico com o objetivo de verificar se existem trabalhos similares ao que propusemos realizar, além de verificar como foram utilizados os instrumentos musicais para o ensino de física. Dessa forma, apresentamos um breve resumo de cada artigo encontrado na literatura para evidenciar como foi trabalhado o assunto som.

No capítulo 6, descrevemos detalhadamente todo o desenvolvimento da pesquisa. Inicialmente, discutimos a elaboração e os resultados do teste piloto, depois discutimos a aplicação da sequência didática em sala de aula. Nesse capítulo, apresentamos os dados coletados, estabelecemos as categorias de análise e, a partir destas, analisamos como os alunos construíram os conceitos frequência e amplitude. Finalmente, apresentamos no capítulo 7 as conclusões e as possibilidades de continuidade do estudo em questão.

## 2 ONDAS SONORAS

Neste capítulo, buscamos discutir alguns conceitos físicos relacionados às ondas sonoras e que serão utilizados no decorrer da pesquisa. Iniciamos com a definição de onda sonora e suas características físicas: amplitude, comprimento de onda e frequência, em seguida, discutimos o fenômeno da interferência para, por fim, fazer um paralelo das características físicas com as características fisiológicas do som.

### 2.1 Conceitos Gerais

Quando tocamos algum instrumento musical, exceto instrumentos eletrônicos, todo o corpo do instrumento começa a vibrar. É exatamente essa vibração que produz o som que ouvimos desse instrumento. O movimento vibratório consiste num movimento que se repete com o passar do tempo. É o movimento relacionado ao fenômeno sonoro. Uma onda é uma oscilação que depende do espaço e do tempo.

Dessa forma, o som é produzido sempre por algo que está vibrando. No caso dos instrumentos de corda, o som é produzido pela vibração das cordas e em alguns instrumentos de sopro, pela vibração de uma coluna de ar.

Em cada um desses casos a vibração original estimula a vibração de algo maior e mais massivo, tal como a caixa de ressonância de um instrumento de corda, a coluna de ar em um instrumento de sopro ou palheta ou o ar no interior da boca e da garganta de um cantor. Este material vibrante, então, envia uma perturbação através do meio circundante, normalmente o ar, em forma de ondas longitudinais. Sob condições ordinárias, as frequências da fonte de vibração e do som produzido são as mesmas (HEWITT, 2002, p. 345).

Partindo desse pressuposto, o som é uma onda, ou seja, é uma onda sonora; é uma vibração, portanto uma perturbação, que se propaga no espaço e no tempo. A propagação do som só é possível se existir um meio material, seja ele sólido, líquido ou gás. Assim, o som é uma onda que precisa de um meio material para se propagar, e as partículas que formam esse meio material, à medida que o som se propaga, realizam um movimento oscilatório.

O movimento ondulatório pode ser mais facilmente compreendido considerando-se primeiro uma corda distendida horizontalmente. Se uma das extremidades da corda é sacudida para cima e para baixo, uma perturbação rítmica se propaga através da corda. Cada partícula que forma a corda se movimenta para cima e para baixo, enquanto ao mesmo tempo a perturbação move-se ao longo da extensão da corda. O meio, ou seja, a corda ou o que for, retorna a sua condição inicial após a perturbação

ter passado. O que é propagado pela corda é a perturbação, e não o próprio meio (HEWITT, 2002, p. 333).

Portanto, a onda não transporta matéria e sim a vibração da fonte, ou seja, o que é transportado de um lugar para o outro é a perturbação do meio, e não o próprio meio. Cada partícula que forma o meio material realiza um movimento oscilatório, porém, depois que a perturbação passa, o meio retorna a sua condição inicial.

Se você olhar para um campo com capim alto a partir de uma posição elevada, em um dia ventoso, verá ondas se propagando através do capinzal. As hastes individuais de cada capim não saem de seus lugares; ao invés disso, elas balançam para lá e para cá [...] Enquanto continua o movimento ondulatório, o capim alto balança para frente e para trás, vibrando entre limites bem definidos e não indo além. Quando cessa o movimento ondulatório, o capim retorna a sua posição inicial (HEWITT, 2002, p. 333).

**As ondas sonoras** são denominadas ondas mecânicas porque elas se propagam através de um meio material. Diferentemente da luz, que é uma onda eletromagnética, as ondas sonoras não podem se propagar no vácuo.

## 2.2 Propagação das ondas sonoras

Quando uma fonte emite um som, as moléculas do ar que estão perto da fonte são comprimidas. Estas, por sua vez, comprimem as moléculas seguintes, ficando uma região rarefeita. Se não houver nada para comprimir ou expandir, ali não pode existir som algum.

A perturbação provocada pela fonte sonora faz com que um pequeno segmento de ar vibre para frente e para trás, mas sem deslocamento contínuo do ar na direção do percurso da onda sonora. Ao observar um pequeno segmento de moléculas de ar, e acompanhar seu comportamento durante um determinado intervalo de tempo, o espaço físico por ele ocupado durante a propagação do som será o mesmo que ocupava antes da geração da onda sonora, ou seja, esse segmento de ar permanece, após a extinção da onda, praticamente no mesmo lugar. É a sucessão de compressões (ou rarefações) das camadas de ar que fará com que o som se propague, e não a locomoção das camadas de ar na atmosfera (HEWITT, 2002).

Por exemplo, quando uma corda de violão é acionada, a vibração produz alternadamente compressões e rarefações do ar, ou seja, produz variações de pressão que se propagam através do meio, no caso, o ar.

É possível representar graficamente a propagação de uma vibração no espaço por meio da oscilação do prumo de um pêndulo, que oscila para a direita e para esquerda, enquanto um

copo deixa cair areia sobre uma esteira rolante abaixo dele. O copo (pêndulo) deve se movimentar com velocidade constante, dessa forma a areia que cai acaba traçando uma curva especial na esteira, chamada senóide. Essa curva representa a oscilação do pêndulo se propagando no espaço, conforme mostra a figura 1.

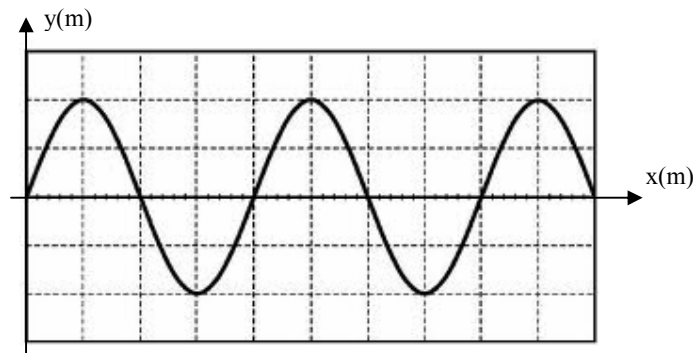


Figura 1 – Representação de uma onda senoidal.

A senóide é a representação gráfica de uma onda. Os pontos mais altos são chamados *crista* e os pontos mais baixos *ventres (ou vales)*. O eixo na horizontal (eixo x) da figura 1 representa a posição zero, ou o ponto médio da oscilação. É em torno desse ponto que ocorre a vibração, ou seja, a mesma distância que o pêndulo se move para a direita é igual à esquerda.

### 2.3 Características das ondas sonoras

As características das ondas sonoras estão relacionadas com medidas físicas que diferenciam uma onda da outra. Dentre elas estão: a amplitude, o comprimento de onda e a frequência, que discutiremos adiante.

A onda sonora é denominada **onda longitudinal**, porque as moléculas constituintes do meio oscilam ligeiramente em torno de uma posição de equilíbrio, aproximando e se afastando umas das outras, de forma alternada, na mesma direção de propagação da perturbação.

A amplitude está relacionada à distância entre o ponto médio da vibração e a crista ou o vale da onda, portanto, sua unidade de medida é de distância. A amplitude é igual ao afastamento máximo no topo da crista ou no ponto mais baixo do vale em relação ao equilíbrio (HEWITT, 2002).

Conforme visto, a onda sonora surge com a vibração das moléculas do meio no qual a onda se propaga, e a distância da posição de equilíbrio dessas moléculas até seu deslocamento máximo ou mínimo é a amplitude. Podemos relacionar a amplitude com a distância entre os picos máximos (cristas) ou mínimos (vales) de pressão, ao longo do tempo, em um determinado ponto fixo do espaço, até a posição de equilíbrio. A unidade de amplitude de uma onda sonora no SI é  $N/m^2$ , sendo o limite de audibilidade uma amplitude entre  $0,00002 N/m^2$  a  $200 N/m^2$ .

Para o caso da onda sonora se propagando no ar, vamos considerar o ar atmosférico composto de várias camadas de ar, (C, G, K e O), em que as letras representam apenas camadas sucessivas de ar, sem relação nenhuma com a camada atmosférica, conforme mostra a figura 2.

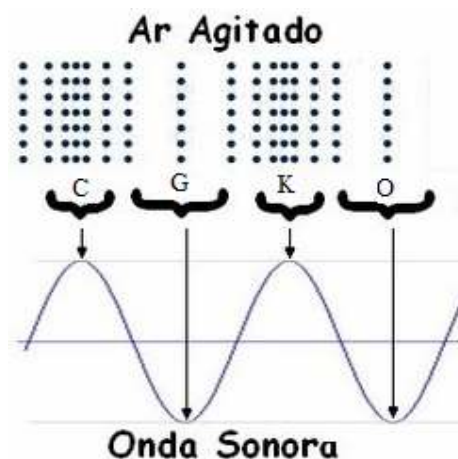


Figura 2 – Representação das camadas sucessivas de ar (C, G, K e O)<sup>1</sup>.

Quando a onda sonora se propaga pelo ar, as camadas de ar não são arrastadas, não se propagam com a onda, correspondendo assim a um deslocamento zero. As camadas C e K permanecem exatamente no mesmo lugar por serem comprimidas simultaneamente pelas camadas adjacentes. Nesse momento, a pressão das camadas de ar atinge seu pico máximo, que corresponde ao deslocamento máximo da onda: a crista (pontos C e K). Já em relação aos pontos G e O, as camadas não se mobilizam pelo motivo inverso: não sofrem praticamente nenhuma pressão, pelo fato de as camadas adjacentes se afastarem desses pontos em direção

---

<sup>1</sup> Disponível em :< [http://www.fonologia.org/acustica\\_osom\\_1.php](http://www.fonologia.org/acustica_osom_1.php) > Acesso em 25/4/2012.

oposta. Nesse momento, a pressão é mínima, correspondendo aos pontos negativos mais pronunciados da curva: o vale (HEWITT, 2002).

A distância de uma crista a outra, ou de um vale a outro, é denominada **comprimento de onda** e em geral representada pela letra grega  $\lambda$  (lambda).

O comprimento de onda de uma determinada onda é a distância que vai de uma crista a outra adjacente. Ou, equivalentemente, o comprimento de onda é a distância entre quaisquer duas partes idênticas e sucessivas da onda (HEWITT, 2002, p. 331).

Para uma onda sonora, a menor distância entre duas regiões em que o ar está simultaneamente comprimido corresponde ao seu comprimento de onda ( $\lambda$ ).

A outra característica de uma onda é a **frequência**, que especifica o número de oscilações ou vibrações realizadas por unidade de tempo, ou seja, quantas oscilações ocorrem em 1 segundo ou 1 minuto, etc. A unidade da frequência no SI é hertz (Hz), em que 1 Hz equivale a uma vibração por segundo.

## 2.4 Interferência e Ondas Estacionárias

A onda pode ocupar o mesmo espaço físico que outra onda, ou seja, duas ondas podem estar presentes no mesmo local e duas ou mais ondas podem se combinar em um ponto do meio, isto é, elas podem se superpor. Quando duas cristas (ou vales) se encontram ocorre uma interferência construtiva, ou seja, a amplitude da onda resultante será a soma da amplitude de cada uma das ondas. Quando a crista de uma onda encontra o ventre de outra ocorre uma interferência destrutiva, ou seja, a onda resultante terá amplitude nula.

Enquanto que um objeto material, como uma rocha, não compartilha seu espaço com outro, mais de uma onda ou vibração pode existir simultaneamente no mesmo espaço. Se deixarmos cair duas pedras na água, as ondas geradas por cada uma delas podem se superpor e formar assim um padrão de interferência. Nesse padrão, os efeitos ondulatórios podem se reforçar, se enfraquecer ou mesmo neutralizar-se (HEWITT, 2002).

No caso das ondas sonoras, ao se propagarem até o ouvido, não interferem entre si, ou seja, a onda sonora será propagada até o ouvido da mesma maneira, quer seja ou não acompanhada por outras ondas concomitantes. Porém, quando as ondas atingem simultaneamente o ouvido, ocorre interferência (MENEZES, 2003).

Um efeito interessante ocorre quando há interferência destrutiva, ambos os sons existem e estão sendo gerados, porém o ouvido ou o microfone não captam nenhum som. Ambos os sinais continuam existindo na atmosfera, mas não são percebidos pelo ouvido que se situa nesse exato local onde há interferência destrutiva (MENEZES, 2003).

Quando uma interferência permanece fixa numa região do espaço podemos obter uma onda estacionária, ou seja, em determinados locais haverá sempre interferência construtiva e em outras regiões do espaço interferência destrutiva.

Se fixarmos uma corda a uma parede e sacudirmos sua extremidade livre repetidamente para cima e para baixo, produziremos um trem de ondas na corda. A parede é rígida demais para vibrar, de modo que as ondas são refletidas nela, voltando pela corda. Sacudindo a corda de maneira apropriada, fazemos com que as ondas incidentes e refletidas na parede se superponham para formar uma onda estacionária, em que partes da corda, denominadas nodos, são estacionárias (HEWITT, 2002).

Assim, numa onda estacionária teremos pontos em que o meio material não vibra, formando-se regiões estáveis de interferência destrutiva, esses pontos são chamados nodos.

As ondas estacionárias resultam da interferência. Quando duas ondas com mesma amplitude e mesmo comprimento de onda passam uma pela outra em sentidos opostos, elas estão constante e alternadamente em fase e fora de fase. Isso ocorre com uma onda que é refletida sobre si mesma (HEWITT, 2002).

Nos instrumentos musicais, essas ondas são formadas quando a corda do instrumento musical é tangida, percutida ou posta a vibrar por um arco, nos instrumentos de sopro, as ondas estacionárias se formam no ar que está no interior do tubo. O comprimento dela está relacionado com a frequência: se a frequência dobrar, seu comprimento se reduzirá à metade do comprimento da onda original, se a frequência triplicar, o comprimento se reduzirá a um terço do comprimento da onda original.

Quando batemos em um material de madeira e em outro de metal, percebemos que eles emitem sons diferentes. Isso ocorre porque cada material vibra com seu próprio conjunto de frequências particulares. Todas essas frequências formam o som do objeto, ou seja, elas são frequências naturais do objeto, que dependem da elasticidade, da forma do objeto etc. O mesmo ocorre nos tubos e nas cordas, elas também possuem ondas com um conjunto de frequências naturais, nesse caso essas ondas serão ondas estacionárias.



## **2.5 Parâmetros Fisiológicos do Som**

A música apresenta uma linguagem própria, capaz de dizer quais notas devem ser tocadas, assim como sua duração. Associada com essa linguagem vem a escrita musical, um conjunto de símbolos com significações próprias.

Quando ouvimos ou executamos uma composição dificilmente ficamos analisando ou medindo quais frequências estão sendo produzidas, ou por quanto tempo cada uma está sendo tocada, apenas apreciamos e sentimos a arte musical. Dessa forma, quando o assunto é som, aquilo que sentimos pode descrever algumas de suas características, como por exemplo o volume e a intensidade do som. É exatamente essa percepção musical que auxilia o aluno a estabelecer relações entre as características do instrumento musical e o som produzido.

Na física existem os aspectos físicos da onda sonora: comprimento de onda, amplitude e frequência, aquilo que é mensurável, que caracteriza uma onda. Na música existem os aspectos fisiológicos da onda sonora, que não são mensuráveis e só fazem sentido para a onda sonora em particular. Os aspectos fisiológicos do som são: altura, intensidade, duração e timbre. Discutiremos neste capítulo apenas a altura e a intensidade, visto que apenas esses aspectos foram trabalhados em sala de aula, com os alunos, durante a pesquisa.

### **2.5.1 Altura**

A altura está associada com a percepção da frequência pelo ouvido, se um som tiver sua frequência alterada de forma mínima, o ouvido é capaz de perceber. A altura está associada a uma sensação fisiológica, não é mensurável, apenas a frequência é uma grandeza mensurável e objetiva. Podemos dizer que a altura é subjetiva, pois como afirma Menezes (2003, p.99):

Enquanto resposta de um indivíduo a um tipo de vibração sonora, a percepção da altura é algo que se dá no sujeito e de forma essencialmente subjetiva. Nada garante que dois indivíduos respondam exatamente da mesma forma ao mesmo estímulo ou sinal sonoro. E tal relatividade estende-se até mesmo aos nossos dois ouvidos: mesmo quando um som puro de frequência e amplitude fixas é apresentado de modo alternado aos ouvidos esquerdo e direito de uma mesma pessoa, a sensação da altura em ambos os ouvidos pode variar em até meio-tom!

Dessa forma, cada pessoa tem uma sensação diferente em relação à altura do som. Quando mudamos a frequência de um som, a percepção na mudança da altura não é a mesma. O fato de associarmos a frequência com a altura não significa que ambas sejam iguais.

A frequência está associada à incidência vibratória no tempo, enquanto que a altura relaciona-se muito mais com a localização espacial dessa mesma percepção num registro sonoro em que as relações periódicas não conseguem mais ser discriminadas de modo consciente por nosso entendimento ou juízo auditivo, sendo amalgamadas numa única sensação de um som, grosso modo, grave, médio ou agudo (MENEZES, 2003, p. 99).

Na área da música, cada nota de um instrumento corresponde a uma frequência. As notas mais agudas do instrumento musical são aquelas de frequência mais alta (notas altas), já as notas mais graves do instrumento musical são aquelas de frequência mais baixa (notas baixas). Assim, a altura do som é caracterizada em termos de sua posição em uma escala musical. A classificação do som em grave ou agudo é feita pelos ouvidos.

Quando consideramos as notas musicais, tem-se sempre a mesma razão para o mesmo intervalo musical. Se considerarmos um intervalo musical de oitava, teremos como fator a razão 2:1 ou 1:2, independentemente de sua localização nas alturas, ou na escala. Assim, quando tocamos duas notas que formam uma oitava na região grave, o intervalo de altura será o mesmo se a tocarmos na região do agudo, porém o intervalo de frequência não será o mesmo. Como exemplo, poderíamos tocar duas notas graves de frequência 50Hz e 100Hz e depois o mesmo intervalo de oitavas numa região mais aguda, uma nota de 500Hz e 1000Hz. Note que o intervalo de altura é o mesmo, porém o intervalo de frequência não: na primeira oitava o intervalo é 50Hz e na segunda oitava é 500Hz. Assim, a relação entre a frequência do som e a altura não é linear (MENEZES, 2003).

Para alterar o valor da frequência da onda sonora em um instrumento musical, alguns parâmetros físicos devem ser modificados. No caso de um instrumento de corda, é possível alterar a frequência mudando a espessura, a tensão ou o comprimento dos fios, já em instrumentos de sopro pode-se alterar o comprimento da coluna de ar em vibração ou abrir e fechar pequenos furos que existem nesse tipo de instrumento.

Há diversas maneiras com as quais se pode fazer a vibrar colunas de ar. Em instrumentos de bronze tais como os trompetes, trompas e trombones, as vibrações dos lábios do instrumentista interagem com as ondas estacionárias que se estabelecem por causa da reflexão na extremidade do instrumento, que se alarga para fora na forma de um sino. Os comprimentos das colunas de ar vibrante são manipulados apertando-se válvulas, que adicionam ou subtraem segmentos extras às

colunas, ou estendendo-se os comprimentos dos tubos. Em instrumentos de sopro feitos de madeira, tais como clarinetas e oboés, uma corrente de ar que é soprada pelo músico faz vibrar uma palheta, ao passo que em pífaros, flautas e flautins o músico sopra o ar contra a borda de um buraco para gerar um fluxo flutuante que põe a coluna de ar em vibração (HEWITT, 2002, p. 363).

Existem relações entre a variação desses parâmetros do instrumento e a variação da frequência do som. Dessa forma, buscamos inserir na sequência didática meios que possibilitassem ao aluno alterar alguns desses parâmetros no instrumento e verificar como a frequência era alterada.

No caso de tubos com uma das extremidades fechadas, Halliday, Resnick e Krane (1992) mostram a equação que relaciona a frequência da onda estacionária formada no tubo e o comprimento do tubo da seguinte forma:

$$v_n = n \frac{v}{4L} \quad n = 1,3,5... \quad (1)$$

Sendo  $v_n$  a frequência de ressonância no tubo,  $n$  o número de harmônicos,  $v$  a velocidade de propagação da onda dentro do tubo e  $L$  o comprimento do tubo.

Para uma corda fixa em ambas as extremidades, Halliday, Resnick e Krane (1992) mostram a equação que relaciona a frequência da onda estacionária formada na corda e o comprimento da corda da seguinte forma:

$$v_n = n \frac{v}{2L} \quad n = 1,2,3... \quad (2)$$

Sendo  $v_n$  a frequência de ressonância na corda,  $n$  o número de harmônicos,  $v$  a velocidade de propagação da onda na corda e  $L$  o comprimento da corda.

## 2.5.2 Intensidade

Intensidade não é o mesmo que amplitude, a amplitude é uma medida física da onda, já a intensidade é um parâmetro que depende do ouvinte. A amplitude da onda está associada com sua energia, que é transferida para o tímpano do ouvinte. A razão dessa transferência de energia para o tímpano depende da área de impedância do tímpano, o que muda de pessoa para pessoa, fazendo com que cada pessoa perceba a intensidade do som de forma diferente, tornando-a assim uma grandeza subjetiva (MENEZES, 2003).

Assim, em relação ao som, a amplitude está relacionada com a intensidade ou volume. “A intensidade do som é um atributo físico e puramente objetivo de uma onda sonora e pode ser medido por diversos instrumentos acústicos. O volume do som, por outro lado, é uma sensação fisiológica” (HEWITT, 2002, p.361).

Quando analisamos em termos da variação de pressão que surge no ar ao se propagar uma onda sonora, a amplitude é “o tanto de alteração positiva e negativa na pressão atmosférica, que corresponde às compressões e rarefações das moléculas de ar durante a vida (propagação) do som” (MENEZES, 2003, p. 29).

Um som senoidal, de amplitude constante, por exemplo, deveria ter também sua intensidade constante para qualquer valor de frequência, porém não é isso que ocorre. A intensidade de um som senoidal depende tanto de sua frequência quanto de sua amplitude (MENEZES, 2003).

O ouvido sente algumas frequências melhores do que outras. Um som de 3.500 Hz soa a 80 decibels, por exemplo, cerca de duas vezes mais forte para a maioria das pessoas do que um som de 125 Hz a 80 decibels; os humanos são mais sensíveis na faixa dos 3.500 Hz. (HEWITT, 2002).

Assim, o fato de os alunos confundirem o conceito de frequência com amplitude, conforme será relatado no capítulo 6, surge porque os sons agudos realmente aparentam volume maior. Fica difícil, em alguns casos, mostrar ao aluno a diferença entre amplitude e frequência utilizando apenas as notas musicais. Neste caso, o uso do computador poderá auxiliar na diferenciação desses dois conceitos.

### **3 REFERENCIAL TEÓRICO**

Escolhemos a teoria construtivista piagetiana conforme o objetivo traçado nesta pesquisa: investigar como uma sequência didática contextualizada pela construção de instrumentos musicais artesanais auxilia o aluno na aprendizagem de conceitos físicos relacionados às ondas sonoras.

Visto que essa pesquisa teve como foco o processo da construção dos conceitos frequência e amplitude, e não apenas a etapa inicial e final da aplicação da sequência didática, alguns pressupostos da teoria de Piaget nos auxiliaram na análise dos dados coletados nesta pesquisa. Essa teoria de aprendizagem forneceu o suporte para estudarmos o processo de aprendizagem desses conceitos por meio da sequência utilizada.

#### **3.1 Epistemologia Genética de Jean Piaget**

Em suas pesquisas, Piaget buscou conhecer a origem do conhecimento, sua gênese, e como esse conhecimento se desenvolve com o tempo, ou seja, como um conhecimento menor se torna mais rico e mais complexo. Ele foi um epistemólogo genético devido a sua preocupação em descrever o surgimento do conhecimento no ser humano e a evolução desse conhecimento.

A ideia de Piaget sugere que o conhecimento não está no sujeito (visão inatista) e nem no objeto, ou meio (visão empirista), e sim que surge da interação entre ambos. Isto é, por meio da interação entre sujeito e objeto o conhecimento é construído na mente do sujeito. Com isso, o conhecimento deixa de ser uma cópia do real, ou uma cópia do objeto, e passa a depender da ação do sujeito sobre o objeto, a ação passa a ser essencial na construção do conhecimento. Piaget afirma que:

[...] o conhecimento não procede, em suas origens, nem de um sujeito consciente de si mesmo nem de objetos já constituídos (do ponto de vista do sujeito) que se lhe imporiam: resultaria de interações que se produzem a meio caminho entre sujeito e objeto, e que dependem, portanto, dos dois ao mesmo tempo [...]” (PIAGET, 1990, p.8).

O conhecimento não procede do sujeito nem do objeto, e sim da interação entre eles, ou seja, não se encontra nas estruturas, pois estas resultam de uma construção contínua e efetiva, nem nas características presentes no objeto, pois elas só são conhecidas graças à

mediação necessária dessas estruturas. De acordo com Piaget, só existe conhecimento porque existe um sujeito que conhece e que é o construtor desse conhecimento, viabilizado pela interação sujeito-objeto. A ênfase está na reconstrução dos caminhos pelos quais o indivíduo evoluiu de um estado inicial até um determinado estado atual. O instrumento de troca inicial é a própria ação do sujeito sobre o objeto. A partir dela, o sujeito irá conferir aos objetos percebidos significações próprias, sendo assim, são as ações que permitem ao sujeito perceber o objeto.

Para compreender como o conhecimento surge e se desenvolve na mente do sujeito, é preciso esclarecer como a mente é formada. Segundo Piaget, a mente possui entidades organizadas, formando uma estrutura cognitiva. Poderíamos comparar a estrutura cognitiva com uma rede de pesca e os quadrados que formam essa rede, limitados pela linha da rede, com os esquemas, e dentro desses esquemas (quadrados da rede), haveria um conjunto de ações semelhantes. O conjunto desses esquemas formaria então a estrutura cognitiva. A ação que faz parte de um esquema pode se ligar ou se relacionar a outra ação pertencente a outro esquema. Portanto, dentro da estrutura cognitiva haveria várias relações entre ações e constantes modificações e criações dos esquemas (BECKER, 2003).

O problema central consiste então em saber como se formam, se organizam e como funcionam esses esquemas na estrutura cognitiva, e como estes se desenvolvem, pois o desenvolvimento dos esquemas implica na passagem de um conhecimento menor para um conhecimento maior, mais complexo, e a formação de um esquema novo implica em um conhecimento novo sendo formado.

Os esquemas se referem então a uma classe de sequências de ações semelhantes e são rotulados de acordo com o tipo de ação associada à sequência dessas ações, são sempre referentes a um todo organizado, englobando também aspectos operacionais (BECKER, 2003).

O conhecimento consiste na construção de esquemas adequados para interpretar a realidade, e os mecanismos de construção desses esquemas são tão importantes como os próprios esquemas prontos. Mas essa realidade depende do modo como a informação proveniente do mundo exterior é interpretada pelo indivíduo: depende dos esquemas que o sujeito possui; conforme seus esquemas a interpretação da realidade pode assumir várias formas (PIAGET, 1967).

Como o conhecimento não é uma cópia do real, o que viria a ser, então? O conhecimento é uma reconstituição do objeto, é uma aproximação do objeto, sem alcançá-lo

de fato. O sujeito usa seus esquemas para se aproximar cada vez mais do objeto e da realidade. Conhecer consiste em construir esquemas para interpretar a realidade e o objeto.

Em sua teoria, Piaget mostra que o sujeito age, caso sinta necessidade, para restabelecer o equilíbrio, e esta é a forma de adaptação do organismo ao meio. Uma necessidade é uma manifestação de um desequilíbrio que ocorre quando alguma coisa dentro do sujeito se modifica de tal forma que sua conduta é reajustada. A ação do sujeito depende das condições do meio e das próprias condições dele, se o sujeito não possuir os esquemas suficientes para efetuar a ação, estas não ocorrerão.

Pode-se dizer de maneira geral [...] que toda ação – isto é, todo movimento, pensamento ou sentimento – corresponde a uma necessidade. A criança, como o adulto só executa alguma ação exterior ou mesmo inteiramente interior quando impulsionado por um motivo e este se traduz sempre sob a forma de uma necessidade (uma necessidade elementar ou um interesse, uma pergunta, etc.) (PIAGET, 1967, p. 16).

Quando o sujeito sentir necessidade realizará uma ação, que tem por objetivo, primeiramente, trazer o objeto de estudo para dentro da mente do sujeito. Essa ação do sujeito sobre o objeto, de incorporar novos conhecimentos em sua estrutura cognitiva, é definida por Piaget como assimilação. No processo de assimilação o sujeito entra em contato com o objeto ou meio, retirando dele informações nas quais irá incorporá-las em esquemas já existentes.

Bem, a assimilação é justamente a prova de que a estrutura existe. É o fato de que um estímulo do meio exterior, um excitante qualquer, não pode agir e modificar uma conduta a não ser na proporção em que ela esteja integrada às estruturas anteriores. A assimilação é um conceito biológico antes de tudo. Absorvendo o alimento, o organismo assimila o meio: isto significa que o meio está subordinado à estrutura interna e não o inverso (PIAGET, 1978, p. 62).

Se a assimilação ocorrer é porque existe no sujeito uma estrutura capaz de retirar informações do objeto e construir ou ampliar esquemas, por isso ela é uma prova de que a estrutura existe. Dependendo das informações que o sujeito obtém do objeto ele terá uma primeira impressão deste, pois o conhecimento do objeto depende das estruturas internas do sujeito.

As ações também ligam o objeto aos esquemas existentes na estrutura cognitiva, e em alguns casos, até cria um novo esquema. Nesse processo, a ação modifica internamente o sujeito, alterando e ampliando seus esquemas para a inserção do novo objeto, é o que Piaget

chama de acomodação. No processo de acomodação, a ação transforma sua estrutura cognitiva para melhorar sua capacidade de assimilação, o sujeito tira informação da coordenação de suas ações, existe então a tomada de consciência em que o sujeito busca compreender como suas ações obtiveram êxito.

Quando o sujeito é capaz de interiorizar suas ações mentalmente ao estabelecer relações, integrá-los de modo lógico e coerente, e coordenar seus pontos de vista com os dos outros ele se encontra no estágio das operações concretas. É neste estágio que geralmente os alunos do ensino médio se encontram. Neste estágio, o sujeito já apresenta a noção de reversibilidade, ações que são realizadas no sentido inverso, por exemplo: se o comprimento do tubo aumentar, a frequência diminui, e para a frequência do som diminuir é necessário aumentar o comprimento do tubo.

Quando o sujeito passa a dominar a reversibilidade no plano da representação, passa então a construir a noção da transitividade e da conservação.

A noção de transitividade está relacionada com a lógica matemática tal que se um objeto A é menor que um objeto B e se B é menor que C, conclui-se que A é menor que C. As relações parciais ( $A < B$  e  $B < C$ ) são primeiramente estabelecidas para depois ocorrer a coordenação num todo. “A transitividade não poderá ser prevista como necessária, e só se torna evidente pela percepção simultânea dos elementos  $A < B < C$ ” (PIAGET, 1990, p. 31).

Em relação à noção de conservação, esta é a melhor indicação da formação de estruturas operatórias, segundo Piaget. Também está relacionada à lógica matemática. “Se temos  $A = C$  porque  $A = B$  e  $B = C$ , é porque alguma característica se conservou de A à C” (PIAGET, 1990, p. 32). Assim, quando o sujeito diz que um objeto conserva alguma quantidade, ao passar de um estado para outro, é porque não retirou nem acrescentou nada. Em relação ao estudo do som, a noção de conservação está relacionada com o movimento periódico. A noção de reversibilidade e conservação é construída ao longo dos estágios operatório concreto e formal.

São as ações que permitem incorporar um novo conhecimento na mente do sujeito, ligando-o aos esquemas existentes na estrutura cognitiva. Assim, esta estrutura estará fechada quando o sujeito construir a noção de conservação. Caso um objeto ou meio ofereça resistência à assimilação, ou apresente propriedades que não possam ser assimiladas pelos esquemas que o sujeito já possui, é preciso que haja uma mudança em seus esquemas.



De acordo com Piaget, todo organismo tende para um equilíbrio. O sujeito, ao ser colocado em uma situação de desequilíbrio, tende a buscar o reequilíbrio, processo de equilíbrio que é uma propriedade intrínseca e constitutiva da vida orgânica e mental. O desenvolvimento psíquico “é comparável ao crescimento orgânico: como este, orienta-se, essencialmente, para o equilíbrio” (PIAGET, 1967, p. 13). Toda vez que a estrutura cognitiva do sujeito atinge o equilíbrio, ele pode passar para um nível de desenvolvimento cognitivo superior. A evolução da criança e do adolescente é descrita em termos do equilíbrio. “Deste ponto de vista, o desenvolvimento mental é uma construção contínua [...]” (PIAGET, 1967, p. 14), que ocorre de maneira diferente em cada indivíduo, mesmo que ambos estejam no mesmo nível de desenvolvimento. Isso é o que diferencia a aprendizagem de cada pessoa. É no período das operações formais que o indivíduo adquire a sua forma final de equilíbrio, ou seja, ele consegue alcançar o padrão intelectual, das operações abstratas, que será a forma predominante de raciocínio utilizada pelo adulto.

### **3.2 Piaget e o Ensino de Ciências**

Nos estudos realizados por Piaget, é importante mostrar que ele “não se preocupou com o ambiente escolar propriamente dito, sua preocupação sempre foi com a gênese do conhecimento na criança e no adolescente e nunca foi a de como ensinar” (ROSA, 2011, p. 72). Para Piaget, o pedagogo é quem vai adaptar seus estudos à educação, a psicologia irá fornecer suporte para isso.

Eu não tenho opinião em pedagogia. O problema da educação me interessa vivamente, pois tenho a impressão que há muito a reformar e transformar, mas penso que o papel da psicologia é, antes de tudo, fornecer fatos que o pedagogo possa utilizar e não de se colocar em seu lugar para lhe dar conselhos. A pedagogia não é simplesmente uma pedagogia aplicada. É no mais, um conjunto de técnicas que o especialista deve ajustar, ele próprio. (PIAGET, 1978, p. 182).

Como Piaget não se preocupou com o ensino, cabe aos educadores ajustar sua teoria àquilo que se pretende abordar na área de ensino. Queiroz e Lima (2007) afirmaram que uma posição construtivista deve considerar que o conhecimento se constrói por interações entre sujeitos e objetos, e esses objetos fazem parte da realidade do sujeito. Quando escolhemos os instrumentos musicais para auxiliar na aprendizagem de conceitos

relacionados às ondas sonoras, estamos apresentando ao aluno aquilo que faz parte de sua realidade.

Gomes e Bellini (2009) afirmaram que a teoria piagetiana é uma teoria com fortes argumentos para subsidiar a prática pedagógica em física. Conforme esses autores, um professor que se utiliza dos pressupostos piagetianos em sua prática pedagógica, deverá sugerir atividades experimentais e desafiadoras em grupo, incentivando os alunos a formularem as suas hipóteses, discutirem, testarem e reformulá-las, até que estejam prontos para darem as suas explicações causais.

Dessa forma, a sequência didática que elaboramos nesta pesquisa propõe atividades desafiadoras, em que o aluno é incentivado a formular e testar suas hipóteses acerca do som produzido pelos instrumentos musicais a serem construídos. A interação entre o sujeito e o objeto é favorecida pela sequência didática, proporcionando aos alunos meios para formularem explicações causais sobre os conceitos estudados.

## **4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Realizamos uma pesquisa bibliográfica referente a trabalhos cujas temáticas estavam relacionadas ao ensino de som em cinco revistas nacionais e em dois eventos específicos em ensino de física. Nessa pesquisa, buscamos artigos que apresentassem propostas pedagógicas para o ensino de ondas sonoras ou experimentos físicos relacionados com essa área. Esse levantamento bibliográfico teve como finalidade verificar a existência de trabalhos similares (ou não) ao que propomos, e, também, para verificar propostas que utilizaram instrumentos musicais para o ensino de física. Dessa forma, apresentamos um breve resumo de cada trabalho encontrado para evidenciar como o assunto som foi discutido e proposto nesses trabalhos.

### **4.1 Revistas**

As revistas escolhidas foram: “Caderno Brasileiro de Ensino de Física”, “Ciência e Cultura”, “Investigação em Ensino de Ciências”, “Ensaio - Pesquisa em Educação em Ciências” e “Revista Brasileira de Ensino de Física”, entre os anos 2007 a 2011. A escolha destas revistas se baseia em uma pesquisa já realizada por Jardim, Errobidart e Gobara (2008), em que um levantamento bibliográfico foi feito para identificar tendências teóricas e metodológicas, instrumentos de coleta e tratamento de dados utilizados em trabalhos cujo objeto de estudo estava relacionado com transposição didática, som, ondas, onda sonora e acústica.

Os dois eventos em ensino de física, nos quais realizamos o levantamento bibliográfico entre os anos 2007 a 2011, foram: o Simpósio Nacional de Ensino de Física (SNEF) e o Encontro de Pesquisa em Ensino de Física (EPEF). Buscamos, nesses encontros, trabalhos que abordassem o ensino de ondas sonoras.

#### **4.1.1 Caderno Brasileiro de Ensino de Física**

No “Caderno Brasileiro de Ensino de Física”, entre os anos 2007 e 2011, encontramos 2 artigos que estão relacionados com o ensino de som: O artigo publicado por Aiziczon e Cudmani (2007) analisou os resultados de duas pesquisas realizadas com alunos de medicina,

para levantar conhecimentos prévios que poderiam constituir obstáculos ou subsunções para a aprendizagem de ondas, som e audição. Os resultados serviram para planejar atividades de resolução de problemas para o ensino de física na carreira de saúde. No segundo artigo, publicado por Silva e Gobara (2009), é relatada uma proposta de aplicação pedagógica e a construção de um dispositivo experimental de baixo custo para medir o período de um pêndulo simples. Os autores propõem, para utilizar o dispositivo, uma atividade para calcular a aceleração local da gravidade. Esse dispositivo funciona usando o som no lugar da luz, e utiliza também uma placa de som, um microfone e um alto-falante na sua montagem. Para gerenciá-lo, foi desenvolvido um *software* utilizando o *Macromedia Flash* associado a uma página *html*.

#### **4.1.2 Revista Brasileira de Ensino de Física**

Na “Revista Brasileira de Ensino de Física”, encontramos dois artigos relacionados com o ensino de ondas sonoras: O primeiro deles é o artigo publicado por Martins, Verdeaux e Sousa (2009), que realizaram um estudo com o objetivo de utilizar diagramas conceituais, mapas conceituais, propostos por Joseph Novak no ensino da física, visando promover a aprendizagem significativa de conteúdos de ondulatória, acústica e óptica. Nesse estudo foi aplicado um teste para tentar identificar o conhecimento prévio dos alunos sobre conceitos básicos de ondulatória, acústica e óptica para a turma experimental e de controle. Eles apresentaram exemplos de diagramas conceituais para a turma experimental, e em seguida realizaram seis atividades diferenciadas de construção de diagramas conceituais: construção do diagrama conceitual sobre a letra de uma música, construção do diagrama conceitual dos textos, construção do diagrama sobre experimentos e conceitos sobre ondulatória, construção do diagrama sobre os conceitos gerais de ondulatória, construção do diagrama de experimentos e conceitos sobre óptica e construção do diagrama conceitual sobre os conceitos gerais de óptica.

Conforme relata esse estudo, a utilização da estratégia de mapas conceituais, criados pelos alunos durante as atividades, contribui não só para a aprendizagem significativa em si, mas também para o desenvolvimento (pelo aluno) de competências e habilidades associadas às diferentes disciplinas.

O segundo artigo discutiu o uso de um experimento de laboratório de baixo custo para o estudo da teoria de ondas estacionárias em cordas vibrantes. Utilizando um aparato

eletrônico relativamente simples, baseado na realimentação eletromagnética, Gomes e Lüdke (2011) verificaram tanto a harmonicidade das ondas estacionárias quanto a relação numérica existente entre os harmônicos presentes em oscilações obtidas para um dado modo de excitação, assim como o som produzido pela corda. Dessa forma, o que os autores propuseram foi um aparato que permitisse aos alunos verificarem as equações que descrevem as ondas estacionárias em cordas vibrantes, a harmonicidade das ondas estacionárias e a relação numérica existente entre os harmônicos presentes em oscilações obtidas para um dado modo de excitação.

Como podemos observar, nos últimos anos encontramos somente 4 artigos em duas das 5 revistas investigadas. Esse resultado mostra que existem poucos trabalhos dentro da temática de interesse e que não existem propostas metodológicas para o ensino de ondas sonoras utilizando instrumentos musicais no período investigado. O único trabalho que está relacionado com a produção de som por cordas é o trabalho de Gomes e Lüdke (2011), porém eles não utilizam um instrumento musical, e sim um experimento em laboratório.

#### **4.1.3 Ciência e Cultura, Investigação em Ensino de Ciências e Ensaio - Pesquisa em Educação em Ciências**

Não encontramos nenhum artigo relacionado ao ensino de som nestas revistas entre os anos 2007 e 2011.

### **4.2 Eventos**

Os principais eventos na área de ensino de física são: o Simpósio Nacional de Ensino de Física (SNEF) e o Encontro de Pesquisa em Ensino de Física (EPEF). Nos limitamos ao período de 2007 a 2011, visto que não é nosso objetivo investigar todos os trabalhos publicados nesses encontros. Acreditamos que esse período é suficiente para verificar as propostas de trabalho com o assunto som.

#### **4.2.1 Simpósio Nacional de Ensino de Física (SNEF)**

O “Simpósio Nacional de Ensino de Física” é realizado a cada dois anos, por isso buscamos trabalhos apresentados nos encontros dos anos 2007, 2009 e 2011. Nesses anos encontramos 17 trabalhos relacionados ao ensino de som.

No ano de 2007, 8 trabalhos foram apresentados nessa temática. O primeiro foi o trabalho apresentado por Gonçalves, Ramos e Oliveira (2007), que descreveram os fenômenos ondulatórios encontrados nas dunas do litoral maranhense. O objetivo principal foi mostrar que os comprimentos de ondas são compatíveis proporcionalmente entre as grandezas físicas da velocidade e frequência. De posse dessas ideias, alguns aspectos dos movimentos ondulatórios dos sedimentos foram descritos teórica e experimentalmente, comprovando o efeito de formação, propagação e surgimento de micro-ondas que se formam sobre as próprias dunas.

Já o trabalho publicado por Cançado et. al. (2007) propõe uma metodologia de ensino para os tópicos frequência, amplitude e velocidade de propagação da onda, utilizando recursos didáticos como experiências, demonstrações, vídeos e simulações de computador, no sentido de facilitar o entendimento dos conceitos pelos estudantes e, desse modo, otimizar a qualidade do processo de ensino/aprendizagem. Com essa metodologia os autores buscaram desenvolver a capacidade de abstração dos estudantes, ao justificar que, à luz da teoria de Piaget, a abstração é essencial para consolidação de conceitos científicos na estrutura cognitiva do estudante.

Para abordar alguns conceitos relacionados às ondas sonoras, Rui e Steffani (2007) produziram um painel para explorar conceitos físicos através do processo de audição humana. O painel foi intitulado “*A Física na Audição Humana*” e apresenta as três partes do ouvido humano (ouvidos externo, médio e interno) com uma descrição detalhada das suas funções, fazendo o uso de vários conceitos físicos mecânicos, hidrodinâmicos, ondulatórios e elétricos. Os conceitos físicos são apresentados de forma indissociada dos conceitos de outras áreas como Biologia e Química, permitindo, assim, através da aplicação de conceitos multidisciplinares, a compreensão do funcionamento do próprio corpo humano.

Outro trabalho, apresentado por Nascimento e Gobara (2007), expõe os resultados obtidos, após a realização de uma atividade proposta para alunos de oitava série do ensino fundamental, com o objetivo de levá-los a construir um modelo explicativo que descrevesse a produção do som pelo aparelho fonador. Nessa atividade, os alunos manipularam alguns objetos simples que emitiam som, tais como: borrachas de dinheiro, corneta de fole etc., e realizaram a atividade proposta orientados por um roteiro, onde eram feitas questões sobre o que estava ocorrendo com os objetos durante a emissão de som. Após analisar as respostas dos alunos, os autores verificaram que antes da atividade os alunos relacionavam a voz apenas com as pregas vocais. Após a realização das atividades, a emissão de som foi relacionada de

maneira mais direta com o ar. Os alunos também observaram seu próprio corpo quando falavam, sendo solicitado que explicassem como se dava o processo de emissão de som em cada situação proposta na atividade.

Tavares e Souza (2007) realizaram um trabalho com o objetivo de oferecer subsídios aos professores de física do ensino médio para o ensino de acústica. Na primeira parte do trabalho, foram apresentados dados sobre a natureza do som e suas principais características, entre elas, a altura do som, o timbre e a intensidade sonora. A partir desses conceitos iniciais, os autores discutiram a acústica de ambientes e realizaram uma análise de alguns fatores que interferem na qualidade do som produzido em uma sala de concertos, como o isolamento contra o ruído, o eco, a distribuição sonora e a reverberação adequada. Os autores propuseram que a análise fosse utilizada como modelo a ser aplicado pelos professores com os seus alunos de ensino médio para a apresentação de forma lúdica dos conceitos básicos de acústica.

Nos trabalhos apresentados em 2009, que relataram alguma metodologia para o ensino de som, Ribeiro Júnior e Crochik (2009) exploraram as potencialidades pedagógicas no ensino de física ondulatória e acústica, atividades ligadas à construção e afinação de instrumentos musicais e à análise do som produzido por eles. Para isso, os autores realizaram pesquisas sobre a história da construção de escalas musicais, bem como os conceitos físicos envolvidos na determinação de uma escala “agradável” ao ouvido. Eles também pesquisaram a construção de instrumentos musicais de baixo custo com fins didáticos, sendo esses instrumentos inspirados no grupo musical Uakti, que desenvolve um trabalho de pesquisa ligado à construção de instrumentos musicais com materiais alternativos. Através da investigação das interações entre arte e ciência, os autores buscaram contextualizar o conhecimento científico.

Ainda utilizando instrumentos musicais, Tavolaro, Cavalcante e Menezes (2009) propuseram uma metodologia de estudo para simular as condições acústicas do trato vocal com um tubo sonoro. Para estudar os tubos sonoros e a influência de seus formatos nas frequências de ressonância dos mesmos, os autores escolheram tubos diferentes com apenas uma extremidade aberta. Para produzir as ondas senoidais nos tubos, eles usaram um programa computacional. As diferenças encontradas nos espectros sem e com os tubos mostraram que é possível estudar qualitativamente a atuação dos tubos como filtros. Dessa forma, os autores sugerem que é possível fazer uma analogia qualitativa com o funcionamento do trato vocal na produção da fala, através de um equipamento simples e barato, mas que utiliza uma metodologia associada ao emprego de procedimentos computacionais em

captação e análise de dados. Eles acreditam que essa metodologia pode contribuir para o ensino de acústica em cursos de física e também fonoaudiologia.

Neste mesmo ano, Diogo e Gobara (2009) apresentaram os resultados e a análise de uma das atividades desenvolvidas durante a realização de uma pesquisa de campo, em que as tecnologias da informação e comunicação foram utilizadas como recurso educacional para o ensino introdutório de conceitos fundamentais da física do som. O material educacional elaborado pelos autores foi desenvolvido sob a forma de um ambiente virtual de aprendizagem. As atividades propostas no ambiente virtual foram elaboradas de maneira que a aprendizagem dos conceitos introdutórios da física do som ocorra a partir da problematização dos conhecimentos físicos na forma de desafios propostos aos alunos. Após analisarem os resultados, os autores concluíram que a trilha que compõe o desafio foi capaz de oferecer, para a grande maioria dos alunos (83,34%), as condições necessárias para que esses alunos respondessem de maneira satisfatória e/ou excelente a questão do desafio.

Em outro trabalho, apresentado por Conceição et. al. (2009), foi utilizada a interdisciplinaridade Física-Música para abordar conceitos relacionados à física ondulatória, como a reflexão, interferência, geração e propagação do som por instrumentos musicais, e os conceitos fisiológicos como altura, intensidade, timbre e duração. Os autores utilizaram alguns instrumentos de música para obter espectros que relacionassem as frequências de ressonância com a intensidade das ondas sonoras emitidas por eles. Após o estudo realizado sobre o espectro do som em alguns instrumentos musicais, esses autores afirmaram que os alunos souberam como melhorar uma apresentação musical, identificando cada instrumento através dos parâmetros dos espectros, mostrando se estão afinados e como o som pode ser ouvido. Para isso, os alunos precisaram entender as oscilações, as ondas, como elas se propagam e como os sons interferem. Inclusive puderam avaliar se a acústica de uma sala é adequada ou não, observando a ocorrência de “pontos cegos”, com interferência destrutiva, e como esses poderiam ser eliminados.

Já em relação ao ano 2011, o trabalho apresentado por Costa e Duarte (2011) mostrou um produto que envolveu a utilização de recursos multimídia e experimentais em uma aula introdutória sobre ondas estacionárias. Através de animações, simulações em computador, vídeos e experimentos com materiais de baixo custo, foi possível que o aluno se familiarizasse com conceitos abstratos relacionados a fenômenos ondulatórios e visualizasse com mais detalhes elementos mais complexos, tais como reflexão e interferência de pulsos e a formação de ondas estacionárias em uma corda tensionada. Ao final do processo, os autores listaram um



conjunto de aplicações dos conteúdos estudados, contando para isso com a ajuda dos próprios alunos.

Outro trabalho, apresentado por Bernardes Neto e Moura (2011), mostrou um estudo sobre uma experiência didática feita em sala de aula durante duas semanas. Nela, os autores orientaram a montagem de dois instrumentos musicais de baixo custo (violão de caixa de sapato e flauta d'água). Nesse processo da atividade foram observados fatores como: motivação, interesse e assimilação de conhecimento por parte dos estudantes. Desde o início, os pesquisadores tiveram como enfoque principal tornar os alunos participativos e envolvidos no processo de ensino aprendizagem, e não meros espectadores, como ocorre em aulas de cunho tradicional. Um dos intuitos desta ação foi levá-los a perceber a relação entre comprimento de corda e altura do som. Ao final da atividade, os autores constataram, por meio da montagem de instrumentos musicais em sala de aula, que os alunos ficaram mais motivados ao perceberem e manusearem a relação entre a teoria e a prática presentes na acústica.

Também utilizando instrumentos musicais, Silva, Bernardo e Oliveira (2011) abordaram a problemática do ensino de Física para alunos com deficiência visual. Os autores aplicaram uma atividade adaptada com a finalidade de explicar o conteúdo de ondas sonoras. Durante essa atividade, foram utilizados vários recursos, entre eles: o uso de instrumentos musicais, diapasão, molas e desenhos de ondas em alto relevo. Para explicar o conceito de diferença de frequência e timbre, os autores utilizaram o violino, onde diferentes notas *Lá* foram tocadas para se perceber as diferenças entre elas. Já para os conceitos de difração e interferência foi utilizado como ferramenta o diapasão. O aluno foi avaliado continuamente, e após o término da aula foi aplicado um questionário oral para levantamento do conteúdo apreendido. Este questionário mostrou que o aluno compreendeu o conteúdo de ondas sonoras com a adaptação das atividades aplicadas.

No trabalho apresentado por Silva e Aguiar (2011) foi proposta uma sequência de ensino-aprendizagem sobre a propagação do som. Ela foi iniciada com a apresentação de questões de múltipla escolha sobre propagação sonora, com opções de resposta que contemplassem as concepções prévias mais frequentes. Em seguida, experimentos foram realizados para determinar qual das noções apresentadas está em melhor acordo com o comportamento real do som. Os autores desenvolveram um método simples para investigar a propagação sonora, que permitiu que esses experimentos fossem montados e executados em praticamente qualquer sala de aula. A etapa final do processo envolveu a discussão dos

resultados experimentais e sua comparação com as expectativas dos alunos, manifestadas nas respostas do questionário.

Neste mesmo ano, Galdino, Santos e Silveira (2011) apresentaram um trabalho com um relato de experiências com uma turma de alunos do 9º ano fundamental, com a temática ondas mecânicas. As atividades que foram desenvolvidas na escola tiveram como foco a ludicidade, onde a arte foi bastante explorada na elaboração da atividade proposta. Depois de toda explanação e discussão dos conteúdos, foi solicitada aos alunos uma atividade experimental, na qual constavam perturbações em uma mola. Após a abordagem dos conteúdos, solicitou-se que a turma se dividisse em grupos, sendo apresentados a cada grupo um experimento diferente. Os resultados obtidos mostraram que é possível desenvolver formas de proporcionar um aprendizado em ciências, de maneira que estas venham a contribuir para que os alunos façam uma melhor leitura de mundo.

Já no trabalho apresentado por Souza e Aguiar (2011) foi discutida a importância de se distinguir claramente as possíveis caracterizações de uma onda sonora (deslocamentos do ar ou de variações da pressão) e identificadas algumas dificuldades que a pouca atenção dada a esse ponto traz ao aprendizado da física do som. Os autores descreveram também uma experiência simples que permitiu mapear a intensidade sonora no interior de um tubo ressonante. O equipamento necessário ao experimento foi essencialmente um computador com os recursos usuais de áudio: placa de som, caixa com alto-falante e microfone. O mapeamento acústico do tubo forneceu imagens de fácil compreensão e forte apelo intuitivo, que puderam ser diretamente comparadas às previsões da teoria ondulatória. Com o experimento, os alunos puderam visualizar os padrões associados a diferentes ondas estacionárias, discutir os resultados em termos da pressão ou do deslocamento do ar e descobrir qual grandeza física é a mais relevante para a audição.

O trabalho apresentado por Lenz et. al. (2011) relatou o aprimoramento de um experimento didático que foi baseado num equipamento adquirido pelo Departamento de Física, composto de um gerador de ondas estacionárias em cordas, em que foi possível a visualização dos harmônicos e a obtenção de dados, como comprimento de onda, amplitude, valor da tração na corda e principalmente a frequência de vibração da corda. O objetivo deste trabalho foi tornar o gerador de ondas estacionárias em cordas melhor utilizável nas aulas experimentais da universidade, transformando o experimento basicamente qualitativo para um quantitativo. Dessa forma, foi relatada a realização de uma simulação em uma aula prática

sobre ondas estacionárias, utilizando o aparelho, com o intuito de provar a sua eficiência e qualidade.

O último trabalho relatado neste ano, apresentado por Garagnani et. al. (2011), discutiu os resultados de um projeto de pesquisa interdisciplinar, envolvendo professores e estudantes de cursos de Licenciatura em Física e de Engenharia de Computação. O objetivo foi a investigação experimental de fenômenos físicos com auxílio de programas computacionais de código aberto que permitissem o estudo de efeitos físicos não-triviais, mas que, ao serem estudados, pudessem ser valiosos na elaboração e no desenvolvimento do pensamento científico. O fenômeno estudado foi a ressonância em taças de cristal. Os autores criaram um *software* livre e aberto, em linguagem *Java*, para adequar aos propósitos do trabalho. Para realizar os experimentos com as taças, primeiramente, os autores comprovaram a eficácia desse *software* e concluíram que quando este é usado, os estudantes tendem a prestar mais atenção e demonstram mais interesse no assunto apresentado.

Conforme observamos, em 2009, dois trabalhos utilizaram instrumentos musicais: Ribeiro Júnior e Crochik (2009), que usaram a construção de instrumentos de baixo custo para abordar o ensino de física ondulatória e alguns conceitos de música, e Conceição et al. (2009), que utilizou os instrumentos musicais para obter espectros da onda sonora, a fim de relacionar a frequência de ressonância com a intensidade do som. Entretanto, esses trabalhos não propuseram uma metodologia de ensino similar ao que elaboramos.

Já em 2011, dois artigos trabalharam com a utilização de instrumentos musicais. Bernardes Neto e Moura (2011) propuseram a construção de um instrumento de sopro e um de corda para abordar alguns conceitos físicos relacionados às ondas sonoras. Os autores utilizam a construção do instrumento de corda para estimular os alunos a investigarem as possíveis notas e sons que esse instrumento produzia. Um dos intuítos desta ação foi levá-los a perceberem a relação entre comprimento de corda e altura do som. Esse trabalho contribuiu para termos a ideia de utilizar uma caixa de papelão como meio de amplificar o som do violão, que inserimos na sequência didática elaborada nesta pesquisa, com algumas adaptações e alterações. Nosso instrumento de corda não teve a mesma estrutura física que o instrumento construído por esses autores, além de não ser nosso objetivo identificar as notas que nosso instrumento de corda emitia, nem executar uma peça musical com ele, como ocorreu no caso do trabalho citado.

Já o segundo artigo que descrevemos, publicado por Silva, Bernardo e Oliveira (2011), propõe o uso de instrumentos musicais para abordar o conceito de frequência e

timbre com alunos com deficiência visual. Portanto, é uma proposta que difere em função do público alvo escolhido. Como observamos, embora os dois trabalhos tratem do uso de instrumentos musicais, as propostas diferem da nossa pesquisa.

#### **4.5 Encontro de Pesquisa em Ensino de Física (EPEF)**

No “Encontro de Pesquisa em Ensino de Física”, nos anos 2008 e 2010, encontramos três trabalhos que abordaram uma proposta de metodologia para o ensino de som para os alunos. Dentre eles, Gobara e Marques (2008) descreveram e analisaram uma das fases de uma pesquisa que propôs investigar o ensino de ondas por meio de uma situação adidática. Essa situação adidática foi trabalhada na forma de uma situação-problema, a qual apresentava um desafio a ser resolvido pelos alunos. Eles deveriam pensar em como um casal, que foi sequestrado e mantido em um cativeiro em cômodos separados, poderia se comunicar sem despertar a atenção dos sequestradores e de que forma eles poderiam pedir socorro para alguém fora da casa sem gritar. Para isso, os alunos realizaram uma série de atividades experimentais, sugeridas em um roteiro, com algumas questões que proporcionaram os meios pelos quais eles iriam agir, refletir e organizar os conhecimentos necessários para que formulassem as hipóteses e resolvessem o desafio. De modo geral, a solução dada pelos alunos ao problema inicialmente proposto, foi satisfatória na maioria dos grupos: todos solucionaram o desafio, embora várias concepções espontâneas tenham aparecido.

No mesmo ano, Diogo e Gobara (2008) utilizaram as tecnologias da informação e comunicação como recurso educacional para o ensino introdutório da física do som. O objetivo foi verificar se a sequência elaborada favorecia a aprendizagem de conceitos em física. O material propõe como estratégia de aprendizagem a problematização dos conhecimentos físicos na forma de desafios propostos em um ambiente virtual de aprendizagem. Neste trabalho, apenas um dos desafios, intitulado “*Como uma onda no mar [...]*”, foi analisado. Antes de se deparar com o desafio, os alunos devem percorrer uma trilha no ambiente que foi construída de maneira a favorecer a construção dos conhecimentos necessários para a superação do desafio. Os resultados sugeriram que a utilização de uma única estratégia de ensino não foi suficiente para a superação dos obstáculos epistemológicos associados ao conhecimento de que o som é uma onda e, assim, não transporta matéria ao se propagar. A metodologia baseada em desafios se mostrou muito favorável para motivar os alunos para a aprendizagem da matéria física.

Em 2010, Souza e Aguiar (2010) apresentaram o trabalho já descrito anteriormente no item 4.6. O mesmo trabalho foi apresentado no SNEF 2011, quando foi discutida a importância de se distinguir claramente as possíveis caracterizações de uma onda sonora como deslocamentos do ar ou de variações da pressão.

Como observamos nesse encontro, não foi publicado nenhum trabalho que relacionasse a física com a música para o ensino de ondas sonoras.

Ao longo do período investigado, de 2007 a 2011, nas revistas e nos dois eventos encontramos apenas dois trabalhos que propuseram o uso de instrumentos musicais para o ensino de conceitos relacionados às ondas sonoras, e que foram publicados e desenvolvidos no mesmo período de realização do nosso trabalho. Nesse sentido, apenas um deles trouxe contribuições para a escolha de um dos instrumentos que utilizamos, porém a nossa proposta metodológica para o uso desse instrumento é diferente. Dessa forma, a sequência didática que elaboramos nessa pesquisa apresenta uma forma alternativa para trabalhar conceitos físicos associados ao som.

## 5 ANÁLISE DE CONTEÚDO

Escolhemos a técnica análise de conteúdo como ferramenta para análise dos dados, a fim de encontrar nas falas dos alunos indícios de evolução de aprendizagem e principalmente fatores que influenciam a construção de alguns esquemas, visto que buscamos analisar o processo da aprendizagem e não apenas a etapa inicial e final.

A definição sobre a técnica análise de conteúdo é dada por Bardin (2009), como sendo “um conjunto de técnicas de análise das comunicações”.

É importante salientar que existe um conjunto de técnicas, dentro da análise de conteúdo, para analisar um documento. Qualquer mensagem que um emissor transmite a um receptor, sendo essa mensagem controlada ou não, pode ser analisada com as técnicas da análise de conteúdo. “ A análise de conteúdo pode ser uma análise dos significados (exemplo: a análise temática), embora possa ser também uma análise dos significantes (análise lexical, análise dos procedimentos)” (BARDIN, 2009, p.37).

A técnica de análise do conteúdo tem por objetivo retirar da mensagem analisada o que o sujeito quis dizer, sem muitas vezes o dizer objetivamente. Busca “pôr em evidência com objetividade a natureza e as forças relativas dos estímulos a que o sujeito é submetido” (BARDIN 2009).

O interesse na técnica análise de conteúdo não está na descrição do conteúdo, no caso as palavras, mas sim no que estas palavras poderão dizer após serem tratadas. Essas palavras podem trazer informações de natureza psicológica, sociológica, histórica, econômica, etc. Após a análise do documento, pode se ter informação sobre as condições de produção da mensagem, ou seja, determinar fatores que influenciaram a fala do sujeito. “A intenção da análise de conteúdo é a inferência de conhecimentos relativos às condições de produção (ou, eventualmente, de recepção ), inferência esta que recorre a indicadores (quantitativos ou não)” (BARDIN, 2009, p. 40).

Uma inferência (ou dedução lógica) pode responder a dois tipos de problemas: o que é que levou a determinado enunciado? Neste caso a resposta dirá respeito às causas ou antecedentes da mensagem; e quais as consequências que determinado enunciado vai provavelmente provocar? Neste caso a resposta irá se referir aos possíveis efeitos das mensagens (por exemplo: os efeitos de uma campanha publicitária ou propaganda) (BARDIN, 2009).

Assim, a análise de conteúdo visa, não o estudo da língua ou da linguagem, mas sim a determinação mais ou menos parcial das condições de produção dos textos, essas condições podem influenciar a escrita da mensagem e/ou revelar a intensão do sujeito na hora da fala. O que se busca caracterizar são estas condições de produção e não os próprios textos.

Assim, pode-se definir de forma mais completa análise de conteúdo como:

Um conjunto de técnicas das comunicações visando obter, por procedimentos sistemáticos e objetivos de descrição do conteúdo das mensagens, indicadores (quantitativos ou não) que permitam a inferência de conhecimentos relativos às condições de produção/recepção (variáveis inferidas) destas mensagens (BARDIN, 2009, p.44).

As diferentes fases da análise de conteúdo organizam-se em torno de três pólos cronológicos:

- 1) A pré-análise;
- 2) A exploração do material;
- 3) O tratamento dos resultados, a inferência e a interpretação.

A pré-análise é a fase de organização propriamente dita. Corresponde a um período de intuições; geralmente esta primeira fase possui três missões: a escolha dos documentos a serem submetidos à análise, a formulação das hipóteses e dos objetivos e a elaboração de indicadores que fundamentem a interpretação final. Seria a etapa da enumeração das características do texto (BARDIN, 2009).

Estes três fatores não se sucedem, obrigatoriamente, segundo uma ordem cronológica embora se mantenham estreitamente ligados uns aos outros. A pré-análise tem por objetivo a organização (BARDIN, 2009).

Nessa primeira fase faz-se uma leitura flutuante pelo texto. Essa leitura tem por objetivo estabelecer contato com os documentos a analisar e em conhecer o texto, deixando-se invadir por impressões e orientações. Pouco a pouco, a leitura vai-se tornando mais precisa (BARDIN, 2009).

Os documentos escolhidos podem ou não serem determinados *à priori*, muitas vezes é necessário proceder-se à constituição de um corpus. O corpus é o conjunto dos documentos tidos em conta para serem submetidos aos procedimentos analíticos. A sua constituição implica, muitas vezes, em escolhas, seleções e regras (BARDIN, 2009).

É na primeira fase que se formulam as hipóteses e os objetivos da análise.

A hipótese é uma afirmação provisória que nos propomos a verificar (confirmar ou infirmar), recorrendo aos procedimentos de análise. Trata-se de uma suposição cuja origem é a intuição e que permanece em suspenso enquanto não for submetida à prova de dados seguros. O objetivo é a finalidade geral a que nos propomos ( ou que é fornecida por uma instancia exterior), o quadro teórico e/ou pragmático, no qual os resultados obtidos serão utilizados (BARDIN, 2009, p. 124).

Entretanto, não é necessário que se formulem hipóteses antes de iniciar a análise de conteúdo no documento. As hipóteses podem surgir ao longo da leitura inicial, não é necessário ter um corpus de hipóteses para guiar a análise.

A escolha dos indicadores se define em função das hipóteses.

[...] o índice pode ser a menção explícita de um tema numa mensagem. Se se parte do princípio de que este tema possui tanto mais importância para o locutor quanto mais frequentemente é repetido (caso da análise sistemática quantitativa), o indicador correspondente será a frequência deste tema de maneira relativa ou absoluta, relativamente a outros (BARDIN, 2009, p. 126).

Na fase da pré-análise o material deve ser editado, no caso de gravações as falas devem ser transcritas na íntegra, no caso de respostas a questões abertas estas devem ser anotadas. Os artigos de imprensa são recortados, as respostas a questões abertas são anotadas em fichas, etc.

Ao analisar um documento, existe, por parte de quem analisa, uma teoria sobre o assunto. Para saber como analisar um documento é necessário que primeiro esteja bem claro porque a análise está sendo realizada.

Tratar o material é codificá-lo. A codificação corresponde a uma transformação efetuada segundo regras preciosas – dos dados em bruto do texto, transformação esta que, por recorte, agregação e enumeração, permite atingir uma representação do conteúdo, ou da sua expressão; suscetível de esclarecer o analista acerca das características do texto, que podem servir de índices [...] (BARDIN, 2009, p. 129).

Assim, a codificação é um processo em que o texto é transformado para se obter uma descrição de suas características, retirando assim informações que antes estavam escondidas. Trata-se, portanto, de um tratamento da informação contida nas mensagens.

No processo de codificação são retirados do texto unidades de registro, ou seja, palavras, temas ou frases que apresentem algum significado. Essas unidades representarão um código que descreverá o texto. Podemos dizer que a unidade de codificação é:



[...] a unidade de significação a codificar e corresponde ao segmento de conteúdo a considerar como unidade de base, visando a categorização e a contagem frequencial. Reina uma certa ambiguidade do que diz respeito aos critérios de distinção das unidades de registro. Efetivamente, executa-se certos recortes a nível semântico, o tema, por exemplo, enquanto que outros são feitos a um nível aparentemente linguístico como por exemplo, a palavra ou a frase (BARDIN,2009, p. 130).

A unidade de registro tem corresponde a uma afirmação sobre determinado assunto, assim, ao se escolher os temas correspondentes às unidades de registro, estes devem significar algo para o objetivo proposto antes da análise.

Após a escolha das unidades de registros é importante classificá-las. “A categorização é uma operação de classificação de elementos constitutivos de um conjunto por diferenciação e, seguidamente, por reagrupamento segundo o gênero (analogia), com os critérios previamente definidos” (BARDIN, 2009, p. 145).

Dessa forma as categorias são classes, as quais reúnem um grupo de elementos (unidade de registro) sob um título genérico, agrupamento esses efetuado em razão das características comuns destes elementos. Classificar elementos em categorias, impõe a investigação do que cada um deles têm em comum com outros. O que vai permitir o seu agrupamento é a parte comum existente entre eles, o principal objetivo é fornecer, por condensação, uma representação simplificada dos dados em bruto (BARDIN. 2009).

Na categorização o sistema de categorias pode ser definido previamente, e, assim, repartir da melhor maneira possível os elementos à medida que vão sendo encontrados, ou podem também ser resultado da classificação analógica e progressiva dos elementos (BARDIN. 2009).

Depois de explorar o documento os dados serão validados, ou não, às hipóteses formuladas na pré-análise.

Após obter os resultados pode-se fazer inferências sobre o documento analisado. Pode-se analisar o objetivo proposto no início e inclusive fazer descobertas inesperadas.

Como visto, a análise de conteúdo fornece informações suplementares ao pesquisador que analisa uma mensagem, essa informação extra pode representar o emissor. O pesquisador deve se perguntar o que o vocabulário presente na mensagem revela sobre o emissor, ressaltando que a informação obtida está ligada com a forma do processo de codificação realizado. Dessa forma utilizamos a análise de conteúdo para retirar informações das falas e

escritas dos alunos, essas informações serviram para verificarmos e analisarmos como ocorreu o processo da construção dos conceitos físicos frequência e amplitude do som.

A inferência serve para designar a indução a partir dos fatos, ou seja, conforme a análise das categorias, o pesquisador pode deduzir uma ideia e formular uma conclusão a respeito do documento analisado. Assim, a análise de conteúdo constitui um bom instrumento de indução para se investigar as causas (variáveis inferidas) a partir dos efeitos (variáveis de inferência ou indicadores; referências no texto) (BARDIN, 2009).

## **6. A PESQUISA**

Para o desenvolvimento da pesquisa realizamos inicialmente um teste piloto para que pudéssemos avaliar o material utilizado para a elaboração da sequência didática e a adequação desta, isto é, a viabilidade da proposta e as possíveis dificuldades para implementá-la. Após essa etapa, fizemos as alterações necessárias e aplicamos a sequência didática com a inclusão de um instrumento de corda, o violopão.

### **6.1 O Teste Piloto**

Nessa etapa piloto, elaboramos uma sequência didática que utilizava um instrumento musical de sopro para auxiliar o aluno na construção dos conceitos físicos relacionados às ondas sonoras. Utilizar a montagem de instrumentos musicais pode ser uma estratégia útil para a aprendizagem da física do som no ensino médio, pois existe uma ligação direta com o conhecimento físico e tecnológico (Bernardes Neto e Moura, 2011).

Essa sequência foi realizada com 12 alunos voluntários do 1º ano do ensino médio. A escolha por alunos dessa série é justificada pelo fato de eles ainda não terem conhecimento do conteúdo ondas. Dessa forma, o aluno teria o primeiro contato com esse conteúdo por meio da sequência didática elaborada nesta pesquisa.

Realizamos esse trabalho em uma escola de ensino médio integral, nas aulas destinadas à Oficina de Física Experimental. Essas aulas têm duração de 1 hora e meia, portanto, os encontros também tiveram a mesma duração.

No primeiro encontro, buscamos trabalhar alguns conceitos relacionados às ondas. Foi uma aula inicial em que os conceitos: onda, frequência, amplitude e comprimento de onda foram discutidos. Trabalhamos esses conceitos utilizando uma onda longitudinal provocada em uma mola. No apêndice 1 se encontra o plano de aula com o procedimento detalhado dessa aula inicial, que teve por objetivo permitir que os alunos construíssem alguns esquemas necessários para desenvolvermos o segundo encontro. Nessa aula inicial, procuramos mostrar, por meio da perturbação provocada na mola, que essa perturbação se propagava por toda a mola, formando uma onda. Buscamos enfatizar também que, para existir uma onda, era necessária uma fonte, e essa fonte deveria fazer um movimento oscilatório. O objetivo dessa aula foi mostrar ao aluno o fenômeno em situações concretas, pois partimos do pressuposto de que os alunos do ensino médio se encontram numa fase de transição entre o estágio operatório

concreto e o estágio das operações formais, portanto, necessitam de situações que possam ser percebidas com os sentidos, principalmente a visão (BECKER, 2003).

No desenvolvimento dessa aula, buscamos levar os alunos a participarem a todo instante com questionamentos e sugestões. Essa aula foi gravada em áudio e serviu de documento para análise posterior.

No segundo encontro, os alunos foram divididos em 3 grupos de 4 alunos cada um. Entregamos um roteiro, que está no apêndice 3, com instruções para as atividades que foram realizadas pelos alunos, incluindo a construção do instrumento de sopro intitulado flauta pan. Um gravador ficou na mesa de cada grupo para registrar as falas dos alunos durante todo o processo de construção do instrumento musical.

A flauta pan é um instrumento composto de 8 tubos, com comprimentos diferentes e o fundo fechado. Assim, cada tubo emite um som com frequência diferente, correspondendo a uma nota musical específica. Esse segundo encontro teve uma duração de 3 horas/aula, visto que não foi possível terminar no mesmo dia.

No roteiro entregue aos grupos havia orientações sobre determinadas observações e reflexões que os alunos deveriam fazer. Com o roteiro em mãos, eles discutiram entre si as atividades propostas. A transcrição das falas gravadas serviu de documento de análise, assim como as respostas às questões no roteiro que o aluno devolveu após terminar o encontro. Utilizamos a transcrição da gravação em áudio e a escrita dos alunos para investigar como a estratégia proposta auxiliou a construção dos conceitos de frequência, amplitude e comprimento de onda.

É importante frisar que o roteiro que elaboramos não trata de descrever ou definir os conceitos físicos sobre o conteúdo estudado e, principalmente, não apresenta apenas as instruções de como fazer, como ocorre com alguns roteiros fechados e rígidos do tipo “receita de bolo”. Nesse roteiro, o aluno recebe orientações referentes à observação de algumas características do tubo que o leve a estabelecer relações entre grandezas, ou seja, tamanhos dos tubos, som que eles emitem (conforme seu comprimento) para estabelecer uma relação entre frequência e nota musical.

O roteiro apresenta seções que questiona o aluno quanto as suas observações durante a construção do instrumento, a fim de incentivar reflexões acerca dessa atividade. Essas questões, que estimulam o aluno a refletir sobre suas ações, tinham por finalidade auxiliá-lo na construção dos conceitos de frequência, comprimento de onda e amplitude, possibilitando ao aluno a ampliação de seus esquemas, estabelecendo relações entre os esquemas previstos

para serem criados no primeiro encontro (mola de encadernação) e os esquemas relacionados aos conceitos de ondas sonoras, previstos para serem construídos no segundo encontro.

Escolhemos gravar as falas dos alunos para analisar as interações deles com o objeto e entre eles, a fim de obter, com mais eficácia, o que o aluno pensava a respeito do conteúdo e quais situações contribuíram para causar um desequilíbrio cognitivo.

Assim, o aluno não se sentiria pressionado ou forçado a responder conforme um modelo pré-estabelecido. Suas respostas e comentários seriam conforme sua observação.

## **6.2 Interpretação dos Dados do Teste Piloto**

De posse dos documentos, fizemos a análise dos dados inicialmente com uma “leitura flutuante” sobre os diálogos e repostas dos alunos. Nessa leitura inicial obtivemos a primeira impressão e intuição acerca das categorias escolhidas para representar os documentos. Como afirma Bardin (BARDIN, 2009), essa leitura tem por objetivo estabelecer contato com os documentos para analisar e conhecer o texto, deixando-se invadir por impressões e orientações.

Definimos então um sistema de categorias baseado nas hipóteses formuladas pelos alunos a respeito da onda sonora na 1ª e 2ª etapa do roteiro de construção da flauta pan, disponível no apêndice deste trabalho. Foi nessa etapa do roteiro que os alunos começaram a formular hipóteses acerca do que observaram, visto que eram questionados sobre sua ação. Já na 3ª e 4ª etapa desse roteiro os alunos puderam testar suas hipótese e chegar a certas conclusões.

O quadro 1 mostra as categorias que encontramos no teste piloto referente às hipóteses que os alunos chegaram a respeito do som. Os termos em negrito se referem às categorias e as frases abaixo se referem aos indicadores.

<b>1: Fonte sonora</b>	<b>2: Fatores que alteram o som</b>
A fonte sonora é o instrumento.	Substâncias que alteram o som dentro do tubo: água, ar e terra.
A fonte sonora é o sopro.	A inclinação do instrumento altera o som.
	A forma e o material de que é feito instrumento altera o som.
	Som grave ou agudo depende do comprimento do tubo.
	Som grave ou agudo depende do espaço para o ar percorrer.
	Som grave ou agudo depende da quantidade de água.

QUADRO 1. Sistema de Categorias e indicadores referentes às hipóteses dos alunos em relação ao som durante o teste piloto.

Estas categorias (fonte sonora e fatores que alteram o som), que representaram as hipóteses formuladas pelos alunos, surgiram devido às observações feitas por eles. Formulamos essas categorias com base nos documentos referentes às falas dos alunos, gravadas e transcritas durante a 1ª e 2ª etapa do roteiro.

Para elaborar o segundo sistema de categorias, referente às conclusões dos alunos sobre som, analisamos os documentos relativos às falas dos alunos, gravadas e transcritas durante a 3ª e 4ª etapa do roteiro, assim como as respostas escritas conforme as questões que apareceram nessas etapas. O quadro 2 mostra as categorias que encontramos no Teste Piloto referente às conclusões que os alunos chegaram a respeito do som após a construção do instrumento de sopro. Lembramos que os termos em negrito se referem às categorias.

<b>1:Fonte Sonora</b>	<b>2:Fatores que alteram o som</b>	<b>3:Propagação do som</b>	<b>4:Comprimento de onda</b>	<b>5. frequência</b>	<b>6:Amplitude</b>	<b>7:Receptor</b>	<b>8: Produção do som</b>
A fonte sonora é o Instrumento.	A forma e o tipo do instrumento altera o som.	As moléculas de ar transmitem som.	É a distância em torno da qual as moléculas de ar vibram.	A frequência aumenta (diminui) quando o comprimento do tubo diminui (aumenta).	É a vibração da molécula de ar.	O receptor do som é o fundo do cano.	A vibração das moléculas de ar dentro do tubo produzem o som.
A fonte sonora é o sopro.	Quando o comprimento aumenta (diminui) o som fica mais grave (agudo).	O meio de propagação é onde as moléculas de ar estão concentradas.	É a distância entre duas regiões de moléculas de ar mais concentrada.	Nota musical aguda (grave) tem uma frequência	É o espaço em que vibra uma molécula.		As moléculas de ar transmitem a vibração.
A fonte sonora é a boca.		O meio de propagação do som é o tubo.	Vibração da molécula de ar.	Vibração da molécula de ar.	É a distância em torno da qual as moléculas de ar vibram.		
			Espaço entre duas regiões de concentrações de moléculas.	A frequência aumenta (diminui) e o som fica mais agudo (grave).			

QUADRO 2 – Sistema de Categorias e indicadores referentes às conclusões dos alunos sobre o som durante o teste piloto.

Depois de estabelecidas as categorias referentes às conclusões dos alunos, analisamos o processo de construção e modificação de algumas dessas categorias. Um fator importante a ser destacado, novamente, é que em toda a etapa da sequência didática o aluno ficou livre para fazer as observações e experiências. Suas ações ocorreram em plena liberdade de iniciativa, tendo como tarefa testar as hipóteses formuladas por ele próprio e não pelo professor.

Nessa etapa da pesquisa, não foi nosso objetivo analisar detalhadamente cada categoria. Buscamos analisar se a sequência elaborada poderia provocar alterações nos esquemas dos alunos e levantar quais mudanças seriam necessárias para adequá-la, a fim de que pudéssemos atingir os objetivos da pesquisa.

De acordo com as análises dos dados e interações registradas, concluímos que cada aluno possuía certo esquema de assimilação, que neste caso está relacionado às categorias apresentadas no quadro 1. Verificamos que durante a sequência didática, alguns desses esquemas foram modificados, outros foram criados e alguns permaneceram da mesma forma e que estão apresentados no segundo sistema de categorias.

Nós nos detivemos na análise dos seguintes esquemas: relação do som com uma substância que se propaga com ar (categoria 3), relação do comprimento de onda com o estado da molécula de ar (categoria 4), relação da frequência com os parâmetros do tubo e da molécula de ar (categoria 5) e a relação da amplitude com o estado ou medidas associadas à molécula de ar (categoria 6).

Nesse momento, vale ressaltar que, para Piaget, um esquema se refere a uma classe de sequência de ação semelhante, sendo mais que conceitos, envolve um conjunto de operações lógicas sobre o conceito. Assim, as categorias que formulamos correspondem a relações que os alunos fizeram a partir de suas ações.

A categoria 3, que associou o som com uma substância que se propaga com ar, surgiu da observação que os alunos fizeram na aula inicial. Nesta aula foi mostrado um pulso se propagando numa mola. Dissemos que esse pulso foi causado por uma perturbação e que ela se propaga. Definimos ondas como sendo o movimento dessa perturbação.

Abaixo temos algumas falas sobre esse episódio:

*P: “então vamos definir onda como o movimento dessa perturbação”.*

*P: “perturbação caminhando, se movimentando é uma onda”.*

*P: “agora vou gerar uma onda. Só que quando temos vários pulsos sucessivos se movendo temos um trem de onda”.*



*P: “então onda é o movimento causado por essa perturbação.*

*A: “mas professora se vir uma mais forte e uma menor, daí a mais forte vai se somar não é”?*

*A: “se você faz um impulso desse lado e faz desse, daí elas se chocam, se tiver a mesma velocidade o que acontece? Elas podem parar né”?*

*A: “professora, se a senhora der um impulso bem mais forte do que o do “Rômel”, daí esse impulso da senhora vai somar e ir até ele”?*

Observamos nesse diálogo que o aluno considerou o pulso como algo (matéria) que se propagou pela mola, podendo colidir com outro pulso em direção contrária. Aquilo que ele observou na mola é resultado de uma composição de dois movimentos: os elos da mola, fazendo o movimento de vai e vem, e o conjunto desse movimento se propagando na mola. Para essa observação, o aluno deveria ter um esquema que relacionasse a modificação de duas variáveis ao mesmo tempo, sendo essas variáveis completamente dependentes uma da outra. Neste caso, tivemos um movimento total, resultante do movimento das partes que compõe o meio (no caso, os elos da mola), e o movimento particular de cada elo. Se o aluno não conseguisse visualizar o movimento das partes, ficaria com a ideia de que existe algo que vai até o final da mola e volta.

Visto que no final da aula inicial mostramos que o som é uma onda, e associamos onda com o movimento da perturbação provocada na mola (o pulso), o aluno relacionou essas ações formulando o esquema do som como sendo algo que se propagava no ar. Os diálogos abaixo mostram como o conceito som apareceu relacionado com movimento. A escrita em parênteses é nossa:

*A1: “as moléculas de ar transmitem o som”.*

*A2: “eu quero escutar o som da garrafa, o som vai e volta”.*

*A3: “mas ela (a molécula) não sai do lugar, na verdade esse som é transmitido por várias moléculas. Mas e o som, quando ele chega no final, o que acontece com ele”?*

*P: “mas o que é o som que você ta dizendo? Som é o que?” É o [pausa de 4 segundos]*

*A3: “o sopro né [pausa de 2 segundos], na verdade não é um som, mas, por que que forma um som”?*

*A4: “quando ela está vazia (a garrafa) o som tem mais espaço pra percorrer”.*

Essa categoria 3 (que associou o som com uma substância que se propagava com ar) pôde ser relacionada com a categoria 1 (que relacionava a fonte sonora com o sopro). Por fonte sonora entendeu-se aquilo que gerava o som. Dessa forma, o aluno teve por hipótese que o som era gerado pelo sopro e concluiu que, após o som ser gerado pelo sopro, foi transmitido pelas moléculas de ar. Assim, para os alunos, o som existiu porque as moléculas de ar surgiram quando se assoprou o tubo, permitindo a propagação do som.

De acordo com a teoria de Piaget (1990), quando há uma situação que o sujeito não consegue explicar com o esquema que já possui, haverá modificação deste esquema. Caso o sujeito elabore uma explicação para aquilo que observa, o esquema fica inalterado. Sendo assim, a hipótese (que relacionava a fonte sonora com o sopro), formulada no início, não foi alterada.

A categoria 4 (que estabeleceu relações para o conceito comprimento de onda) e 6 (que estabeleceu relações para o conceito amplitude) referem-se às conclusões formuladas pelos alunos. Observamos que alguns indicadores dessas categorias eram iguais. Assim, o conceito de comprimento de onda e amplitude foram relacionados com a distância em torno da qual as moléculas de ar vibram. Além disso, concluímos que o esquema formulado pelo aluno relacionava comprimento de onda e amplitude com o estado de vibração da molécula de ar e com medidas relacionadas a essa vibração.

Na verdade, esse esquema só poderia ser bem construído se um esquema anterior estivesse bem formulado: que o som é uma onda, e não algo (substância) que é transmitido pelas moléculas.

Como já vimos na categoria 3, o esquema que o aluno possuía a respeito de som não estava associado com onda, logo não foi possível fazer relações entre esses esquemas. Podemos notar que alguns indicadores apontaram o conceito correto sobre comprimento de onda e amplitude, entretanto, esses conceitos não foram acomodados pelos alunos. Os diálogos e respostas às questões abertas, que apareceram no roteiro, mostraram que um mesmo aluno explicou o conceito de forma correta num certo momento e posteriormente não, conforme transcrito abaixo.

*P: “e a amplitude? Fale a respeito”.*

*A1: “é desde onde ele assopra até onde para”.*

Após lembrar o exemplo da onda em uma mola, o aluno A1 discute:

A1: “então, é [pausa de 3 segundos] a amplitude é o valor máximo de onde essas moléculas podem atingir, é igual na mola, elas estão aqui, a mão vibra até aqui e volta, a molécula é a mesma coisa, ela vai e volta, vai e volta”.

Os alunos leram a questão do roteiro: *Existe algum conceito físico associado com a distância em torno do qual as moléculas de ar vibram? Que conceito é esse?*

A2: “sim, comprimento de onda”.

O aluno leu outra questão do roteiro: *Existe algum conceito físico relacionado com a distância entre duas regiões com concentração maior de moléculas de ar vibrando? Que conceito é esse?*

A2: “comprimento de onda”.

Notamos que estes alunos estão no processo de assimilação, porém o esquema que envolve a apropriação do conceito de comprimento de onda não está ainda acomodado. A análise das interações desses alunos sugerem que eles se encontram numa fase de modificação dos esquemas. E que é necessário mais tempo e novas experiências para que ocorra a acomodação. Portanto, uma nova situação deveria ser colocada para esses alunos, que pudesse evidenciar de fato se houve ou não acomodação. Como no roteiro não havia essa nova situação, analisamos as situações que surgiram nos diálogos.

Em relação à categoria 5 (que estabeleceu relações com a frequência), notamos que as conclusões formuladas foram obtidas por meio da observação, ação e reflexão sobre essa ação. O esquema que se referia à ação de cortar o tubo para alterar a frequência do som foi construído após a observação do som produzido pela garrafa quando se alterava a quantidade de água contida nela. Por comparação, os alunos buscaram realizar o mesmo procedimento.

Os alunos já tinham como hipótese que a forma do instrumento (comprimento do tubo e quantidade de água dentro da garrafa) alterava o som emitido por ele. Os diálogos abaixo mostram como essa relação foi estabelecida:

P: “como fica o som conforme você muda a quantidade de água dentro da garrafa”?

A5: “quanto mais água mais agudo”.

*P: “para o tubo, o que devemos fazer para alterar o som”?*

*A3: “deve cortar o tubo”.*

*P: “por que cortar o tubo”?*

*A3: “porque dependendo do tamanho dele o som vai ser diferente entendeu”.*

*A6: “mas sempre que o tamanho for diminuir vai ser mais agudo que antes”.*

*A7: “não é quando o tubo for menor ou maior, tem uma quantia exata pra você deixar o tubo, se você deixar o tubo muito pequeno ele não vai fazer som entendeu, e se você deixar ele muito grande não vai fazer som também, é igual à garrafa”.*

Após os alunos formularem suas hipóteses puderam testá-las na 3ª e 4ª etapa do roteiro. Cabe lembrar, de acordo com a teoria de Piaget, que caso os esquemas formulados estivessem corretos, haveria permanência do *status quo*. Caso houvesse alguma situação que provocasse desequilíbrio, o esquema seria modificado.

Uma das situações que sugerem que houvesse um desequilíbrio, modificando o esquema atual do aluno, foi a etapa referente ao cálculo da frequência que utilizava uma equação. Ao analisar o perfil do aluno A1, verificamos que a equação favoreceu a construção do esquema que relacionava o comprimento do tubo com a frequência.

Observamos que esse aluno possuía um esquema que relacionava a diminuição do comprimento do tubo PVC com a diminuição da frequência. Quando ele passou a operar de forma literal, ele observou que a relação que havia estabelecido estava errada e não poderia explicar aquilo que havia sido observado nos resultados. O diálogo abaixo mostra essa passagem:

*A1: “mas perai gente! Conforme o tubo vai diminuindo a frequência vai aumentando”?*

*A2: “é”.*

*A3: “porque é menos número pra dividir por 340”.*

*A1: “então tá errado gente! Aquilo lá que a gente colocou lá que diminui. Então aumenta. A frequência aumenta! Mas por que aumenta”?*

Já para a relação entre grave/agudo e frequência observamos que ela só foi estabelecida após a relação entre certos esquemas. Primeiro o aluno precisou associar que: quando o comprimento do tubo diminuía, o som ficava mais agudo. Essa relação foi criada

por meio da ação do aluno, no ato de cortar o tubo. Depois de formado esse esquema, outra relação foi estabelecida de forma independente dessa: quando o comprimento do tubo diminuía, a frequência aumentava. Essa relação foi estabelecida observando a medida da frequência do som emitido pelo tubo num *software*. Dessa forma, os dois esquemas puderam se relacionar, formando um esquema mais amplo: à medida em que o comprimento do tubo diminuía, a frequência aumentava e o som ficava mais agudo. A sequência didática neste caso contribuiu fortemente para a criação dessas relações.

Uma outra relação que os alunos buscaram explicar foi: por que, ao diminuir o comprimento do tubo, a frequência aumentava. Assim, a sequência didática neste caso serviu para que o aluno questionasse além daquilo que ele observou, buscando estabelecer uma causa para a relação constada. Um fator interessante é que, para fazer essa relação, o aluno deve evoluir, ampliar o seu esquema de assimilação de conhecimento. O instrumento de troca inicial foi a própria ação do aluno sobre o objeto, a partir dela ele conferiu ao objeto percebido significação própria. As seguintes explicações foram sugeridas pelos alunos:

*A1: “então tá errado gente! Aquilo lá que a gente colocou lá que diminui. Então aumenta. A frequência aumenta! Mas por que aumenta”?*

*A2: “eu acho que porque tipo [pausa de 2 segundos] elas têm que vibrar aquele mesmo [pausa de 2 segundos] porque tipo assim oh, com a mesma força”.*

*A2: “com a mesma força que a gente sopra aqui a gente sopra nesse pequeno né. A gente vai aqui é só esse espacinho, então ele tem que se movimentar bem rapidão”.*

*A1: “ah! Pra sair o som na mesma hora. Na mesma altura”.*

*A1: “mas por que ó, ta diminuindo o comprimento e a frequência ta aumentando”!*

*A2: “mas é oh, se você for pensar, desse lado tem a antena, aqui você, a cidade longe da antena, não vai pegar tanto quanto uma cidade próxima da antena”.*

*A2: “quanto mais grave é mais vibração”?*

*A1: “o grave é mais vibração porque ele é maior. Tem que ir mais rápido pra chegar até aqui”.*

Esses questionamentos são fundamentais para a evolução dos esquemas e, portanto, na construção e ampliação da estrutura de conhecimento do sujeito. À medida que o sujeito começa a se questionar e a questionar o objeto em estudo ele pode evoluir e se apropriar do conhecimento. De acordo com a teoria piagetiana, só existe conhecimento porque existe uma

construção por parte do sujeito que conhece, e, neste caso, foi a sequência didática que favoreceu esse questionamento, auxiliando o aluno a construir seu conhecimento.

Além da fala e escrita, outro meio que possibilitou ao aluno representar aquilo que estava pensando foi o desenho. Abaixo temos algumas representações do movimento do ar dentro do tubo PVC e a descrição dessas figuras feita pelos próprios alunos:

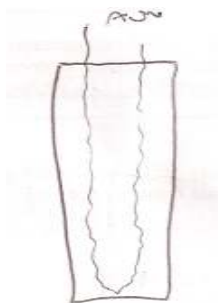


Figura 3 - Representação do movimento do ar dentro do tubo PVC pelo aluno A1

Descrição da figura 3 pelo aluno:

*A1: “eu fiz um tubo e eu desenhei o ar. O ar entrando, indo até o fim desse tubo e voltando e retornando até a superfície desse tubo”.*

*P: “então pra você o ar bate e volta”?*

*A1: “isso”.*

Observamos pela figura 3 que o aluno tem a concepção do ar entrando no tubo e sendo refletido pela extremidade inferior. Não existe a ideia de vibração das moléculas de ar. Conforme mostrou Souza e Aguiar (2011) “os alunos tendem a associar a propagação de ondas em um meio ao movimento de objetos materiais através desse meio”, ou seja, para os alunos existe algo material que caminha ao longo do tubo. Podemos relacionar essa representação com a categoria 1, em que a fonte sonora é o sopro, e com a categoria 3, na qual a propagação do som está relacionada com as moléculas de ar, ou seja, as moléculas da ar transmitem o som.



Figura 4 - Representação do movimento do ar dentro do tubo PVC pelo aluno A2

Descrição da figura 4 pelo aluno:

*A2: “as moléculas de ar estão se empurrando e transmitindo energia uma pras outras, e essas moléculas vão transformar essa energia em som”.*

Já na representação mostrada na figura 4, observamos que o aluno já traz a ideia de transmissão de movimento, em particular ele descreve como transmissão de energia. Entretanto, esse aluno representa, por meio de uma flecha, um sentido para o movimento do som e nessa representação não é abordado o movimento oscilatório da molécula de ar. Essa representação mostra novamente o que descrevemos na categoria 3: que as moléculas de ar transmitem o som. Entretanto, essa transmissão foi relacionada com energia, ou seja, as moléculas de ar transmitem a energia, e essa energia é transformada em som. O que de certa forma também apresenta relação com a categoria 8 ( produção do som), em que, para os alunos, as moléculas de ar transmitem a vibração. Como vibração é um tipo de movimento, e no movimento existe energia, as moléculas de ar, segundo o aluno, transmitem energia.

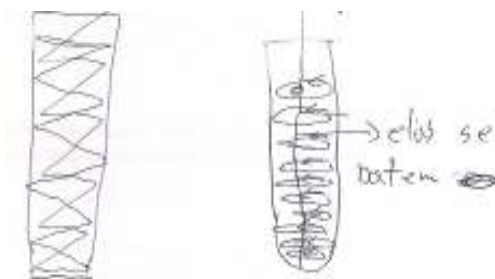


Figura 5 - Representação do movimento do ar dentro do tubo PVC pelo aluno A5.

Descrição da figura 5 pelo aluno:

A5: “os zigue-zagues representam a vibração das ondas sonoras”.

Como observamos, a figura 5 retrata o movimento das moléculas de ar, porém não é um movimento periódico, é um movimento, conforme descreve o aluno, em zigue-zague. No lado esquerdo da figura o aluno representa esse movimento em zigue-zague, desenhando a trajetória das moléculas de ar. Já no lado direito, o aluno propõe outro tipo de movimento realizado pelas moléculas de ar: um movimento circular em torno de um eixo vertical imaginário que atravessa o tubo, incluindo nesse movimento a colisão entre as moléculas. Essa conclusão, por parte do aluno, está relacionada com a categoria 8 (produção do som), em que a vibração das moléculas de ar dentro do tubo produzem o som. Observamos que o aluno não possui o esquema de movimento oscilatório, para ele a vibração é apenas um movimento em ziguezague.

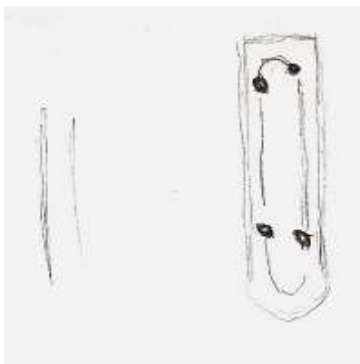


Figura 6 - Representação do movimento do ar dentro do tubo PVC pelo aluno A6.

Descrição da figura 6 pelo aluno:

A6: “é o tubo com as moléculas de ar e pra mim elas fazem todo o movimento, elas vibram, mas elas não chegam a sair do tubo”.

P: “então a vibração pra você parece um movimento circular, elas ficam rodando dentro do tubo”?

A6: “é, ou elas podem descer e subir, mas aqui”.

P: “então as moléculas percorrem todo o tubo”?

A6: “num vai e vem, mas dentro do tubo”.



Por meio da representação e desse diálogo, observamos a descrição da noção de vibração, porém essa vibração ocorre quando as moléculas de ar saem do lugar, mas não chegam a sair de dentro do tubo, ou seja, a vibração não ocorre necessariamente em torno de uma posição de equilíbrio. Assim essa vibração, segundo o aluno, ocorreria de duas formas: na primeira, a vibração existiria junto com um movimento circular, em torno de um ponto central no tubo. Na segunda forma, a vibração existiria apenas na direção vertical, num sobe e desce.

Conforme o aluno descreve a segunda forma de vibração, o esquema associado à propagação do som está no início de sua construção. É nessa etapa que observamos a necessidade de abordar o conceito de onda estacionária, visto que a compreensão desse conceito pode facilitar a descrição da configuração da vibração das moléculas de ar dentro do tubo.

Utilizando os desenhos, os alunos puderam fazer uma representação daquilo que acreditavam acontecer dentro do tubo. O que não foi expresso com palavras foi desenhado pelo aluno, na tentativa de representar um movimento. A questão é que esse movimento das moléculas de ar dentro do tubo é abstrato para o aluno. Percebemos que é necessária uma situação concreta, que permita mostrar algumas das características dessa vibração.

Algumas respostas às questões colocadas no roteiro mostraram também como o aluno construiu determinados esquemas. Em particular, na etapa em que pedimos para o aluno inventar um instrumento musical e descrever seu funcionamento, encontramos o seguinte texto escrito por ele:

*A10: “Bom, nós podemos construir uma flauta normal, para isso teríamos que pegar um cano de PVC num tamanho médio. Para que o som fique mais grave, terá que aumentar a distância entre os furos, e se quiser mais agudo os furos terão que ser mais próximos. Tá, eu acho que isso vai acontecer, pelo fato da gente ter feito a flauta pan, e quanto maior tubo, mais grave, e quanto menor, mais agudo. E o som do instrumento vai variar por causa do bico da flauta que vai ser diferente.*

Nesse episódio podemos perceber como a relação entre comprimento do tubo e som grave/agudo foi bem estabelecida por esse aluno. A sugestão do novo instrumento só pôde ser formulada devido à formação desse esquema.

Já o aluno A1, que desenhou a figura 3, escreveu a seguinte resposta referente à questão 3 da 3ª etapa do roteiro (cujo enunciado é: “Para produzir um som agradável usando o instrumento que vocês fizeram é fundamental que você sopre com o tubo embaixo do lábio inferior. Neste caso, para produzir um som é necessário que algo vibre. O que está vibrando para produzir os sons emitidos pelos tubos?”):

*A1: “é o ar emitido da boca, bate no fundo do tubo e faz vibrar, no caso as moléculas de ar, e vai uma batendo na outra. Elas ficam se rebatendo”.*

Como podemos observar, essa resposta confirmou aquilo que foi representado na figura 3.

Em relação a última questão da quarta etapa do roteiro, transcrita a seguir, temos uma resposta do aluno:

Questão: “Então explique o que ocorre quando ouvimos uma determinada nota sendo tocada por um instrumento musical. Comece a descrever desde o instante em que a pessoa assopra o tubo até o instante em que o som chega aos nossos ouvidos. Utilize os conceitos físicos que você aprendeu, como frequência, amplitude e comprimento de onda.”

Exemplo de resposta dada pelo aluno A9:

*A9: “quando a pessoa assopra, ela faz as moléculas se movimentar, mas não sair do lugar, mas sim tremer sempre em torno de um eixo e vai passando de uma pra outra fazendo todas tremer, até chegar aos seus ouvidos”.*

Aqui percebemos uma formulação mais elaborada a respeito da propagação do som.

### **6.3 Resultados do Teste Piloto e Implicações na Pesquisa**

As conclusões confusas dos alunos para o conceito comprimento de onda e amplitude apontam para uma inadequação da sequência didática para a construção desses conceitos. Constatamos que foi necessário acrescentar outras atividades para auxiliar na construção desses esquemas.

Verificamos que, para abordar o conceito de comprimento de onda de uma onda sonora, fazendo comparações com ondas longitudinais provocada em mola, não foi suficiente, seria necessário a abordagem do conceito de onda estacionária. Assim, na primeira proposta

foi usado um dispositivo para que os alunos pudessem verificar a ocorrência dessa onda. Neste caso, sugerimos o experimento do tubo de Kundt, proposto por Saab, Cassàro e Brinatti (2005). Uma das sugestões para tentar resolver esse problemas foi utilizar esse experimento na aula introdutória, correspondente ao primeiro encontro. Assim, reformulamos o plano de aula (Apêndice 2), abordando o conceito de onda estacionária com o experimento citado.

Um outro aspecto que ficou bastante evidente no teste piloto foi que a construção da flauta pan não auxiliou favoravelmente na construção do conceito de amplitude. Portanto, decidimos utilizar um outro instrumento para a construção desse conceito: um instrumento de corda alternativo. Os alunos passariam a construir esse novo instrumento de forma semelhante à construção da flauta pan.

Para o desenvolvimento da pesquisa, continuamos com a mesma metodologia do teste piloto nesta pesquisa. Como introduzimos a construção de outro instrumento musical, no caso um instrumento de corda, a aula introdutória ficou mais extensa, pois houve mais uma atividade para discutir as ondas estacionárias, portanto, foram previstos 3 encontros ao invés de 2, como feito anteriormente. Também mudamos a formação dos grupos. Em função da turma escolhida, montamos 5 grupos, cada um com 5 alunos, para termos uma condição real de números de alunos numa classe. Permitindo assim uma análise mais voltada à sala de aula.

Um fato que nos preocupou inicialmente, ao realizar as modificações como consequências dos resultados do teste piloto, foi em relação ao tempo para o desenvolvimento da nova sequência didática. Isto é, se a proposta reformulada ficaria cansativa, já que seriam necessários três encontros para concluí-la. Porém, com os comentários dos alunos, percebemos que quando eles são expostos a atividades diferentes, e que os motiva, o tempo não é relevante.

O teste piloto cumpriu o papel de apontar aspectos da proposta que estavam funcionando e aspectos que deveriam ser reavaliados. A sequência didática proposta no teste piloto foi eficiente para a construção do conceito de frequência. Assim, decidimos continuar com a utilização do roteiro para a construção dos instrumentos musicais para auxiliar na aprendizagem de conceitos físicos, e fizemos as alterações citadas acima. No apêndice 4 está a reformulação do roteiro referente à construção da flauta pan e a elaboração do roteiro do instrumento de corda.

Os resultados e a proposta desse teste piloto foram objeto de apresentação e publicada no XIX Simpósio Nacional de Ensino de Física (MAEOCA e GOBARA, 2011), o que sugere que a sequência proposta, como uma forma alternativa de ensino para auxiliar a aprendizagem

dos conceitos de frequência e amplitude sonora pelos alunos, já passou por uma avaliação com boa aceitação pela comunidade científica.

#### **6.4 Considerações Preliminares do Teste Piloto**

Como resultado do teste piloto, procuramos avaliar a sequência didática proposta e concluímos que esta se apresentou como uma eficiente estratégia para auxiliar os alunos na construção do esquema que relacionava frequência com comprimento do tubo e som grave/agudo. Contudo, para os conceitos comprimento de onda e amplitude de uma onda, a sequência não atingiu os objetivos. Assim, concluímos que o conceito de onda estacionária, que não havia sido discutido, deveria aparecer na aula introdutória. Em relação ao roteiro da construção da flauta pan sugerimos reformulações de algumas questões.

Com relação ao sistema de categorias construído no teste piloto, as análises das produções dos alunos e dos seus diálogos permitiram inferir que existem três situações que sugerem as transformações ou a manutenção dos esquemas de assimilação.

A primeira é que o esquema relacionado com a categoria 3, que associava o som como sendo uma substância que se propagava com o ar, permaneceu inalterado para a maior parte dos alunos. Para outros, esse esquema estava em construção.

A segunda é que os esquemas associados às categorias 4 e 6, referentes às conclusões formuladas pelos alunos a respeito do comprimento de onda e amplitude da onda sonora, não se apresentaram bem formuladas, havendo incoerência em algumas respostas. E, por último, o esquema que relacionava frequência com alguns parâmetros do tubo foi ampliado.

O conceito de frequência foi muito bem trabalhado quando o aluno percebeu que o som de cada tubo da flauta pan tinha uma característica diferente, que não era visível, mas possível de ouvir. O aluno teve condições de observar que a frequência estava relacionada com o comprimento do tubo. Já os conceitos de comprimento de onda e amplitude de uma onda sonora exigiam uma abstração maior.

#### **6.5 A sequência didática final**

Após realizar o teste piloto, alteramos algumas atividades, assim como inserimos outras, e aplicamos novamente em sala de aula.

Os alunos participantes eram de uma escola pública de ensino integral. Nessa escola, parte do período vespertino é destinado às oficinas, dentre elas a Oficina de Física Experimental. Usamos os horários dessas oficinas para os encontros em que participavam alunos do primeiro e segundo ano, totalizando 30 alunos. Trabalhamos com essa classe de Oficina de Física Experimental, diferentemente da turma trabalhada no teste piloto, em que os alunos, em número reduzido, aceitaram voluntariamente participar da etapa piloto da pesquisa.

Para essa sequência didática foram necessários três encontros, sendo um encontro por semana de aproximadamente 1 hora e meia. Nesses encontros, foi entregue um roteiro (Apêndices 3 e 4) dividido em 4 etapas.

A primeira etapa desse roteiro teve como objetivo levar o aluno a observar alguns materiais que produzem som e discutir como é o som produzido por tais materiais. Foi uma ação inicial em que o aluno buscava descobrir como deveria agir para o material emitir o som.

Na segunda etapa as ações foram mais direcionadas. No roteiro foi sugerido ao aluno modificar algumas características desses materiais e discutir o que acontecia com o som. O objetivo foi auxiliar o aluno a observar que conforme o comprimento do tubo ou do fio mudava o som emitido por esses materiais também mudava.

A terceira etapa do roteiro teve como objetivo ajudar o aluno a refletir sobre suas ações realizadas na segunda etapa, e medir a frequência dos sons com o auxílio do computador, relacionando-a com som grave e agudo. A quarta etapa teve por objetivo auxiliar o aluno a estabelecer relações de causa e efeito. Nessa etapa, o aluno deveria relacionar a variação do comprimento do tubo com a variação da frequência, assim como a variação do comprimento do fio com a variação da frequência. Da mesma forma, nessa etapa o aluno foi questionado sobre a relação entre força do assopro (ou força do toque no fio) e amplitude, utilizando o computador para medi-la. Nessa etapa, o aluno também relacionou som grave e agudo com a frequência.

O primeiro encontro dessa etapa da pesquisa ocorreu da mesma forma que descrito no item 6.1. Entretanto, fizemos algumas alterações na aula introdutória, inserindo o conteúdo de ondas estacionárias junto com o experimento do tubo de Kundt, que se encontra no apêndice 2, assim como no roteiro da construção da flauta pan (apêndice 4).

No segundo encontro, os alunos foram divididos em 5 grupos de 6 alunos cada um. Entregamos um roteiro, conforme discutimos anteriormente, com instruções sobre algumas

atividades que deveriam ser realizadas para a construção do instrumento de sopro: a flauta pan, que está no apêndice deste trabalho (Apêndice 4).



Figura 7 – Representação da flauta pan<sup>2</sup>.

A flauta pan, como já explicamos, é um instrumento composto de 8 tubos, com comprimentos diferentes e o fundo fechado. Assim, cada tubo emite um som com frequência diferente, correspondendo a uma nota musical específica. A figura 7 mostra um desenho desse instrumento.

Ribeiro Júnior e Crochik (2009) investigaram as interações entre arte e ciência para contextualizar o conhecimento científico. Nesse trabalho, eles já propuseram aos alunos que juntassem diversos canos para verificar que quanto maior o comprimento do cano, mais grave ficava o som. Nessa perspectiva, também utilizamos instrumentos de sopro, tais como apitos e flauta pan, para estimular o aluno a construir alguns conceitos físicos.

Em nossa pesquisa, no início da atividade da construção da flauta pan, os alunos interagiram com apitos, pedaços de cano PVC e garrafas com água. Nessa interação, eles observaram alguns fatores que alteravam o som. No roteiro entregue aos grupos havia orientações sobre determinadas observações e reflexões a serem feitas. Cada grupo recebeu um roteiro, assim eles discutiam entre si as atividades propostas.

Toda a discussão dos grupos foi gravada em áudio e sua transcrição serviu de documento de análise, assim como o próprio roteiro que os alunos devolveram após terminar o encontro. Usamos a gravação em áudio e a escrita dos alunos para investigar como a estratégia proposta auxiliou na construção dos conceitos frequência e amplitude, visto que, devido ao tempo para a aplicação da sequência didática, não foi possível discutir e trabalhar o conceito comprimento de onda.

É importante frisar que o roteiro não tem a finalidade de descrever ou definir os conceitos físicos sobre o conteúdo estudado, como ocorre com alguns roteiros fechados e

---

<sup>2</sup> Disponível em :< <http://musica.culturamix.com/instrumentos/flauta-de-bambu>> Acesso em 10/3/2012.

rígidos do tipo “receita de bolo”. Nesse roteiro, o aluno recebeu orientações quanto à observação de algumas características e relações, ou seja: tamanho dos tubos, som que eles emitem (conforme seu comprimento), relação entre frequência e características do som, etc.

O roteiro apresentava seções questionando o aluno quanto a suas observações durante a construção do instrumento. Além dessas questões, medidas da frequência e da amplitude do som foram realizadas com o uso do computador, a fim de incentivar reflexões acerca dessa atividade. Essas questões e medidas da frequência realizadas pelo computador, que estimulam o aluno a refletir sobre suas ações, tinham por finalidade auxiliá-lo na construção dos conceitos de frequência e amplitude, possibilitando ao aluno a ampliação de seus esquemas, estabelecendo relações entre os esquemas criados no primeiro encontro (mola de encadernação) e os esquemas relacionados aos conceitos de ondas sonoras, que eles deveriam construir no segundo encontro.

No terceiro encontro, os alunos também foram divididos em 5 grupos de 6 alunos cada um. Eles receberam um roteiro, com a mesma estrutura do roteiro do segundo encontro, para a construção do instrumento de corda, que chamamos de Violopão. Esse instrumento consiste em uma caixa de papelão com um furo circular na tampa, onde atravessam dois fios de nylon de espessuras diferentes. Com o auxílio de um suporte, é possível alterar o comprimento dos fios, conforme mostra a figura 8.

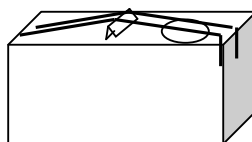


Figura 8 – Representação do Violopão de caixa de papelão.

Ribeiro Júnior e Crochik (2009) também haviam proposto utilizar um instrumento musical de corda com os alunos, intitulado planetário, para que variassem o comprimento da corda, tanto para deixá-la mais comprida quanto mais curta, e explicassem qual seria a sensação sonora quando eles variassem os comprimentos.

No início de nossa atividade da construção do Violopão, os alunos usaram um copo descartável de plástico e fio de nylon para observar como ampliar o som. Também observaram o que acontecia com o som quando o comprimento do fio de nylon era alterado. O roteiro da construção do Violopão se encontra no Apêndice 5.

Essa atividade inicial teve por objetivo auxiliar na construção de esquemas que seriam necessários para explicar as características das ondas sonoras. Dessa forma, os alunos poderiam construir e refletir sobre alguns aspectos do som do Violopão.

A sequência didática foi finalizada no terceiro encontro, conforme havíamos planejado. Como não era nosso objetivo entrar em aspectos relacionados ao conceito de música, deixamos para um trabalho posterior.

## **6.6 Interpretação dos dados da sequência didática final**

De posse dos documentos, iniciamos a análise dos dados fazendo uma “leitura flutuante” sobre os diálogos e repostas dos alunos. Nessa leitura inicial, obtivemos a primeira impressão e intuição acerca das categorias escolhidas para representar os documentos. Como afirma Bardin (BARDIN, 2009), essa leitura tem por objetivo estabelecer contato com os documentos a analisar e conhecer o texto, deixando-se invadir por impressões e orientações.

Para transcrever a fala dos alunos, utilizamos a simbologia  $A_{ij}$  para se referir a determinado aluno da classe. A letra  $A$  representa o aluno,  $i$  o número do grupo no qual esse aluno estava e como tínhamos na sala 5 grupos,  $i$  varia de 1 a 5. A letra  $j$  é o número que se refere ao nome do aluno, como havia em cada grupo 6 alunos,  $j$  varia de 1 a 6. Dessa forma, a notação  $A_{24}$  refere-se ao aluno 4 do grupo 2, já a notação  $A_{34}$  refere-se ao aluno 4 do grupo 3, e assim por diante.

Para analisarmos as falas dos alunos, nos detivemos aos episódios que evidenciavam a situação que queríamos investigar. Assim, aquelas falas que não contribuiriam para a situação investigada foram suprimidas.

De acordo com a análise dos dados, definimos um sistema de categorias baseado nas hipóteses formuladas pelos alunos a respeito da onda sonora na 1ª e 2ª etapas do roteiro da construção do instrumento do sopro. Foi nessa etapa do roteiro que os alunos começaram a formular hipóteses acerca do que observavam, pois eram questionados sobre sua ação. Já na 3ª e 4ª etapa do roteiro os alunos puderam testar suas hipóteses e propor algumas conclusões.

O quadro 3 mostra as categorias, subcategorias e indicadores das hipóteses a que os alunos chegaram a respeito do som na construção do instrumento de sopro. Os itens em negrito, com as numerações 1 e 2, se referem às categorias. Os itens em negrito, com as numerações 1.1, 1.2 e 1.3 são subcategorias, os demais itens são indicadores. Para a construção desse instrumento, os alunos realizaram várias atividades, como manusear apitos



para comparar os sons emitidos, utilizar garrafa com quantidades diferente de água e pedaços (de comprimentos diferentes) de tubo PVC, para comparar o som também.

<b>1 - Fatores que alteram o som</b>	<b>2 - Frequência</b>
<b>1.1 no apito:</b> Tampar o furo; Tamanho do furo; Forma do furo; Tipo de material; Tamanho.	Som fraco Som agudo/ grave Som alto/ baixo Som grande Som diferente
<b>1.2 na garrafa:</b> Colocar ou tirar água; Quantidade de água; Inclinação da garrafa.	
<b>1.3 no tubo PVC:</b> Fazer furos; Tamanho do tubo.	

QUADRO 3. Sistema de Categorias e indicadores das hipóteses dos alunos sobre o som no instrumento de sopro.

Por meio dos indicadores do quadro 3, observamos que os alunos confundem o conceito de frequência com o conceito de amplitude, mostrado na categoria 2. Isso pode ser atribuído ao fato de estarem ainda no processo de assimilação desses conceitos. Como trabalhamos com frequência e amplitude ao mesmo tempo, alguns alunos não diferenciavam esses conceitos, mesmo mostrando a eles experimentalmente as relações que existem entre o comprimento do tubo ou o fio e a frequência, ou apresentando a definição cientificamente aceita dos conceitos de amplitude e frequência, pois conforme afirma Carvalho (1992, p. 86), “o conhecimento não é simplesmente transmitido ou revelado, mas construído pelo próprio sujeito a partir de impressões ou vagas noções que evoluem de acordo com as possibilidades e oportunidades desse sujeito”.

Além disso, como já foi descrito no capítulo 2, o ouvido sente melhor frequências mais agudas, dificultando para o aluno diferenciar a alteração da frequência e a alteração da amplitude da onda sonora.

Outro aspecto importante é que a noção que os alunos têm de som alto, baixo e volume tem como origem o uso cotidiano dos termos, sem tradução em termos científicos de frequência e amplitude (BORGES e RODRIGUES, 2005).

Assim, no decorrer da sequência didática, foram propostas ações para que os alunos evoluíssem na construção dos conceitos discutidos. Observamos que essas ações auxiliaram na observação e indagação daquilo que estavam estudando. No questionamento a respeito dos fatores que alteram o som no tubo, o aluno respondeu:

*A26: “à medida que o tubo aumenta, fica mais grave”.*

Com essa observação, ele começa a formular teorias sobre o som, ele já sabe que quando o comprimento do tubo aumenta, o som fica mais grave. É o início do processo de assimilação. O aluno já tem o esquema de comparação, portanto, utilizou-se desse esquema para comparar o som à medida que o comprimento do tubo varia. Por meio desse esquema, ele comparou o tamanho do tubo com o efeito do som e estabeleceu **uma relação entre o comprimento do tubo e a variação do som**: para os sons serem diferentes os tubos terão que ter comprimentos diferentes, como conclui o aluno 2 do grupo 1. Quando encontra dois tubos de comprimentos iguais, ele questionou:

*A12: “professora, tem dois tubos com comprimento bem parecido, pode cortar pra sair o som mais diferente”?*

Para elaborar o segundo sistemas de categorias, referente às conclusões dos alunos sobre **frequência, amplitude e produção do som**, analisamos os documentos com as falas dos alunos, gravadas durante a 3ª e 4ª etapa do roteiro da construção da flauta pan, e as respostas escritas, conforme as questões que aparecem nessas etapas. O quadro 4 mostra as categorias (itens em negrito com a numeração 1, 2, 3, e 4) que estabelecemos referente às conclusões que os alunos chegaram a respeito das características do som após a construção do instrumento de sopro.

<b>1 - Relações entre o tubo e as características do som.</b>	<b>2 - Relações entre frequência, características do tubo e características fisiológicas do som.</b>	<b>3 - Relações entre amplitude e características fisiológicas do som.</b>	<b>4 - Produção do som pelo instrumento de sopro.</b>
Se o tubo aumenta, o som fica mais grave.	Quanto maior a frequência, mais agudo é o som.	Volume	Vibração do ar.
Se o tubo diminui, o som fica mais agudo.	Quanto menor a frequência, mais grave é o som.	Som forte/fraco.	Vibração do papel no fundo do tubo.
	Quanto menor (maior) o comprimento do tubo mais agudo (grave) é o som.	Som alto	Vibração do tubo.
	Quanto mais forte for o assopro mais grave.		

QUADRO 4. Sistema de Categorias e indicadores referentes às conclusões dos alunos com relação ao som no instrumento de sopro.

Nesse quadro, diferenciamos as relações entre as variáveis do tubo e do som que os alunos construíram. Por meio dessas relações, foi possível fazer uma análise mais detalhada da construção dos conceitos de frequência e amplitude, o que não foi realizado no teste piloto.

Quando comparamos as categorias do teste piloto (Cap. 6.2) com as categorias do quadro 4 observamos que as categorias abordadas no teste piloto apresentam indicadores com definições dos conceitos frequência e amplitude. Já as categorias apresentadas no quadro 4 estabelecem apenas relações entre variáveis e o conceito estudado (frequência e amplitude), eles não definem o que é frequência e o que é amplitude. Isso se deve ao fato de o teste piloto ter sido realizado com um número reduzido de alunos voluntários.

### **Categoria 1**

A categoria 1 trata das relações que os alunos formularam após a realização de atividades com apitos e garrafa. Na atividade inicial do roteiro para a construção do flauta

pan, a proposta é verificar quais fatores alteram o som do apito e como a quantidade de água dentro de uma garrafa de vidro altera o som.

Nessa etapa, os alunos observaram que conforme variava a quantidade de água dentro da garrafa o som ficava mais grave ou mais agudo. Já nos apitos entregues aos alunos, o tamanho, disposição e abertura dos furos alteravam o som emitido por eles. Assim ao serem questionados sobre uma forma de alterar o som emitido pelo tubo eles propuseram: fazer buraquinhos, bater no tubo e mudar o comprimento. Essas sugestões surgiram devido à interação inicial, quando eles generalizaram as ações da atividade inicial. Eles buscaram em suas ações aquilo que pudesse ser aplicado e praticado novamente, sem estar previsto em suas ações originais. “A assimilação reprodutora faz surgir o esquema; a aplicação do esquema à diversidade do meio exterior faz com que o esquema se generalize” (BECKER, 2003, p. 47).

Após ser escolhido o comprimento do tubo como meio de alterar o som emitido por ele, foi proposto aos alunos que tocassem os tubos de comprimentos diferentes e observassem a diferença que existe entre os sons emitidos. Quando questionamos no roteiro “... como é o som emitido por eles”? Os alunos responderam:

*A25: “o som que é emitido é um som que muda conforme o tamanho do tubo”.*

*A34: “conforme vai diminuindo o tamanho do tubo, o som diminui também, ele fica mais agudo”.*

*A55: “que quanto maior o tubo mais grave será o som, quanto menor o tubo mais agudo”.*

Os alunos observaram a relação entre o comprimento do tubo e o som e concluíram corretamente que, se o tubo diminui de comprimento, o som fica mais agudo e se o comprimento do tubo aumenta, o som fica mais grave. Entretanto, eles não falaram em frequência, o que sugere que esse conceito ainda não havia sido relacionado com grave/agudo. Podemos notar que os indicadores da categoria 1 não apresentam o conceito frequência, apenas grave e agudo.

Neste estágio, os alunos parecem apresentar dificuldades em relação à noção de transitividade, mas isso ocorre porque as ações desse aluno dependem de dados perceptivos. Durante a realização e discussão das etapas 3 e 4 do roteiro, referente à construção do instrumento de sopro (Apêndice 4), observamos que eles já possuem o esquema de reversibilidade, como esperado para alunos nessa faixa etária, pois eles facilmente observaram

e concluíram que se o comprimento do tubo diminui o som fica mais agudo e para deixar o som mais agudo é necessário diminuir o comprimento do tubo.

## **Categoria 2**

Na sequência do roteiro, apresentamos aos alunos um instrumento capaz de mostrar a nota musical que está sendo emitida por cada tubo: o diapasão. Assim os alunos verificaram as notas que estavam sendo emitidas pelos tubos. Em seguida, utilizamos um *software* para medir a frequência de cada tubo.

Com o valor numérico da frequência e as notas emitidas pelo instrumento, os alunos puderam, inicialmente, estabelecer uma relação entre frequência e o som grave/agudo. Vendo o valor da frequência aumentar no computador conforme tocavam a flauta, os alunos concluíram que quando a frequência aumentava, o som ficava mais agudo. O diálogo abaixo retrata uma dessas passagens:

*A11: “quando toca o maior fica grave e quando toca o menor fica agudo, mas eu não sei se a frequência aumenta com o agudo ou diminui”.*

O aluno tocava o instrumento e observava no computador o que acontecia com o valor da frequência. Após observar o valor, perguntamos:

*Pesquisador: o que acontece com o valor da frequência quando o som fica mais agudo?*

*A23: “ela aumenta”.*

Após realizarem as medidas da frequência do som emitido pelo tubo no computador, buscamos auxiliar os alunos a relacionarem as três variáveis entre si: comprimento do tubo, características fisiológicas do som (grave/agudo) e frequência. Dessa forma, foi possível levar o aluno a utilizar a noção de transitividade para construir o conceito de frequência. O diálogo abaixo mostra uma dessas passagens:

*Pesquisador: o que acontece mesmo com o valor da frequência quando o tubo diminui?*

*A11: “ela aumenta”.*

Pesquisador: *E o que acontece com o som quando o tubo diminui? Fica grave ou agudo?*

*A11: “agudo”.*

Pesquisador: *Então quando a frequência aumenta, o que acontece com o som?*

*A11: “é [pausa de 3 segundos] fica agudo”.*

Essas manifestações dos alunos sugerem que eles se encontram no primeiro nível do estágio das operações concretas, onde as ações interiorizadas tornam-se operações. Essas ações interiorizadas, em particular, levaram o aluno a construir estruturas lógico-matemáticas, sendo a transitividade uma delas.

Neste caso temos que: para a **frequência aumentar (A)**, **implica no comprimento do tubo diminuir (B)** e se o **comprimento do tubo diminuir (B)** leva ao **som agudo (C)**, ou seja, se a **frequência aumentar** leva ao **som agudo**, tal que se  $A \rightarrow B$  e  $B \rightarrow C$ , então  $A \rightarrow C$ . Essa relação é observada quando o aluno conclui que se a frequência aumentar o som fica agudo. A transitividade só se torna evidente ao aluno quando ele tem a percepção simultânea dos elementos A, B e C (PIAGET, 1967).

Dessa forma, na categoria 2 temos indicadores que relacionam o conceito frequência com som grave/agudo, assim como o comprimento do tubo com som grave/agudo. Entretanto, o terceiro indicador relaciona a frequência com a força do assopro. Em uma das questões do roteiro questionamos o que deveria ser feito para que o som saísse mais grave. Metade dos alunos respondeu que deveria assoprar mais forte. Os alunos relacionaram de forma incorreta as variáveis que alteram a amplitude (força do assopro) com a variação da frequência (grave).

### **Categoria 3**

Em relação à categoria 3, que estabelece relações entre a amplitude e características do som, pedimos aos alunos para tocarem um mesmo tubo: na primeira vez deveriam soprar forte e na segunda vez, fraco. Assim mediriam no computador a amplitude do som para os dois casos de assopro. Após a realização das medidas, pedimos que descrevessem a diferença entre os sons. As respostas mostraram os indicadores apontados nessa categoria.

Quando o aluno relaciona amplitude com volume ele não está definindo o conceito amplitude. Para o aluno, a noção de volume, neste caso, é o da caixa de som, do auto-falante,

ou no caso do instrumento de sopro é a intensidade do som. Ao questionarmos o que mudou no som quando ele assoprou forte e quando assoprou fraco, o aluno respondeu:

*A21: “o volume”.*

Já outro aluno, quando foi questionado sobre o que é necessário fazer para aumentar a amplitude do som, respondeu:

*A11: “amplitude é o volume, tocar mais forte”.*

Observamos que a relação estabelecida está correta, o aluno estabelece corretamente a relação entre volume e amplitude.

Quando os alunos observaram que ao assoprar o tubo com força o volume aumentou criaram adjetivos buscando caracterizar esse som. Os termos som forte e som fraco, que aparecem como indicadores na categoria 3, são explicados pela necessidade que o aluno tem de descrever a sensação de um som de volume alto e um som de volume baixo. Quando questionamos o que aconteceu com o som ao assoprar com mais força e depois assoprar fraco, o grupo 5 respondeu no roteiro: *Um ficou mais forte e o outro mais fraco”.*

Em relação ao terceiro indicador da categoria 3, os alunos relacionaram amplitude com som alto. Eles demonstraram uma concepção intuitiva no qual o som mais agudo é mais intenso, ou seja, para estes alunos, a intensidade do som possui uma dependência direta da frequência como, também, foi observado no trabalho de Nascimento e Gobara (2007).

#### **Categoria 4**

Em relação à fonte sonora no tubo (categoria 4) observamos que os alunos associaram a fonte sonora no tubo com a vibração de algo, ou seja, o som é produzido pela vibração do ar, do papel no fundo do tubo e do próprio tubo, em todos os indicadores,.

Durante a sequência didática, os alunos tocaram a flauta pan e observaram que, ao tocar com o dedo o fundo do tubo, o qual estava tampado com um pedaço de papel, este vibrava. Assim, pela observação, concluíram que tanto o tubo quanto o papel que está no fundo do tubo vibram ao tocar o instrumento. Como não é possível enxergar essa vibração, foi necessário usar o tato para que formulassem essa conclusão. Os alunos foram capazes de

abstrair esse movimento de vibração e concluir que ele é transmitido para o ar. Em uma das questões propostas no roteiro, sobre o que estaria vibrando para produzir os sons emitidos pela flauta pan, o aluno comentou:

*A26: “tudo o que está dentro do tubo e em contato com o ar vibra”.*

Outros alunos, do mesmo grupo, discutiram essa questão da seguinte forma:

*A21: “o ar”.*

*A22: “não é o ar”.*

*A21: “é sim”!*

*A23: “as vibrações que o ar faz por segundo produz o som”.*

*A22: “é o ar em contato com isso aqui óh! por que o ar sozinho não vibra. Tira o papel pra você ver, você assopra o ar passa reto, agora se não fosse o papel ali, o ar bate e volta e sai o som”.*

*A21: “então, mas é o ar”!*

*A22: “é o ar no papel”!*

Observamos que o aluno 2 do grupo 2 concluiu que o ar não começa a vibrar sozinho, é necessário o contato com algo para que essa vibração inicie, e no caso discutido por ele seria o papel no fundo do tubo. Poderíamos dizer que esse aluno está construindo a noção de conservação, porém ela não está completa. É exatamente essa noção que fecha a estrutura, o aluno inicia com a noção de reversibilidade, discutida na categoria 1, depois passa a construir a noção de transitividade, discutida na categoria 2 e por fim começa a construir a noção de conservação, em que a vibração dos objetos é transmitida para o ar, seria a noção de movimento periódico, que o aluno ainda não tem. Essa estrutura ficará completa quando o aluno for capaz de associar a frequência com a vibração do ar, o que não foi possível nessa pesquisa. O mesmo grupo discute essa questão da seguinte forma:

*A21: “o papel”.*

*A22: “não é só o papel, o tubo também vibra só que a gente não sente”.*

*A23: “mas óh, coloca a mão aqui no papel e assopra: o papel tá vibrando”.*



A21: “então o que vibra é o ar que a gente assopra, e faz o tubo PVC também vibrar emitindo som”.

A22: “não exatamente o tubo vai emitir som, o tubo vai vibrar”.

A21: “o ar que a gente assopra vibra o tubo e emite o som, não tô falando que o tubo emite o som! tô falando que o ar emite o som! porque se não tiver ar não tem som pra emitir”.

A22: “o que realmente causa o som é o papel, por que sem o papel não sairia o som”.

A23: “se não tivesse algo tampando embaixo não sairia o som. Ele iria passar reto”.

A21: “na verdade tudo vai vibrar, se você colocasse a flauta em cima da mesa para tampar o fundo, a mesa também iria vibrar. Tudo que estiver em contato com ar dentro do tubo vibra”.

A21: “lembra daquela máquina que se estivesse vibrando e a gente colocasse pozinho ia vibrar lá dentro. Então tudo que tá lá dentro do tubo em contato com o ar vibra”.

A22: “vamo vê? coloca um papelzinho aqui dentro do tubo pra gente vê se vibra”!

A21: “se fosse transparente a gente ia ver”!

A discussão realizada por esses alunos mostra que a observação do concreto auxiliou na formulação de situações abstratas. Eles perceberam pelo tato que o papel estava vibrando, assim como o tubo, e generalizaram para todas as outras coisas que estivesse dentro do tubo, em contato com o ar. A observação de uma situação concreta e a discussão entre eles auxiliaram na construção de esquemas, o que sugere o início de um processo de acomodação do conceito.

Essa passagem é descrita por Becker da seguinte forma:

Esse trajeto da ação, cujo percurso vai transformando objeto e sujeito, pode ser visto como tomada de consciência: a partir dos resultados da ação, o sujeito vai apropriando-se, progressivamente, dos mecanismos íntimos da ação própria. De uma forma mais simples, podemos dizer que o sujeito vai dando-se conta, por força de sua crescente capacidade representativa, de como age, tornando-se capaz de reproduzir sua ação corrigindo seus rumos, eliminando trajetos desnecessários ou criando trajetos novos, dirigindo-a para novos objetivos, etc (BECKER, p.29. 2003).

A partir do resultado percebido, pela vibração do papel que tampava o fundo do tubo, os alunos começaram a observar que havia outras fontes de vibração, discutiram suas hipóteses até se darem conta de que tudo em contato com o ar vibra. Reproduziram suas ações

de forma mental até sugerirem uma situação que ainda não havia sido testada: colocar papel dentro do tubo para mostrar que o papel também vibraria.

Eles também enfatizaram a importância do papel: sem este, conforme eles afirmaram, não existiria som. O papel tem a função de impedir a saída do ar, ou seja, o ar bate no fundo e retorna. Devido ao objetivo traçado na pesquisa, não trabalhamos com tubos abertos em ambas as extremidades. Observamos que esses alunos desconheciam o uso desse tipo de tubo para a produção de som. Para eles, apenas tubos fechados em uma das extremidades seriam capazes de produzir som. Fica para um posterior trabalho o uso de tubos com ambas as extremidades abertas para produzir som, inclusive ele poderia ser utilizado como forma de provocar um desequilíbrio cognitivo nesses alunos.

A figura 9 mostra como ficou a flauta pan construída pelos alunos.



Figura 9 – Fotografia da Flauta Pan construída pelo grupo 2.

A mesma divisão de categorias foi realizada para a construção do instrumento de corda. O quadro 5 mostra as categorias (itens em negrito com a numeração 1, 2, 3, 4 e 5) que estabelecemos referentes às conclusões dos alunos a respeito do som.

<b>1: Relações entre características do fio de nylon e características do som.</b>	<b>2: Relações entre frequência e características fisiológicas do som.</b>	<b>3: Relações entre amplitude e características da corda.</b>	<b>4: Produção do som pelo instrumento de corda.</b>	<b>5. Função da caixa de papelão</b>
Se a espessura do fio aumenta, o som fica grave.	Se a frequência aumenta, o som fica mais agudo.	Força do toque.	Vibração dos fios.	Ecoar, refletir o som.
Se a espessura do fio diminui, o som fica mais agudo.	Se a frequência diminui, o som fica mais grave.	Volume	Vibração da caixa.	Segurar o som.
Se o comprimento aumenta, a frequência diminui.	Som grave é som maior.		A vibração do ar.	
Se o comprimento diminui, a frequência aumenta.				
Esticar os fios muda a frequência.				

QUADRO 5. Sistema de Categorias e indicadores referentes às conclusões dos alunos sobre o som produzido no instrumento de corda.

### **Categoria 1**

Na categoria 1 do quadro 5, os alunos formularam relações entre as características do fio de nylon e o som que ouviam ao tocá-lo. Nessas relações, observamos que os termos agudo/grave e frequência aumentar/diminuir são usados simultaneamente. Na etapa anterior, ou seja, na construção da flauta pan, os alunos não relacionaram grave/agudo com frequência alta/baixa. Quando retornamos ao quadro 4 (categoria 1) notamos que as características do tubo são relacionadas apenas com o fato de o som ficar mais agudo ou mais grave. Não foi mencionado o fato de a frequência aumentar ou diminuir. Pressupusemos que na construção do Violopão essa relação já estaria acomodada na estrutura cognitiva do aluno.

Podemos observar isso no comentário de um aluno A11 que afirmou:

*A11: “quando o comprimento aumentou, a frequência aumentou, então quando a frequência aumenta o som fica mais agudo”.*

Nessa fase o aluno já é capaz de associar com clareza a relação entre comprimento do fio, frequência alta/baixa e agudo/grave. A noção de transitividade é novamente evidenciada, e as ações possuem uma estrutura operatória.

Na primeira etapa da construção do Violopão foi proposto ao aluno modificar algumas características possíveis do fio de nylon, como espessura e comprimento. Apesar de não ser enfatizada a tração como forma de alterar a frequência do som, os alunos observaram que, conforme amarravam o fio, a frequência era alterada, pois quando esticavam o fio o som ficava mais agudo. Inclusive essa foi uma das dificuldades encontradas pelos alunos ao construir esse instrumento.

## **Categoria 2**

A relação entre frequência e características fisiológicas do som, apresentada na categoria 2, mostra que a variação da frequência faz o som ficar grave ou agudo. Essa observação feita pelos alunos provém das discussões propostas no roteiro. Inclusive uma tabela com medidas numéricas foi feita por eles, considerando as variáveis: comprimento do fio, frequência e espessura.

Em relação ao indicador 3 dessa categoria, som grave é som maior, observamos que alguns alunos ainda continuaram descrevendo som grave/agudo com adjetivos que exprimem essa sensação. Ao questionarmos o que foi necessário fazer para que o som ficasse mais grave o aluno A51 comentou:

*A51: “mais grave é maior, então você aumenta o comprimento da corda”.*

Em relação ao conceito amplitude, observamos que os alunos diferenciaram melhor do conceito frequência com a realização da atividade com o Violopão. Quando questionamos se a frequência muda ao tocarmos os fios com mais força e depois com menos força, o aluno A35 respondeu que:

*A35: “não, pois é a amplitude que muda”.*

### **Categoria 3**

A categoria 3 mostra que a amplitude está relacionada apenas com força do toque e volume. Observamos que o conceito amplitude ainda não é definido pelo aluno. Mesmo após a construção dos dois instrumentos não há uma acomodação completa do conceito.

Nessa categoria o aluno apresenta apenas a noção de reversibilidade: se tocar forte o volume aumenta, para o volume aumentar deve-se tocar forte.

### **Categoria 4**

Na categoria 4 observamos que tudo o que havia na caixa é apontado pelo aluno como fonte de vibração para produzir o som. Isso provém da discussão realizada por eles na construção da Flauta Pan, em que tudo dentro do tubo vibra. As ações geradas na construção da Flauta passam a ser generalizadas na construção do Violopão, gerando um esquema.

### **Categoria 5**

Quando questionamos a função da caixa de papelão, notamos que um aluno mencionou o conceito eco e reflexão como sinônimos. O aluno comentou que a função da caixa era:

*A11: “para que as ondas possam ecoar, elas batem e voltam”.*

Para o aluno, ecoar significa refletir, o conceito de reflexão é muito abstrato para alunos do ensino médio, como mostra Costa e Duarte (2011).

Outra resposta que encontramos sobre essa questão foi do aluno A21 que afirmou:

*A21: “a caixa serve para segurar o som”.*

Observamos que o conceito amplificar não aparece nos diálogos dos alunos, isso sugere que o conceito amplitude realmente não foi acomodado.

Após a construção do Violopão, o grupo 2 decidiu marcar as posições de algumas notas no instrumento. Eles observaram que para mudar o comprimento do fio bastava apertá-lo em determinada posição. A ideia surgiu porque o aluno 5 desse grupo tocava violão. A figura 10 mostra como ficou esse instrumento de corda.



Figura 10 – fotografia do Violopão construído pelo grupo 5.

Como o aluno A55 tocava violão, marcou de caneta a nota referente a cada posição, para isso utilizou o diapasão. A figura 11 mostra os símbolos das notas marcadas pelo aluno.

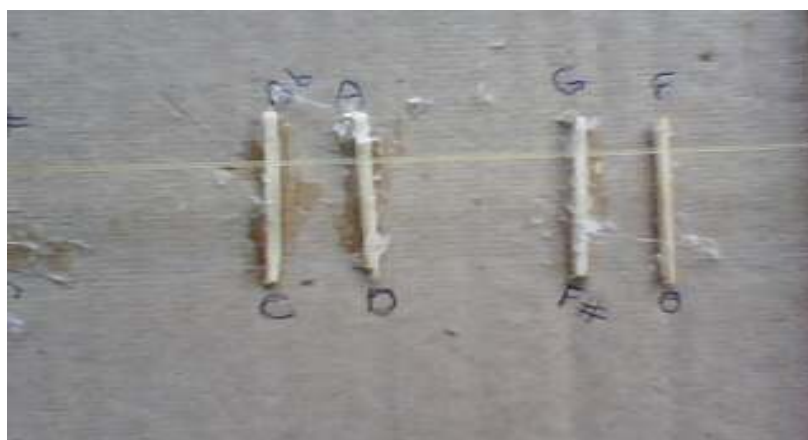


Figura 11 – Marcação das notas musicais no Violopão.

Após a construção dos dois instrumentos musicais, observamos que a estrutura cognitiva dos alunos passou por alterações. Começaram a construir o conhecimento e a formular teorias com o auxílio da sequência didática e do professor, que favoreceram a ação e reflexão dos alunos sobre aquilo que estavam fazendo. Sem essa ação dos alunos não teria como mudar as variáveis da experiência para formular teorias (PIAGET, 1981).

## 7 CONCLUSÃO

Nesta pesquisa, buscamos investigar como uma sequência didática contextualizada pela construção de instrumentos musicais artesanais auxilia o aluno na aprendizagem de conceitos físicos relacionados às ondas sonoras. Concluímos que a sequência didática proposta estimula os alunos a discutirem sobre as ações realizadas, favorecendo a construção do conhecimento.

Os roteiros inseridos nessa sequência didática abordaram uma sequência de ações capaz de permitir que o aluno desenvolva esquemas associados ao conceito frequência e amplitude. Dentre esses esquemas, criados pelos alunos estão as relações entre frequência e parâmetros do instrumento, as relações entre frequência e características fisiológicas do som, as relações entre amplitude e parâmetros do instrumento e as relações entre amplitude e características fisiológicas do som.

Assim, concluímos que o conceito frequência é construído por relações entre variáveis. Essas relações passam inicialmente pela noção de reversibilidade, onde o aluno constata que aumentar o comprimento do tubo faz o som ficar grave, e para deixá-lo grave se deve aumentar o comprimento do tubo, ou seja, o aluno realiza a operação inversa. A mesma noção de reversibilidade é observada nas ações dos alunos ao realizarem a atividade com o instrumento de corda.

Num segundo momento, as relações entre as variáveis passam pela transitividade, em que o aluno constata que: se a frequência aumenta implica ( $\rightarrow$ ) na diminuição do comprimento do tubo (B) e se o comprimento do tubo diminui implica ( $\rightarrow$ ) em som agudo(C), estabelecendo uma relação entre a frequência e o som ou seja, se  $A \rightarrow B$  e  $B \rightarrow C$ , então  $A \rightarrow C$ . Essa relação é observada quando o aluno conclui que se a **frequência aumenta o som fica mais agudo**.

Finalmente, num terceiro momento, as relações entre as variáveis passam pela conservação, é exatamente essa noção que fecha a estrutura. A conservação se inicia quando o aluno conclui que a vibração dos objetos é transmitida para o ar. Essa estrutura ficará completa quando o aluno for capaz de associar a frequência com a vibração do ar, o que não foi possível nessa pesquisa.

No que se refere ao conceito de amplitude, as relações entre as variáveis, formuladas pelos alunos, passaram apenas pela noção de reversibilidade. Eles foram capazes de relacionar a variação da amplitude com o sopro (ou toque) forte ou fraco, e a variação da amplitude com



a variação do volume no alto-falante das caixas de som. Dessa forma, frequência e amplitude não ficaram no mesmo nível de aprendizagem.

Como a pesquisa foi realizada com uma classe real, encontramos certas dificuldades associadas ao número de alunos. A sequência didática envolveu também o uso de apenas um computador para medir a frequência e a amplitude do som emitido pelos instrumentos. Assim, o tempo para cada grupo usá-lo era reduzido, pois havia 5 grupos na sala. Dessa forma, sugerimos a utilização da sala de informática para medir a frequência e a amplitude.

Comparando o teste piloto com a reelaboração da sequência didática, observamos que o processo de construção do conhecimento em uma sala regular é mais demorado. Num grupo reduzido de alunos, que foi o caso do teste piloto, eles têm a oportunidade de uma mediação mais frequente do professor.

A elaboração dessa sequência didática contribuiu fortemente para o ensino de ondas sonoras de maneira contextualizada, interativa e também lúdica. Ao utilizar instrumentos musicais para abordar os conceitos frequência e amplitude, o professor pode incentivar os alunos a relacionar e refletir sobre os fenômenos físicos presentes na música, mostrando-lhes como a física está presente em outras áreas, que não é uma ciência isolada, onde prevalecem as equações sem sentido para os alunos.

Logo, é possível utilizar essa sequência didática em sala de aula, entretanto, sugerimos que essa atividade seja aplicada após uma aula introdutória sobre som. Sugerimos também que as medidas de frequência e amplitude sejam realizadas na sala de informática da escola.

Como não foi possível abordar o aspecto cultural que essa sequência didática possibilita, pretendemos, em trabalhos futuros, relevar esse aspecto.

## 8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AIZICZON, B.; CUDMANI, L. Ondas, sonido y audición: ideas previas de los estudiantes em ciencias má dicas. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**. v.24, n.3, p. 360-399, Dez. 2007.

BARDIN, L. **Análise de conteúdo**. Lisboa: Edições 70, 2009.

BECKER, F. **A origem do conhecimento e a aprendizagem escolar**. Porto Alegre: Artmed, 2003.

BERNARDES NETO, P.; MOURA, D. A. **Ensino de acústica no ensino médio por meio de instrumentos musicais de baixo custo**. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, n.19, 2011, Manaus.

BORGES, A. T.; RODRIGUES, B. A. O ensino da física do som baseado em investigações. **Ensaio: Pesquisa em educação em ciências**. v. 7, n. 2, p. 1415-2150, 2005.

CANÇADO, I. P. et al. **Desenvolvendo a abstração para aulas de vibrações e ondas**. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, n. 17, 2007, São Luis.

CARVALHO, A. M. P. et. AL. Pressupostos epistemológicos para a pesquisa em ensino de ciências. **Caderno de Pesquisa**. n. 82, p. 85-89, ago. 1992.

CONCEIÇÃO, M. O. T. et al. **Uma proposta de utilização da acústica musical no ensino de física**. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, n.18, 2009, Vitória.

COSTA, A. R. H.; DUARTE, S. E. S. **Utilização de recursos multimídia e experimentais em uma aula sobre ondas estacionárias**. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, n. 19, 2011, Manaus.

DIOGO, R. C.; GOBARA, S. T. **Os recursos da informática como meio para evidenciar os obstáculos epistemológicos e motivar a aprendizagem de ondas sonoras**. In: ENCONTRO DE PESQUISA EM ENSINO DE FÍSICA, n. 11, 2008, Curitiba.

\_\_\_\_\_. **Um ambiente virtual para introduzir conceitos sobre ondas sonoras: o desafio “abaixe o volume”**. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, n. 18, 2009, Vitória.

GALDINO, D. M.; SANTOS, A. S.; SILVEIRA, A. F. **Atividades lúdicas para o ensino de física: um relato de experiências com estudo de ondas mecânicas.** In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA , n. 19, 2011, Manaus.

GARAGNANI, P. V. et al. **Investigando o som em taças de cristal – uma experiência interdisciplinar.** In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA , n. 19, 2011, Manaus.

GOBARA, S. T.; MARQUES, S. M. **Aprendizagem de ondas sonoras por meio de uma situação adidática.** In: ENCONTRO DE PESQUISA EM ENSINO DE FÍSICA, n. 11, 2008, Curitiba.

GOMES, L. C.; BELLINI, L. M. Uma revisão sobre aspectos fundamentais da teoria de Piaget: possíveis implicações para o ensino de física. **Revista Brasileira de Ensino de Física.** v. 31, n. 2, p. 2301, 2009.

GOMES, C. A.; LÜDKE, E. Uso da ressonância em cordas para ensino de física. **Revista Brasileira de Ensino de Física.** v. 33, n. 3, p. 3501, 2011.

GONÇALVES, J. S.; RAMOS, J. M.; OLIVEIRA, A. J. S. **A física ondulatória nas dunas.** In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, n. 17, 2007, São Luis.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; KRANE, K. S. **Física 2.** ed. 4., Rio de Janeiro: LTC, 1992.

HEWITT, P. G. **Física Conceitual.** ed. 9., Porto Alegre: Bookman, 2002.

JARDIM, M. I. A.; ERROBIDART, N. C. G.; GOBARA, S. T. **Levantamento dos trabalhos em ensino de física que investigaram ondas sonoras.** In: ENCONTRO DE PESQUISA EM ENSINO DE FÍSICA, n. 11, 2008, Curitiba.

JARDIM, M. I. A.; ERROBIDART, N. C. G.; GOBARA, S. T. **Transposição didática e ondas sonoras como objeto de Estudo.** In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, n. 8, 2011, Campinas.

LENZ, J. A. et al. **O gerador de ondas estacionárias em cordas com o uso de tecnologias livres.** In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, n. 19, 2011, Manaus.

LOPES, F. S.; BELLAN, C. L.; TAGLIATI, J. R. **Proposta para o Ensino de Ondas e Acústica Utilizando Música e Instrumentos Musicais.** In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, n. 16, 2005, Rio de Janeiro.

MAEOCA, G. S.; GOBARA, S. T. **Construção de um Instrumento Musical de Sopro para Auxiliar na Aprendizagem de conceitos Físicos Relacionados às Ondas Sonoras.** In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, n. 19, 2011, Manaus.

MARTINS, R. L. C.; VERDEAUX, M. F. S.; SOUSA, C. M. S. G. A utilização de diagramas conceituais no ensino de física em nível médio: um estudo em conteúdos de ondulatória, acústica e óptica. **Revista Brasileira de Ensino de Física.** v. 31, n. 3, p. 3401, 2009.

MENEZES, F. **A acústica musical em palavras e sons.** Cotia, SP: Ateliê editorial, 2003.

MORTIMER, E. F. Construtivismo, Mudança Conceitual E Ensino De Ciências: Para Onde Vamos? **Investigações em Ensino de Ciências.** v1. n.1, p. 20-39, 1996.

NASCIMENTO, C. S.; GOBARA, S. T. **Uma introdução para o ensino de ondas sonoras.** In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, n. 17, 2007, São Luis.

PIAGET, J. **Seis estudos de Psicologia.** Trad. D'AMORIM, M. A. M.; SILVA, P. S. L. ed. 24., Rio de Janeiro: Forense, 1967.

\_\_\_\_\_ **Conversando com Piaget.** Rio de Janeiro: Difel, 1978.

\_\_\_\_\_ **Lógica e conhecimento científico.** Porto: Civilização, 1981, v. 2. (Coleção Ponte).

\_\_\_\_\_ **Epistemologia genética.** Trad. CABRAL, A. São Paulo: Martins fontes, 1990.

PUGLIESE, R. M.; ZANETIC, J. **A Música Popular Como Instrumento para o Ensino de Física.** In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, n. 17, 2007, São Luis.

QUEIROZ, G. R. P. C.; LIMA, M. C. A. B. Conhecimento científico, seu ensino e aprendizagem: Atualidade do construtivismo. **Ciência & Educação.** v. 13, n. 3, p. 273-291, 2007.

REZENDE, F.; OSTERMANN, F. A prática do professor e a pesquisa em Ensino de física: novos elementos para repensar essa relação. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**. v. 22, n. 3, p. 316-337, Dez. 2005.

RIBEIRO JÚNIOR, I. S.; CROCHIK, L. **A construção de escalas musicais e instrumentos musicais de baixo custo como recurso didático para o ensino de física ondulatória**. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, n. 18, 2009, Vitória.

ROSA, P. R. S. **Instrumentação para o ensino de ciências**. Campo Grande: Editora da UFMS, 2011.

RUI, L. R.; STEFFANI, M. H. **Física: som e audição humana**. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, n. 17, 2007, São Luis.

SAAB, S. C.; CASSARO, 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**. v. 22, n. 1, p. 112-120, Dez. 2005.

SILVA, E. W. F. M.; GOBARA, S. T. *Soundgate*: um dispositivo sonoro para medir períodos. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**. v. 26, n. 2, p. 379-393, Ago. 2009.

SILVA, M. R.; BERNARDO, R. V.; OLIVEIRA, N. S. M. **Ensinando ondas sonoras para pessoas cegas**. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, n. 19, 2011, Manaus.

SILVA, S. T.; AGUIAR, C. E. **Propagação do som: conceitos e experimentos**. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, n. 19, 2011, Manaus.

SOUZA, A. R.; AGUIAR, C. E. **Observando ondas sonoras**. In: ENCONTRO DE PESQUISA EM ENSINO DE FÍSICA, n. 7, 2010, Águas de Lindóia.

\_\_\_\_\_. **Pressão e deslocamento nas ondas sonoras**. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, n. 19, 2011, Manaus.

TAVARES, J. R.; SOUZA, M. O. **Uma proposta para a apresentação de conceitos de acústica no ensino médio**. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, n. 17, 2007, São Luis.

TAVOLARO, C. R. C.; CAVALCANTE, M. A.; MENEZES, B. S. **O estudo da produção da fala através da análise de espectros de tubos sonoros.** In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, n. 18, 2009, Vitória.

## Apêndice 1 - Plano de Aula do 1º encontro (teste piloto)

### Identificação

Escola:

Professora: Gláucia da Silva Maeoca

Série: Ensino Médio

Carga Horária: 90min

Tema da aula: onda

### Objetivos

*Associar uma onda a uma perturbação, provocada por uma fonte de vibração, que se propaga em um meio ( corda, mola, ar, etc);*

*Diferenciar o conceito de frequência de vibração ou oscilação do conceito de amplitude de oscilação de um sistema que está oscilando ou vibrando.*

*Relacionar os conceitos de frequência, amplitude e comprimento de onda com a propagação de uma perturbação em uma mola*

### Conteúdo programático

*Onda, tipos de ondas, frequência, amplitude e comprimento de onda da onda longitudinal.*

### Metodologia de ensino

*- Aula expositiva com experimento demonstrativo*

### Recursos de ensino

*Mola para encadernação*

*Fita crepe*

*Trena*

### **Procedimento**

**Introdução:** A aula deve ser iniciada com questionamentos sobre o que os alunos entendem sobre onda. Suas respostas devem ser marcadas na lousa para que posteriormente sejam retomadas.

**Desenvolvimento:** É demonstrado em uma mola a geração de um pulso longitudinal. Os alunos devem descrever o movimento que eles vêem na mola. Após essa descrição definir pulso, onda, fonte e meio. Provocar vários pulsos sucessivos e definir trem de ondas.

Mostrar no mola que se a fonte movimentada mais rápido, a mola também se movimentada mais rápido, ou seja, esse movimento é transferido para a mola. Definir frequência como o número de vibrações (movimento de vai-e-vem) que a mão faz em uma unidade de tempo. No SI é o número de vibrações a cada 1 segundo.

Definir ondas como: **o movimento causado por uma perturbação que se propaga através de um meio.**

Utilizar o exemplo de uma bacia com água em que gotas d'água começam a cair e formar ondas. Uma rolha é colocada na superfície dessa água. Descrever o experimento e concluir que **uma onda transmite energia sem o transporte de matéria.**

Classificar as ondas quando à natureza e direção de propagação, retornar aos exemplos colocados na lousa e classificá-los desse modo.

Mostrar na mola que: **o comprimento de onda  $\lambda$  (lambda) é a distância entre duas regiões consecutivas em que a mola esteja comprimida e amplitude a distância entre a posição de equilíbrio e o ponto máximo do deslocamento da mão ao produzir uma onda na mola.**

Voltar aos exemplos dos quadros e definir a fonte, frequência, comprimento de onda e amplitude para cada situação.



**Conclusão:** relacionar esses conceitos com a onda sonora e pedir que os alunos expliquem como é produzido o som até chegar aos nossos ouvidos.

### **Procedimento detalhado**

A questão inicial a ser colocada aos alunos é:

*O que é uma onda?*

*Que tipos de ondas vocês conhecem, ou ouviram falar?*

Utilizando a mola de encadernação o professor irá produzir uma perturbação na mola, para isso um aluno ficará segurando uma das extremidades da mola enquanto o professor realiza um movimento para que a perturbação se propague na mola, formando um onda [longitudinal].

O professor aumenta a quantidade de perturbação e pergunta para os alunos: *que tipo do movimento minha mão está realizando?* Os alunos devem concluir que é um movimento para frente e para trás que se repete.

Para isso a perturbação na mola, um pulso, será produzida com a mola no chão da sala, as carteiras deverão ser afastadas e os alunos ficarão em pé ao redor do professor.

O professor explica que: *essa perturbação que estou produzindo e vocês vêem se propagar denomina-se pulso, o movimento do pulso é chamado de onda, a minha mão que faz o movimento horizontal é a fonte e a mola, na qual se propaga a onda, é denominada meio.*

*Se provocarmos vários pulsos sucessivos com um movimento vai-e-vem, teremos várias ondas propagando-se na mola, uma atrás da outra, constituindo um trem de ondas.*

Após essa explicação deve se começar a fazer vários pulsos na mola e pedir para os alunos: *observem o que acontece com a mola quando se começa a movimentá-la mais rápido. Digam o que vocês estão vendo.*

Os alunos provavelmente responderão que a mola também começa a movimentar mais rápido. Nesse momento será dito que: *se a fonte (minha mão) movimenta mais rápido*

*a mola, ela também se movimenta mais rápido, pois está em contato com a mola, ou seja, o movimento da minha mão é transferido para a mola. A rapidez com que minha mão está indo e vindo (como um movimento vibratório) se chama frequência, que quer dizer o número de vibrações (movimento de vai-e-vem) que a mão faz em uma unidade de tempo. No SI é o número de vibrações a cada 1 segundo.*

Nesse momento a seguinte pergunta será feita ao aluno: *A mola também vibra com a mesma frequência? Por quê?*

Após ouvir as respostas dos alunos será concluído que: *a vibração da mão se propaga para a mola, ou seja, a mesma frequência com que a mão vibra a mola também vibra. Um outro exemplo pode ser visto quando se atira uma pedra num lago de águas paradas. A perturbação causada pelo impacto da pedra na água originará um movimento que se propagará pela superfície do lago como circunferências de mesmo centro, afastando-se do ponto de impacto. Assim podemos dizer que **onda é o movimento causado por uma perturbação que se propaga através de um meio.***

*Vamos imaginar outra situação, colocar um pedaço de cortiça na água, próximo ao local do lançamento da pedra, o que aconteceria com esse pedaço de cortiça? (provavelmente os alunos responderão que ela se moverá junto com a onda). Concluir que quando a onda atingir a cortiça ela ficará flutuando na superfície da água, fará com que ela apenas oscile, subindo e descendo, sem variar a direção. Outro exemplo é a hola, vocês já viram como ela é produzida em um estádio? Os braços das pessoas levantam e abaixam, sem que nada seja passado para a pessoa do lado. Como a rolha não é arrastada, concluímos que a onda não transporta matéria. Porém, como ela se movimenta, implica que recebeu energia da onda. Então, **uma onda transmite energia sem o transporte de matéria.***

Apresentar em seguida as formas de classificação das ondas:

- **Quanto à natureza**

**Ondas mecânicas:** são aquelas que precisam de um meio material para se propagar (não se propagam no vácuo).

Exemplo: Ondas em cordas e ondas sonoras (som).

**Ondas eletromagnéticas:** são geradas por cargas elétricas oscilantes e não necessitam de uma meio material para se propagar, podendo se propagar no vácuo.

Exemplos: Ondas de rádio, de televisão, de luz, raios X, raios laser, ondas de radar etc.

- **Quanto à direção de vibração**

Transversais: são aquelas cujas vibrações são perpendiculares à direção de propagação.

Exemplo: Ondas em corda.

Longitudinais: são aquelas cujas vibrações coincidem com a direção de propagação.

Exemplos: Ondas sonoras, ondas em molas.

Após mostrar os tipos de classificações mostrar a onda longitudinal e transversal na mola e retornar nos exemplos colocados na lousa para classificá-los.

Ao produzir novamente a onda longitudinal esta será feita de tal forma não exista regiões de compressão, ou seja, o modo fundamental de vibração. Depois o professor irá aumentar a frequência de vibração e a sala deverá observar novamente a mola (nesse momento o professor fará o mola vibrar de tal forma que exista duas ou mais regiões em que a mola fique sempre comprimida, conforme a figura abaixo.



Será perguntado aos alunos: *qual a diferença na mola quando foi feita a primeira e a segunda perturbação (vibração)?*. Os alunos deverão concluir que quando aumentou a frequência apareceu regiões em que a mola ficou mais comprimida e regiões em que a mola ficou menos comprimida.

A vibração será feita novamente e um aluno deverá marcar no chão a região em que a mola ficou mais comprimida, o ponto médio. A distância entre esses pontos deverá ser medida e descrita da seguinte forma: *a distância que vocês mediram é chamada comprimento de onda. Observem se todas as distâncias entre os pontos marcados são iguais.*

Depois das respostas dos alunos, será concluído que: ***o comprimento de onda  $\lambda$  (lambda) é a distância entre duas regiões consecutivas em que a mola esteja comprimida.***

*Que tal um desafio? Vamos ver quem consegue produzir mais regiões em que a mola fique sempre comprimida. Após os alunos tentarem perguntar: Porque é difícil? A conclusão que se chegará é que: temos que aumentar a frequência, ou seja, fazer vibrar mais rápido.*

Agora será pedido para que os alunos observem a distância que a mão, ao perturbar a mola, percorre para frente e para trás, em torno de um ponto de referência, a posição de equilíbrio. Será concluído que: *essa distância entre a posição de equilíbrio e o ponto máximo do deslocamento é a amplitude.*

Obs: A amplitude não será medida, apenas descrita o que é.

Questionar os alunos a respeito do som. Perguntar: *O som o que é? Como conseguimos ouvir um som?* Após eles responderem descrever que : *para ouvirmos um som é necessário que algo vibre (a fonte), essa vibração passa para as moléculas de ar a nossa volta e chega até o ouvido. No ouvido, as ondas atingem uma membrana chamada tímpano. O tímpano passa a vibrar com a mesma frequência das ondas, transmitindo ao cérebro, por impulsos elétricos, a sensação denominada som. As ondas sonoras são ondas longitudinais, isto é, são produzidas por uma seqüência de pulsos longitudinais. As ondas sonoras podem se propagar com diversas frequências, porém o ouvido humano é sensibilizado somente quando elas chegam a ele com frequência entre 20 Hz e 20 000 Hz, aproximadamente. Quando a frequência é maior que 20 000 Hz, as ondas são ditas ultra-sônicas, e menor que 20 Hz, infra-sônicas. As ondas infra-sônicas e ultra-sônicas não são audíveis pelo ouvido humano. As ondas infra-sônicas são produzidas, por exemplo, por um abalo sísmico. Os ultra-sons podem ser ouvidos por certos animais como morcego e o cão.*

*As ondas sonoras audíveis são produzidas por vibração de cordas, vibração de colunas de ar, vibração de discos e membranas.*

*Assim a maioria dos sons chega ao nosso ouvido transmitido pelo ar, que age como meio de transmissão. Os sons não se transmitem no vácuo, porque exigem um meio material para sua propagação.*

*Dessa forma o que podemos concluir sobre o som? Esperar que os alunos respondam. Concluímos que é uma onda longitudinal gerada através da vibração da fonte, essa vibração se propaga para as moléculas de ar e chega até nossos ouvidos.*

## Apêndice 2 – Plano de aula reformulado

### Identificação

Escola:

Professora: Gláucia da Silva Maeoca

Série: Ensino Médio

Carga Horária: 90min

Tema da aula: onda

### Objetivos

*Associar uma onda a uma perturbação, provocada por uma fonte de vibração, que se propaga em um meio ( corda, mola, ar, etc);*

*Diferenciar o conceito de frequência de vibração ou oscilação do conceito de amplitude de oscilação de um sistema que está oscilando ou vibrando.*

*Relacionar os conceitos de frequência, amplitude e comprimento de onda com a propagação de uma perturbação em uma mola*

### Conteúdo programático

*Onda, tipos de ondas, frequência, amplitude e comprimento de onda da onda longitudinal.*

### Metodologia de ensino

*- Aula expositiva com experimento demonstrativo*

### Recursos de ensino

*Mola para encadernação, Fita crepe, Trena e tubo de Kundt*

### Procedimento

**Introdução:** A aula deve ser iniciada com questionamentos sobre o que os alunos entendem sobre onda. Suas respostas devem ser marcadas na lousa para que posteriormente sejam retomadas.

**Desenvolvimento:** É demonstrado em uma mola a geração de um pulso longitudinal. Os alunos devem descrever o movimento que eles vêem na mola. Após essa descrição definir pulso, onda, fonte e meio. Provocar vários pulsos sucessivos e definir trem de ondas.

Mostrar no mola que se a fonte movimenta mais rápido, a mola também movimenta mais rápido, ou seja, esse movimento é transferido para a mola. Definir frequência como o número de vibrações (movimento de vai-e-vem) que a mão faz em uma unidade de tempo. No SI é o número de vibrações a cada 1 segundo.

Definir ondas como: **o movimento causado por uma perturbação que se propaga através de um meio.**

Utilizar o exemplo de uma bacia com água em que gotas d'água começam a cair e formar ondas. Uma rolha é colocada na superfície dessa água. Descrever o experimento e concluir que **uma onda transmite energia sem o transporte de matéria.**

Classificar as ondas quando à natureza e direção de propagação, retornar aos exemplos colocados na lousa e classificá-los desse modo.

Mostrar na mola que: **o comprimento de onda  $\lambda$  (lambda) é a distância entre duas regiões consecutivas em que a mola esteja comprimida e amplitude a distância entre a posição de equilíbrio e o ponto máximo do deslocamento da mão ao produzir uma onda na mola.**

Voltar aos exemplos dos quadros e definir a fonte, frequência, comprimento de onda e amplitude para cada situação.

Retornar no exemplo da mola e enfatizar para os alunos que quando provocamos a perturbação na mola suas duas extremidades estavam fixas.

Pedir que dois alunos provoquem perturbações na mola em sentido contrários, sem parar. Observar que ocorre interferência. Regiões na mola vibram e outras regiões permanecem estáticas. Pedir para apenas um aluno provocar novamente uma perturbação na mola, enquanto a outra extremidade fique fixa. Observar que a interferência continua existindo.

Discutir ondas estacionárias formada na mola e discutir o experimento do tubo de Kundt.

**Conclusão:** relacionar esses conceitos com a onda sonora e pedir que os alunos expliquem como é produzido o som até chegar aos nossos ouvidos.

### **Procedimento detalhado**

A questão inicial a ser colocada aos alunos é:

*O que é uma onda?*

*Que tipos de ondas vocês conhecem, ou ouviram falar?*

Utilizando a mola de encadernação o professor irá produzir uma perturbação na mola, para isso um aluno ficará segurando uma das extremidades da mola enquanto o professor realiza um movimento para que a perturbação se propague na mola, formando um onda [longitudinal].

O professor aumenta a quantidade de perturbação e pergunta para os alunos: *que tipo do movimento minha mão está realizando?* Os alunos devem concluir que é um movimento para frente e para trás que se repete.

Para isso a perturbação na mola, um pulso, será produzida com a mola no chão da sala, as carteiras deverão ser afastadas e os alunos ficarão em pé ao redor do professor.

O professor explica que: *essa perturbação que estou produzindo e vocês vêem se propagar denomina-se pulso, o movimento do pulso é chamado de onda. A minha mão, que faz o movimento horizontal é a fonte e a mola, na qual se propaga a onda, é denominada meio.*



*Se provocarmos vários pulsos sucessivos com um movimento vai-e-vem, teremos várias ondas propagando-se na mola, uma atrás da outra, constituindo um trem de ondas.*

Após essa explicação deve se começar a fazer vários pulsos na mola e pedir para os alunos: *observem o que acontece com a mola quando se começa a movimentá-la mais rápido. Digam o que vocês estão vendo.*

Os alunos provavelmente responderão que a mola também começa a movimentar mais rápido. Nesse momento será dito que: *se a fonte (minha mão) movimenta mais rápido a mola, ela também se movimenta mais rápido, pois está em contato com a mola, ou seja, o movimento da minha mão é transferido para a mola. A rapidez com que minha mão está indo e vindo (como um movimento vibratório) se chama frequência, que quer dizer o número de vibrações (movimento de vai-e-vem) que a mão faz em uma unidade de tempo. No SI é o número de vibrações a cada 1 segundo.*

Nesse momento a seguinte pergunta será feita ao aluno: *A mola também vibra com a mesma frequência? Por quê?*

Após ouvir as respostas dos alunos será concluído que: *a vibração da mão se propaga para a mola, ou seja, a mesma frequência com que a mão vibra a mola também vibra. Um outro exemplo pode ser visto quando se atira uma pedra num lago de águas paradas. A perturbação causada pelo impacto da pedra na água originará um movimento que se propagará pela superfície do lago como circunferências de mesmo centro, afastando-se do ponto de impacto. Assim podemos dizer que **onda é o movimento causado por uma perturbação que se propaga através de um meio.***

*Vamos imaginar outra situação, colocar um pedaço de cortiça na água, próximo ao local do lançamento da pedra, o que aconteceria com esse pedaço de cortiça? (provavelmente os alunos responderão que ela se moverá junto com a onda). Concluir que quando a onda atingir a cortiça ela ficará flutuando na superfície da água, fará com que ela apenas oscile, subindo e descendo, sem variar a direção. Outro exemplo é a hola, vocês já viram como ela é produzida em um estádio? Os braços das pessoas levantam e abaixam, sem que nada seja passado para a pessoa do lado. Como a rolha não é arrastada, concluímos que a onda não transporta matéria. Porém, como ela se movimenta,*

*implica que recebeu energia da onda. Então, **uma onda transmite energia sem o transporte de matéria.***

Apresentar em seguida as formas de classificação das ondas:

- **Quanto à natureza**

**Ondas mecânicas:** são aquelas que precisam de um meio material para se propagar (não se propagam no vácuo).

Exemplo: Ondas em cordas e ondas sonoras (som).

**Ondas eletromagnéticas:** são geradas por cargas elétricas oscilantes e não necessitam de um meio material para se propagar, podendo se propagar no vácuo.

Exemplos: Ondas de rádio, de televisão, de luz, raios X, raios laser, ondas de radar etc.

- **Quanto à direção de vibração**

**Transversais:** são aquelas cujas vibrações são perpendiculares à direção de propagação.

Exemplo: Ondas em corda.

**Longitudinais:** são aquelas cujas vibrações coincidem com a direção de propagação.

Exemplos: Ondas sonoras, ondas em molas.

Após mostrar os tipos de classificações mostrar a onda longitudinal e transversal na mola e retornar nos exemplos colocados na lousa para classificá-los.

Ao produzir novamente a onda longitudinal esta será feita de tal forma não exista regiões de compressão, ou seja, o modo fundamental de vibração. Depois o professor irá aumentar a frequência de vibração e a sala deverá observar novamente a mola (nesse momento o professor fará o mola vibrar de tal forma que exista duas ou mais regiões em que a mola fique sempre comprimida, conforme a figura abaixo.



Será perguntado aos alunos: *qual a diferença na mola quando foi feita a primeira e a segunda perturbação (vibração)?*. Os alunos deverão concluir que quando aumentou a frequência apareceu regiões em que a mola ficou mais comprimida e regiões em que a mola ficou menos comprimida.

A vibração será feita novamente e um aluno deverá marcar no chão a região em que a mola ficou mais comprimida, o ponto médio. A distância entre esses pontos deverá ser medida e descrita da seguinte forma: *a distância que vocês mediram é chamada comprimento de onda*. Observem se todas as distâncias entre os pontos marcados são iguais.

Depois das respostas dos alunos, será concluído que: ***o comprimento de onda  $\lambda$  (lambda) é a distância entre duas regiões consecutivas em que a mola esteja comprimida.***

*Que tal um desafio? Vamos ver quem consegue produzir mais regiões em que a mola fique sempre comprimida.* Após os alunos tentarem perguntar: *Porque é difícil?* A conclusão que se chegará é que: *temos que aumentar a frequência, ou seja, fazer vibrar mais rápido.*

Agora será pedido para que os alunos observem a distância que a mão, ao perturbar a mola, percorre para frente e para trás, em torno de um ponto de referência, a posição de equilíbrio. Será concluído que: *essa distância entre a posição de equilíbrio e o ponto máximo do deslocamento é a amplitude.*

Obs: A amplitude não será medida, apenas descrita o que é.

Questionar os alunos a respeito do som. Perguntar: *O que é som? Como conseguimos ouvir um som?* Após eles responderem descrever que: *para ouvirmos um som é necessário que algo vibre (a fonte), essa vibração passa para as moléculas de ar a nossa volta e chega até o ouvido. No ouvido, as ondas atingem uma membrana chamada tímpano. O tímpano passa a vibrar com a mesma frequência das ondas, transmitindo ao*

*cérebro, por impulsos elétricos, a sensação denominada som. As ondas sonoras são ondas longitudinais, isto é, são produzidas por uma seqüência de pulsos longitudinais. As ondas sonoras podem se propagar com diversas freqüências, porém o ouvido humano é sensibilizado somente quando elas chegam a ele com freqüência entre 20 Hz e 20 000 Hz, aproximadamente. Quando a freqüência é maior que 20 000 Hz, as ondas são ditas ultra-sônicas, e menor que 20 Hz, infra-sônicas. As ondas infra-sônicas e ultra-sônicas não são audíveis pelo ouvido humano. As ondas infra-sônicas são produzidas, por exemplo, por um abalo sísmico. Os ultra-sons podem ser ouvidos por certos animais como morcego e o cão. As ondas sonoras audíveis são produzidas por vibração de cordas, vibração de colunas de ar, vibração de discos e membranas.*

*Assim a maioria dos sons chega ao nosso ouvido transmitido pelo ar, que age como meio de transmissão. Os sons não se transmitem no vácuo, porque exigem um meio material para sua propagação.*

*Dessa forma o que podemos concluir sobre o som? Esperar que os alunos respondam. Concluimos que é uma onda longitudinal gerada através da vibração da fonte, essa vibração se propaga para as moléculas de ar e chega até nossos ouvidos.*

*Pedir para dois alunos provoquem novamente perturbações na mola em sentidos contrários, sem parar. Questionar o que eles observam. Levá-los então a perceber que em cada extremidade da mola sai um pulso, e que quando se encontram podem somar-se ou cancelar-se. Assim se olharmos com atenção os elos da mola notaremos que alguns vibram e outros não.*

*Agora apenas um aluno deverá provocar a perturbação na mola, de modo que a outra extremidade fique fixa. Assim eles poderão observar que a perturbação é refletida pelo ponto fixo. Se essa perturbação for provocada de forma periódica, enquanto um pulso retorna outro vai ao seu encontro, provocando também uma interferência. Assim continuará a existir regiões em que os elos não vibram e regiões em que os elos vibram. Assim teremos uma onda estacionária, ou seja, teremos pontos em que o meio material, no caso a mola, não vibram, ou seja, ficam estacionários.*

*Nas ondas estacionárias formam-se regiões estáveis de interferência construtiva e destrutiva, assim os mesmos pontos sempre ficarão estacionários (chamados nodos) ou em oscilação.*

*Essas ondas estacionárias podem ser formadas com o meio ar, porém como não visualizamos as moléculas de ar para detectar os nodos utilizamos o tubo de Kundt.*

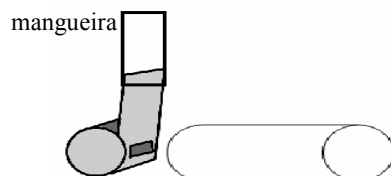
### **Montagem do aparato:**

#### **Material utilizado:**

- Pó de cortiça;
- Elástico;
- Apito de juiz de futebol adaptado com pedaço de mangueira ( 20,0 cm);
- Tubo de ensaio (comprimento: 15,0 cm; diâmetro interno: 2,0 cm);
- Papel celofane, régua de 30,0 cm e elástico;
- Haste e garra para fixação do tubo;

No tubo de ensaio colocamos o pó de cortiça e fechamos a extremidade aberta com papel celofane, utilizando um elástico.

Encaixamos o pedaço de mangueira no apito, de tal forma que utilizemos a mangueira para soprar. O apito deve servir como fonte sonora e deve ser assoprado na extremidade fechada com o papel celofane. Conforme figura abaixo:



“A formação da onda estacionária é revelada surgindo pontos em que o pó de cortiça saltita e outros pontos nos quais o pó fica parado, ou seja, os ventres e nós da onda estacionária respectivamente” (SAAB, CASSÀRO e BRINATTI, 2005).

Assim é possível mostrar que a distância entre os nodos corresponde a metade do comprimento de onda. Com o auxílio de uma régua o aluno poderá medir essa distância.

### Apêndice 3- Roteiro proposto para construção da Flauta Pan (teste piloto)



UFMS

Ministério da Educação

Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul

Centro de Ciências Exatas e Tecnologia-CCET

Programa de Pós-graduação em Ensino de Ciências

Você vai realizar uma atividade que faz parte de um Trabalho de Conclusão de Curso. 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 em um instrumento musical de sopro. Obrigada pela sua participação.

Grupo de Pesquisa em Ensino de Física da UFMS.

ALUNO: \_\_\_\_\_ SÉRIE: \_\_\_\_\_

#### **Introdução**

O som é uma onda mecânica e longitudinal, logo podemos medir ou calcular sua frequência, amplitude e comprimento de onda. Para produzir um som é necessário uma fonte, que pode ser, por exemplo, suas cordas vocais, um autofalante ou um instrumento musical. Existem várias formas de produzir som utilizando um objeto, você perceberá e estudará os sons que alguns objetos podem emitir.

1ª etapa: Conhecendo o objeto

-Você dispõe de alguns objetos como: apito, 1 garrafa, 1 pedaço de tubo PVC, 1 serra para cortar o tubo PVC.

-Observe os sons dos apitos e compare esses sons.

-É possível emitir sons com as garrafas? Experimente.

-E com o cano? Experimente.

Discuta com os colegas se os sons emitidos são diferentes e por que.

### 2ª etapa: É hora da ação

Vamos realizar algumas experiências:

- Que tal colocarmos água dentro da garrafa. É possível ainda emitirmos som?

- Como é possível ir mudando o som emitido pela mesma garrafa?

- O que você está alterando na garrafa que faz o som mudar?

- Agora o que você deve fazer para o mesmo tubo emitir sons diferentes?

- O que você está alterando no tubo para mudar o som emitido?

-Agora que você recebeu outros tubos de comprimento diferente observe como são os sons emitidos pelos tubos. O que esses sons possuem de diferentes?

-Discuta com os colegas e organizem os tubos de forma que o som emitido por eles tenham uma seqüência agradável para o ouvido.

-Após organizá-los cole-os na posição que vocês escolheram com a cola para PVC.

### 3ª etapa: Reflexão

- Após observar como produzir sons diferentes com o tubo PVC, escreva como é o som emitido por eles.

---

---

---

- Descreva como vocês organizaram os tubos.

---

---

- Vocês já conheciam algum instrumento de sopro parecido? Se sim qual?

---

- Para produzir um som agradável usando o instrumento que vocês fizeram é fundamental que você sopre com o tubo embaixo do lábio inferior. Neste caso, para produzir um som é necessário que algo vibre. O que está vibrando para produzir os sons emitidos pelos tubos?

---

---

- Existe algum conceito físico que você estudou associado com essa vibração? Se sim que conceito é esse?

---

---

- Existe um software que mede a frequência do som. Os sons emitidos pelos tubos do seu instrumento têm todos a mesma frequência?

---

- Como você fez para saber se eles possuem ou não mesma frequência?

---

---

- Quando um objeto emite um som agradável ao ouvido, ou seja, quando não for um ruído, o ar dentro dele vibra de forma ordenada, ou seja, faz um movimento de vai-e-vem. Você consegue imaginar uma forma de mostrar esse movimento do ar? Pode representar por desenho como fica esse movimento dentro do tubo. Discuta também com os colegas.



-Existe algum conceito físico associado com a distância em torno da qual as moléculas de ar vibram? Que conceito é esse?

---

- Existem no tubo regiões com concentração maior de moléculas de ar vibrando e regiões com menos moléculas de ar, como você representaria essa situação?

- Existe algum conceito físico relacionado com a distância entre duas regiões com concentração maior de moléculas de ar vibrando? Que conceito é esse?

---

#### 4ª etapa: Estabelecendo relações causais

- A medida que o comprimento do tubo fica menor o que acontece com o som?  
Experimente tocar para perceber.

---

---

- O que foi necessário fazer para que o som ficasse cada vez mais grave?

---

- Quando o comprimento do tubo diminui o que acontece com o valor da frequência? Se precisar meça de novo o valor da frequência com o software.

---

---

- Outra forma de determinar a frequência do som emitido pelo tubo com uma das extremidades fechadas é através da equação

$$f = \frac{v}{4L}$$

Em que  $v$  é a velocidade do som e  $L$  é o comprimento do tubo.

Agora utilize essa equação para determinar a frequência do som emitido pelos tubos do seu instrumento musical. Calcule para cada tubo e marque os valores abaixo.

---

---

---

- Observe os resultados que você acabou de marcar e responda o que aconteceu com a frequência quando o comprimento do tubo aumentou?

---

- A relação que apareceu foi a mesma que você observou quando estava tocando seu instrumento?

---

A tabela abaixo mostra a frequência de alguns sons conhecidos: as notas musicais.

Veja:

Nota musical	Frequência (Hz)
Dó	132
Ré	148,5
Mi	165
Fá	175,9
Sol	198
Lá	220
Si	247,5
Dó	264

O instrumento que você fez emite sons com frequência iguais a da tabela acima? Quais?

---

---

Em seu instrumento teve algum som emitido em que a frequência dele não apareceu na tabela? O valor ficou próximo de algum número da tabela?

---

---

Como você poderia melhorar seu instrumento e deixá-lo emitindo um som com as frequências iguais da tabela acima?

---

---

Experimente utilizar o diapasão para saber quais notas seu instrumento musical está tocando. Escreva as notas e o comprimento do tubo que emite essa nota abaixo:

---

---

---

Então explique o que ocorre quando ouvimos uma determinada nota sendo tocada por um instrumento musical. Comece a descrever desde o instante em que a pessoa assopra o tubo até o instante em que o som chega em nossos ouvidos. Utilize os conceitos físicos que você aprendeu como frequência, amplitude e comprimento de onda.

### *O que você fez e pode fazer*

Nesta atividade você construiu um instrumento musical chamado Flauta Pan. A Flauta Pan é um instrumento de sopro composto de vários tubos que emitem determinadas notas (geralmente 8 tubos), que quando soprados emitem um som parecido com o da flauta. Sugira como construir um outro instrumento de sopro. Esse instrumento também deverá tocar várias notas, pense no que será importante para alterar o som. Para isso relembre tudo o que você fez até aqui, quais fatores influenciam no som das notas.

Agradecemos sua participação.

## Apêndice 4 – Roteiro referente à construção da Flauta Pan reformulado



UFMS

Ministério da Educação  
Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Centro de Ciências Exatas e Tecnologia–CCET

Programa de Pós-graduação em Ensino de Ciências

Prezado(a) aluno(a),

As atividades que você vai realizar nesta aula sugerem uma nova forma de trabalhar a Física em sala de aula, procurando facilitar a aprendizagem por meio da construção de dois instrumentos musicais. Agradecemos a sua colaboração.

### Instrumento de sopro

#### Introdução

O som é uma onda mecânica e longitudinal, logo podemos medir ou calcular sua frequência, amplitude e comprimento de onda. Para produzir um som é necessário uma fonte, que pode ser, por exemplo, suas cordas vocais, um autofalante ou um instrumento musical. Existem várias formas de produzir som utilizando um objeto, você perceberá e estudará os sons que alguns objetos podem emitir.

#### 1ª etapa: Conhecendo o objeto

-Você dispõe de alguns objetos como: apito, 1 garrafa, 1 pedaço de tubo PVC, 1 serra para cortar o tubo PVC.

-Observe os sons dos apitos e compare esses sons.

-É possível emitir sons com as garrafas? Experimente.

-E com o cano? Experimente.

Discuta com os colegas se os sons emitidos são diferentes e por que.

## 2ª etapa: É hora da ação

Vamos realizar algumas experiências:

### **Com a garrafa**

- Que tal colocarmos água dentro da garrafa. É possível ainda emitirmos som?
- Como é possível ir mudando o som emitido pela mesma garrafa?
- O que você está alterando para o som mudar?

### **Com um tubo**

- Agora o que você deve fazer para um mesmo tubo emitir sons diferentes?
- O que você está alterando no tubo para mudar o som emitido?

### **Com vários tubos**

-Agora você receberá outros tubos de comprimento diferente, observe como são os sons emitidos pelos tubos. O que esses sons possuem de diferentes?

-Observe a relação entre o comprimento do tubo e o som que ele produz.

-Escolha 3 tubos de tamanhos diferente e com o auxílio do computador meça a frequência do som emitido por esses tubos. Observe qual deles apresentou som de frequência maior.

### **Construção do flautim**

Como visto cada tubo emite um som de frequência diferente, agora você deverá construir uma Flauta Pan de tubo PVC. A Flauta Pan é um instrumento sul americano, composta de 8 tubos fechados numa das extremidades ligados lado a lado. A figura abaixo mostra uma Flauta Pan feita de bambu.



**Figura 1: Flauta Pan de bambu.**

Cada tubo corresponde a uma nota musical. Assim você deverá construir uma Flauta Pan de tubo PVC que apresente 8 notas musicais. As figuras abaixo mostram a frequência de cada nota musical. Veja:



Figura 2 – frequência do som para cada nota musical do teclado

Além do programa de computador você pode estimar a frequência do som que um tubo emite usando a seguinte relação matemática:

$$f = \frac{v}{4L} \quad (\text{Eq. 1})$$

Em que  $f$  é a frequência do som,  $v$  é a velocidade de propagação do som (em condições normais de temperatura e pressão essa velocidade é 340m/s) e  $L$  é o comprimento do tubo.

Agora que tal fazer a Flauta Pan!

### 3ª etapa: Reflexão

- Após observar como produzir sons diferentes com a Flauta Pan de tubo PVC, escreva como é o som emitido por eles.

---

---

- Quais dificuldades vocês encontram na construção desse instrumento?

---

---

- Vocês já conheciam algum instrumento de sopro parecido? Se sim qual?

---

- Existe uma outra forma de saber a frequência que um certo instrumento está tocando, porém o instrumento que mede essa frequência apresenta a nota que o instrumento está emitindo, e não a frequência. Esse instrumento chama-se diapasão. Experimente utilizar o diapasão para saber as notas que sua Flauta Pan de tubo PVC está emitindo. Marque as notas abaixo.

---

---

- Para produzir um som agradável usando o instrumento que vocês fizeram é fundamental que você sopre com o tubo embaixo do lábio inferior. Neste caso, para produzir um som é necessário que algo vibre. O que está vibrando para produzir os sons emitidos pela Flauta Pan de tubo PVC?

---

---

- Quando um objeto emite um som agradável ao ouvido, ou seja, quando não for um ruído, o ar dentro dele vibra de forma ordenada, ou seja, faz um movimento de vai-e-vem. Você consegue imaginar uma forma de mostrar esse movimento do ar? Procure

representar por meio de um desenho como fica esse movimento dentro do tubo.. Discuta com os seus colegas e mostre nesse desenho como seria representar a amplitude e o comprimento de onda desse som.

- Utilizando o computador meça a amplitude do som de seu instrumento. Você pode fazer o seguinte: sopra a Flauta Pan bem fraco, depois com mais força. O que aconteceu com o som nos dois casos? Que grandeza podemos associar à diferenças no som emitido.

---

- Desafio: escolha dois tubos de comprimentos diferentes para soprar. Utilizando o computador toque um tubo de cada vez de forma que ambos os sons produzidos tenham a mesma amplitude. Note que ao fazer isso a frequência dos sons é diferente mas a amplitude não.

- Quando uma pessoa pede para você baixar o volume da música que está ouvindo que característica física do som foi alterada?

---

#### 4ª etapa: Estabelecendo relações causais

- A medida que o comprimento do tubo fica menor o que acontece com o som? Experimente tocar para perceber.

---

---

- O que foi necessário fazer para que o som ficasse cada vez mais grave?

---

- Quando o comprimento do tubo diminui o que acontece com o valor da frequência? Se precisar meça de novo o valor da frequência com o software.

---

---



- Como você fez para que sua Flauta Pan de tubo PVC tocasse as notas desejadas?

---

---

-O instrumento que você fez emite todos os sons com frequência iguais a mostrada nas figuras 2? Se a resposta for não, explique porque.

Como deixá-la emitindo um som com as frequências iguais a das figuras, ou seja, afinada.

---

---

---

- Na etapa anterior você mediu a amplitude. O que foi necessário fazer para aumentar a amplitude do som?

---

*Para refletir*

Nesta atividade você construiu um instrumento musical chamado Flauta Pam. A Flauta Pam é um instrumento de sopro composto de vários tubos que quando soprados emitem determinadas notas (geralmente 8 tubos). O instrumento que vocês estão mais familiarizados é a flauta de um único tubo. Sugira como construir uma flauta de um único tubo. Esse instrumento também deverá tocar várias notas, pense no que será importante para alterar o som, ou seja, como um único tubo poderá emitir sons diferentes? Para isso relembre tudo o que você fez até aqui, quais fatores influenciam no som das notas.

Agradecemos sua participação.

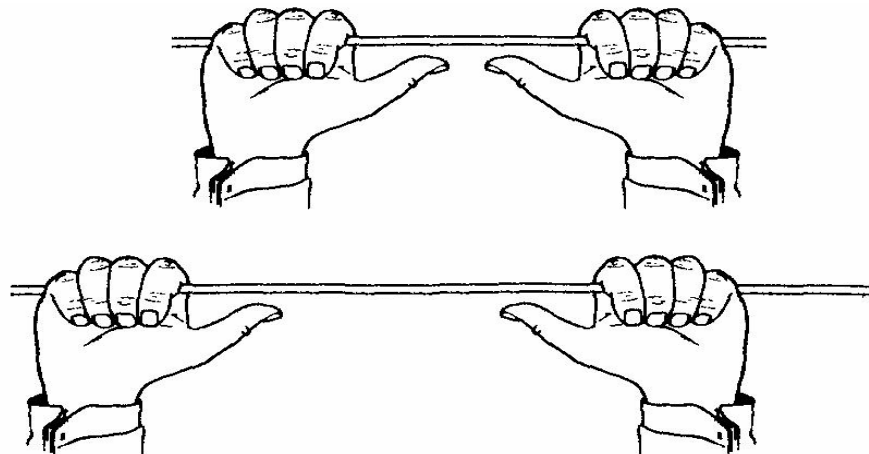
## Apêndice 4 - Roteiro referente à construção do instrumento de corda Violopão

### 1ª etapa: Conhecendo o objeto

- Você dispõe de alguns objetos como: 1 copo descartável, 1 pedaço de barbante, 1 tesoura e 1 pedaço de fio de nylon.
- Como visto anteriormente para que haja som é necessário que algo vibre. Peça para um colega segurar com as mãos as duas extremidades do fio de nylon, esticando bem. Experimente tocar esse fio de nylon, igual você faz com a corda de um violão. É possível ouvir algum som?
- Agora experimente amarrar uma das extremidades do barbante no fio de nylon e a outra no fundo do copo de plástico. Para isso fure o copo de plástico e atravesse o barbante, dê um nó para não escapar.
- Coloque o copo de plástico no ouvido e peça novamente para o colega esticar bem o fio de nylon. Toque o fio de nylon igual você faz na corda de um violão. Você ouve algum som. Discuta com os colegas o que mudou em relação a observação anterior. Discuta qual a finalidade do copo de plástico.

### 2ª etapa: É hora da ação

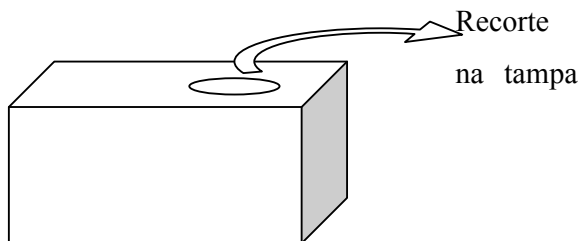
- Ainda com o copo de plástico peça para o colega mudar o comprimento do fio de nylon. Peça para ele aproximar ou afastar as mãos quando segurar o fio. Conforme mostra a figura abaixo. Toque o fio de nylon e discuta com os colegas o que aconteceu com o som que você ouve.



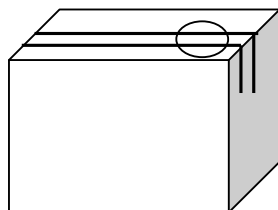
## Construção do Violopão

- Você receberá: 2 pedaços de fio de nylon de espessuras diferente, 1 tesoura, 1 caixa de papelão e 1 régua.

- Para produzir som através de um corda ou fio basta fazê-lo vibrar com as duas extremidades fixas. Para isso iremos utilizar uma caixa de papelão para fixar as extremidades do fio. Entretanto a caixa terá a mesma função do copo de plástico utilizado na 1ª etapa. Assim antes fixarmos os fios na caixa corte a tampa da caixa no formato de um círculo, não jogue fora esse círculo. Veja na figura:



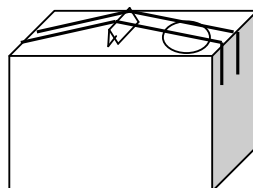
-Você pode fixar as cordas na caixa de papelão, para isso faça furos em lados opostos de caixa, de forma que os fios de nylon passem pelo recorte que você fez na caixa. Veja na figura:



- Para que os fios fiquem mais bem esticados utilize o papelão que você recortou da tampa para fazer um suporte no seguinte formato:



Suporte para esticar a corda e mudar seu comprimento



- Agora que tal fazer o teste, mude o comprimento dos fios utilizando o suporte e observe o que acontece como som.
- Compare o som do fio mais grosso com o fio mais fino, para um mesmo comprimento. Discuta a relação entre o comprimento e a espessura do fio com o som que você ouve.

### 3ª etapa: Reflexão

- Escreva como ficou o som quando o comprimento do fio diminuiu.
- 

- Para um mesmo comprimento do fio escreva a diferença entre o som do fio mais fino e do fio mais grosso.
- 

- Com o auxílio do computador você medirá a frequência do som emitido pelo Violopão. Para isso você irá mudar o comprimento dos dois fios e marcar na tabela abaixo a frequência correspondente ao comprimento do fio que você mediu. Para os dois fios utilize os mesmos comprimentos para medir a frequência.

Fio mais fino

Comprimento do fio (cm)	Frequência (Hz)

Fio mais grosso

Comprimento do fio (cm)	Frequência (Hz)

- Utilizando os valores das tabelas acima verifique se alguma das frequências medidas correspondem a alguma nota mostrada na atividade da construção da Flauta Pan de tubo PVC.

- Marque no Violopão as posições que o suporte de esticar as cordas deve ficar para se obter as notas musicais. Para isso você pode usar o computador ou o diapasão para medir as frequências e as notas.

- Escreva alguma das notas que seu instrumento pode emitir

---

---

- Utilizando o computador meça a amplitude de uma determinada nota tocada por você. Para isso você pode tocá-la com mais força ou com menos força. O que acontece com a amplitude quando você toca com mais força?

---

- Quando você toca com mais força a frequência é diferente de quando você toca com menos força?

---

- Para que serve a caixa de papelão? Além de segurar os fios de nylon.

---

#### 4ª etapa: Estabelecendo relações causais

- O que está vibrando no Violopão que produziu o som?

---

- O que você fez para que o som ficasse mais grave?

---

- Seu instrumento possibilita que você toque 8 notas musicais na sequência? Se a resposta for não explique por que.

---

---

---

- Observe novamente a figura da 2ª etapa da construção da Flauta Pan, em que para nota é associada uma frequência. Seu instrumento musical consegue tocar em faixa de frequência? Poderia ser comparado a que instrumento musical dessa figura?

---

---

---

- Se não tivéssemos os fios de nylon presos na caixa de papelão, se alguém estivesse segurando-os, a frequência do som seria alterada pelo fato da pessoa estar segurando-os na mão? Explique sua resposta.

---

---

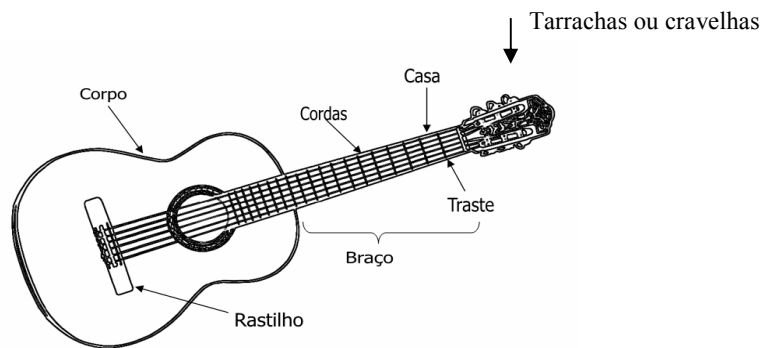
- E a amplitude, mudaria? Explique sua resposta.

---

---

*Para refletir*

Nessa atividade você construiu um instrumento de corda. Quando o comprimento da corda é alterado a frequência do som (nota musical) é alterada também. Você já deve ter visto vários instrumentos musicais de corda, como o violino, violoncelo, viola, violão etc. A figura abaixo mostra um violão.



O Traste serve para que o músico localize a posição certa de fixar o dedo para prender a corda nesta posição. Assim o comprimento da corda é alterado. Explique como num violão podemos alterar a frequência do som emitido.