

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO CIÊNCIAS E TECNOLOGIA DO
ESPÍRITO SANTO
MESTRADO PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA

DIEGO NOVAES SOARES

**O ENSINO DE ACÚSTICA ATRAVÉS DO
USO DE INSTRUMENTOS MUSICAIS: UMA
PROPOSTA DE ENSINO UTILIZANDO OS 3
MOMENTOS PEDAGÓGICOS**

Cariacica

2018

DIEGO NOVAES SOARES

**O ENSINO DE ACÚSTICA ATRAVÉS DO
USO DE INSTRUMENTOS MUSICAIS: UMA
PROPOSTA DE ENSINO UTILIZANDO OS 3
MOMENTOS PEDAGÓGICOS**

Dissertação de Mestrado Profissional apresentada à Coordenadoria do Curso de Mestrado Profissional em Ensino de Física do Instituto Federal de Educação Ciências e Tecnologia do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre Profissional em Física.

Orientador: Aldieris Braz Amorim Caprini

Cariacica

2018

S676e Soares, Diego Novaes

O ensino de acústica através do uso de instrumentos musicais: uma proposta de ensino utilizando os 3 momentos pedagógicos / Diego Novaes Soares - 2018.

123 f. il.; 30 cm

Orientador: Aldieris Braz Amorim Caprini

Dissertação (mestrado) – Instituto Federal do Espírito Santo, Programa de Pós-graduação em Ensino de Física, 2018.

1. Ensino de física - Acústica 2. Três Momentos Pedagógicos 3. Instrumentos musicais I. Caprini, Aldieris Braz Amorim II. Instituto Federal do Espírito Santo III. Título

CDD: 530.07

**INSTITUTO FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CAMPUS CARIACICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE FÍSICA
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA**

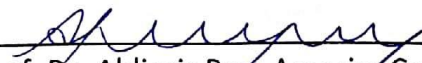
**"O ENSINO DE ACÚSTICA ATRAVÉS DO USO DE INSTRUMENTOS MUSICAIS: UMA
PROPOSTA DE ENSINO UTILIZANDO OS 3 MOMENTOS PEDAGÓGICOS"**

DIEGO NOVAES SOARES

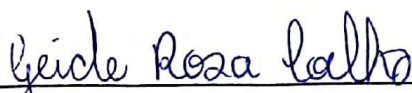
Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física - Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, ofertado pela Sociedade Brasileira de Física em parceria com o Instituto Federal do Espírito Santo, campus Cariacica como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Aprovada em 12 de setembro de 2018.

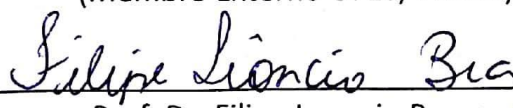
Comissão Examinadora



Prof. Dr. Aldieris Braz Amorim Caprini
(Orientador PPGFis/IFES)



Prof. Dr. Geide Rosa Coelho
(Membro Externo UFES/Vitória)



Prof. Dr. Filipe Leoncio Braga
(Membro interno - PPGFis/IFES)

DECLARAÇÃO DO AUTOR

Declaro, para fins de pesquisa acadêmica, didática e tecnico-científica, que a presente Dissertação de Mestrado Profissional pode ser parcialmente utilizada desde que se faça referência à fonte e aos autores.

Cariacica, em 12 de Setembro de 2018


Diego Novaes Soares


Aldieris Braz Amorim Caprini

Agradecimentos

Agradeço a minha família por todo apoio em minha jornada de estudos e em minha vida de maneira geral.

Agradeço a meus professores do Ifes - Campus Cariacica, que contribuíram muito para minha formação.

Agradeço ao professor Filipe Leoncio Braga e ao professor Wesley Spalenza por todo apoio, ajuda e contribuição em minha formação durante esses anos de estudo.

Agradeço ao professor Luiz Otávio Buffon e ao professor Marcelo Esteves pelo apoio e incentivo a realizar esse mestrado.

Ao professor Adriano Ricardo Trabach por sua contribuição na minha formação como professor enquanto trabalhamos no Pibid, onde já tive um contato inicial com a docência e com o ensino dialógico através de problematizações, o que foi fundamental para a minha escolha de referencial metodológico.

Aos professores Robson Leone Evangelista e Túlio Permino Rogério pela contribuição no meu trabalho através de indicações de leitura e conversas sobre a metodologia que foi utilizada.

A meus colegas de turma, pela boa relação de amizade que se formou durante esse tempo do mestrado e pelas contribuições em relação ao trabalho docente, através de conversas sobre práticas realizadas e ideias compartilhadas.

A meu amigo e servidor do Ifes - Campus Cariacica, Nathanael Nardoto Batista, pelo suporte na organização dos laboratórios e dos demais locais necessários para que as atividades propostas no trabalho fossem realizadas da melhor maneira possível.

Agradeço a meu orientador Aldieris Braz Amorim Caprini, por toda contribuição e apoio em minha formação profissional, desde a época em que eu realizava a graduação em física, e posteriormente no mestrado.

Agradeço também a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro durante a realização do meu mestrado.

RESUMO

O trabalho que apresentamos trata da elaboração e aplicação de uma proposta de ensino de física (acústica) utilizando os instrumentos musicais como tema e recurso central. Baseamos a dinâmica da sequência didática na metodologia dos Três Momentos Pedagógicos (3MP), e o ensino dialogico de Paulo Freire. Através dos instrumentos musicais buscamos evidenciar alguns conceitos da acústica, relacionando os fenômenos observados pelos alunos durante as atividades que propomos nesse produto com os modelos teóricos e conceitos da acústica. As atividades eram divididas em etapas como prevê a metodologia dos 3MP, onde inicialmente ocorre a problematização inicial do conteúdo, após é realizada a organização do conhecimento e posteriormente a aplicação desse conhecimento. Buscamos ao decorrer da aplicação coletar dados que indicassem se os instrumentos musicais estavam ou não presentes no cotidiano desses alunos, se a temática conseguiria ou não motivá-los a aprender mais sobre física, e também se as atividades contribuíram para a aprendizagem dos alunos. Para isso utilizamos questionários e analisamos os dados coletados nos roteiros das atividades propostas. Através das nossas análises de dados, concluímos que o produto educacional foi muito bem recepcionado por grande parte da turma na qual foi aplicado, e além de motivá-los a aprender mais sobre acústica, a dinâmica de aulas mais práticas e participativas agradou a grande maioria desses estudantes.

Palavras chave: Ensino de Física, Acústica, Instrumentos Musicais

ABSTRACT

This present work shown the production and application of a teaching proposal of acoustic physics, by using musical instruments as a central theme e principal recourse. We based the dynamic of the didactic sequence in the three pedagogical moments methodology, and the dialogic teaching e learning methodology of Paulo Freire. By using the musical instruments we look for shown some concepts of acoustic physics, doing a relation between the observed phenomena and the theoretical models and concepts of the acoustic physics. The proposal activities were divided in three parts, as the methodology of three pedagogical moments suggest, the first one is the initial problematization, the second is knowledge organization, and the third is the knowledge application. During the application of the educational product we collect some data, that could shown to us if the musical instruments were present or not in the daily life of the students, and if the theme could motivate the students to learn more about physics, and in the same time, if the activities could contribute with learning process of the students. To do that we use some questionnaires and we analyze the report's of the activities. By analyzing all data collected, we conclude that the educational product that we propose was well received by the students, as well as motivating them to learn more about acoustic physics, and the evidence of their enthusiasm during the application of the teaching proposal.

Keywords: Physics teaching, Acoustic physics, Musical Instruments

LISTA DE FIGURAS

Figura 1–	Vista do Ifes-Campus Cariacica	28
Figura 2–	Simulador de um Diapasão	36
Figura 3–	Experimento Oscilador de uma Corda	40
Figura 4–	Alunos realizando procedimento para encontrar os harmônicos em um violão	41
Figura 5–	Equipamentos organizados para a aula sobre Timbre	44
Figura 6–	Aluno manipulando o simulador do Phet	46
Figura 7–	Gráfico que apresenta respostas dos alunos a questão 1	50
Figura 8–	Gráfico que apresenta as respostas que os alunos descreveram na questão 2	51
Figura 9–	Gráfico que apresenta as respostas que os alunos descreveram na questão 3	51
Figura 10–	Instrumentos na qual os alunos afirmaram ter interesse em aprender a tocar	52
Figura 11–	Relação de alunos que possuem ou não algum familiar ou conhecido que toque algum instrumento musical	52
Figura 12–	Instrumentos que conhecidos ou familiares dos alunos tocam	53
Figura 13–	Respostas apresentadas pelos alunos a questão 1 do questionário de opinião	68
Figura 14–	Respostas apresentadas pelos alunos a questão 2 do questionário de opinião	69
Figura 15–	Respostas apresentadas pelos alunos a questão 3 do questionário de opinião	70

LISTA DE TABELAS

Tabela 1–	Classificação das Respostas dos Alunos ao Item 3	56
Tabela 2–	Respostas dos alunos ao item 4 da atividade sobre frequência do som produzido em uma corda	57
Tabela 3–	Classificação das Respostas dos Alunos ao Item 5	57
Tabela 4–	Medidas do comprimento da corda de um violão realizado pelos grupos	58
Tabela 5–	Respostas dos alunos ao item 3 da atividade sobre os harmônicos . . .	59
Tabela 6–	Calculo da velocidade da onda na corda realizado pelos alunos	60
Tabela 7–	Respostas dos alunos ao quarto item da atividade envolvendo a simulação computacional	61
Tabela 8–	Respostas dos alunos ao quinto item da atividade relacionada a simulação computacional	62
Tabela 9–	Pontuação média dos alunos no questionário antes da aplicação	64
Tabela 10–	Pontuação média dos alunos no questionário após a aplicação	65
Tabela 11–	Diferença entre os resultados pós e pré aplicação	66
Tabela 12–	Comparação média da turma pré e pós aplicação	66
Tabela 13–	Comparações das pontuações médias para cada item do questionário . .	67
Tabela 14–	Respostas dos alunos a terceira questão do questionário de opinião . . .	71
Tabela 15–	Alunos que apresentaram respostas puramente positivas em relação a proposta didática	71
Tabela 16–	Alunos que apresentaram respostas que continham alguma crítica em relação a proposta didática	72

LISTA DE ABREVIATURAS

3MP – Três Momentos Pedagógicos

IM – Instrumentos Musicais

PCN – Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio

LDB – Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	APRESENTAÇÃO	14
1.2	OBJETIVOS DA PESQUISA	15
1.2.1	Objetivo Geral	15
1.2.2	Objetivos Específicos	15
1.2.3	Revisão de Literatura	15
2	REFERENCIAL TEÓRICO	20
2.1	OS TRÊS MOMENTOS PEDAGÓGICOS	20
2.2	A PEDAGOGIA DE PAULO FREIRE	22
2.3	ACÚSTICA	24
3	METODOLOGIA	26
3.1	PESQUISA QUALITATIVA	26
3.2	PESQUISA PARTICIPATIVA	27
3.3	ESPAÇO E SUJEITOS DA PESQUISA	28
3.4	INSTRUMENTOS DE COLETA DE DADOS	29
3.4.1	Entrevista	29
3.4.2	Observação e Diário de Bordo	29
3.4.3	Questionários	30
3.4.4	Roteiros das atividades	31
3.5	MÉTODOS DE ANÁLISE DE DADOS	31
3.5.1	Análise dos Questionários pré teste e pós teste	31

3.5.2	Análise dos Roteiros das Atividades da Sequência Didática	32
4	A ESTRUTURA DO PRODUTO EDUCACIONAL E SUA VALIDAÇÃO	33
4.0.1	A Estrutura do Produto Educacional	33
	Parte 1 - Introdução a Acústica (conceitos básicos)	33
	Parte 2 - O som produzido em um instrumento de corda	33
	Parte 3 - Modos de vibração de uma onda na corda	34
	Parte 4 - Análise espectral do som (Timbre)	34
4.0.2	Aplicação do Produto Educacional	34
	Relato Aula 1 (10/10/2017 - Duas aulas de 50 minutos)	34
	Relato Aula 2 (24/10/2017 - Duas aulas de 50 minutos)	38
	Relato Aula 3 (27/10/2017 - Uma aula 50 minutos)	43
	Relato Aula 4 (31/10/2017 - Duas aulas 50 minutos)	43
5	ANÁLISE E RESULTADOS	48
5.1	A ENTREVISTA COM O PROFESSOR	48
5.2	QUESTIONÁRIO FAMILIARIDADE COM OS INSTRUMENTOS MUSICAIS	50
5.3	ROTEIRO DE INVESTIGAÇÃO DA FREQUÊNCIA DO SOM PRODUZIDO EM UMA CORDA	54
5.4	ROTEIRO DA ATIVIDADE SOBRE OS MODOS DE VIBRAÇÃO DE UMA CORDA	58
5.5	ROTEIRO ATIVIDADE SOBRE RELAÇÃO ENTRE OS HARMÔNICOS E O TIMBRE DO SOM	60
5.6	QUESTIONÁRIO PRÉ E PÓS APLICAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL	62
	Pontuação Média dos alunos no Questionário Pré Aplicação	64
	Pontuação Média dos alunos no Questionário Pós Aplicação	65
	Comparando as pontuações dos questionários Pré aplicação e Pós aplicação	65
5.6.1	Questionário de Opinião dos Alunos	67
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	73

REFERÊNCIAS	75
APÊNDICE A	77
A.1 QUESTIONÁRIOS UTILIZADOS	77
A.1.1 Questionário Pré e Pós Aplicação do Produto	77
A.1.2 Questionário Familiaridade com os Instrumentos Musicais	80
A.1.3 Questionário de Opinião dos Alunos	82
A.2 RESPOSTAS DOS ALUNOS AO QUESTIONÁRIO DE OPINIÃO	84
A.3 PONTUAÇÃO REFERENTE AO QUESTIONÁRIO PRÉ APLICAÇÃO E PÓS APLICAÇÃO	92
APÊNDICE B	96
B.1 O PRODUTO EDUCACIONAL	96
REFERÊNCIAS	123

1 INTRODUÇÃO

1.1 APRESENTAÇÃO

O ensino de física é de grande importância na formação do cidadão, pois é através da física e também das outras ciências naturais que se torna possível compreender fenômenos da natureza, entender mecanismos de funcionamento de tecnologias presentes no nosso cotidiano, além de possibilitar acompanhar as evoluções e descobertas da ciência com o passar dos anos. Para que os alunos alcancem esse nível de compreensão torna-se interessante evidenciar a utilidade da física no cotidiano, através de aplicações práticas em que os conceitos e leis da física nos possibilitam explicar certos fenômenos, e como a física pode ser utilizada para criar e aprimorar certas tecnologias de modo a melhorar a qualidade de vida das pessoas.

Dentre os vários temas e áreas de estudo da Física que podemos evidenciar no cotidiano, escolhi a acústica devido ao meu interesse pessoal pela música. Comecei a aprender a tocar instrumentos como guitarra e violão ainda em minha adolescência e sempre me interessei em aprender mais sobre música e os instrumentos musicais, sendo desde a teoria e prática musical até mecanismos de funcionamento. Ao entrar no curso de física, encontrei na ciência explicações que me possibilitaram entender mais sobre este tema que tanto me interessa. Através da acústica podemos apresentar conceitos importantes para compreender o som que ouvimos, até mesmo como o som é produzido em alguns instrumentos musicais. Devido a isso evidenciaremos os instrumentos musicais como recurso e motivação para discutir alguns conceitos de acústica.

Buscando encontrar uma maneira de contribuir com a aprendizagem de acústica dos alunos, apresento a construção de um produto educacional que contém toda a metodologia de aplicação, questionários e montagens de experimentos, que consistem em um material para professores desenvolverem o estudo da acústica no ensino médio.

1.2 OBJETIVOS DA PESQUISA

1.2.1 Objetivo Geral

- Validar o produto educacional desenvolvido através da aplicação e dados coletados.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Desenvolver um material instrucional no formato de livreto onde estará contida uma sequência de atividades propostas para o ensino de acústica utilizando como recurso e objeto motivador os instrumentos musicais.
- Desenvolver uma proposta de ensino de acústica baseada nos 3 momentos pedagógicos utilizando os instrumentos musicais como recurso central.
- Aplicar as atividades propostas no produto em sala de aula
- Verificar os resultados obtidos

1.2.3 Revisão de Literatura

Para evidenciar a necessidade de novas abordagens para os conteúdos de física, apresentamos um breve apanhado sobre o contexto atual do ensino de física no Brasil.

Chiquetto (2011) evidencia dificuldades relacionadas ao ensino de física e levanta a discussão sobre a evolução do currículo de física no Brasil, evidenciando que apesar da existência de novas propostas curriculares, como o Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN) e a Lei de Diretrizes de Bases e Bases da Educação (LDB), apresentando uma nova abordagem para o ensino de física, na prática ainda ocorre predominância de um modelo de ensino fortemente direcionado para provas de vestibular com metodologias mais tradicionais.

Tendo isso em mente, talvez seja possível minimizar algumas dessas dificuldades relacionadas ao ensino de física levando aos alunos os conceitos de forma contextualizada, sendo possível perceber sua aplicação no cotidiano. Isso pode ser feito apresentando mecanismo de funcionamento e construção de tecnologias ou até mesmo uma aplicação direta de um conceito em questão, que esteja no cotidiano da maioria das pessoas.

Através da contextualização é possível também contribuir para o ensino de física apresentando a evolução da ciência em alguns casos, mostrando algumas quebras de paradigmas e que ao contrário de como alguns alunos pensam, as ciências estão sujeitas a mudanças, substituindo modelos antigos por modelos mais abrangentes.

Vivemos em uma sociedade na qual os conhecimentos das ciências são utilizados por todos, principalmente na forma de aparelhos tecnológicos simples ou altamente sofisticados. O acesso a tais bens atinge cada vez mais e mais pessoas. No mesmo sentido, temos fácil acesso a informações, sejam elas de quaisquer áreas de interesse. Em contrapartida, a escola ensina, sobretudo e ainda, a Física de séculos passados. Espaço e tempo ainda são grandezas absolutas; o átomo ainda é um “pudim de passas” formado pelos indivisíveis prótons, nêutrons e elétrons; a eletricidade e o magnetismo quase não se unem... (CARVALHO et al., 2010)

Apresentando propostas de ensino que buscam contextualização com o cotidiano dos alunos, os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN) apontam para a importância da física na formação da cidadania e contribuição para a construção de uma cultura científica.

Incorporado à cultura e integrado como instrumento tecnológico, esse conhecimento tornou-se indispensável à formação da cidadania contemporânea. Espera-se que o ensino de Física, na escola média, contribua para a formação de uma cultura científica efetiva, que permita ao indivíduo a interpretação dos fatos, fenômenos e processos naturais, situando e dimensionando a interação do ser humano com a natureza como parte da própria natureza em transformação. Para tanto, é essencial que o conhecimento físico seja explicitado como um processo histórico, objeto de contínua transformação e associado às outras formas de expressão e produção humanas. É necessário também que essa cultura em Física inclua a compreensão do conjunto de equipamentos e procedimentos, técnicos ou tecnológicos, do cotidiano doméstico, social e profissional. (BRASIL, 2002)

Espera-se que com essa formação os alunos sejam capazes de compreender certos fenômenos do seu cotidiano e viver em sociedade de modo a ter conhecimento científico suficiente para interagir com o mundo em que vive.

Os (PCN) estabelecem um conjunto de habilidade e competências a serem desenvolvidas no ensino de física, tais habilidade e competências estão divididas em três grandes competências, sendo elas, representação e comunicação, investigação e compreensão e contextualização

sociocultural.

Como apontado por Carvalho (2010) a perspectiva de formação dos estudantes deve ultrapassar o aprendizado de alguns conteúdos específicos estudados na escola, deve-se formar cidadãos capazes de reconhecer esses conteúdos no seu cotidiano e utilizar os conhecimentos adquiridos em situações na qual seja necessário.

Um outro eixo organizador dos PCN's, a interdisciplinaridade talvez possa vir a contribuir com a formação do aluno para conviver em sociedade, tendo em vista que os conhecimentos estudados nas disciplinas podem se relacionar em alguns temas específicos, relacionando conhecimentos de diferentes áreas.

Pensando ainda na importância do ensino de física podemos utilizar também como base as finalidades do ensino médio expressas na lei 9394/96 (LDB), nos termos do Artigo 35 esta estabelecido que o ensino médio deverá ter duração mínima de três anos, além disso estão especificados alguns objetivos para a modalidade de ensino. Podemos destacar desses objetivos, consolidação e aprofundamento dos conhecimentos adquiridos no ensino fundamental, preparação básica para o trabalho e a cidadania do educando, de modo que o mesmo seja capaz de continuar aprendendo e se adaptar a novas condições, aprimoramento do educando como pessoa humana, ética, com autonomia intelectual e pensamento crítico, e compreensão dos fundamentos científicos- tecnológicos dos processos produtivos, relacionando teoria com prática.

Levando em conta os termos da (LDB), reaparece a necessidade do ensino de uma física mais próxima do cotidiano do aluno, de modo que seja possível ao aluno compreender melhor o mundo em que ele vive. (DELIZOICOV et al., 2002) apontam para a necessidade de novas práticas educacionais, tendo em vista que além de o contingente escolar aumentou se comparado com décadas atrás, os valores, costumes, e formas de expressão também mudaram com o tempo. Destacam também a necessidade de uma nova perspectiva sobre o ensino de ciências no ensino médio, que diferentemente de buscar formar cientistas o ensino de ciências deve buscar levar ciência para todos.

Voltamos a nossa atenção sobre a Acústica como objeto de estudo dentre as demais áreas da física, sendo assim nos interessa saber um pouco sobre o ensino de Acústica no ensino médio.

Dentro os conteúdos de Física, limitamos como objeto de estudo a Acústica, que muitas vezes é abordada sem explorar recursos que tornariam as aulas de física mais interessantes, sendo esses, recursos como instrumentos musicais, softwares para análise de som, e experimentos que possam demonstrar algumas das propriedades do som.

A temática da acústica, apresenta uma quantidade considerável de conceitos que podem ser abordados, e que poderiam interessar a muitas pessoas e está no cotidiano de porcentagem considerável de alunos, podendo assim gerar uma predisposição a aprender física por parte dos alunos, como foi relatado no trabalho de (KRUMMENAUER; PASQUALETTO; COSTA, 2009).

Como parte da revisão de literatura procuramos trabalhos produzidos sobre ensino de acústica, optamos por realizar uma pesquisa no banco de teses e dissertações de duas universidades, sendo essas a Universidade Federal do Espírito Santo (Ufes) e a Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Escolhemos o banco de teses e dissertações da Ufes como uma das fontes de pesquisa, devido a esta universidade se encontrar na mesma região que nós, sendo assim acreditamos que o contexto educacional dos possíveis trabalhos sobre ensino de acústica seja mais próximo do contexto de aplicação que iremos trabalhar. Escolhemos também como fonte de pesquisa o banco de teses e dissertações da UFRGS devido a essa universidade ser referência na área de ensino de física.

Ao realizar a busca no banco de teses e dissertações da Ufes utilizando como palavras chave "Ensino" e "Acústica" encontramos uma dissertação de mestrado profissional em ensino de física, que se intitula "Atividades para o aprendizado de Acústica" de (VASSOLER, 2016). O trabalho em questão consiste na elaboração, aplicação e avaliação de um produto educacional voltado para o ensino de acústica, onde são propostas atividades envolvendo utilização de smartphones, construção de instrumentos musicais, placas controladoras Arduíno, seguindo como referencial teórico a Teoria da Mudança Conceitual.

Realizando a busca no banco de teses e dissertações da UFRGS, utilizando como palavras chaves "Ensino" e "Acústica" encontramos a dissertação de mestrado profissional em ensino de física chamada "Uma proposta de introdução de conceitos físicos na 8ª série através do som, e algumas importantes curiosidades e aplicações do seu estudo" (RUI, 2006). Esse trabalho apresenta uma proposta para ensino de física em turmas de oitava série do ensino fundamental (atual 9º ano) através do estudo de fenômenos físicos relacionados a produção e percepção do som,

destacando os conceitos físicos presentes no estudo do mecanismo da audição humana.

É possível encontrar na literatura trabalhos desenvolvidos sobre o estudo da acústica. Por exemplo, o trabalho de (KRUMMENAUER; PASQUALETTO; COSTA, 2009) tem como temática o uso de instrumentos musicais como ferramenta motivadora para ensino de acústica, além de relatar que o tema vêm sendo abordado ao longo dos anos, propõe uma metodologia para aplicação de atividades envolvendo instrumentos musicais, com embasamento no referencial teórico da Aprendizagem Significativa de David Ausubel. O trabalho de (SANTOS; MOLINA; TUFAILE, 2013) apresenta uma proposta de experiência envolvendo a utilização dos instrumentos musicais violão e guitarra para o estudo de conceitos de acústica, com um caráter experimental e investigando modelos teóricos do estudo de acústica através dos dados obtidos nas atividades propostas no trabalho. Trabalhos sobre construção de instrumentos musicais como os de (MOURA; NETO, 2011), (MAEOCA, 2012), trabalhos que chamam a atenção para mecanismos de funcionamento de produção de som e suas propriedades físicas como (SANTOS; MOLINA; TUFAILE, 2013).

Recentemente o programa de Mestrado Profissional em Ensino de Física lançou uma série de livros com o objetivo de oferecer material instrucional aos professores que estão se qualificando através desse programa. Um dos livros dessa série apresenta o nome "Física e Música" de (GRILLO; PERES, 2016). O livro apresenta os conceitos físicos da acústica, e além disso apresenta temas como intervalos musicais, um contexto histórico mostrando as influências de alguns movimentos culturais de diferentes épocas sobre o estudo da música, e também propostas de atividades para serem desenvolvidas em sala de aula.

Através das publicações na área pode-se perceber que há uma preocupação com o ensino da física do som, principalmente por se tratar de um assunto que tem potencial de despertar interesse em muitas pessoas e por estar no cotidiano dos alunos.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Tratamos nesse capítulo do aporte teórico que subsidiou a pesquisa e a elaboração do produto, a partir da metodologia dos três momentos pedagógicos.

2.1 OS TRÊS MOMENTOS PEDAGÓGICOS

A metodologia dos três momentos pedagógicos foi desenvolvida por Demétrio Delizoicov e José André Angotti no final da década de 70, durante um processo de formação de professores na região de Guiné-Bissau. O método foi baseado na pedagogia de Paulo Freire, tendo como umas das principais ideias, o educação problematizadora. Em ensino de física a metodologia dos 3MP vêm sendo utilizada em diversos trabalhos com diversas temáticas, como os trabalhos de (EVANGELISTA, 2016) e (ROGÉRIO, 2017).

A seguir apresentamos os três momentos pedagógicos e suas características.

O Primeiro momento chamado de "Problematização Inicial" se caracteriza como uma situação problema vinculada ao tema de estudo, sendo possível iniciar a intervenção em sala de aula trazendo o tema de maneira contextualizada.

São apresentadas questões e/ou situações para discussão com os alunos. Mais do que simples motivação para se introduzir um conteúdo específico, a problematização inicial visa à ligação desse conteúdo com situações reais que os alunos conhecem e presenciam, mas que não conseguem interpretar completa ou corretamente porque provavelmente não dispõem de conhecimentos científicos suficientes. (DELIZOICOV; ANGOTTI, 1991)

Nessa primeira etapa a problematização permite que os alunos demonstrem seus conheci-

mentos prévios a respeito de um tema, e também tem o papel instigar o aluno a buscar mais conhecimento sobre esse tema, para que seja possível a ele compreender melhor a situação apresentada. Nessa etapa o professor não deve simplesmente dar a resposta aos alunos, mas sim instigar a curiosidade dos alunos e conduzi-los dialogicamente a caminho do conhecimento necessário.

O Segundo momento se chama "Organização do conhecimento" se caracteriza por ser a etapa na qual o conteúdo previsto para explicação do tema será discutido.

Os conhecimentos de Física necessários para a compreensão do tema central e da problematização inicial serão sistematicamente estudados neste momento, sob orientação do professor. Definições, conceitos, relações, leis, apresentadas no texto introdutório, serão agora aprofundados. (DELIZOICOV; ANGOTTI, 1991)

Nesse momento o tema e os conceitos científicos são aprofundados. Esse processo pode ser feito através de diversas estratégias, como utilização de experimentos, leituras, e discussões sobre o tema.

Essa sistematização pode ser feita de diferentes maneiras, por exemplo, com o uso de textos explanatórios, demonstrações experimentais, oficinas experimentais e discussões sobre o tema.

O Terceiro momento que se chama "Aplicação do conhecimento" é a etapa na qual os alunos irão colocar os conhecimentos construídos em prática.

Destina-se, sobretudo, a abordar sistematicamente o conhecimento que vem sendo incorporado pelo aluno para analisar e interpretar tanto as situações iniciais que determinaram o seu estudo, como outras situações que não estejam diretamente ligadas ao motivo inicial, mas que são explicadas pelo mesmo conhecimento. Deste modo pretende-se que, dinamicamente e evolutivamente, o aluno perceba que o conhecimento, além de ser na construção historicamente determinada desde que aprendido, é acessível a qualquer cidadão, que dele pode fazer uso. Com isso, pode-se evitar a excessiva dicotomização entre processo e produto, física de "quadro negro" e física da "vida", "cientista e não-cientista... (DELIZOICOV; ANGOTTI, 1991)

Nessa etapa os alunos responderão não apenas a situação problema, como também, situações semelhantes a qual os conhecimentos científicos estudados se aplicam. Sendo assim é de se esperar que os alunos busquem relações entre novos problemas e o tema de estudo abordado em sala, e que saibam aplicar esses conhecimentos nessas novas situações.

(PANIZ et al.,) e (MUENCHEN; DELIZOICOV, 2012) ressaltam que os três momentos pedagógicos foram estruturados com base na Abordagem Temática.

[...] perspectiva curricular cuja lógica de organização é estruturada com base em temas, com os quais são selecionados os conteúdos de ensino das disciplinas. Nessa abordagem, a conceituação científica da programação é subordinada ao tema.(DELIZOICOV et al., 2002)

Através desse tipo de abordagem o professor deve buscar uma interpretação para os temas com base na realidade dos alunos, os temas podem estar entrelaçados com demandas sociais, culturais e econômicas que os estudantes vivem.

2.2 A PEDAGOGIA DE PAULO FREIRE

Não é raro encontramos críticas relacionadas ao método de ensino de professores do ensino médio, em que muitas vezes utilizam uma postura de detentor do conhecimento, lecionando aulas puramente expositivas, sem muitas vezes levar em consideração os conhecimentos que os alunos possuem. Paulo Freire critica esse tipo de educação que não leva em consideração a realidade dos educandos e a classifica como Educação Bancária.

A narração, de que o educador é o sujeito, conduz os educandos à memorização mecânica do conteúdo narrado. Mais ainda, a narração os transforma em “vasilhas”, em recipientes a serem “enchidos” pelo educador. Quanto mais vá “enchendo” os recipientes com seus “depósitos”, tanto melhor educador será. Quanto mais se deixem docilmente “encher”, tanto melhores educandos serão.(FREIRE, 1987)

Nessa concepção os alunos possuem uma postura totalmente passiva enquanto o educador assume a postura de suposto detentor do conhecimento. Desse modo na concepção Bancária de educação:

- a) o educador é o que educa; os educandos, os que são educados;
 - b) o educador é o que sabe; os educandos, os que não sabem;
 - c) o educador é o que pensa; os educandos, os pensados;
 - d) o educador é o que diz a palavra; os educandos, os que a escutam docilmente;
 - e) o educador é o que disciplina; os educandos, os disciplinados;
 - f) o educador é o que opta e prescreve sua opção; os educandos os que seguem a prescrição;
 - g) o educador é o que atua; os educandos, os que têm a ilusão de que atuam, na atuação do educador;
 - h) o educador escolhe o conteúdo programático; os educandos, jamais ouvidos nesta escolha, se acomodam a ele;
 - i) o educador identifica a autoridade do saber com sua autoridade funcional, que opõe antagonicamente à liberdade dos educandos; estes devem adaptar-se às determinações daquele;
 - j) o educador, finalmente, é o sujeito do processo; os educandos, me ros objetos..
- (FREIRE, 1987)

Contrapondo a concepção Bancária de educação, Paulo Freire evidencia a necessidade do diálogo no processo de ensino.

A educação autêntica, repetamos, não se faz de “A” para “B” ou de “A” sobre “B”, mas de “A” com “B”, mediatizados pelo mundo. Mundo que impressiona e desafia a uns e a outros, originando visões ou pontos de vista sobre ele. (FREIRE, 1987)

Nessa concepção de educação o ensino não se caracteriza como uma transmissão de informação, mas como uma interação entre diferentes indivíduos, um contribuindo para aprendizagem do outro. Desse modo, os alunos assumem um papel mais participativo no processo de ensino.

A dialogicidade não nega a validade de momentos explicativos, narrativos em que o professor expõe ou fala do objeto. O fundamental é que o professor e alunos saibam que a postura deles, do professor e dos alunos, é dialógica, aberta, curiosa, indagadora e não apassivada, enquanto fala ou enquanto ouve. O que importa é que professor e alunos se assumam epistemologicamente curiosos. (FREIRE, 1996)

Para que ocorra um ensino dialógico o professor deve estar disposto a dialogar, estimulando a curiosidade através de perguntas que possam vir a colaborar com uma análise mais crítica e aplicada de um certo conteúdo.

2.3 ACÚSTICA

Podemos entender a Acústica como a parte da física na qual estudamos o som (ondas sonoras) e suas características. E as ondas sonoras são ondas que são chamadas de ondas mecânicas, oscilações da pressão em um meio material que se propaga por esse meio com uma certa frequência.

Um fluido como a atmosfera não pode transmitir tensões tangenciais, de modo que as ondas sonoras na atmosfera são ondas longitudinais, associadas a variações de pressão, ou seja, a compressões e rarefações, como as ondas ao longo de uma mola... (NUSSENZVEIG, 2002)

Ao estudarmos o som é comum focarmos nossa atenção em algumas características específicas, como a altura, timbre, intensidade e duração. O trabalho que apresento têm foco no estudo das características altura e timbre e a relação dessas características do som com os instrumentos musicais.

A altura do som é a relação que fazemos entre sons graves a frequências de valores mais baixas e sons agudas a frequências de valores mais altos. Como ressaltado por Grillo e Peres (2016), os sons que conseguimos ouvir varia entre as frequências de 20 Hz a 20000 Hz aproximadamente. A altura do som é influenciada por certas variáveis em um instrumento de corda como comprimento da corda (L), o modo de vibração da corda ou ordem do harmônico (n), e a tensão (τ) aplicada a a corda.

O Timbre é a característica do som que nos permite reconhecer e diferenciar diferentes fontes sonoras mesmo que o som emitido pelas diferentes fontes tenham a mesma frequência.

Dois sons musicais de mesma intensidade e altura ainda podem diferir por outra qualidade, que chamamos de timbre do som. Assim, nosso ouvido distingue clara-

mente a diferença entre a mesma nota lá emitida por um piano, violino, flauta ou pela voz humana, por exemplo. O timbre representa uma espécie de "coloração" do som. (NUSSENZVEIG, 2002)

O Timbre possui relação direta com os harmônicos (padrões de vibração) que compõe uma onda sonora resultante, de modo que, harmônicos de diferentes intensidades se sobrepõem configurando diferentes timbres.

Como para qualquer função periódica do tempo, podemos representar a onda associada a um som musical por uma série de Fourier (Seção 5.8), que, além do tom fundamental de frequência ν_1 , conterá em geral componentes de Fourier associadas a todas as tons harmônicos $\nu_n = n\nu_1$ ($n = 2, 3, \dots$). As diferentes proporções em que entram os tons harmônicos definem o timbre do som. (NUSSENZVEIG, 2002)

As atividades que apresento nesse trabalho utiliza instrumentos como violão e guitarra e conjunto com outros recursos, visando explorar os conceitos que apresentamos até então.

Sendo assim, tendo como base a metodologia dos 3 Momentos Pedagógicos de Delizoicov e Angotti, e utilizando como recurso base instrumentos musicais, acreditamos que seja possível criar as condições possíveis para a construção dos conhecimentos da acústica nas aulas de física.

3 METODOLOGIA

Neste capítulo apresentaremos a metodologia utilizada na realização da pesquisa, também os instrumentos de coleta de dados, e os métodos de análises de dados utilizados para obtenção das conclusões sobre o resultado do trabalho.

3.1 PESQUISA QUALITATIVA

Como metodologia de pesquisa para desenvolvimento do trabalho nos direcionamos para o viés qualitativo, com características da pesquisa participativa. De acordo com (LÜDKE; ANDRÉ, 1986) as investigações qualitativas foram ganhando cada vez o interesse de pesquisadores na área da educação. Esse tipo de pesquisa possui características que nos possibilitam compreender sua natureza.

(BOGDAN et al., 1994) definem as características básicas da investigação qualitativa. Em uma investigação qualitativa o ambiente natural na qual acontece a investigação é uma fonte direta de dados e o investigador assume o papel de principal instrumento de investigação, sendo assim o investigador deve ficar atento a todo momento e procurar registrar a maior quantidade de informações possível, seja por meio da observação e anotações, ou até mesmo com o auxílio de filmagens e gravações de áudio. Outra característica marcante definida pelos autores é que a investigação qualitativa é descritiva, sendo assim o pesquisador deve fazer uma descrição detalhada do ambiente, dos sujeitos, comportamentos, qualquer fenômeno que possa vir a ser relevante para a investigação.

Uma terceira característica definida pelos autores ressalta que nesse tipo de investigação há mais interesse no processo do que nos resultados, de modo que os investigadores focam em coletar informações durante a pesquisa de campo dando uma importância maior a essa parte em relação a questionários e testes posteriores a pesquisa de campo.

A quarta característica diz respeito a forma de análise de dados indutiva por parte dos pesquisadores, onde o pesquisador não busca dados para confirmar ou desmentir hipóteses, esse geralmente parte de alguma ideia ou suposição, e no decorrer da pesquisa a hipótese é construída levando em conta o resultado da pesquisa.

A quinta característica que os autores definem é a importância do significado na investigação qualitativa, em que o pesquisador busca sempre captar a perspectiva dos participantes em relação a algo, buscando entender o que os participantes conhecem sobre algo, quais são suas concepções e interpretações.

Creditamos muita importância a ideia de contribuir com a formação dos alunos, mediando a interação dos alunos com o conhecimento teórico e facilitando o processo de construção do conhecimento realizado por cada aluno. Desse modo os alunos têm participação fundamental para a pesquisa. Através das interações com os alunos iremos investigar indícios de aprendizagem dos conceitos, e até mesmo verificar se os objetivos da pesquisas foram alcançados com êxito, ou parcialmente, e através dessas informações pensarmos em melhorias.

3.2 PESQUISA PARTICIPATIVA

Segundo (BORGES, 2007) a "pesquisa participante" ou "pesquisa participativa" se caracteriza como uma abordagem metodológica de pesquisa na qual o processo é feito com e a serviço da comunidade. Há forte envolvimento do contexto social na qual a pesquisa está sendo feita, buscando a construção de um saber partilhado, de modo que os indivíduos sujeitos da pesquisa possam participar diretamente da construção do conhecimento, e que no processo adquiram autonomia para utilizar desse conhecimento em sua vida cotidiana.

Na pesquisa participante sempre importa conhecer para formar pessoas populares motivadas a transformar os cenários sociais de suas próprias vidas e destinos, e não apenas para resolverem alguns problemas locais restritos e isolados, ainda que o propósito mais imediato da ação social associada à pesquisa participante seja local e específico (BORGES, 2007)

Buscamos durante todo o processo a interação dos alunos com as atividades, de modo com que eles tivessem a oportunidade de participar ativamente da construção do conhecimento. E através do retorno que tivermos dos alunos avaliaremos todo o processo de aplicação, assim como a estrutura das atividades propostas no produto.

3.3 ESPAÇO E SUJEITOS DA PESQUISA

A aplicação do produto educacional que desenvolvemos aconteceu no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo (Ifes) Campus Cariacica, Espírito Santo. A instituição conta com biblioteca, salas de aula equipadas com quadros, cadeiras, computadores e projetores, laboratórios de informática, laboratórios de física, química, e laboratórios para uso em disciplinas de ensino técnico específicos de alguns dos cursos oferecidos pela instituição.



Figura 1 – Vista do Ifes-Campus Cariacica

Fonte: <http://www.ca.ifes.edu.br/index.php/sobre-o-campus>.

A turma participante na aplicação foi uma turma de 2ª série do ensino médio com técnico integrado em modalidade de ensino integral, sendo um total de 38 alunos na pauta, porém desse total apenas 36 participaram das atividades do produto, e 25 alunos participaram de toda a aplicação.

O professor efetivo da turma na qual o produto foi aplicado, além de ter nos dado a oportunidade de aplicar o produto educacional em sua turma, participou da pesquisa respondendo a uma entrevista, que foi de grande importância para conhecermos sua perspectiva em relação ao ensino de Física, o perfil dos alunos e como adequar o produto educacional que estava sendo produzido ao contexto educacional do instituto. O professor investigado tem formação de Bacharel em Física, após fez doutorado na área de Teoria de Campos no Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas, após fez dois pós doutorados na Itália também na área de física teórica. Ao voltar para o Brasil fez um novo pós doutorado em Gravitação Quântica na Universidade Federal do Espírito Santo (Ufes). Após o término do pós doutorado, voltou a lecionar Física para o nível médio e superior. O detalhamento da entrevista encontra-se no capítulo 5.

3.4 INSTRUMENTOS DE COLETA DE DADOS

Nesta seção apresentamos os instrumentos de coleta que utilizamos.

3.4.1 Entrevista

Inicialmente propusemos a realização de uma entrevista ao professor efetivo da turma na qual foi desenvolvida a aplicação do produto educacional. Buscávamos com essa entrevista a opinião do professor em relação às dificuldades que os alunos encontram para aprender física, e em contrapartida as dificuldades em ensinar física para os alunos no ensino médio. Buscávamos também sua opinião sobre a proposta do trabalho e sugestões para a contribuição na aprendizagem dos estudantes. Podemos considerar o modelo de entrevista que utilizamos como semi-estruturada segundo as informações sobre entrevistas de (LÜDKE; ANDRÉ, 1986). Gravamos o áudio da entrevista utilizando um celular smart-phone e posteriormente transcrevi a entrevista no formato de texto e realizei a análise das informações.

3.4.2 Observação e Diário de Bordo

Como nosso trabalho segue um viés qualitativo, não podemos desconsiderar a observação como um importante método de coleta de dados para a pesquisa. (LÜDKE; ANDRÉ, 1986) chamam atenção para a importância da observação na investigação qualitativa.

Para que se torne um instrumento válido de investigação científica, a observação precisa ser antes de tudo controlada e sistemática. Isso implica a existência de um planejamento cuidadoso do trabalho e uma preparação rigorosa do observador. (LÜDKE; ANDRÉ, 1986)

A observação como método de coleta de dados exige cuidados, de modo que o observador esteja atento a qualquer detalhe que possa vir a ser relevante para o resultado pesquisa, mas também ter claro quais são os detalhes importantes que o observador precisa focar e registrar. Tendo em vista a complexidade da tarefa torna-se importante ter um método para registro dos dados da observação. Optei por relatar em um pequeno caderno algumas informações e detalhes, fazendo um tipo de diário de bordo durante a aplicação do produto. E ao término da aplicação das atividades de cada encontro com a turma, me sentava em frente ao computador o quanto antes possível para fazer uma descrição mais detalhada, baseada no que acabara de observar e nas anotações tomadas em sala de aula.

3.4.3 Questionários

Os instrumentos musicais têm um grande papel em nosso trabalho, como já foi explicitado até aqui, além de recurso utilizado durante a aplicação das atividades, toda a problematização das atividades foi feita através dos instrumentos musicais. E para sabermos se os instrumentos estão de fato ou não no cotidiano dos alunos preparamos um questionário que consiste em um instrumento de verificação da familiaridade dos alunos com os instrumentos musicais .

Preparamos também um questionário que em primeiro momento tinha como o objetivo verificar os conhecimentos espontâneos que os alunos possuíam sobre os conceitos que seriam abordados, e ao final da aplicação serviria para avaliar se suas percepções dos conceitos nas situações apresentadas nas questões evoluiu. O questionário foi elaborado seguindo a escala Likert (SILVEIRA; MOREIRA, 1999), em que são apresentadas afirmações nas quais os alunos devem concordar ou discordar seguindo uma escala de 5 níveis.

Para completar nossa pesquisa nós queríamos um retorno dos alunos. Basicamente saber a opinião deles em relação as atividades, se gostaram delas, se não gostaram, se conseguiram compreender os conceitos, se não compreenderam e coisas dos tipo. Pensamos inicialmente em fazer uma entrevista com os alunos, porém como queríamos poupar tempo, e também acreditávamos que talvez eles não se sentissem livres o suficiente para expor opiniões negativas

abertamente caso tivessem, optamos por fazer um questionário contendo perguntas que buscavam levantar a opinião e justificativas de suas opiniões em relação ao produto. Para que as opiniões fossem mais fiéis o possível foi dito a eles que eles não precisavam colocar seus nomes nos questionários, bastava apenas que respondessem de maneira mais sincera possível. Os questionários se encontram presentes nos apêndices.

3.4.4 Roteiros das atividades

Nas atividades que propomos no produto haviam roteiros contendo instruções e espaços para preenchimento de dados sobre a atividade e questões que necessitavam de observação e interpretação sobre o fenômeno estudado. Sendo assim também utilizamos esses roteiros como um dado para avaliar o resultado aplicação, de modo que fosse possível observar os dados coletados pelos alunos durante as atividades e interpretar suas respostas as perguntas contidas nesses roteiros.

3.5 MÉTODOS DE ANÁLISE DE DADOS

Nessa seção apresentamos a metodologia utilizada na análise dos dados coletados.

3.5.1 Análise dos Questionários pré teste e pós teste

O questionário que elaboramos utilizava afirmações a cerca do tema acústica e instrumentos musicais, apresentando aos alunos situações problema na qual ele deveria concordar ou discordar, em uma escala de 5 níveis explicitando sua confiança na resposta, e como resultado teríamos um possível indicativo sobre o conhecimento que os alunos possuíam sobre o tema antes da aplicação e após a aplicação.

Utilizamos as seguintes opções de resposta concordo plenamente, concordo, não sei, discordo, discordo completamente e atribuímos uma pontuação a cada um desses níveis utilizados, de modo que a resposta mais insatisfatória em relação a questão proposta vale um ponto e a mais satisfatória cinco pontos.

Desse modo após a aplicação foi feita a análise da pontuação total de cada aluno e do total

da turma, no pré teste e no pós teste, como também a análise da diferença entre as pontuações, com o objetivo de observar se houve uma melhora na pontuação dos questionários após a aplicação do produto.

3.5.2 Análise dos Roteiros das Atividades da Sequência Didática

Como a pesquisa feita tem um caráter qualitativo, a análise do processo de ensino possui grande valor. Sendo assim foi feita uma análise dos dados coletados durante as atividades realizadas do produto educacional.

4 A ESTRUTURA DO PRODUTO EDUCACIONAL E SUA VALIDAÇÃO

4.0.1 A Estrutura do Produto Educacional

Como produto educacional construímos um material de apoio para o ensino de acústica, utilizando os instrumentos musicais, através da metodologia dos três momentos pedagógicos. Esse material se encontra no formato de livreto, contendo a sequência de atividades que propomos e o procedimento para a realização das mesmas.

Parte 1 - Introdução a Acústica (conceitos básicos)

Essa primeira parte consiste em uma breve introdução ao tema acústica, abordando alguns conceitos que serão necessários para a execução das atividades que serão propostas posteriormente no produto. Nessa parte definimos o que é a acústica e alguns de seus conceitos como: onda sonora, frequência, período, comprimento de onda, amplitude, e velocidade de uma onda.

Parte 2 - O som produzido em um instrumento de corda

Nessa segunda parte são abordadas características da produção do som através da vibração de uma corda, e a qualidade fisiológica do som que chamamos de altura do som. Para uma análise mais criteriosa da produção do som em um instrumento musical seria preciso levar em conta outros parâmetros além do que diz respeito a vibração da corda, como características a respeito do formato e material de fabricação do instrumento. Porém como uma primeira aproximação e ponto inicial para o estudo, evidenciaremos aqui algumas relações entre o som produzido por uma corda vibrante e os parâmetros da corda que influenciam esse som.

Parte 3 - Modos de vibração de uma onda na corda

Nessa unidade abordamos os modos de vibração de uma corda, os harmônicos, e sua ligação com o som que ouvimos gerado por essas cordas oscilantes.

Parte 4 - Análise espectral do som (Timbre)

Nessa atividade exploramos outra qualidade fisiológica do som que chamamos de timbre, que nos permiti distinguir entre sons de diferentes instrumentos ou objetos mesmo que estejam emitindo a mesma nota musical (mesma altura). É utilizada nessa etapa diferentes instrumentos musicais afim de problematizar o fenômeno, e através de um simulador do Phet estudamos mais a fundo a o que é o espectro sonoro.

4.0.2 Aplicação do Produto Educacional

A seguir detalharei como ocorreu a aplicação do produto, buscando chamar a atenção para detalhes relevantes na aplicação de cada atividade.

A aplicação do produto ocorreu no mês de outubro de 2017, foram necessárias 7 aulas de aproximadamente 50 minutos, para a aplicação de todo o produto, incluindo os questionários aplicados para levantamento de dados. Mas vale lembrar que os alunos que participaram da pesquisa já haviam estudado o conteúdo introdutório de ondulatória. Durante a aplicação houve duas semanas que não tiveram aulas na instituição, deixando um espaço de duas semanas entre o primeiro e o segundo dia de aplicação.

Relato Aula 1 (10/10/2017 - Duas aulas de 50 minutos)

Cheguei a sala de aula alguns minutos antes de o horário previsto para aula começar, por volta de 13:45h, sendo que a aula começaria apenas as 13:50h. Fui organizando minhas coisas para dar início a aula enquanto esperava alguns alunos chegarem na aula.

Levei para essa aula 7 violões, e uma base de madeira com uma corda estendida para ajudar na organização do conhecimento. Antes mesmo de falar com os alunos, quando fomos entrado

na sala (eu e o professor efetivo da turma) os alunos já foram querendo pegar os violões para tocar e perguntando se era para formarem grupos e de quantas pessoas em cada um desses grupos. Disse a eles que antes de formamos os grupos teríamos outras etapas e em breve iríamos ver isso.

Comecei a aula me apresentando, falando de maneira geral o tema da pesquisa a qual eu estava desenvolvendo e já disse para eles que precisava saber qual era o conhecimento que eles já possuíam sobre acústica e quão familiarizados cada um deles era com os instrumentos musicais. E para isso apliquei o questionário pré-teste, e o questionário "Checando sua familiaridade com os instrumentos musicais".

A aplicação dos questionários levou cerca de 25 minutos e durante a aplicação alguns alunos foram chegando atrasado, eu disse a eles que podiam entrar na aula e entreguei os questionários a esses também. Após a aplicação dos questionários introduzi o tema questionando "o que é acústica?" e "O que estudamos na acústica?". Um aluno respondeu que estudamos o som, outro respondeu que estudamos ondas sonoras, enquanto outro disse que estudamos as notas musicais.

Então definimos acústica como parte da física em que se estuda o som. A física do som. Após perguntei "O que é o som?" e um aluno respondeu que se trata de uma onda na qual ouvimos um barulho referente a ela. Houve mais comentários dos alunos sobre ondas e oscilação. Então definimos o som como uma onda mecânica, uma onda longitudinal que se propaga provocando compressões e rarefações em um meio material. Após isso apresentei a eles uma simulação computacional na qual um Diapasão emite uma onda sonora, e a onda é ilustrada por pontos azuis se movimentando de modo a representar as compressões e rarefações em um meio.

Após essa parte relembrei algumas grandezas estudadas na parte de física ondulatória que seriam importantes em nossas futuras discussões. São essas grandezas, comprimento de onda, amplitude, frequência e período. E após relembrei a equação de velocidade de uma onda em função de seu comprimento de onda e frequência.

Após a breve revisão desses conceitos de ondulatória entrei na segunda parte O som produzido em instrumentos de corda.

Para dar início utilizei a seguinte problematização: "Como é produzido o som em um instrumento de corda?". Um aluno citou a vibração das cordas, enquanto outro disse que a corda vibra

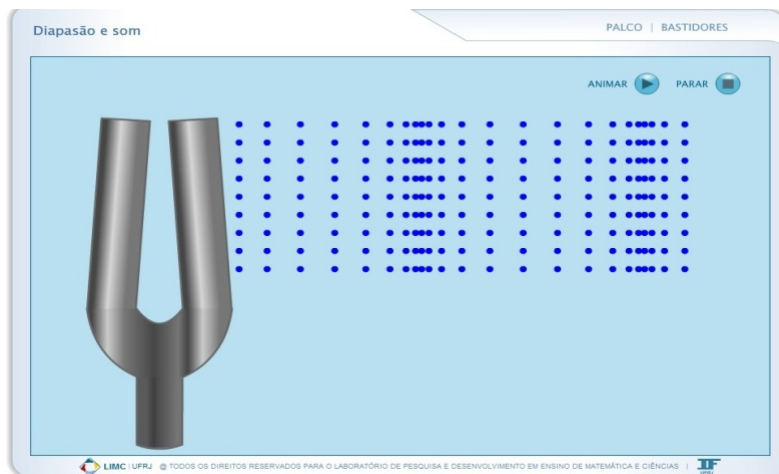


Figura 2 – Simulador de um Diapasão

Fonte: Próprio Autor

e empurra o ar para dentro da caixa acústica, e como resultado temos um som mais "alto" (Nesse momento o aluno diz alto no sentido de intensidade do som). Devido a ideia da caixa acústica ter aparecido um aluno se lembrou que existe um violão que não possui caixa de ressonância,

E após seguiram mais respostas relacionadas a o som produzido na corda entrar na caixa acústica e sair mais "alto".

Então comecei a organização do conhecimento da seguinte maneira: Coloquei em cima de uma mesa uma base de madeira com uma corda tensionada, e sem caixa acústica, e perguntei se a corda emitiria som se eu a fizesse vibrar. Um aluno respondeu que sairia um som mais seria "baixo" e houve outras nessa mesma linha. Então eu disse para fazermos o teste e ver o que acontece. Ao fazer o experimento foi possível ouvir um som de baixa intensidade. Perguntei aos alunos se estava sendo possível ouvir o som e boa parte da turma respondeu que sim.

Foi então que peguei um violão e toquei uma das cordas produzindo um som de maior intensidade. E então discuti sobre o mecanismo de funcionamento do violão acústico, ressaltando sobre as partes do violão, suas vibrações e o conceito de ressonância. Para ficar mais evidente o conceito de ressonância dei um exemplo de uma criança em um balanço e uma pessoa a empurrando em uma frequência determinada de modo que a amplitude do movimento do balanço aumente. Após conectei o conceito com as vibrações do violão em ressonância e o som resultante de maior intensidade devido a interferência dessas vibrações.

Expliquei ao rapaz que perguntou sobre o violão que não tinha caixa de ressonância de que se trata de um violão elétrico. Disse que esse tipo de violão geralmente utiliza um sistema de captação eletromagnético, e expliquei superficialmente do que se trata.

Começamos então a parte da Aplicação do Conhecimento. Formei 7 grupos na sala, cada grupo com na média 6 alunos. Com cada um dos grupos deixei um violão, para a realização da atividade experimental em que o objetivo era relacionar os parâmetros das cordas que influenciam na frequência do som.

Para a realização da atividade foi necessário o uso do aplicativo Pitchlab que é um aplicativo utilizado para afinar instrumentos. Pedi aos alunos que pelo menos um aluno do grupo fizesse o download do aplicativo para uso na atividade. Expliquei como o aplicativo funciona e como deveria ser utilizado. Um dos grupos não conseguiu fazer o download, então eu deixei meu celular aberto no aplicativo com o grupo para que pudesse realizar a atividade.

Os alunos ficaram muito entretidos com a atividade. O entrosamento entre os membros do grupo foi satisfatório também.

Em uma parte específica da atividade em que eu pedia para que os alunos tensionassem a corda e medissem a frequência utilizando o celular, alguns alunos me perguntaram sobre utilizar a técnica "Bend" na qual o instrumentista puxa a corda para cima ou para baixo aumentando a tensão. Porém eu disse a eles que o "Bend" era um modo de tensionar a corda, mas ali na atividade deveria ser utilizado as tarraxas do violão.

Por volta das 15:15h todos os grupos haviam terminado a atividade proposta. Foi então que discuti juntamente aos alunos as relações entre a frequência e os parâmetros da corda que a influenciam.

Disse a eles que essa relação que fazemos entre frequências mais altas com sons mais agudos e frequências mais baixas com sons mais graves, nitidamente percebida por eles, é a qualidade do som que chamamos de Altura do som. E que no cotidiano muitas vezes usa-se o termo altura para se referir a um som de alta volume, porém no estudo da física o volume do

som está ligado a outra grandeza que chamamos de intensidade do som.

Através da relação entre a frequência do som produzida por uma corda vibrando e a espessura de uma corda, chamei a atenção para a ideia de que quanto maior a massa de um objeto, mais energia é necessária para colocá-lo em movimento, sendo assim se aplicarmos a mesma energia mecânica em uma corda "mais leve" e uma corda "mais pesada" a corda mais leve oscilará mais, logo com uma frequência maior, enquanto a corda "mais pesada" oscilará menos, com menor frequência. Defini a partir daí o conceito de "Densidade Linear de massa" ou "massa específica" que seria a quantidade de massa por comprimento da corda. Após isso apresentei a relação entre a velocidade da onda em uma corda com a tensão aplicada a essa corda e a massa específica.

Relato Aula 2 (24/10/2017 - Duas aulas de 50 minutos)

O segundo encontro com os alunos para a aplicação do material foi feito na terça-feira, dia 24/10/17, dispondo de um intervalo de tempo que começa às 13:50h e vai até as 15:30h. Já havia passado mais de uma semana em relação ao primeiro encontro da aplicação, ocorreram alguns eventos como um feriado na quinta-feira dia 12/10 e devido a isso na sexta 13/10 não houveram aulas, e este era um dia onde ocorrem aulas de física nessa turma. Após isso ocorreu no Ifes - Campus Cariacica a VII Semana de Ciência e Tecnologia entre os dias 16/10 e 20/10, de modo que não houve aulas formais no Campus naquela semana. Sendo assim retornei a aplicação do produto no dia 24/10, abordando a temática dos modos normais de vibração em uma corda, os também chamados harmônicos.

Cheguei na sala de aula alguns minutos antes (aproximadamente uns 5 minutos) do horário de início da aula que seria 13:50h e esperei por uns 5 minutos até que alguns alunos que ainda não haviam chegado fossem entrando na sala, e durante esse tempo estava conversando com alguns alunos sobre violão e guitarra, pois um deles havia feito perguntas a mim sobre "a quanto tempo eu tocava", sobre técnicas utilizadas na prática dos instrumentos, e sobre equipamentos de som também.

Por volta de 13:50h eu disse aos alunos que a aula seria no "Laboratório de física experimental 1" e para nos dirigirmos até lá, e anotei no quadro da sala "Aula de física no laboratório de física experimental 1". Levou aproximadamente 10 minutos até que os alunos se acomodas-

sem no laboratório, pegamos cadeiras emprestadas em outro laboratório e esperei até que todos se acomodassem no local.

Comecei a aula lembrando rapidamente sobre o que discutimos na aula passada, o que durou aproximadamente 5 minutos. Iniciei após a breve revisão, a problematização. Peguei um dos 7 violões que levei para realizar as atividades, e toquei a sexta corda do violão, e perguntei o seguinte:

Quando eu faço uma corda de violão vibrar, qual é o 'formato' que a corda vibra? Expliquei: "Quando eu digo formato quero dizer qual é a forma da oscilação o 'desenho que ela faz' ". Um aluno disse que iria vibrar tipo um seno. (função senoidal).

Os alunos estavam meio calados, talvez tímidos para responder, ou com medo de errar. Então eu disse que eles podiam dizer o que eles estavam pensando, sem medo de errar. Uma aluna disse que poderia vibrar de modo que a corda ficasse parada nas pontas e oscilasse para cima e para baixo na parte central, ela falou isso utilizando gestos. Perguntei após se mais alguém queria dar alguma opinião sobre, e se achava que a corda podia oscilar de alguma outra maneira. Uma aluna respondeu com uma tonalidade de questionamento e um pouco de dúvida sobre, mas aparentemente acreditando que era possível tal situação. - Ela pode tipo oscilar para cima e para baixo no meio e depois a onda ir indo para os lados."(Aparentemente a aluna imaginou a oscilação perdendo amplitude na corda até que a corda atingisse o repouso.)

Então fechei a problematização perguntando: "Então vocês acham que quando eu toco as cordas do violão (novamente com o violão na mão) elas vão oscilar sempre da mesma maneira, ou pode assumir diferentes configurações?"A resposta em coro foi que poderia assumir várias configurações de oscilação.

Comecei então a etapa da organização do conhecimento definindo o que nós chamamos na física de onda estacionária, desenhei no quadro um exemplo de uma onda estacionária em uma corda, e defini o que seriam os nós e ventres (ou antinós) em uma onda estacionária.

Utilizando o experimento do oscilador mecânico de uma corda mostrei para eles os Modos de Vibração Normais ou Harmônicos em uma corda.



Figura 3 – Experimento Oscilador de uma Corda

Fonte: Próprio Autor

Estabelecemos em conjunto a relação entre o comprimento de onda na corda e o comprimento da corda em cada um dos Harmônicos. Fizemos essas relações matemáticas no quadro uma a uma passando do 1º Harmônico (modo fundamental) até o 5º Harmônico e apresentei ao final a equação que generaliza a relação entre o comprimento de onda, e o comprimento da corda em um harmônico de ordem n " $n = 1, 2, 3, 4, 5, \dots$ ".

$$\lambda_n = \frac{2L}{n} \quad (4.1)$$

Onde n é a ordem do Harmônico.

Essa etapa durou aproximadamente 37 minutos.

Após essa etapa, começamos a parte de aplicação do conhecimento. Para isso separei a turma em 7 grupos, o que gerou grupos de aproximadamente 6 pessoas por grupo. A cada grupo ficou com um violão uma trena métrica e era necessário fazer uso mais uma vez do apli-

cativo pitchlab em um smartphone, a qual já foi mostrado aos alunos no encontro passado.

Entreguei aos alunos um roteiro de atividade na qual o objetivo era encontrar os harmônicos em um violão utilizando a trena métrica para medir frações do comprimento da corda ($L, \frac{L}{2}, \frac{L}{3}, \frac{L}{4}$) e apenas apoiar o dedo nessas posições tocando a corda, fazendo com que os harmônicos correspondentes ficassem em evidencia e fosse possível medir a frequência desses utilizando o aplicativo de celular.

Expliquei a eles utilizando o violão como evidenciar os harmônicos com essa técnica na qual o instrumentista apenas apóia o dedo sobre a corda e solta. Após isso os alunos se concentraram em seus grupos e começaram a realização da atividade.



Figura 4 – Alunos realizando procedimento para encontrar os harmônicos em um violão

Fonte: Próprio Autor

Durante o procedimento surgiram algumas dúvidas, alguns deles me perguntaram se medida de algumas frações da corda era para ser realizada partindo do "corpo" do violão ou da parte superior, e então disse para utilizar como referência a parte superior do violão começando pelo "pesta"na", e utilizando como comprimento final o "rastilho" do violão. ¹

¹Pesta"na e Rastilho são algumas das partes que compõe o violão, detalhamento disponível no produto educacional

Houve também algumas dificuldades por parte dos alunos em realizar a técnica de evidenciar os harmônicos, e então eu me direcionava até cada um dos grupos e dos alunos com dúvidas para demonstrar novamente.

Durante a atividade reparei novamente que os alunos estavam bem focados e a interação entre os membros dos grupos foi bem satisfatória, os alunos foram bem participativos.

A atividade durou até aproximadamente 15:20h, quando todos os grupos já haviam me entregue os roteiros. E então fiz o fechamento da aula evidenciando o que eram os harmônicos, e falando sobre o aumento da frequência a medida que a ordem dos harmônicos vai aumentando (relação percebida pelos alunos).

Após um grupo de uns 4 alunos ficaram por ali conversando comigo sobre o tema, então cheguei até perto do experimento da oscilação mecânica da corda aumentei a amplitude da oscilação e foi possível ouvir um som (algo que eu mencionei inclusive durante a primeira demonstração do experimento).

Perguntei para eles se conseguiam identificar qual era a nota musical que a corda estava produzindo através de sua vibração. Um dos alunos parou perto, e os outros vieram também, e esse primeiro que se aproximou disse "Acho que é um Si." e eu disse que achava ser um "Ré sustenido". Pegamos o aplicativo do celular e medimos o Ré Sustenido. Mas aí eu rindo disse a eles que eu já havia testado antes então eu já sabia a resposta. Eles riram e continuaram ali por uns 5 minutos comigo mexendo na frequência do oscilador e tentando adivinhar a nota musical correspondente.

Considero que esse interesse dos alunos em ficar após o horário da aula discutindo sobre o tema e brincando com o experimento um indicador de que através dessa prática é possível despertar o interesse dos alunos, ou parte desses.

Relato Aula 3 (27/10/2017 - Uma aula 50 minutos)

Cheguei a sala de aula por volta da 7:50 (horário de início da aula) e após cumprimentar a turma disse a eles que essa seria uma aula na qual faríamos uma dedução matemática de uma equação mais geral em que seria possível calcular a frequência do som produzido por uma corda vibrante em função de seus determinados parâmetros, e após resolveríamos exercícios do livro "Os Fundamentos da Física" de (JR; FERRARO; SOARES, 1996).

Comecei a dedução da equação partindo de equações e conceitos na qual já haviam sido discutidos com eles em sala de aula e fomos realizando a construção da seguinte equação:

$$f_n = \frac{n}{2L} \sqrt{\frac{\tau}{\mu}} \quad (4.2)$$

Após a dedução da equação que levou cerca de 20 minutos, resolvemos alguns exercícios relacionados ao tema.

Relato Aula 4 (31/10/2017 - Duas aulas 50 minutos)

Nesse mesmo dia cheguei algumas horas antes no campus para organizar os equipamentos necessários para a aplicação dessa aula. Sendo esses instrumentos musicais (violão, guitarra, contra-baixo acústico), computador plugado a um data show, caixa de som, uma pedaleira digital que seria utilizada ligada a guitarra, e uma interface de áudio que seria usada para a gravação do áudio no computador posteriormente.

Por volta 13:50 cheguei a sala de aula da turma na qual o produto está sendo aplicado e esperei por 5 minutos até que mais alunos da turma chegassem a aula, pois alguns se encontravam ainda fora da sala de aula. Após esses 5 minutos disse aos alunos que faríamos a aula no "Laboratório de Informática 5" do campus, e pedi para que se direcionassem até lá. Foi necessário mais uns 10 minutos para que todos os alunos se organizassem no laboratório de informática, foi necessário pegar cadeiras em outras salas, pois não haviam cadeiras o suficiente para todos os alunos. Pedi aos alunos que se organizassem em duplas nos computadores.

Por volta das 14:05h comecei a Problematização inicial sobre a diferença de timbre dos instrumentos musicais.



Figura 5 – Equipamentos organizados para a aula sobre Timbre

Fonte: Próprio Autor

Comecei a conversa da seguinte maneira:

- Hoje trouxe para nossa aula três instrumentos musicais diferentes. O violão (peguei o violão e mostrei a eles), esse outro instrumento que é um contra-baixo acústico (mostrei a eles), e uma guitarra elétrica (mostrei a eles). Eu vou tocar os diferentes instrumentos e quero que vocês prestem atenção ao som produzido por eles."

Então em um instrumento de cada vez eu toquei a mesma nota, que era a nota Lá (110 Hz) . Perguntei a eles se a nota que eu toquei nos três instrumentos era a mesma. Alguns alunos assumiram uma expressão de um pouco de dúvida, enquanto outros respondiam que sim. Então eu questionei que se era a mesma nota quer dizer que o som produzido pelos diferentes instrumentos possuíam mesma frequência.

Alguns dos alunos responderam que sim, porém sem muita confiança na fala, um aluno disse que não seria a mesma frequência. Porém alguns dos próprios alunos disse a ele que sendo uma nota musical idêntica a frequência do som teria que ser a mesma. Para dar mais

ênfase a diferença na percepção do som dos instrumentos toquei mais uma vez a mesma nota nos três instrumentos.

Posteriormente levantei a questão que mesmo se tratando da mesma nota, logo mesma frequência sonora, percebemos o som de maneira diferente nos diferentes instrumentos musicais, Os alunos concordaram. Perguntei então a eles se alguém tinha alguma ideia do porque percebemos essa diferença no som de diferentes instrumentos.

A turma ficou calada por alguns instantes e então um aluno disse que "tinha a ver" com o timbre, após concordar com o aluno perguntei para ele e o restante da turma o que eles achavam que é o Timbre, o mesmo aluno respondeu "É tipo quando pessoas com vozes diferentes falam...". Aproveitei o exemplo que o aluno citou para apresentar outra "situação problema":

- Se eu fosse cantar uma música qualquer, e conseguisse alcançar a nota exata da música original, e se você por exemplo (utilizando o aluno no exemplo) fosse cantar a mesma música e alcançasse a mesma nota, mesmo assim seria provável que perceberíamos uma diferença entre as vozes, certo?", e os alunos concordaram.

Então conclui essa parte da problematização dizendo que o Timbre seria essa propriedade que diz respeito a "identidade do som" que percebemos em diferentes sons. Essa etapa durou até por volta de 14:17h.

Para a Organização do Conhecimento entreguei a eles um texto explicativo que também faz parte do produto educacional, em que é abordado o conceito de Timbre relacionando-o com a nossa percepção dos diferentes sons e qualidades subjetivas que muitas vezes utilizamos, e também a influência do "ataque do som" em instrumentos musicais sobre o Timbre, e também a interpretação do Timbre como o "formato da onda" e sua relação com as intensidades dos diferentes harmônicos relacionados a uma frequência fundamental. A etapa da leitura durou por aproximadamente 10 minutos.

Após a leitura começamos a etapa de Organização e Aplicação do Conhecimento através do uso do simulador do Phet Colorado intitulado "Fourier - Somando Ondas". Para realização da atividade foi dado aos alunos um roteiro com o intuito de orientar a exploração do conceito

do software.²

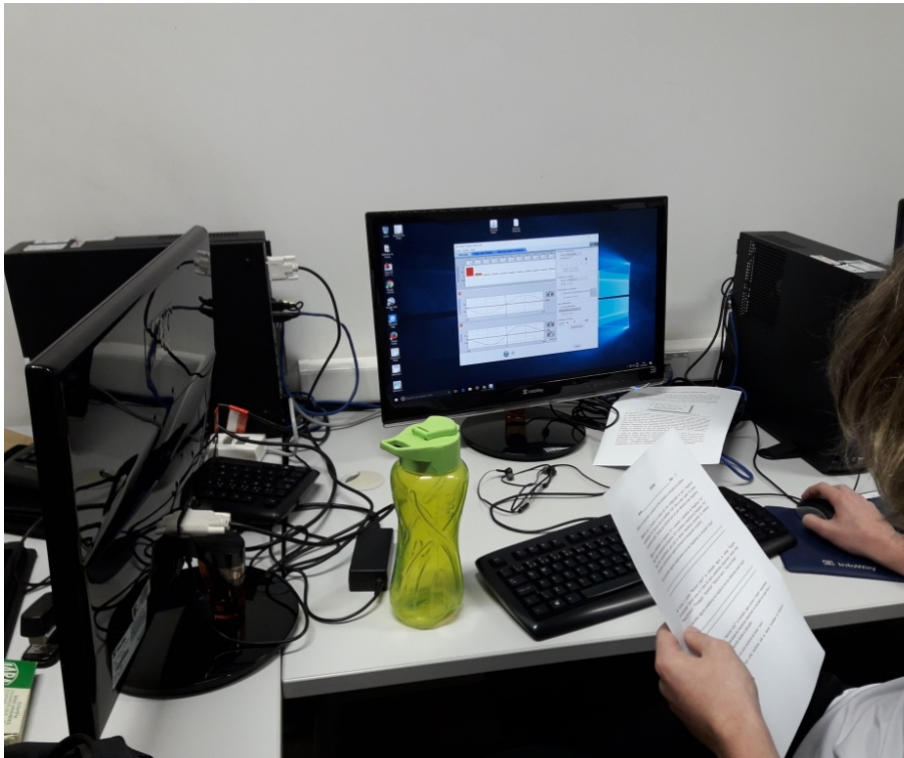


Figura 6 – Aluno manipulando o simulador do Phet

Fonte: Próprio Autor

Durante a atividade houve por alguns momentos dificuldade por parte dos alunos em ouvir o som produzido pelo primeiro harmônico no simulador, devido aos sons de outros computadores sendo utilizados simultaneamente e devido a esse harmônico no simulador ser um dos menos audíveis.

Uma aluna afirmou estar em dúvida sobre a pergunta numero quatro do roteiro da atividade na qual pedia para que o usuário analisasse diferentes sinais, sendo que cada um deles possuía um diferente Timbre, e perguntava se o usuário do simulador percebeu semelhança em relação aos sons dos diferentes sinais.

E em seguida ela disse que percebeu que o som parecia o mesmo porém tendia a ficar mais agudo. Então eu disse a ela para escrever isso que ela percebeu.

²"Fundado em 2002 pelo Prêmio Nobel Carl Wieman, o projeto PhET Simulações Interativas da Universidade de Colorado Boulder cria simulações interativas gratuitas de matemática e ciências."A simulação utilizada está disponível no produto.

A atividade durou até aproximadamente 14:58. Após a atividade discuti mais sobre o timbre, comparando ondas de mesma frequência e formatos diferentes, e rediscutindo as ideias do texto e interligando com a atividade do simulador, onde a soma dos diferentes harmônicos com diferentes intensidades geravam ondas com diferentes formatos e sons, mesmo mantendo a mesma frequência.

Então iniciei a próxima atividade de aplicação do conhecimento, onde realizei no computador plugado ao datashow a análise espectral do sinal produzido pelo guitarra elétrica, de modo que foi possível obter um gráfico e identificar os diferentes harmônicos e suas diferentes intensidades. Utilizei também um som gravado e disponibilizado pelo site do Centro de Referência em Ensino de Física (CREF) (disponível em: <http://www.if.ufrgs.br/cref/ntef/som/lab/sons.html>) e fiz a análise espectral, onde era possível ver que possuía apenas um harmônico. Essa atividade demonstrativa durou até aproximadamente 15:15h.

Após entreguei aos alunos os questionário pós-teste e o questionário de opinião, e por volta de 15:30h os alunos já haviam me entregado ambos.

Após finalizarmos aula eu e alguns alunos continuamos ali por alguns minutos tocando os instrumentos e conversando sobre música.

5 ANÁLISE E RESULTADOS

Neste capítulo descrevemos as análises dos questionários e dos materiais provenientes das atividades em sala.

5.1 A ENTREVISTA COM O PROFESSOR

Comecei a entrevista perguntando sobre a formação acadêmica do professor, obtendo os dados que já citei.

Após perguntei a opinião do professor a respeito de quais são as principais dificuldades que os alunos encontram quando estudam física. Como resposta o professor destacou a desmotivação de alguns estudantes, falta de interesse de estudar, pois é um fator que dificulta o processo de ensino, e que quando os alunos se dispõem a estudar as coisas "fluem" mais fácil. O professor ressaltou que o interesse em aprender por parte dos alunos é de grande importância, e que isso deve partir dos próprios alunos também.

Perguntei ao professor o que ele acredita que poderia ser feito para tentar contribuir mais com a aprendizagem de física. O professor disse ter dúvidas quanto a isso, mas afirmou achar importante que o professor deve apresentar aos alunos não apenas uma física de forma lúdica ou gráfica, mas uma física que estimule os alunos a pensar. E conseqüentemente voltamos a situações onde é importante que os alunos tenham interesse em estudar. O professor disse também que acredita que a motivação dos alunos a estudar têm um cunho familiar e social envolvido, pois a família possui um papel muito importante na formação desses alunos e é necessária uma certa cobrança familiar em relação aos estudos e perspectivas para o futuro desses alunos.

Posteriormente questionei quais seriam as maiores dificuldades que ele observa que os estu-

dantes possuem ao estudar os conteúdos de ondulatória em física ou especificamente a acústica. O professor disse que havia acabado de finalizar o conteúdo introdutório de ondulatória. Segundo ele, as dificuldades começaram a ficar mais evidente quando a linguagem matemática se torna um pouco mais requisitada, como quando se estuda os modos de vibração. O professor destacou dificuldades dos alunos em compreender também defasagens entre ondas, sobreposição de ondas e propagação geométrica de ondas.

Ainda sobre acústica, perguntei ao professor se ele acredita que uma abordagem de ensino utilizando os instrumentos musicais para o ensino de acústica possa vir a contribuir com a aprendizagem desse conteúdo. O professor disse acreditar, pois os instrumentos musicais podem representar um dos primeiros contatos que muitas crianças têm com o som e possivelmente com uma "onda" tendo em vista que o som é uma onda mecânica. O professor destacou que através da manipulação de instrumentos musicais como a flauta já é possível para uma criança perceber que alterando a posição dos dedos é obtido um som diferente, e afirmou achar interessante a proposta, tanto para o ensino de alunos do ensino fundamental quanto para alunos do ensino médio. O professor ainda comentou sobre essa ser uma possível boa oportunidade para abordar o estudo dos "harmônicos", e que talvez facilitaria a compreensão.

Após o término da entrevista, levamos em conta as informações fornecidas pelo professor, tanto para termos noção do perfil dos alunos que participariam da aplicação, quanto para repensar a estrutura do produto de modo que pudesse contribuir com a aprendizagem desses alunos.

Em uma conversa fora a entrevista, o professor investigado informou de que os alunos já estão habituados a trabalhar também com exercícios de Física, e que se houvesse como introduzir durante a aplicação do produto a resolução de alguns exercícios sobre o tema, provavelmente ajudaria alguns alunos estruturar de maneira mais completa alguns conceitos. Levei em consideração as observações do professor e introduzi um momento para resolução de exercícios em sala.

5.2 QUESTIONÁRIO FAMILIARIDADE COM OS INSTRUMENTOS MUSICAIS

O questionário Familiaridade com os instrumentos musicais tinha como objetivo verificar se os instrumentos musicais estão no cotidiano dos alunos. Responderam a esse questionário 33 alunos.

A primeira pergunta do questionário tinha como objetivo identificar quantos alunos tocavam algum instrumento musical. Obtivemos 19 respostas positivas, onde os alunos afirmaram tocar ou já ter tocado algum instrumento musical e 14 respostas negativas.

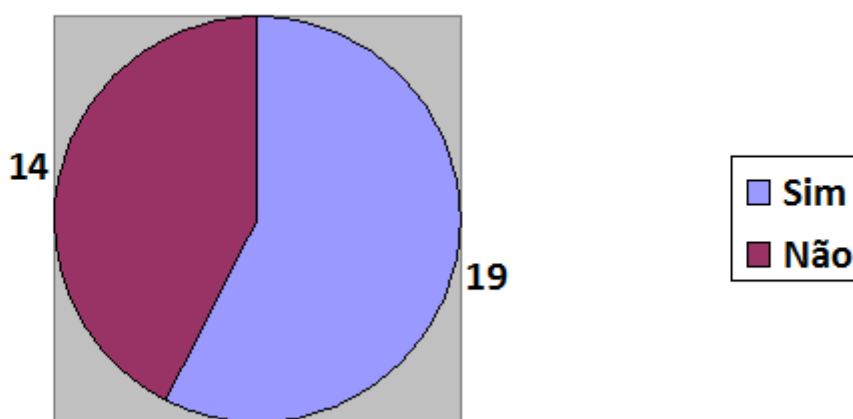


Figura 7 – Gráfico que apresenta respostas dos alunos a questão 1

Fonte: Próprio Autor

Constatamos então através dessa pergunta, que a maioria dos alunos já tiveram contato com algum instrumento musical.

A segunda questão consiste em um complemento à primeira questão. Pedimos agora que os alunos dissessem quais instrumentos eles tocam ou já tocaram e se caso não tivessem respondido positivamente a primeira questão (afirmando não ter tocado algum instrumento) que deixassem a resposta em branco.

Obtivemos através das respostas a seguinte relação de instrumentos e alunos que já tocaram esses instrumentos:

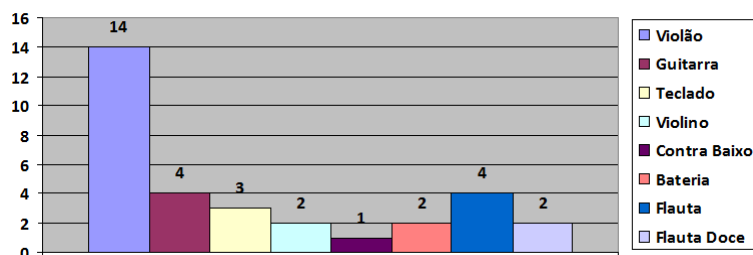


Figura 8 – Gráfico que apresenta as respostas que os alunos descreveram na questão 2

Fonte: Próprio Autor

Dentre os alunos que responderam a 2ª questão, 9 alunos afirmaram tocar mais de um instrumento.

A terceira questão é voltada para os alunos que não tocam ou nunca tocaram algum instrumento, perguntando a esses se possuem interesse em aprender a tocar algum instrumento e qual seria o instrumento. Obtivemos duas respostas destacando que não possuem interesse em aprender a tocar algum instrumento musical e doze respostas afirmando possuir interesse em aprender a tocar algum instrumento musical.

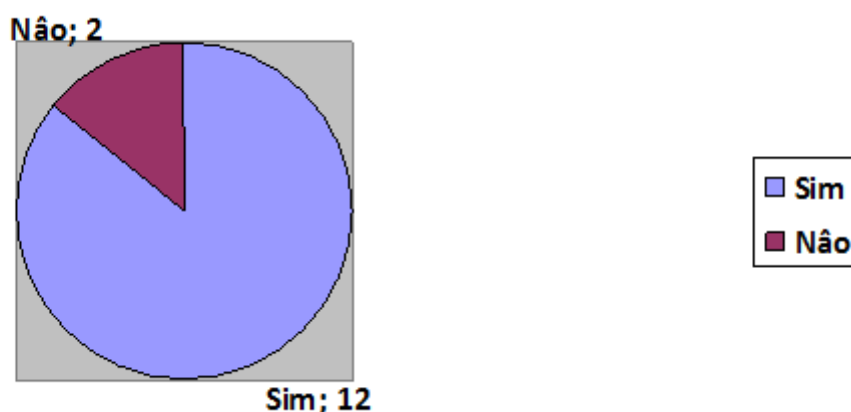


Figura 9 – Gráfico que apresenta as respostas que os alunos descreveram na questão 3

Fonte: Próprio Autor

E em relação a quais instrumentos esses alunos gostariam de aprender:

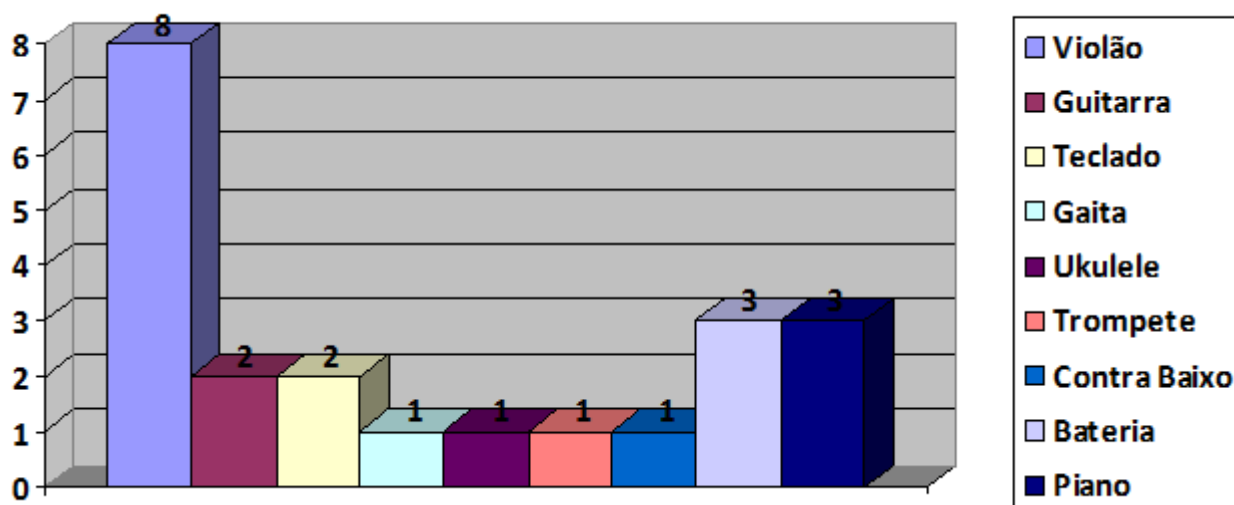


Figura 10 – Instrumentos na qual os alunos afirmaram ter interesse em aprender a tocar

Fonte: Próprio Autor

A quarta questão do questionário pergunta se há alguém na família do aluno, ou algum conhecido próximo que toque algum instrumento musical. Como respostas 30 alunos responderam positivamente enquanto 3 responderam negativamente a questão.

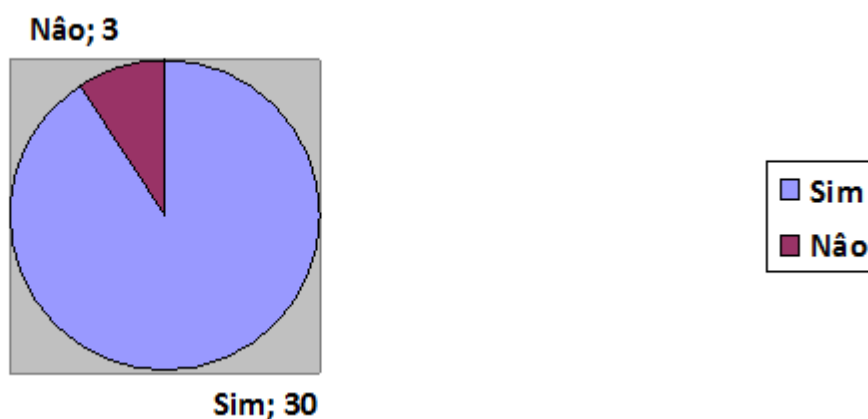


Figura 11 – Relação de alunos que possuem ou não algum familiar ou conhecido que toque algum instrumento musical

Fonte: Próprio Autor

Podemos perceber através das respostas a essa questão que grande parte da turma tem contato com algum familiar ou conhecido que toque algum instrumento musical.

Dentre os 3 estudantes que responderam negativamente a questão, um deles havia afirmado na questão 1 do questionário que tocava um instrumento musical, e na questão 2, que esse instrumento era o violão, tendo então contato com algum instrumento musical, já os outros dois estudantes assinalaram não tocar nenhum instrumento musical na questão 1, porém afirmaram ter vontade de aprender a tocar algum instrumento musical na questão 3.

A quinta questão é um complemento a quarta questão, e pede aos alunos que cite quais instrumentos os conhecidos ou familiares deles tocam. Através das respostas temos a seguinte relação de instrumentos e número de vezes que aparecem nas respostas:

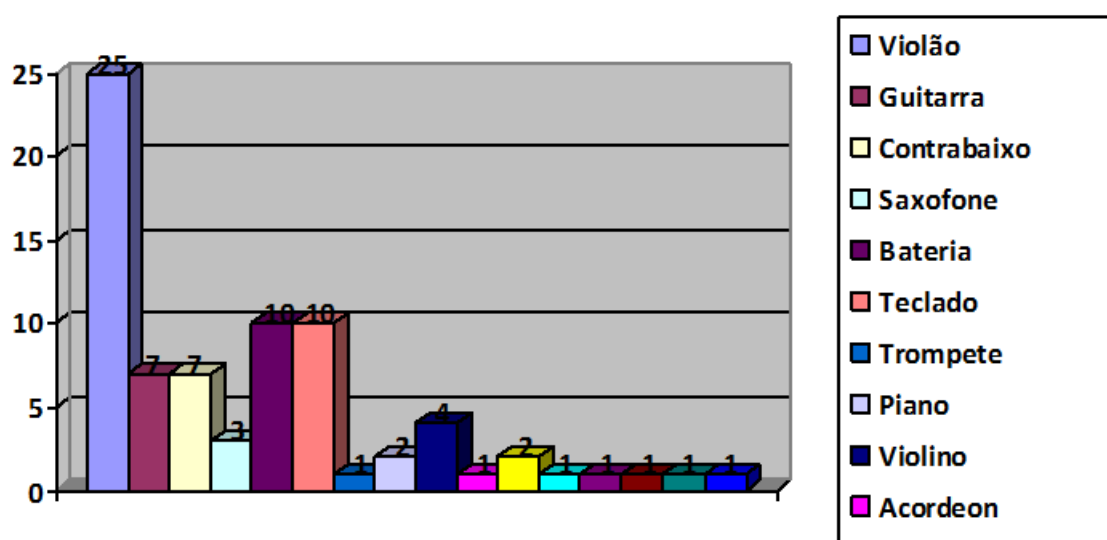


Figura 12 – Instrumentos que conhecidos ou familiares dos alunos tocam

Fonte: Próprio Autor

Analisando essa relação dos instrumentos que conhecidos de alunos tocam, e também nas relações de instrumentos que os alunos tocam questão 2 e instrumentos que os alunos gostariam de tocar questão 3, percebemos uma predominância considerável do instrumento violão. Talvez o motivo disso seja por esse instrumento estar presente em vários estilos musicais, sendo possível tocar músicas em uma ampla variedade, ser fácil de encontrar, e estar mais próximo do cotidiano das pessoas em geral.

Fechando o questionário de Familiaridade com os instrumentos musicais a questão 6 pede a opinião dos alunos, se achariam interessante aprender um pouco mais sobre os conceitos da Física que nos permite entender e manipular os instrumentos musicais, e o som produzido por

eles. Como resposta, todos os alunos responderam positivamente a essa questão, afirmando que gostariam de aprender mais sobre esses conceitos da Física que possuem relação com os instrumentos musicais.

Através dos dados coletados por esse questionário foi possível perceber que os instrumentos musicais estão presentes no cotidiano de grande parte da turma investigada. Sendo assim, é possível utilizar nesse caso, os instrumentos musicais como um tema problematizador, onde será possível conciliar os conhecimentos espontâneos dos alunos com o conhecimento científico dos conceitos da Física.

5.3 ROTEIRO DE INVESTIGAÇÃO DA FREQUÊNCIA DO SOM PRODUZIDO EM UMA CORDA

O roteiro da atividade Investigação sobre grandezas que alteram a frequência do som produzido em uma corda tinha a finalidade de atuar como uma atividade de organização do conhecimento, de modo que, durante o processo de realização da atividade fosse possível aos alunos realizar variações no comprimento livre das cordas, na tensão das cordas, fazer vibrar cordas de diferentes espessuras e realizar medidas das frequências dos sons produzidos por essas cordas através de um aplicativo de celular.

Durante essa atividade estavam presentes na sala de aula 33 alunos, que estavam divididos em sete grupos. Sendo o "Grupo 1" formado pelos alunos "E3, E4, E7, E25, E22, E34", o "Grupo 2" formado pelos alunos "E8, E28, E1, E13, E32", o "Grupo 3" formado pelos alunos "E12, E18, E10, E9, E26", o "Grupo 4" formado pelos alunos "E23, E21, E20, E31, E35", o "Grupo 5" formado pelos alunos "E14, E16, E29, E33", o "Grupo 6" formado pelos alunos "E11, E15, E36", e o "Grupo 7" formado pelos alunos "E6, E17, E19, E26, E30".

O primeiro item do roteiro é uma instrução aos alunos, para que fizessem o download de um aplicativo específico (Pitchlab)¹, na qual tem a funcionalidade de afinador de instrumentos como guitarra e violão, e que seria utilizado para realizar as medidas das frequências dos sons produzidos.

¹Aplicativo disponível na plataforma android, link: <https://pitchlab-lite.en.uptodown.com/android>

O segundo item do roteiro pedia aos alunos que utilizassem uma "tela" do aplicativo onde é feito o reconhecimento das frequências de sons captados pelo smartphone. O objetivo desse segundo item do roteiro era permitir aos alunos a oportunidade de identificar que a frequência do som produzido por uma corda tem uma relação com a espessura dessa corda. Levando em conta que as cordas de um violão (instrumento utilizado durante a atividade) possuem diferentes espessuras, e a corda 1 é a menos espessa e a corda 6 a mais espessa, e a espessura das outras cordas (corda 2, corda 3, corda 4, corda 5) vão subindo gradativamente, seria possível notar que a medida que quanto mais espessa a corda menor seria a frequência do som produzido, percebendo-se um som cada vez mais grave, e quanto menos espessa (mais fina) teríamos maiores frequências, e sons mais agudos.

Analisando os valores das frequências medidas pelos alunos, percebemos que os Grupo 1, Grupo 2, Grupo 5 e Grupo 6 mediram a esperada queda nos valores das frequências a medida que as espessuras das cordas aumentavam. Já o Grupo 3 e Grupo 4, registraram um aumento na frequência partindo da "corda 1" até a "corda 6", porém o Grupo 4 identificou na folha do roteiro que estavam considerando a corda mais espessa como "corda 1" invertendo a identificação das cordas. Desse modo o Grupo 4 e provavelmente o Grupo 3 também registraram medidas de modo a possivelmente atingir o objetivo da questão. Já o Grupo 7 obteve valores que não apresentavam um crescimento regular e nem um decréscimo a medida que a espessura da corda variava, isso pode indicar que o instrumento estava desafinado ao início da atividade, por conta do modo como os alunos manipularam o instrumento. O terceiro item tinha o objetivo de direcionar os alunos a observar que a frequência do som produzido por uma corda vibrando também possui relação com o comprimento livre da corda. De modo que quanto menor o comprimento livre da corda maior será a frequência do som.

Analisando as medidas obtidas pelos grupos podemos notar que todos conseguiram captar valores de frequência mais elevados comparados a medida realizada no item anterior, permitindo assim que os alunos pudessem observar que a frequência do som aumenta a medida que o comprimento livre da corda diminui. Em relação a pergunta que contém no item "Vocês sentiram diferença no som produzido?", todos os grupos assinalaram que sim, perceberam a diferença no som produzido pelas cordas.

Quanto a descrição dos alunos sobre a mudança ocorrida no som produzido podemos caracterizar as respostas nas seguintes categorias:

Tabela 1 – Classificação das Respostas dos Alunos ao Item 3

Categoria das Respostas	Descrição das Respostas	Grupos
Respostas que condizem com o resultado e interpretação esperada	"O som fica mais agudo."	Grupo 2
	"O som fica mais agudo, pois diminuiu mais o tamanho da corda tensionada."	Grupo 3
	"O som aparentemente ficou mais agudo."	Grupo 4
	"A medida que diminui o comprimento da corda, aumenta a altura da nota."	Grupo 5
	"Quando a corda é pressionada o som é mais agudo."	Grupo 6
	"Mais agudo em relação ao primeiro."	Grupo 7
Respostas que diferem do resultado e interpretação esperada	- Nas cordas graves o som fica mais grave.	Grupo 1
	- Nas cordas agudas o som fica mais agudo."	

Podemos perceber que o único grupo que não expressou uma explicação que ia ao encontro do que esperávamos foi o Grupo 1. Uma resposta que chamou a atenção, foi a resposta do Grupo 5, que antes mesmo de ser utilizado o termo "Altura" do som na aula, eles utilizaram o conceito em sua resposta de maneira correta, demonstrando que já possuíam certo nível de conhecimento sobre o tema estudado.

O quarto item do roteiro tinha por objetivo checar se os alunos perceberam a associação entre o som produzido por uma corda vibrando e a espessura dela (ponto de partida para discutir posteriormente a dependência da frequência do som produzido em uma corda, e a massa específica dessa corda).

Analisando as respostas obtidas, podemos separá-las nas seguintes categorias:

Podemos destacar que apesar de que o Grupo 2 não tenha explicitado os termos relacionados a "sons graves" ou "sons agudos" em sua resposta, alegaram uma "vibração diferente" em cordas de espessuras diferentes, e é possível que eles haviam conectado essa ideia aos diferentes sons produzidos.

Tabela 2 – Respostas dos alunos ao item 4 da atividade sobre frequência do som produzido em uma corda

Categoria das Respostas	Descrição das Respostas	Grupos
Respostas que indicam explicitamente a interpretação esperada do conceito	- As cordas mais finas são mais agudas. - As cordas mais graves são mais graves"	Grupo 1
	."A espessura é inversamente proporcional a frequência."	Grupo 3
	"As cordas de mais espessura produzem som mais grave enquanto as de menor espessura produzem um som mais agudo."	Grupo 4
	"Quanto mais espessa mais grave é o som."	Grupo 5
	"Quanto mais espessa, o som é mais grave."	Grupo 6
	"Quanto mais espessa, mais grave."	Grupo 7
Respostas que não indicam explicitamente, porém implicitamente, a interpretação correta do conceito	"A vibração é diferente nos diferentes tipos de espessuras"	Grupo 2

O objetivo do quinto item era possibilitar aos alunos relacionar as frequências dos sons produzidos pelas cordas vibrantes e variações provocadas nas tensões aplicadas a essas cordas.

Analisando as respostas dos grupos podemos caracterizá-las novamente da seguinte forma:

Tabela 3 – Classificação das Respostas dos Alunos ao Item 5

Categoria das Respostas	Descrição das Respostas	Grupos
Respostas que indicam explicitamente a interpretação esperada do fenômeno	"O som fica mais agudo. Quanto maior a tensão maior a frequência."	Grupo 3
	."O som fica mais agudo."	Grupo 4
	"Sim. A frequência aumentou e consequentemente o som ficou mais agudo."	Grupo 5
	"Quanto mais tensionada a cor. será mais agudo."	Grupo 6
Respostas que não indicam explicitamente, porém implicitamente, a interpretação correta do fenômeno	"Sim, aumentando a frequência fica mais grave"	Grupo 7
Respostas que não condizem com a interpretação esperada do fenômeno	"Sim, mais grave"	Grupo 2
	"Sim. Intensificou. As agudas ficaram mais e as graves ficaram mais graves"	Grupo 1

Chamamos uma atenção especial para a resposta do Grupo 7, que apesar de afirmar um aumento na frequência do som, relatou que o som seria mais grave, e não mais agudo como era esperado. É possível que o Grupo 7 tenha cometido um engano em relação a sons graves e agudos no momento que foram escrever a resposta.

O Grupo 1 deixou de registrar a frequência captada na corda número três do violão, pois ao aumentar a tensão na corda ela se rompeu. No momento eu instruí o grupo a relatar no roteiro que devido ao aumento da tensão na corda esta se rompeu.

5.4 ROTEIRO DA ATIVIDADE SOBRE OS MODOS DE VIBRAÇÃO DE UMA CORDA

A seguinte atividade se encaixa na sequência didática aplicada como uma atividade de Organização e Aplicação do Conhecimento nas etapas dos três momentos pedagógicos. O objetivo da atividade era investigar a relação da frequência do som produzido por uma corda vibrante com os modos de vibração (harmônicos) dessa corda. Para a realização dessa atividade a sala foi dividida em seis grupos, sendo o "Grupo 1" formado pelos estudantes "E4, E21, E23, E32, E24", o "Grupo 2" formado pelos estudantes "E1, E5, E13, E26", o "Grupo 3" formado pelos alunos "E21, E17, E18, E25, E9, E10, E12", o "Grupo 4" formado pelos alunos "E2, E20, E22, E29, E33", o "Grupo 5" formado pelos alunos "E14, E16, E27, E31, E34", e o "Grupo 6" formado pelos alunos "E8, E6, E11, E15, E19".

O primeiro item do roteiro pedia aos alunos que fizessem medidas do comprimento das cordas posicionadas no violão.

Para a realização desse medida foi disponibilizado uma trena métrica a cada grupo. Os grupos chegaram a valores parecidos para os comprimentos de cordas.

Valores obtidos pelos grupos:

Tabela 4 – Medidas do comprimento da corda de um violão realizado pelos grupos

Grupos	Valor medido para o comprimento da corda
Grupo 1	65,5 cm
Grupo 2	65 cm
Grupo 3	64 cm
Grupo 4	65 cm
Grupo 5	66,3 cm
Grupo 6	63 cm

No segundo item foi proposto aos alunos que realizassem medidas das frequências dos sons

emitidos pela sexta corda do violão executando um procedimento para evidenciar os harmônicos específicos, de modo que fosse possível medir a frequência para os diferentes modos de vibração da corda no primeiro harmônico (modo de vibração fundamental), segundo harmônico, terceiro harmônico, e quarto harmônico.

Em relação as medidas feitas pelos grupos podemos perceber que em relação as frequências medidas os grupos 1,3, 5 e 6 mediram valores de frequências crescentes e aproximadamente proporcionais a frequência fundamental para os respectivos harmônicos, com exceção em relação ao valor registrado para o quarto harmônico pelo grupo 6. Já os grupos 2 e 4 não mediram essa mesma relação entre os modos de vibração da corda e as respectivas frequências.

E quanto as medidas dos comprimentos das cordas o Grupo 3 cometeu um engano ao registrar o comprimento de onda na corda como o próprio comprimento da corda no primeiro modo de vibração, o que propagou o erro de medida do comprimento de onda na corda também para os modos de vibração seguintes.

O terceiro item tinha como objetivo chamar a atenção dos alunos para os valores medidos das frequências em relação a cada harmônico, de modo que eles pudessem ou não, chegar a conclusão de que a frequência do som produzido em uma corda vibrante tende a aumentar a medida que a ordem do harmônico aumenta.

Podemos classificar as respostas obtidas pelos grupos da seguinte maneira:

Tabela 5 – Respostas dos alunos ao item 3 da atividade sobre os harmônicos

Categoria das Respostas	Descrição das Respostas	Grupos
Respostas que estão de acordo com os dados e interpretações esperadas	"A frequência aumenta."	Grupo 1
	"Aumenta."	Grupo 3
	"Localizando de acordo com o comprimento de corda a frequência aumenta a medida que o grau aumenta."	Grupo 5
	"O valor da frequência aumentou a medida que iria aumentando o harmônico."	Grupo 6
Respostas que não estão de acordo com os dados e interpretações esperadas	"A frequência aumenta até chegar ao 4º harmônico, onde ela diminui um pouco mais que a metade."	Grupo 2
	"O valor, primeiramente, aumentou, porém do segundo harmônico adiante, houve uma redução no valor."	Grupo 4

O quarto item pedia aos alunos que calculassem a velocidade da onda na corda. Um dos objetivos principais dessa questão ressaltar que a velocidade da onda não iria depender do modo de vibração da corda.

Valores das velocidades da onda na corda calculados pelos grupos:

Tabela 6 – Cálculo da velocidade da onda na corda realizado pelos alunos

Grupos	Velocidade 1º Harmônico	Velocidade 2º Harmônico	Velocidade 3º Harmônico	Velocidade 4º Harmônico
Grupo 1	10,742 cm/s	10,349 cm/s	10,347 cm/s	10,411 cm/s
Grupo 2	10686 cm/s	10725 cm/s	10651,8 cm/s	3376,75 cm/s
Grupo 3	5248 cm/s	5264 cm/s	5269,24 cm/s	5284 cm/s
Grupo 4	10890 cm/s	10936,2 cm/s	5442,8 cm/s	3636,6 cm/s
Grupo 5	10767,12	10714,08	10714,08	10684,245
Grupo 6	11247,2 cm/s	11206,4 cm/s	11225,34 cm/s	14059 cm/s

Os grupos que não apresentavam os erros de medida comentados anteriormente conseguiram chegar a valores aproximados para as diferentes frequências e comprimentos de onda medidos. Já os grupos que coletaram os dados que não convergiam com os valores esperados obtiveram maiores discrepâncias nos resultados calculados.

5.5 ROTEIRO ATIVIDADE SOBRE RELAÇÃO ENTRE OS HARMÔNICOS E O TIMBRE DO SOM

Essa atividade se encaixa na sequência didática com o papel de Organização e Aplicação do Conhecimento na parte em que trabalhamos as ideias sobre o Timbre do som. A atividade foi realizada através do uso de uma simulação computacional do Phet. Nessa simulação é possível regular a intensidade dos diferentes harmônicos que compõem um som resultante, de modo que, conforme ocorre mudanças nas configurações das intensidades dos harmônicos o formato da onda resultante é alterado, assim como o Timbre do som.

Para a realização dessa atividade a turma se organizou em duplas nos computadores do laboratório de informática, de modo que podiam interagir com a simulação, seus colegas que compunham as duplas na realização da atividade.

Os dois primeiros itens do roteiro da atividade são apenas instruções iniciais para a abertura do simulador e posteriormente mostrar aos alunos como ativar o som produzido no software.

No terceiro item foi solicitado aos alunos que alterassem os valores das amplitudes dos sinais para as diversas frequências presentes no software. O objetivo desse item era possibilitar aos alunos perceber que a medida que índice das frequências do software aumentasse mais agudo seria o som. Seria possível também que as frequências do software representem os harmônicos,

e além de ouvir o som de cada um deles, também era possível observar uma representação gráfica.

Foi nítido a todos os alunos que o som ia se tornando mais agudo a medida que o índice das frequências presentes no simulador aumentavam, como exemplo na resposta do estudantes "E13" e "E28": "Sim, eles (os sons) vão ficando mais agudos e fica parecendo cada vez mais com um ruído.". O estudante "E15" escreveu a seguinte resposta: "Sim, ao sentido A1 a A11 o número de vezes que a onda atinge o ponto máximo e mínimo aumenta, ou seja, o som vai ficando mais agudo.". Analisando a resposta do estudante podemos perceber que houve uma interpretação do gráfico do sinal por sua parte, sendo que este citou que o número de oscilações aumentou, aumentando assim a frequência da onda. Outra resposta que nos mostra que os alunos analisaram o gráfico para elaborar suas respostas, pois relacionam altura do som com o período da onda, foi realizada pelos estudantes "E2" e "E3": "Sim, ficam mais agudas conforme o período diminui.". Destacamos também as respostas dos estudantes "E18" e "E12", que embasaram suas resposta citando os Harmônicos, tema que foi estudado anteriormente. Os alunos "E18" e "E12" escreveram: "Sim. Com o aumento dos harmônicos, a frequência aumenta e o som fica mais agudo.".

No quarto item convidamos os alunos a explorar algumas funções predefinidas de sinais a serem gerados pelo software, variando o som entre diferentes Timbres. Em todas as respostas obtidas os alunos afirmaram perceber semelhança em relação ao som produzido pelas "funções predefinidas" do software. Dentre essas respostas podemos reclassificá-las em subclasses.

Tabela 7 – Respostas dos alunos ao quarto item da atividade envolvendo a simulação computacional

Categoria das Respostas	Frequência de Resposta da mesma Classe
Utilizou o conceito de Timbre e que os sons possuíam uma mesma Frequência Fundamental	5
Afirmou que os sons aparentavam ser uma mesma nota (ter mesma frequência fundamental), mas não explicou utilizando o conceito de Timbre	18
Utilizou diferentes adjetivos para descrever os sons	1
Afirmou que os diferentes sons possuíam o mesmo Timbre	2
Afirmou que os diferentes sons possuíam diferentes Alturas	6

No quinto item do roteiro convidamos os alunos a manipular livremente as amplitudes dos

diferentes harmônicos do simulador, gerando uma onda resultante que irá variar de acordo com as amplitudes escolhidas pelos alunos, formando diferentes timbre. Através desse item os alunos podem ou não perceber que os Timbre do som irá depender da Amplitude dos diferentes Harmônicos com compõem um onda resultante, e mesmo que a onda resultante tenha um formato diferentes, gerando um som diferentes, a frequência fundamental da onda será a mesma.

Obtivemos as seguintes resposta para esse item:

Tabela 8 – Respostas dos alunos ao quinto item da atividade relacionada a simulação computacional

Categorias das Respostas	Frequências de respostas de mesma classe
Sim	11
Não	17
Não sei	1

Podemos observar que a maioria dos alunos afirmaram que o som resultante não aparentava estar na mesma tonalidade da frequência fundamental, ou seja, ser a mesma nota.

Acredito que muitos deles pensaram que se tratava de notas diferentes da frequência fundamental pois obtinham timbres com "assinaturas" mais graves ou agudas. Mas é necessário lembrar que nesse caso os harmônicos mais graves ou mais agudos estariam com intensidades maiores, porém a onda resultante teria a frequência similar a frequência fundamental, logo seria a mesma nota musical.

5.6 QUESTIONÁRIO PRÉ E PÓS APLICAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL

Os questionários pré-teste e pós-teste tinham respectivamente o objetivo de avaliar o conhecimento prévio dos alunos sobre o tema, e o conhecimento adquirido por eles, aplicados a situações problemas construídas no formato de afirmações, na qual o estudante deveria assinalar se Concorda plenamente, Concorda, Não sabe,

Discorda, ou Discorda completamente. Dessa maneira além de o estudante dar sua opinião,

se concorda ou não com a afirmação, nos informa sobre seu grau de certeza ou incerteza sobre a resposta. Dentre os alunos que participaram da aplicação do produto, 29 desses alunos responderam ao questionário pré-teste e também ao questionário pós-teste. Sendo assim limitamos a nossa análise dos resultados obtidos nos questionários apenas a esses 29 alunos. Tanto no pré-teste quanto no pós-teste foi aplicado o mesmo questionário.

A cada item é atribuída uma pontuação que varia de um a cinco pontos, de modo que, em uma questão onde a afirmação apresentada é verdadeira, por exemplo, a opção Concordo plenamente valeria a pontuação cinco, pois além de marcar a opção correta demonstrou um grau elevado de certeza de sua resposta, e os demais itens, Concordo, Não sei, Discordo e Discordo completamente possuiriam respectivamente as pontuações, quatro pontos, três pontos, dois pontos, um ponto. Em um caso onde a afirmação apresentada na questão for falsa, a pontuação se inverteria.

Análise de Cada Afirmação presente no Questionário:

A primeira afirmação presente no questionário diz respeito a concepção do som como uma onda mecânica. O objetivo era saber se os alunos compreendiam a necessidade de um meio material para que o som se propague. A afirmação está incorreta, pois afirma que não é necessário a presença de um meio material para que o som possa se propagar pelo espaço. Sendo assim os alunos que respondessem "Discordo completamente" ou "Discordo" marcariam mais pontos.

O segunda afirmação está relacionado a influência que a tensão aplicada na corda provoca a frequência do som produzido por sua vibração. E quanto maior a tensão aplicada em uma corda maior será a frequência do som produzido, que consiste também em um som mais agudo em relação ao som produzido antes do aumento na tensão da corda. Sendo assim, segunda afirmação é verdadeira.

A terceira afirmação está relacionada a dependência entre a frequência de um som produzido por uma corda e o comprimento livre da corda. Como a frequência do som produzido em uma corda tende a aumentar para comprimentos de corda cada vez menores, a terceira afirmação é falsa.

A quarta afirmação apresenta uma situação na qual, se duas pessoas diferentes estarem can-

tando a uma mesma música, mesmo que essas pessoas consigam executar as mesmas notas musicais, perceberíamos diferenças entre as duas vozes. A qualidade do som que diz respeito a essas diferentes "assinaturas" do som, é o timbre. Sendo assim a quarta afirmação não está correta.

A quinta afirmação está relacionada a dependência da frequência do som produzido por uma corda em relação a densidade linear de massa dessa corda, e também a tensão aplicada a corda. Porém, quanto menos espessa a corda utilizada no instrumento, menor será a densidade linear de massa dessa corda, e quanto menor essa densidade, maior é a frequência do som produzido. Logo se o músico quisesse produzir as mesma notas que produzira antes, com cordas mais espessas, ele deveria aliviar a tensão das cordas, e não aumentar a tensão. Sendo assim a quinta afirmação não está correta.

A sexta afirmação apresenta uma situação na qual o som de dois instrumentos são registrados por um aparelho celular. Através dos gráficos obtidos é possível observar que o Período dos dois sinais registrados referentes aos sons são iguais, porém o formato dos dois sinais diferem, o que representa uma diferença de Timbres entre os dois instrumentos musicais.

A sétima afirmação ilustra uma situação na qual dois dispositivos A e B que produzem respectivamente sons nas frequências de 400 Hz e 800 Hz. A afirmação indica que o diapasão B emite um som mais "grave", porém, quanto maior a frequência do som produzido nós percebemos como um som mais "agudo", sendo assim, a sétima afirmação também não está correta.

Pontuação Média dos alunos no Questionário Pré Aplicação

Apresentamos aqui a pontuação média dos alunos nas questões do questionário introdutório.

Tabela 9 – Pontuação média dos alunos no questionário antes da aplicação

Pontuação Média no Item 1	Pontuação Média no Item 2	Pontuação Média no Item 3	Pontuação Média no Item 4	Pontuação Média no Item 5	Pontuação Média no Item 6	Pontuação Média no Item 7	Média Total
3,89	3,83	3,24	3,27	2,86	3,34	3,41	23,79

Podemos perceber pelos dados que o quinto item do questionário obteve uma média de pontuação consideravelmente mais baixa em relação aos outros itens. Talvez isso se deva ao fato da situação abordada no item relacionar a variação de duas variáveis (tensão na corda e calibre da corda) com a frequência do som produzido, de maneira simultânea, o que pode ter provocado certa dúvida aos alunos.

Pontuação Média dos alunos no Questionário Pós Aplicação

Apresentamos aqui a pontuação média dos alunos nas questões do questionário após a aplicação do produto.

Tabela 10 – Pontuação média dos alunos no questionário após a aplicação

Pontuação Média no Item 1	Pontuação Média no Item 2	Pontuação Média no Item 3	Pontuação Média no Item 4	Pontuação Média no Item 5	Pontuação Média no Item 6	Pontuação Média no Item 7	Média Total
4,65	3,93	3,75	3,17	3,31	3,82	4,51	27,34

Comparamos também as pontuações obtidas pelos alunos no questionário introdutório e após a aplicação.

Comparando as pontuações dos questionários Pré aplicação e Pós aplicação

Analisando a diferença das pontuações entre os questionário pós aplicação e o questionário pré aplicação, notamos que, em relação a maioria dos estudantes houve um aumento na pontuação adquirida através do questionário, com exceção de alguns casos, como os alunos "E13", "E15", "E18", "E 20" e "E30" que tiveram diferença negativa, pontuando menos no questionário pós aplicação em relação ao questionário pré aplicação, e também os alunos "E4", "E22" e "E29" que mantiveram a mesma pontuação em relação ao questionário pré aplicação do produto.

Comparando a media geral da turma notamos um aumento na pontuação do questionário pós aplicação em relação ao questionário pré aplicação.

E se analisarmos a média da turma em cada item, notamos que na maioria dos itens do questionário houve um aumento na média da pontuação na turma.

Tabela 11 – Diferença entre os resultados pós e pré aplicação

Identificação dos Alunos	Pontuação Questionário Pré Aplicação	Pontuação Questionário Pós Aplicação	Diferença entre os valores das Pontuações Pré e Pós aplicação
E3	19	26	7
E4	23	23	0
E6	23	28	5
E7	24	25	1
E8	22	25	3
E9	25	34	9
E10	25	28	3
E11	21	22	1
E13	25	22	-3
E14	25	32	7
E15	24	22	-2
E16	25	32	7
E18	33	31	-2
E19	25	32	7
E20	23	22	-1
E22	23	23	0
E23	23	26	3
E25	23	30	7
E26	26	27	1
E27	25	29	4
E28	19	26	7
E29	26	26	0
E30	26	25	-1
E31	25	33	8
E32	23	26	3
E33	23	28	5
E34	21	24	3
E35	20	31	11
E36	25	35	10

Tabela 12 – Comparação média da turma pré e pós aplicação

Média Total da Turma no Questionário Pré Aplicação do Produto	Média Total da Turma no Questionário Pós Aplicação do Produto
23,79	27,34

Tabela 13 – Comparações das pontuações médias para cada item do questionário

Nº do Item do Questionário	Média da Turma em cada Item no Questionário Pré Aplicação do Produto	Média da Turma em cada Item no Questionário Pós Aplicação do Produto
1	3,89	4,65
2	3,83	3,93
3	3,24	3,75
4	3,27	3,17
5	2,86	3,31
6	3,34	3,82
7	3,41	4,51

A única questão que não apresentou aumento na pontuação média, e sim houve uma regressão na pontuação dessa questão, foi o quarto item do questionário que apresentou uma queda na pontuação. Isso pode ser um indicativo de que parte considerável dos alunos não conseguiram diferenciar o conceito de Altura do som em relação ao Timbre, ou se confundiram na situação específica descrita na questão.

Percebemos então, através da análise dos questionários, que houve um aumento na pontuação geral da turma, e de grande parte dos estudantes em particular, o que pode indicar indícios de aprendizagem dos conceitos explorados durante as atividades do produto.

5.6.1 Questionário de Opinião dos Alunos

O questionário de opinião tinha como principal objetivo coletar as opiniões dos alunos em relação as atividades realizadas na sequência didática. Desse modo, através das opiniões deles, verificamos aceitação do produto por parte dos estudantes e se as atividades foram estimulantes para o aprendizado em Física. Um total de 33 alunos responderam a esse questionário. As respostas completas desse questionários estão presentes nos anexos.

A Primeira Questão perguntava aos alunos se esses acharam atrativas e empolgantes as atividades que foram realizadas em sala.

Como resultado temos 32 respostas positivas afirmando terem achado as atividades atrativas e empolgantes e 1 resposta negativa.

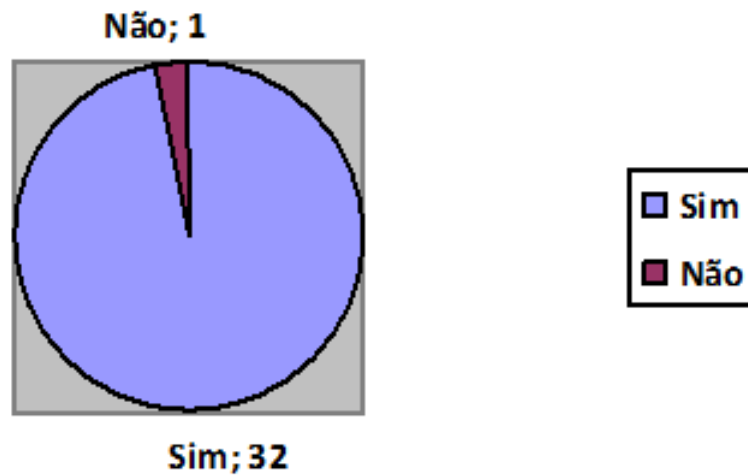


Figura 13 – Respostas apresentadas pelos alunos a questão 1 do questionário de opinião

Fonte: Próprio Autor

A Segunda Questão perguntava aos alunos sobre possíveis dificuldades na compreensão dos conceitos abordados nas atividades. A maioria dos alunos afirmaram que não tiveram dificuldades de compreensão dos conceitos, contabilizando 28 respostas, enquanto 5 alunos afirmaram que tiveram dificuldades.

Os alunos que responderam ter dificuldades em compreender algum conceito fizeram os seguintes comentários:

"Existiu a dificuldade, mas logo foi resolvida."

"Eu tenho dificuldade em física e aqui inicialmente não foi diferente, mas logo entendi."

"Fiquei com certa dificuldade para entender o que é Timbre. Os conceitos são bem semelhantes, mas quando posto em prática, melhora o entendimento."

"Por ter pouco conhecimento sobre música, tive dificuldade em entender algumas coisas relacionadas a nota."

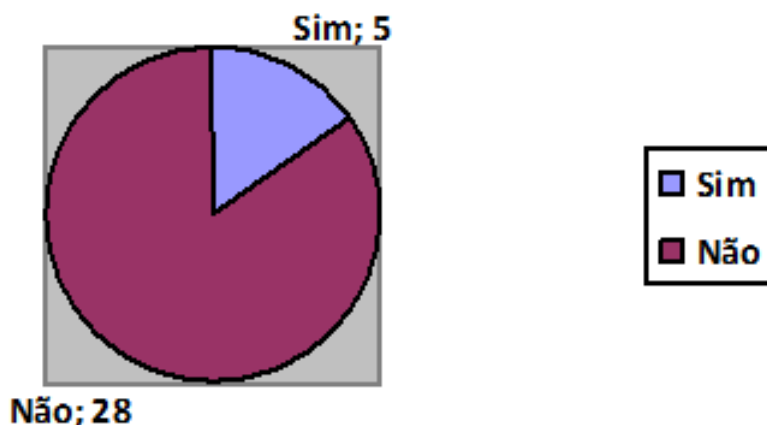


Figura 14 – Respostas apresentadas pelos alunos a questão 2 do questionário de opinião

Fonte: Próprio Autor

Percebemos através das respostas que, em parte dos casos, os alunos tiveram dificuldades em compreender algum conceito inicialmente, mas segundo os mesmos, foi possível compreender posteriormente. Um aluno ressaltou certa dificuldade em compreender o que é Timbre, e se repararmos nos dados que analisamos dos questionários pré aplicação e pós aplicação, a questão que obteve uma maior quantidade de acertos foi a situação que envolvia o conceito de Timbre. Há a possibilidade de que a atividade do produto proposta não foi o suficiente para que parte dos alunos compreendessem completamente o que é Timbre. Vale lembrar também que dos conceitos estudados nas atividades do produto, este provavelmente é um dos mais abstratos, pois envolve ideias de sobreposição de ondas, intensidades de sinais com diferentes frequências e a influência disso na nossa percepção do som.

Os alunos que responderam não ter dificuldades em compreender algum conceito fizeram os comentários ressaltando que as atividades contribuíram para a compreensão dos conceitos, elogiando as explicações e a abordagem do tema, que os instrumentos musicais ajudaram na compreensão, demonstrando também que as atividades práticas realizadas agradaram a boa parte da turma e facilitou a compreensão da parte teórica.

Na Terceira Questão perguntamos aos alunos se as atividades os motivaram a gostar mais de Física. Registramos 25 respostas positivas e 8 respostas negativas.

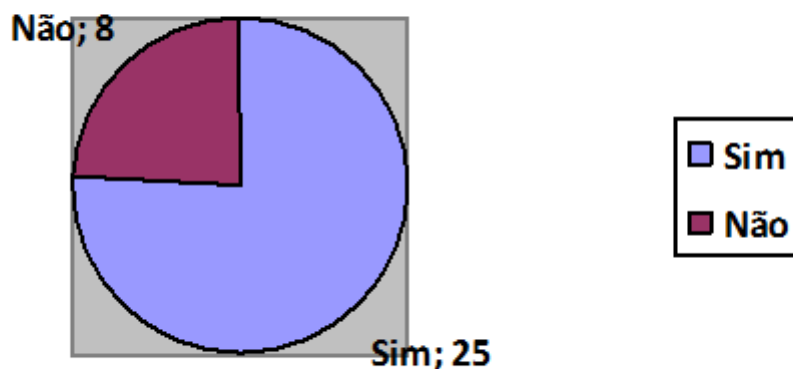


Figura 15 – Respostas apresentadas pelos alunos a questão 3 do questionário de opinião

Fonte: Próprio Autor

Podemos notar nas respostas dos alunos que grande maioria já gostava de Física, mas acharam as atividades interessantes e atrativas. Alguns disseram que através de aplicações da física em atividades práticas, e nesse caso com os instrumentos musicais, ajudam a ver a física de outra forma. Outros alegaram inclusive que ficaram interessados também em estudar mais sobre Música.

Dos oito alunos que responderam que as atividades e a temática dos instrumentos musicais não os motivou a gostar mais de física, três deles afirmaram já gostar de física antes das atividades, e os demais afirmaram não ter tanta afinidade com a matéria.

Notamos nas respostas dos alunos, que alguns afirmaram que já gostavam, outros já disseram não ter muito interesse pela área, ou gostar de alguns conteúdos específicos que são estudados em física.

Na Quarta Questão pedimos aos alunos que escrevessem sua opinião geral sobre as atividades realizadas, destacando aspectos positivos e negativos.

Tabela 14 – Respostas dos alunos a terceira questão do questionário de opinião

Categorias das Respostas	Frequências de respostas de mesma classe
Afirmaram já gostar de Física anteriormente	4
Afirmaram que a temática do instrumentos musicais junto a física os motivou	8
Deram a entender que a dinâmica lúdica de algumas atividades os motivou	5
Afirmaram achar interessante ver a Física aplicada a fenômenos do cotidiano	4

2

Classificamos as respostas dos alunos nas seguintes categorias:

Tabela 15 – Alunos que apresentaram respostas puramente positivas em relação a proposta didática

Respostas dos alunos que ressaltam apenas aspectos positivos	Frequência das Respostas
Acharam as aulas divertidas	16
Elogiaram a didática e as explicações	2
Afirmaram ter gostado de estudar a temática da física dos instrumentos musicais	2
Afirmaram achar interessante ver a Física aplicada a fenômenos do cotidiano	4

Percebemos através das respostas dos alunos, que para grande parte, a maioria dos alunos,

²As respostas dos alunos estão presentes no anexo A.2

as atividades foram bem atrativas, e muitos deles destacaram apenas aspectos positivos. Alguns ressaltaram algumas críticas, em relação a alguma atividade em específico, a quantidade de pessoas nos grupos, ou mesmo devido a certas dificuldades com o conteúdo.

Tabela 16 – Alunos que apresentaram respostas que continham alguma crítica em relação a proposta didática

Respostas dos alunos que ressaltam alguma crítica	Frequência das Respostas
Achou o conteúdo muito "técnico"	1
Achou as atividades interessantes, mas teve dificuldades com a matemática e algum conceito específico	2
Achou interessante as atividades, porém acredita que poderia ter mais atividades práticas	1
Achou que durante algumas atividades haviam grupos com um número grande de componentes, o que atrapalhou a dinâmica	1
Achou as atividades interessantes, porém gostaria que houvesse mais partes teóricas	1
Afirmou não gostar de alguma atividade específica ou laboratório	2

Analisando as respostas dos alunos foi possível perceber que houve boa aceitação das atividades por grande parte dos estudantes. E através das poucas críticas podemos pensar em melhorias para o produto educacional e futuras adaptações.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Buscamos através de nosso trabalho desenvolver uma proposta didática para o ensino de acústica, utilizando os instrumentos musicais como tema e recurso central, através da metodologia dos três momentos pedagógicos, e da pedagogia dialógica de Paulo Freire.

Primeiramente foi necessário verificar se os instrumentos musicais estavam de fato no cotidiano dos alunos e se de fato poderia ser utilizado como um tema problematizador. A verificação foi feita através de um questionário, em que confirmamos que era possível tal abordagem, além de notarmos que grande parte dos estudantes estavam dispostos a aprender mais sobre o tema.

Acreditávamos que através dessa proposta fosse possível apresentar aos alunos o conteúdo de acústica de uma maneira mais divertida e aplicada, motivando os alunos a querer aprender. E acredito que alcançamos tal objetivo, tendo em vista as respostas dos questionários de opinião, em que grande parte dos alunos afirmou que as atividades os motivou a querer aprender mais e até mesmo gostar mais de física.

Além das respostas dos questionários de opinião foi possível observar que em grande parte dos momentos da aplicação os estudantes estavam envolvidos e interessados em aprender o conteúdo, participando das problematizações, buscando tirar dúvidas e participar das atividades.

Identifiquei também que em relação aos alunos que participaram da aplicação, haviam alunos que já possuíam conhecimento sobre instrumentos musicais e isso facilitou para o desempenho deles. Porém, mesmo para alguns alunos que não eram tão familiarizados com a temática, as atividades foram atrativas e contribuiu para a aprendizagem deles sobre acústica.

Acredito que essa predisposição em participar e aprender que grande parte dos alunos demonstrou tem também ligação com o interesse pela temática dos instrumentos musicais, assim

como muitos deles ressaltaram no questionário de opinião.

Isso era algo que eu acreditava que poderia acontecer mesmo antes da aplicação, pois, como tenho grande interesse pela temática, e imaginando a mim como um aluno de ensino médio novamente, eu acharia muito interessante participar de atividades como estas utilizadas na sequência didática, e com certeza teria feito que eu gostasse ainda mais de ciência quando eu era um aluno de ensino médio.

Como pretendíamos, montamos um produto educacional com a sequência didática, que pode vir a ser aplicado por demais professores que se interessarem pela proposta, ou mesmo possam adaptar as atividades para utilizar de acordo com a realidade do seu local de trabalho ou preferências pessoais. Através desse trabalho buscamos verificar também se a utilização dos instrumentos musicais como temática e recurso através da metodologia dos três momentos pedagógicos, poderia contribuir para o ensino de acústica. Tendo em vista os resultados referentes a aplicação, a interação dos alunos com relação a proposta, acreditamos que sim, é possível utilizar os instrumentos musicais como temática e recurso para o estudo de acústica através da metodologia dos três momentos pedagógicos.

REFERÊNCIAS

- BOGDAN, R. C. et al. *Investigação qualitativa em educação: uma introdução à teoria e aos métodos*. (S.l.: s.n), 1994.
- BORGES, C. R. B. e M. C. A pesquisa participante: um momento da educação popular. *Revista de Educação Popular*, v. 6, p. 51–62, 2007.
- BRASIL, S. Pcn+ ensino médio: orientações educacionais complementares aos parâmetros curriculares nacionais. *Ciências da natureza, matemática e suas tecnologias*. Brasília: MEC, SEMTEC, 2002.
- CARVALHO, A. M. P. de et al. *Ensino de Física*. São Paulo: CENGAGE Learning, 2010. (Coleção Ideias em ação).
- DELIZOICOV, D.; ANGOTTI, J. A. *A Física*. São Paulo: Cortez Editora, 1991. 181 p.
- DELIZOICOV, D. et al. *Ensino de Ciências: fundamentos e métodos*. (S.l.): Cortez Editora, 2002.
- EVANGELISTA, R. L. *Problematizando o Ensino de Física Moderna e Contemporânea: Uma Proposta Didática Baseada nos Três Momentos Pedagógicos Utilizando a Astronomia como Temática Central*. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal do Espírito Santo, <http://ensinodefisica.ufes.br/pt-br/pos-graduacao/PPGEnFis/detalhes-da-tese?id=9944>, 5 2016.
- FREIRE, P. Pedagogia do oprimido. 17ª. Ed. Rio de Janeiro: Paz e Terra, v. 3, 1987.
- FREIRE, P. Pedagogia da autonomia: saberes necessários à prática docente. São Paulo: Paz e Terra, p. 90, 1996.
- GRILLO, M. L.; PERES, L. R. *Física e Música*. São Paulo edition = 1,; Livraria da Física, 2016.
- JR, F. R.; FERRARO, N. G.; SOARES, P. A. d. T. Os fundamentos da física vol. 2. São Paulo: Moderna, 1996.
- KRUMMENAUER, W.; PASQUALETTO, T.; COSTA, S. O uso de instrumentos musicais como ferramenta motivadora para o ensino de acústica no ensino médio. *Física na Escola*, v. 10, n. 2, 2009.
- LÜDKE, M.; ANDRÉ, M. E. *Pesquisa em educação: abordagens qualitativas*. (S.l.): Editora Pedagógica e Universitária São Paulo, 1986.
- MAEOCA, G. da S. *Construção de Instrumentos Musicais Artesanais Por Aluno, Para Auxiliar Na Aprendizagem De Conceitos Físicos Relacionados As Ondas Sonoras*. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, 2012.
- MOURA, D. D. A.; NETO, P. B. O ensino de acústica no ensino médio por meio de instrumentos musicais de baixo custo. *Física na Escola*, v. 12, n. 1, 2011.

MUENCHEN, C.; DELIZOICOV, D. A construção de um processo didático-pedagógico dialógico: aspectos epistemológicos. *Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências*, v. 14, n. 3, 2012.

NUSSENZVEIG, H. M. *Curso de física básica*. (S.l.): Edgard Blücher, 2002. reimp. 2007., 2002.

PANIZ, C. M. et al. Abordagem temática freireana e a dinâmica dos três momentos pedagógicos: uma reflexão sobre os trabalhos dos enpecs.

ROGÉRIO, T. P. *UMA PROPOSTA DE ENSINO DE ASTRONOMIA PARA O ENSINO MÉDIO A PARTIR DE UMA BREVE HISTÓRIA DA EVOLUÇÃO DE NOSSO CONHECIMENTO SOBRE O UNIVERSO*. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal do Espírito Santo, 8 2017.

RUI, L. R. Uma proposta de introdução de conceitos físicos na 8a. série através do som, e algumas importantes curiosidades e aplicações do seu estudo. 2006.

SANTOS, E.; MOLINA, C.; TUFÁILE, A. Violão e guitarra como ferramentas para o ensino de física. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 35, n. 2, p. 2507, 2013.

SILVEIRA, F. L. d.; MOREIRA, M. A. Estudo da validade de um questionário de avaliação do desempenho do professor de física geral pelo aluno. *Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências (Belo Horizonte)*, SciELO Brasil, v. 1, n. 1, p. 54–65, 1999.

VASSOLER, E. *Atividades Para o Aprendizado de Acústica*. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal do Espírito Santo, 2016.

APÊNDICE A

Apresentamos aqui parte dos dados coletados durante a aplicação do produto educacional.

A.1 QUESTIONÁRIOS UTILIZADOS

A.1.1 Questionário Pré e Pós Aplicação do Produto

Questionário 1

Nome: _____ Data: / /

1) O som é um tipo de onda que chamamos de onda mecânica, e para que ocorra a propagação desse tipo de onda não é necessário a presença de um meio material, como o ar ou a água por exemplo.

Concordo plenamente **Concordo** **Não sei** **Discordo** **Discordo completamente**

2) Ao fazermos vibrar uma corda de um violão ouviremos um som característico daquela configuração da corda, e se tencionarmos mais a corda, captaremos um som com maior frequência sonora em comparação ao primeiro som.

Concordo plenamente **Concordo** **Não sei** **Discordo** **Discordo completamente**

3) Se estendermos duas cordas com a mesma espessura, mesma tensão aplicada e comprimentos diferentes, e vibrarmos ambas, a frequência do som de ambas as cordas será a mesma.

Concordo plenamente **Concordo** **Não sei** **Discordo** **Discordo completamente**

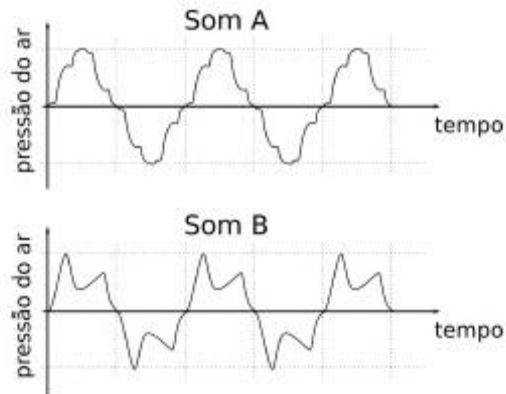
4) Ao irmos ao show de uma banda "cover" percebemos que apesar de estarem tocando uma música no mesmo tom que a música original, e mesmo que o executor não desafine em nenhum momento e use exatamente as mesmas notas que o vocalista que compôs a música, a voz do vocalista da banda "cover" não é exatamente igual a voz do vocalista da banda que compôs a música. Isso se deve a diferenças na qualidade do som que chamamos de Altura.

Concordo plenamente **Concordo** **Não sei** **Discordo** **Discordo completamente**

5) Um músico decidiu trocar as cordas de seu violão por um conjunto de cordas com menor espessura do que as que usava anteriormente. Sendo assim, ao configurar seu instrumento para o uso ele terá que tencionar mais as cordas para obter as mesmas notas que obtinha com o conjunto de cordas anterior.

Concordo plenamente **Concordo** **Não sei** **Discordo** **Discordo completamente**

6) Um aplicativo de gravação de som num celular, registra os sons dos instrumentos A e B, conforme a figura:



Fonte: RODRIGUES, Ernani Vassoler. **Atividades para o aprendizado de acústica**. 2016. 179 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Física) - Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Exatas

Podemos dizer que os sons A e B possuem mesmo período e mesmo timbre.

Concordo plenamente Concordo Não sei Discordo Discordo completamente

7) Dois diapasões A e B emitem sons nas frequências de 400 Hz e 800 Hz respectivamente. Podemos dizer que o som do diapasão B é mais grave.

Concordo plenamente Concordo Não sei Discordo Discordo completamente

A.1.2 Questionário Familiaridade com os Instrumentos Musicais

Questionário - Checando sua Familiaridade com os Instrumentos

Musicais

Nome: _____ Data: / /

1) Você toca ou já tocou algum instrumento musical?

() Sim () Não

2) Caso tenha respondido positivamente a 1ª questão deste questionário, diga qual instrumento você toca ou tocou. "Se você respondeu negativamente a primeira pergunta, ignore essa questão."

3) Caso você não tenha a prática de tocar algum instrumento musical, você tem interesse em aprender a tocar algum instrumento? "Se você respondeu positivamente a primeira pergunta, ignore essa questão."

() Sim () Não

Caso tenha respondido positivamente. Qual instrumento musical?

4) Existe alguém em sua família, ou algum amigo próximo a você que toca algum instrumento musical?

() Sim () Não

5) Caso sua resposta para a pergunta anterior tenha sido positiva, cite qual instrumento em questão:

6) Você acharia interessante aprender um pouco mais sobre os conceitos da Física que nos permite entender e manipular os instrumentos musicais, e o som produzido por eles?

() Sim () Não

A.1.3 Questionário de Opinião dos Alunos

Questionário de Opinião

Data: / /

1) De modo geral, você acha que as atividades realizadas nas aulas sobre acústica foram atrativas ou empolgantes?

Sim Não

2) Você teve dificuldade em compreender algum conceito abordado nas atividades?

Sim Não

Comente tanto em caso de resposta positiva ou negativa.

3) A temática dos instrumentos musicais motivou você a gostar mais de Física?

Sim Não

Comente.

4) Escreva sua opinião sobre as atividades realizadas nas aulas, por exemplo, se achou que foram envolventes, atrativas, ou se foram, chatas, entediantes, complicadas. Comente os pontos que considera positivo e os pontos que considera negativos.

A.2 RESPOSTAS DOS ALUNOS AO QUESTIONÁRIO DE OPINIÃO

Respostas Fornecidas Pelos Alunos ao Questionário de Opinião

Respostas ao Item 2 do Questionário

Respostas alunos que disseram ter dificuldades:

"Existiu a dificuldade, mas logo foi resolvida."

"Eu tenho dificuldade em física e aqui inicialmente não foi diferente, mas logo entendi."

"Fiquei com certa dificuldade para entender o que é Timbre."

"Os conceitos são bem semelhantes, mas quando posto em prática, melhora o entendimento."

"Por ter pouco conhecimento sobre música, tive dificuldade em entender algumas coisas relacionadas a nota."

Respostas alunos que disseram não ter dificuldades

"As atividades ajudaram na compreensão."

"Os conceitos foram bem explicados."

"Foi bem abordado, sem espaço para dúvidas."

"Os conteúdos ficaram bem demonstrados por conta das analogias com instrumentos."

"Foi bem interessante o tempo."

"Mais fácil ver a prática."

"Não tive dificuldade, foi massa."

"Esse tipo de dinâmica em sala de aula é bastante lúdico e auxilia no aprendizado."

"Não houve dificuldade uma vez que as aulas dinâmicas foram bem claras e objetivas."

"Não tive dificuldade, foi massa."

"Acho que com o uso de instrumentos a compreensão se torna mais fácil."

"Devido a explicação demonstrativa e prática, o entendimento fica mais fácil."

"Pelo fato do professor ter trago instrumentos para a aula, a aula na minha opinião ficou mais dinâmica, e mais chamativa."

"Todo o conteúdo foi muito bem abordado pelo professor Diego, o fato dele ter domínio sobre a matéria transferiu muita segurança no aprendizado."

"A didática foi muito eficiente, bem explicado e demonstrado."

"É mais facil compreender a teoria quando se tem aulas mais lúdicas."

"Com as explicação práticas nos instrumentos ficou mais fácil compreender os conceitos."

"Se torna bem mais fácil, compreender com tantas demonstrações."

"Não tive dificuldades, a visualização do experimento com os harmônicos e a barbante ajudou muito."

"Aula muito produtiva pois vimos a física agindo. Aulas muito corrida."

"A didática do professor é muito boa e conveniente com o tipo do aluno."

"O modo como foi apresentado os conceitos foi bem didático, e os experimentos ajudaram a visualização dos conceitos."

"Houve uma boa explicação dos conceitos, além disso vimos os mesmos na prática."

"Os conceitos ficaram muito claros pois foram mostrados teoricamente e na prática."

"Foram mais fáceis de visualizar."

"Não tenho o que comentar."

"Foi um pouco complicado no começo, pois o conteúdo de ondas havia sido ministrado recentemente, mas depois foi ficando mais fácil compreender e acompanhar as aulas."

Respostas positivas questão 3

"A música é algo que me atrai muito além de mostrar aplicações dos conteúdos passados em sala."

"Já gostava."

"Mesmo já gostando bastante."

"É interessante ver como a física é aplicada."

"Aprendemos física de um jeito mais lúdico, ou seja, motivou bastante."

"Com o uso de instrumentos a aula fica mais lúdica."

"O uso do instrumentos ajudou a colocar em prática o que havíamos estudado em teoria."

"Pois deixa-se claro o uso da física em o nosso dia-a-dia."

"Pois é interessante ver como a física é presente em vários elementos de diversas áreas."

"Eu já gostava bastante da física, mas claro que isso só aumentou."

"Não imaginava que a física estava presente nessas coisas, muito legal."

"Me motivou a aprofundar mais os conceitos da música através da física."

"Com a física você passa a ver a música de uma forma diferente, assim do mesmo modo com a música você vê a física com outros olhos."

"Sim, pois me deu animo para querer praticar instrumentos."

"Eu toco violão, e a forma que foi mostrada, como funciona o som fisicamente, me interessou bastante."

"Se pudessemos ter somente essas aulas assim, eu colocaria física entre minhas matérias preferidas."

"Foi interessante conhecer os conceitos físicos por trás dos instrumentos e som."

"Sempre que há uma aplicação prática/lúdica para um conhecimento teórico, me instiga a querer aprender, ainda mais quanto a uma temática tão próxima quanto a acústica."

"Mais ou menos."

"É algo diferente , e inovador."

"A Interação junto com o entendimento, motiva a querer saber mais."

"Mesmo não tendo muito conhecimento na área despertei interesse."

"Aprender Física de um jeito mais interessante me motivou muito."

"Sendo um tema como a música, que é algo muito presente no nosso dia a dia, e relacionar com a física foi bastante prazeroso."

"A temática dos instrumentos tornou o ambiente de aula mais leve, levando ao interesse dos alunos."

Opinião Geral dos alunos em Relação as Atividades do Produto Educacional

Respostas dos alunos que ressaltam apenas aspectos positivos:

"As aulas foram divertidas."

"Foram muito instrutivas e divertidas."

"As atividades foram sensacionais. Muito divertidas e atrativas. - Não houveram pontos negativos."

"O professor Diego tem uma boa didática, explica várias vezes se precisar."

"As aulas se tornaram mais atrativas que o normal."

"As aulas foram bastante divertidas e empolgantes. Foi muito bom ter um professor esforçado e dedicado a ajudar o aluno. Parabéns."

"Devido a demonstração prática, as aulas tornam-se mais atrativas do que as aulas convencionais."

"De modo geral foi tudo muito atrativo, o que nos motiva a focar na matéria."

"Foram envolventes, atrativas, bem explicativo e legal. Uma pequena opinião sobre as aulas foi o nervosismo do professor, o que deve ser normal, mas ainda sim foram boas aulas."

"Muitos interesse ver a aplicação da Física em coisas no nosso dia a dia."

"As aulas foram muito boas, pois a partir da parte prática dos conceitos foi mais fácil entender. É muito melhor que ficar dentro da sala apenas estudando a parte teórica."

"As atividades foram bem legais e interessantes, é muito bom quando algo é demonstrado na prática, desse modo o entendimento também fica bem melhor, no momento não consigo ver pontos negativos."

"Ficou mais interessante, pois foi muito bom ter essas aulas diferentes."

"Eu gostei bastante, o uso dos instrumentos para demonstrar na prática foi muito legal."

"Foram atrativas, saiu um pouco da mesmice das fórmulas."

"A interação com os conceitos e a parte prática foram de importância para visualização dos fenômenos."

"Foram envolventes e atrativas. Só vi o ponto positivo, que é, facilitou o entendimento e aumentou o interesse ainda mais pela aula de física."

"As atividades foram sensacionais, muito divertidas e atrativas. Sem pontos negativos."

"As atividades realizadas só tiveram pontos positivos, pois agregou conhecimento de uma maneira divertida."

"- Positivos: Aulas leves, envolventes, objetivas, lúdicas e dinâmicas. * Nada a questionar negativamente."

"As atividades em sala foram melhores que se fossem expostas no quadro."

"Foi um jeito mais lúdico de aprender a física."

"Positivos - Aula dinâmica, os instrumentos abstrairam uma coisa que poderia trazer dificuldades. Negativos - Sinceramente não achei um."

"Foram atrativas e interessantes. Foi uma forma mais divertida e até menos complicado de entender."

Respostas dos alunos que ressaltam alguma crítica:

"Em alguns momentos foi muito técnico mas de resto foi lúdico e interessante."

"As atividades foram interessantes apesar de possuírem alguns cálculos chatos."

"Achei muito bem intencionado e solícito o professor, além da temática ser bem chamativa quando se trata de instrumentos musicais, etc. Porém faltou haver maior interação com os alunos e terem mais atividades práticas do que contemplativas, o que gerou um pouco de desinteresse e tédio durante as aulas."

"Foram atrativas e divertidas, o problema é que foram grupos com muitas pessoas ai ficava embolado e com pessoa sem fazer nada."

"As aulas foram muito interessantes, mas acho que poderia envolver mais os instrumentos dentro de músicas."

"Foram um pouco complicadas pois é preciso reconhecer que muitos são leigos quando se trata de acordes, notas e afins."

"A proposta é muito interessante e instigante. Me chamou a atenção para o uso de instrumentos. Acho que poderia haver um maior desenvolvimento da parte teórica."

"As aulas com violão foram atrativas, já a do laboratório com o simulador na minha opinião foi entediante."

"Achei bom, foi distrativo e saiu da rotina. Um ponto negativo é ir para o laboratório de física (não gosto do lab)."

A.3 PONTUAÇÃO REFERENTE AO QUESTIONÁRIO PRÉ APLICAÇÃO E PÓS APLICAÇÃO

Pontuação dos alunos Questionários Pré e Pós Teste

Pontuação dos alunos no Questionário Pré-Teste

Identificação dos Alunos	1ª Item	2ª Item	3ª Item	4ª Item	5ª Item	6ª Item	7ª Item	Total
E3	2	3	3	2	2	3	4	19
E4	5	5	1	3	1	4	4	23
E6	5	2	4	5	2	4	1	23
E7	4	4	4	4	2	3	3	24
E8	4	3	4	2	2	4	3	22
E9	4	4	4	3	4	4	4	25
E10	5	5	5	2	1	2	5	25
E11	2	2	4	2	4	4	3	21
E13	2	4	3	4	4	4	4	25
E14	4	4	4	2	4	4	3	25
E15	2	4	2	5	5	4	2	24
E16	5	4	2	2	5	2	5	25
E18	5	5	5	3	5	5	5	33
E19	5	3	5	5	2	4	1	25
E20	4	4	4	3	3	2	3	23
E22	5	5	1	3	1	4	4	23
E23	5	2	1	4	3	3	5	23
E25	4	4	2	3	4	2	4	23
E26	5	4	4	3	2	4	4	26
E27	5	4	4	3	4	2	3	25
E28	2	4	2	3	2	3	3	19
E29	3	4	4	4	4	4	3	26
E30	5	5	4	4	3	4	1	26

E31	4	2	4	4	3	5	3	25
E32	4	4	3	4	2	3	3	23
E33	2	4	3	5	3	3	3	23
E34	5	4	1	2	2	2	5	21
E35	2	4	4	2	2	3	3	20
E36	4	5	3	4	2	2	5	25

Pontuação dos alunos no Questionário Pós Aplicação

Identificação dos Alunos	1ª Item	2º Item	3º Item	4º Item	5º Item	6º Item	7º Item	Total
E3	5	2	4	4	3	3	5	26
E4	4	2	5	2	2	4	4	23
E6	4	4	4	4	4	4	4	28
E7	4	4	4	4	3	2	4	25
E8	5	4	4	2	4	2	4	25
E9	5	4	4	2	4	5	5	34
E10	4	5	5	4	1	4	5	28
E11	5	2	4	2	2	2	5	22
E13	4	4	2	2	2	4	4	22
E14	5	5	4	4	4	5	5	32
E15	4	1	1	5	3	4	4	22
E16	5	5	4	4	4	5	5	32
E18	5	1	5	5	5	5	5	31
E19	4	4	5	4	5	5	5	32
E20	4	4	4	2	2	2	4	22
E22	5	2	4	2	2	4	4	23
E23	5	4	4	4	2	2	5	26

E25	5	5	5	1	5	4	5	30
E26	5	5	2	2	3	5	5	27
E27	5	5	5	1	4	4	5	29
E28	4	4	4	4	3	4	3	26
E29	5	4	4	3	4	4	2	26
E30	5	5	1	1	3	5	5	25
E31	5	5	4	4	5	5	5	33
E32	4	4	3	4	3	3	5	26
E33	5	5	4	5	1	4	4	28
E34	5	5	1	2	4	2	5	24
E35	5	5	4	4	4	4	5	31
E36	5	5	5	5	5	5	5	35

APÊNDICE B

B.1 O PRODUTO EDUCACIONAL

Produto Educacional (MNPEF)

**O Ensino de Acústica Através do Uso de Instrumentos Musicais: Uma
Proposta de Ensino Utilizando os 3 Momentos Pedagógicos**

Diego Novaes Soares

Aldieris Braz Amorim Caprini

Cariacica

2018

Sumário

PARTE 1: APRESENTAÇÃO E IDEIAS INICIAIS (AULA EXPOSITIVA).....	3
PARTE 2: O SOM PRODUZIDO EM INSTRUMENTOS DE CORDA	6
PARTE 3: MODOS DE VIBRAÇÃO DE UMA ONDA NA CORDA (VIBRAÇÃO DE UMA CORDA).....	11
PARTE 4: ANÁLISE ESPECTRAL DO SOM (TIMBRE)	17

PARTE 1: APRESENTAÇÃO E IDEIAS INICIAIS (AULA EXPOSITIVA)

Objetivos:

- Conhecer ideias iniciais sobre acústica.
- Definir o som como uma onda.
- Conceituar frequência, comprimento de onda, período e amplitude em uma onda.
- Definir a velocidade de uma onda

-Momento Inicial (Tempo estimado = 3 minutos)

- Começar a aula esclarecendo para a turma qual é o objeto de estudo que iremos realizar. Sendo assim esclarecer que se trata de um estudo sobre acústica, e utilizando como motivação para o estudo a compreensão a respeito da física envolvida nos instrumentos musicais e no som produzidos por esses.

- Aplicação dos Questionários (Tempo Estimado = 15 minutos)

Nesse momento será dado aos alunos um questionário pré-teste com o objetivo de checar o que o aluno já sabe sobre o conteúdo que será aplicado. Além desse questionário pré-teste será também dado aos alunos um questionário que tem o objetivo de levantar dados sobre a familiaridade dos estudantes com os instrumentos musicais, e também um termo de livre consentimento na qual eles assinarão caso desejem participar da pesquisa.

- **Perguntar aos alunos:** "Já ouviram falar de acústica? O que é isso?"

- Ouvir as respostas dos alunos, caso ninguém chegue a próximo da respostas ou estejam tímidos para responder, definir como:

- Parte da física que estuda o som, a física do som

- **Perguntar aos alunos:** "O que é o som?"

- Ouvir as respostas dos alunos.

- Definir como: Uma onda mecânica, uma onda longitudinal de pressão.

- Comentar sobre faixa de frequência que ouvimos: 20Hz a 20KHz

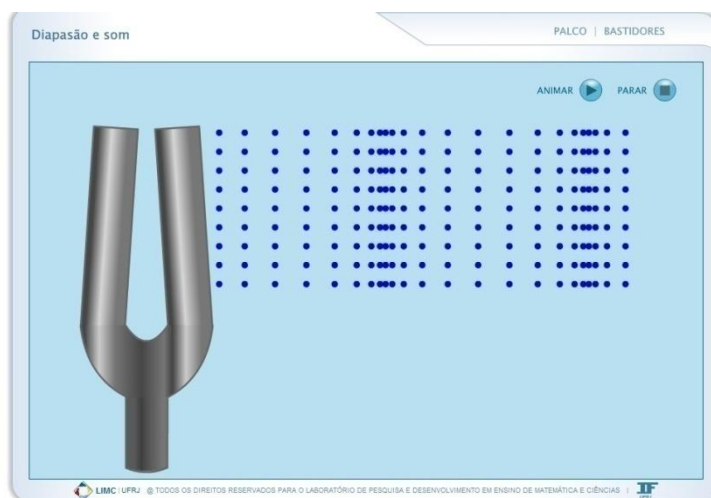
Tempo Estimado = 5 a 10 minutos

As ondas mecânicas são oscilações que se propagam em um meio material, propagando energia através de variações de pressão.

- Usar Simulação (Diapásão gerando onda sonora)

Esta simulação está disponível em: <http://www.if.ufrj.br/~marta/aplicativos/>

Disponível também na página de arquivos online referentes a esse produto educacional: <https://sites.google.com/view/ensino-acustica-im-mnpf-dns/arquivos>



Interface Gráfica do Simulador

Comentário:

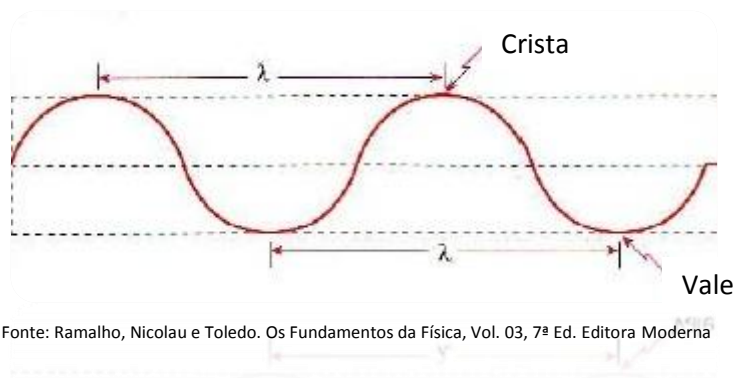
Geralmente quando se aborda o conteúdo de acústica no ensino médio outros conteúdos ligados a ondulatória de modo geral e movimentos oscilatórios podem ter sido abordados

Mesmo assim faremos uma breve revisão de alguns conceitos importantes para darmos continuidade ao estudo.

- Explorar algumas propriedades das ondas sonoras: (tempo estimado = 10 minutos)

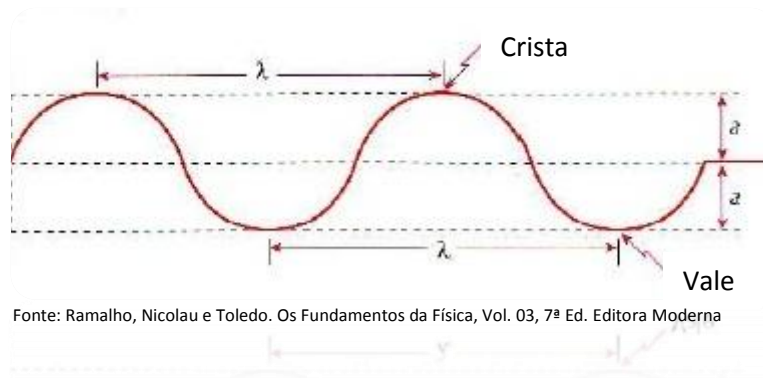
- Definir "Comprimento de onda λ "

Definimos o comprimento de onda λ como a distância entre duas cristas ou dois vales consecutivos.



Fonte: Ramalho, Nicolau e Toledo. Os Fundamentos da Física, Vol. 03, 7ª Ed. Editora Moderna

- Identificar o que é a "Amplitude" da onda na imagem.



- Definir "**Frequência f** "

- Número de oscilações por unidade de tempo.

- Definição "**Período T** "

- Tempo gasto pelo sistema para realizar uma oscilação. Tempo que uma onda leva para percorrer um comprimento de onda.

- **Definir velocidade de uma onda: (10 minutos)**

Conhecendo esses parâmetros apresentados anteriormente, é possível que cheguemos a relação para a velocidade de uma onda.

Lembrando a clássica equação para velocidade média, temos:

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t}$$

Porém podemos escolher como deslocamento o comprimento de onda λ e como o intervalo de tempo o período da onda T , assim temos:

$$v = \frac{\lambda}{T}$$

Como:

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

Chegamos a:

$$v = \lambda \cdot f$$

- Disponibilizamos na página: "<https://sites.google.com/view/ensino-acustica-im-mnpef-dns/arquivos>" uma apresentação de slides que pode ser utilizada nessa parte introdutória.

PARTE 2: O SOM PRODUZIDO EM INSTRUMENTOS DE CORDA

Objetivo:

- Compreender quais parâmetros físicos de uma corda influenciam na frequência dos sons produzidos por um instrumento de corda.

Comentário: Nessa segunda parte será abordado características da produção do som através da vibração de uma corda. Para uma análise mais criteriosa da produção do som em um instrumento musical seria preciso levar em conta outros parâmetros além dos que dizem respeito à vibração da corda, como características a respeito do formato e material de fabricação do instrumento. Porém como uma primeira aproximação e ponto inicial para o estudo, evidenciaremos aqui algumas relações entre o som produzido por uma corda vibrante e os parâmetros da corda que influenciam esse som.

Problematização: Como o som é produzido em um instrumento de corda?
(Tempo estimado = 2 minutos)

*É possível que as respostas dos alunos estejam direcionadas à questão da vibração das cordas e ao mecanismo das caixas acústicas.

Organização do Conhecimento: (tempo estimado = 5 a 7 minutos)

Possível experimento demonstrativo: (Checar som produzido por uma corda estendida) "Realizar teste"

1º Passo : Estender uma corda e perguntar aos alunos: "Se eu fizer essa corda vibrar, irá ocorrer emissão de som?" (Observar respostas antes de realizar o experimento)

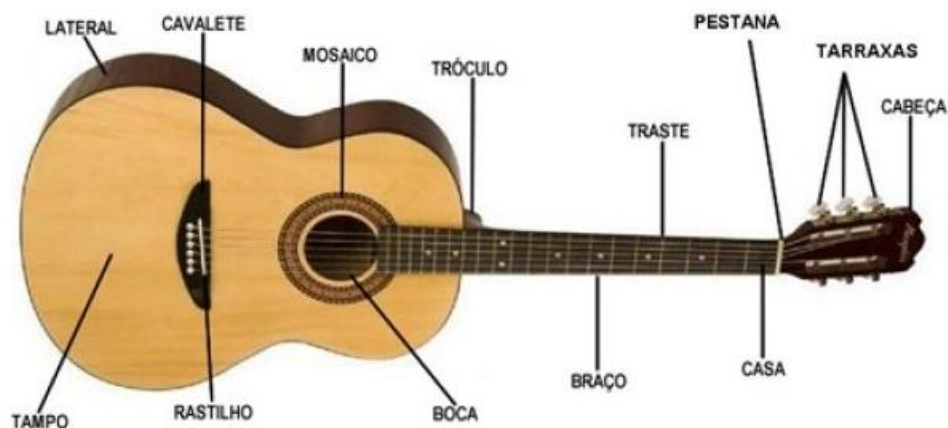
2º Passo: Realizar o experimento e possivelmente verificar que ocorre a emissão de som, porém com baixa intensidade.

3º Passo: Pegar um violão e perguntar: "E se ao invés de utilizar apenas uma corda estendida utilizarmos um violão. O som será diferente? Qual diferença vocês esperam entre os sons produzidos pelos dois mecanismos? "

* É provável que alguns alunos que já tenham familiaridade com instrumentos musicais irão prever que o som produzido terá mais intensidade.

4º Passo: Concluir a discussão sobre o experimento ressaltando que a corda produz sons e caixas acústicas utilizadas nos instrumentos musicais amplificam esse som (aumentam sua intensidade)

- Apresentar as peças que constituem um violão e falar sobre seu funcionamento.



Partes que compõem um violão. Fonte: VASSOLER, E. Atividades Para o Aprendizado de Acústica. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal do Espírito Santo, 2016.

Organização e Aplicação do Conhecimento:

Atividade de investigação dos parâmetros de uma corda que influenciam no som produzido: (tempo estimado = 20 a 30 min)

Objetivo: Pretendemos aqui realizar uma atividade onde seja possível relacionar as características da corda que influenciam no som produzido por ela. Para a realização dessa atividade será necessário um violão para cada grupo e um smartphone com o aplicativo **pitchlab** instalado.

"O aplicativo está disponível na página

A atividade será feita em grupo de 5 a 6 pessoas.

O roteiro para a realização da atividade está a seguir.

Comentário:

Antes de dar continuidade a próxima atividade, proponho utilizar os primeiros 5 a 10 minutos da aula para apresentar aos alunos o software Pitchlab (link: <https://pitchlab-lite.en.uptodown.com/android>), disponível gratuitamente no google playstore. Só é necessário que uma pessoa por grupo tenha o aplicativo instalado.

(Tempo estimado para a atividade experimental = 25 a 30 minutos)

Atividade Experimental

Componentes do Grupo: _____ Data: / /

1) Para realização da atividade precisaremos do uso de um aplicativo que possui a funcionalidade de afinador de violão e guitarra. Acesse em seu celular o Playstore e baixe o programa Pitchlab.

2) Utilize a tela do aplicativo onde é possível ver as frequências das notas produzidas e toque cada uma das cordas e anote o valor captado pelo aplicativo.

corda 1: _____ hz

corda 2: _____ hz

corda 3: _____ hz

corda 4: _____ hz

corda 5: _____ hz

corda 6: _____ hz

3) Posicione o dedo em uma região da corda no braço do violão, de modo que o comprimento de corda solta fique menor. Meça novamente as frequências em cada corda pressionando o dedo na mesma "casa" em todas as cordas.

corda 1: _____ hz

corda 2: _____ hz

corda 3: _____ hz

corda 4: _____ hz

corda 5: _____ hz

corda 6: _____ hz

Vocês sentiram diferença no som produzido? () sim () não

Se notaram diferença. Como você descreve esse som em relação ao som emitido anteriormente.

4) Repare que as cordas do violão possuem diferentes espessuras.

Como vocês descrevem a diferença no som produzido pelas cordas devido a sua espessura ?

5) Tencione um pouco mais as cordas e realize a medida das frequências das cordas novamente.

corda 1: _____ hz

corda 2: _____ hz

corda 3: _____ hz

corda 4: _____ hz

corda 5: _____ hz

corda 6: _____ hz

Foi possível perceber uma mudança no som devido a mudança na tensão aplicada a corda? Descreva o que vocês perceberam:

Após aplicação concluir com os alunos que essa característica na qual relacionamos o som grave a frequências menores e sons agudos a frequências maior, é o que é chamado na acústica de "altura do som". (tempo estimado = 2 minutos)

É Necessário agora relacionar a espessura da corda à sua densidade linear das cordas, sendo que esse é o parâmetro em questão. **(tempo estimado = 10 a 15 minutos)**

Através do experimento foi possível observar que quanto mais espessa a corda a tendência do som é ser mais grave, ter menor frequência. Isso se deve a quanto mais massa no sistema mais energia você gasta para movimentá-lo, sendo assim aplicando a mesma energia a uma corda menos espessa e "mais leve" e em uma corda mais espessa e "pesada" a corda "mais leve" tenderá a vibrar mais, ou seja com uma frequência maior. Porém como as cordas possuem comprimentos extensos, é mais conveniente utilizar a **Densidade Linear** de massa para realização dos estudos relacionados as cordas.

A Densidade Linear corresponde a:

$$\mu = \frac{m}{L}$$

Sendo assim quanto maior a densidade linear menor a frequência e quanto menor a densidade linear maior a frequência. E quanto maior a tensão na corda maior a frequência e quanto menor a tensão na corda menor a frequência.

Existe uma relação entre a tensão aplicada a corda, a densidade linear e a velocidade da onda na corda, dada pela seguinte equação:

$$v = \sqrt{\frac{\tau}{\mu}}$$

PARTE 3: MODOS DE VIBRAÇÃO DE UMA ONDA NA CORDA (VIBRAÇÃO DE UMA CORDA)

Objetivos:

- Identificar os modos de vibração de uma corda.
- Determinar as frequências referentes aos diferentes modos de vibração.

Problematização:

Quando fazemos uma corda de violão vibrar, qual é o "formato" da oscilação que a corda assume?

Ela oscilará sempre com o mesmo "formato"?
(tempo estimado = 2 minutos)

* As respostas podem ser variadas aqui.

Organização do Conhecimento:

- Introduzir essas idéias através do dialogo:

É muito comum ao analisarmos a vibração da corda de violão considerarmos a oscilação como uma configuração que chamamos de onda estacionária. Nessa configuração de oscilação temos uma onda fixa entre o capotraste e o rastilho do violão. É comum que nesse tipo de oscilação que alguns pontos específicos da corda (ou do meio em questão), não se movam, chamamos esses pontos de **nós**, e geralmente chamamos os pontos onde a corda tem oscilação máxima de **anti-nós ou Ventre**. Podemos chamar esses modos de vibração de uma corda de **modos normais**.
(5 minutos)

- Utilização do Experimento de Oscilação Mecânica de uma Corda: (20 a 25 minutos)

Nessa etapa utilizamos um experimento de oscilação mecânica de uma corda estendida, onde é possível evidenciar os modos de vibração de uma corda.



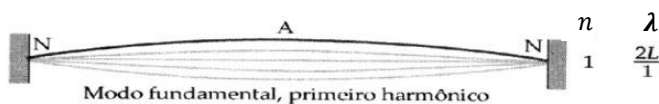
Experimento utilizado para evidenciar alguns dos modos de vibração de uma corda.

Com o intuito de facilitar a aplicação dessa sequência didática disponibilizamos pequenos vídeos do funcionamento do experimento para os quatro primeiros modos de vibração de uma corda. Os vídeos estão disponíveis na página: ...

Passo 1: Configurar o experimento para evidenciar o primeiro modo de vibração da corda (ou utilizar o vídeo "Modo fundamental - Primeiro Harmônico")

Através do padrão formado pela corda, destacar a configuração dos nós e antinós.

Estabelecer as relações matemáticas entre o comprimento da corda e o comprimento de onda.

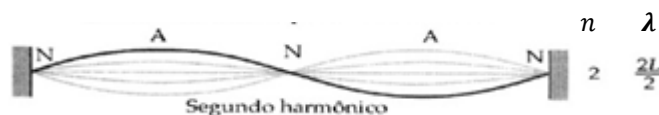


Disponível em: http://www.lef.ifsc.usp.br/salaConhece/index.php?option=com_content&view=article&id=12:tubo-de-chamas-dancantes&catid=1:experimentoscalar&Itemid=28

Passo 2: Configurar o experimento para evidenciar o segundo modo de vibração da corda (ou utilizar o vídeo "Segundo Harmônico")

Através do padrão formado pela corda, destacar a configuração dos nós e antinós.

Estabelecer as relações matemáticas entre o comprimento da corda e o comprimento de onda.

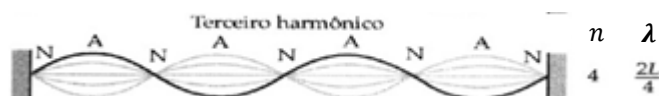


Disponível em: http://www.lef.ifsc.usp.br/salaConhece/index.php?option=com_content&view=article&id=12:tubo-de-chamas-dancantes&catid=1:experimentoscalar&Itemid=28

Passo 3: Configurar o experimento para evidenciar o segundo modo de vibração da corda (ou utilizar o vídeo "Terceiro Harmônico")

Através do padrão formado pela corda, destacar a configuração dos nós e antinós.

Estabelecer as relações matemáticas entre o comprimento da corda e o comprimento de onda.

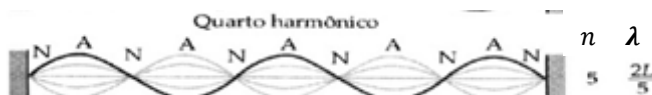


Disponível em: http://www.lef.ifsc.usp.br/salaConhece/index.php?option=com_content&view=article&id=12:tubo-de-chamas-dancantes&catid=1:experimentoscalar&Itemid=28

Passo 4: Configurar o experimento para evidenciar o segundo modo de vibração da corda (ou utilizar o vídeo "Quarto Harmônico")

Através do padrão formado pela corda, destacar a configuração dos nós e antinós.

Estabelecer as relações matemáticas entre o comprimento da corda e o comprimento de onda.



Disponível em: http://www.lef.ifsc.usp.br/salaConhece/index.php?option=com_content&view=article&id=12:tubo-de-chamas-dancantes&catid=1:experimentoscalar&Itemid=28

Aplicação do Conhecimento: (Tempo estimado explicação = 50 minutos)

A aplicação do conhecimento irá consistir em identificar os modos de vibração de uma corda em um violão e determinar as frequências referente a eles.

Para evidenciarmos os harmônicos em um violão fazemos o procedimento de tocar a corda do instrumento apenas apoiando o dedo sobre ela em um ponto específico que corresponda as seguintes frações de comprimento da corda ($\frac{1}{2} L, \frac{1}{3} L, \frac{1}{4} L$).

O roteiro da atividade segue na próxima página.

Em grupos de aproximadamente 5 pessoas. Será preciso os seguintes materiais para cada grupo:

- 1 violão
- 1 trena ou régua
- 1 smartphone

(Tempo estimado atividade = 20 minutos)

Atividade

Componentes do Grupo: _____ **Data:** / /

1) Meça o comprimento da corda do violão.

$$L = \underline{\hspace{2cm}}$$

2) Abra o aplicativo Pitchlab no smartphone e selecione a tela na qual é possível medir a frequência do som captado.

Efetue as seguintes medidas completando a tabela:

Corda	Harmônico	Frequência	Comprimento de onda λ
6ª	Fundamental "corda solta"		
6ª	2º " $\frac{1}{2} L$ "		
6ª	3º " $\frac{1}{3} L$ "		
6ª	4º " $\frac{1}{4} L$ "		

Para evidenciar o modo de vibração fundamental "1º Harmônico" vibre a corda solta.

Para evidenciar o 2º Harmônico é preciso apoiar o dedo sobre a fração de comprimento da corda correspondente a $\frac{1}{2} L$.

Para evidenciar o 3º Harmônico é preciso apoiar o dedo sobre a fração de comprimento da corda correspondente a $\frac{1}{3} L$.

Para evidenciar o 4º Harmônico é preciso apoiar o dedo sobre a fração de comprimento da corda correspondente a $\frac{1}{4} L$.

3) Baseado nos dados coletados responda: O que acontece com o valor da frequência quando aumentamos a ordem do harmônico na corda?

4) Calcule a velocidade da onda na corda.

Organização do Conhecimento e Aplicação do Conhecimento:

Nesse momento é possível estabelecer uma relação entre as aplicações estudadas e o modelo teórico que relaciona a frequência do som produzido por um instrumento de corda com as variáveis que podemos alterar ao manipular o instrumento.

Apresentar essa relação através das equações:

$$v = \lambda f$$

Lembrando da relação entre o comprimento de onda, os modos de vibração, o comprimento da corda, e a relação entre velocidade da onda na corda com a tensão e a densidade linear de massa:

$$\sqrt{\frac{\tau}{\mu}} = \frac{2l}{n} f n$$

Assim é possível evidenciar a seguinte relação:

$$f n = \frac{n}{2l} \sqrt{\frac{\tau}{\mu}}$$

PARTE 4: ANÁLISE ESPECTRAL DO SOM (TIMBRE)

Objetivos:

- Identificar que a mesma nota produzida em diferentes instrumentos tem diferentes sons.
- Conceituar timbre.
- Compreender influência da intensidade dos harmônicos na composição do timbre de um instrumento musical.

Nessa atividade discutiremos outra das características do som. Podemos pensar o timbre como a assinatura de cada som, o formato detalhado das ondas sonoras produzidas por algum instrumento musical ou mesmo um som de natureza qualquer. Apesar de uma mesma nota musical tocada por diferentes instrumentos possuírem a mesma frequência, o timbre será diferente, e essa característica do som está diretamente relacionada com a intensidade dos harmônicos correspondentes as respectivas ondas sonoras.

Problematização: Levar 2 ou 3 instrumentos diferentes para sala tocar a mesma nota nos diferentes instrumentos. Perguntar aos alunos : "A nota que toquei nos diferentes instrumentos foi a mesma nota? " , "Se é a mesma nota, elas possuem a mesma frequência, certo?" , "Se elas possuem a mesma frequência, por que percebemos o som dos instrumentos de maneira diferentes?" **(Tempo estimado = 5 a 10 minutos)**

Organização do Conhecimento: (Tempo estimado = 10 min leitura + 5 discussão)

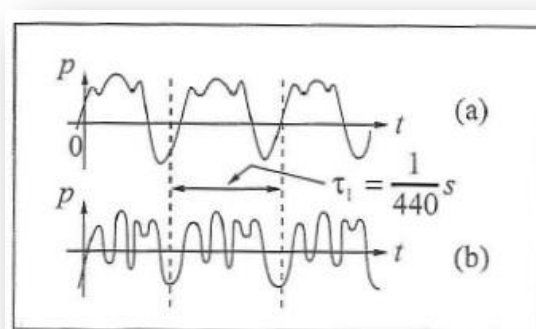
Nessa etapa será utilizado um texto explicativo, onde cada aluno irá receber-lo em um folha impressa e após a realização da leitura pelos alunos, disponibilizarei 5 minutos para que possam discutir as ideias do texto com os colegas próximos.

O texto segue na próxima página.

A identidade do som e o conceito chamado Timbre

Quando escutamos dois diferentes instrumentos musicais tocando a mesma nota musical, conseguimos perceber diferenças no som dos dois instrumentos, mesmo sendo sons que possuem a mesma frequência fundamental. Geralmente associamos qualidades subjetivas a determinado som produzido por certos instrumentos, como uma identidade para aquele som, e chamamos essa identidade do som de Timbre.

Fisicamente sabemos que isso se deve a que nossos ouvidos percebem as mesmas notas produzidas por diferentes instrumentos musicais como ondas sonoras periódicas de mesma frequência, embora os perfis de onda correspondentes possam ser diferentes.

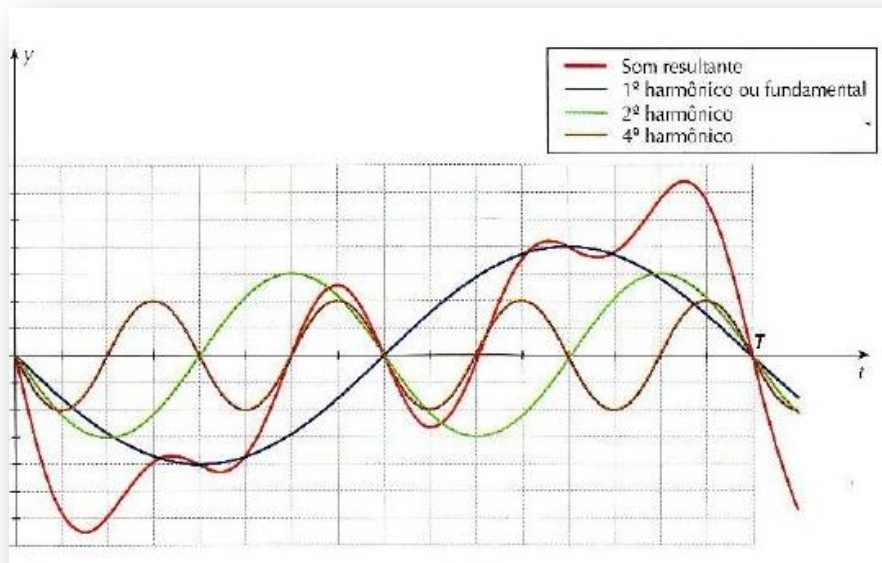


Representações diferentes de Onda para a nota musical Lá

Fonte: H. Moysés Nussenzveig, Curso de Física Básica 2: Fluidos, Oscilações e Ondas, Calor, 4a edição, Editora Edgard Blücher, 2002

Um dos fatores que podem influenciar diretamente a percepção sobre a identidade do som vindo de um instrumento musical é a maneira como ele é tocado, por exemplo um violonista pode emitir uma nota qualquer em seu violão fazendo a corda vibrar com uma palheta e em outro momento utilizando a ponta dos dedos ou até mesmo a unha, em cada um desses casos é possível perceber uma sutil diferença no som. Um outro caso semelhante que podemos considerar seria o exemplo de um violinista que poderia tocar as cordas de seu violino com o arco ou com os dedos, produzindo sons diferentes. Chamamos esses diferentes modos de produzir o sons no instrumento de ataque, e as diferenças no som produzidos pelo ataque e pela duração do som é chamada de Envelope do som (ou Envelope de amplitude) e esses parâmetros influenciam diretamente em nossa percepção do som.

A análise do Timbre pela Física está diretamente ligada a ideia dos harmônicos relacionados a aquela. Quando um instrumento musical emite um som temos ali uma sobreposição de diversos sons de frequências múltiplas a frequência fundamental a qual aquela nota é relacionada. A menor frequência dessa sobreposição de sons corresponde a **frequência fundamental (1º harmônico)** e as demais frequências correspondem aos modos de oscilação de ordem superior (**2º, 3º, 4º harmônico**).



Representação de diferentes harmônicos produzindo um som resultante

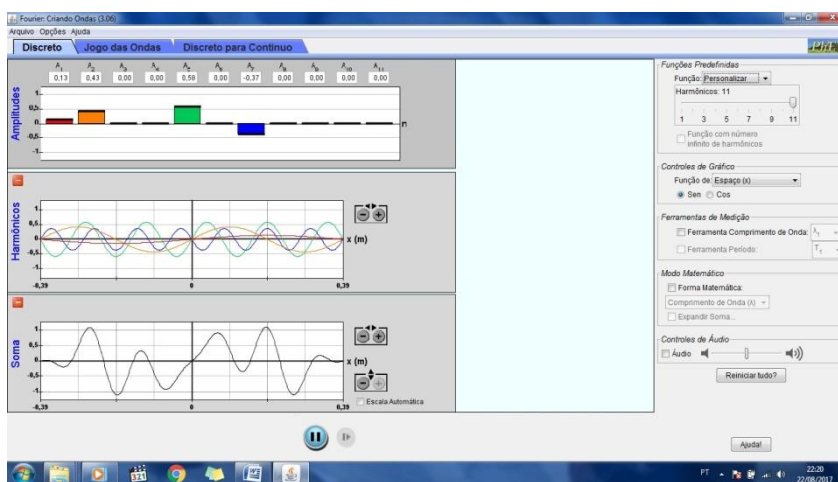
Fonte: Ramalho, Nicolau e Toledo. Os Fundamentos da Física, Vol. 03, 7ª Ed. Editora Moderna

A intensidade dos harmônicos que acompanham a frequência fundamental referente a uma determinada nota musical irá variar em diferentes instrumentos musicais, vozes de pessoas, e outros dispositivos emissores de som.

Organização e Aplicação do Conhecimento: (Tempo estimado = 10 a 15 minutos)

Para aplicação do conhecimento utilizaremos um simulador do PHET colorado. Nesse simulador é possível regular a intensidade dos harmônicos e gerar uma onda resultante correspondente a configuração selecionada:

A imagem a seguir mostra a interface gráfica do simulador:



Interface gráfica da simulação "Fourier - Somando Ondas" do Phet

Atividade

Nome: _____ **Data:** / /

1) Abra no computador o simulador do Phet utilizando as instruções do professor.

2) Repare que o simulador já começa com uma configuração na qual a frequência fundamental "A1" está com valor de amplitude "1,00". Ative a caixa "audio" no campo "controle de audio". Perceba que é possível ouvir um som referente a essa frequência.

3) Zere a amplitude da frequência "A1" e aumente a amplitude da frequência "A2". Após zere a amplitude da frequência "A2" e aumente a amplitude da frequência "A3". Faça esse procedimento para ouvir as demais frequências presentes no software. (Durante o procedimento repare no formato do sinal gerado no gráfico)

Você percebeu alguma relação entre o som das frequências do simulador? Qual?

4) Acione o campo "Reiniciar tudo?" no simulador. Agora no campo "funções predefinidas" alterne entre os 5 tipos de sinais predefinidos disponíveis. Sendo esses "Seno/Cosseno", "Triangular", "Quadrada", "Dente de Serra", "Trem de Ondas".

Você percebeu alguma semelhança em relação ao som dos diferentes sinais? Qual?

5) Acione o campo "Reiniciar tudo?" no simulador. Agora acione o "Audio" novamente, e vá alterando a intensidade das frequências disponíveis no simulador de modo livre, e observe o efeito produzido devido as alterações.

Repare no formato da onda resultante do campo "soma".

Você diria que esta onda resultante está na mesma tonalidade da frequência fundamental?

() Sim () Não

Aplicação do Conhecimento (20 minutos)

A atividade a ser proposta aqui se trata da análise do espectro sonoro de diferentes instrumentos, sendo possível identificar os picos de intensidades correspondentes aos harmônicos.

Equipamentos Necessários:

Guitarra Elétrica

Violão

Computador

Software de gravação e análise de som (EXPstudio Audio Editor Free)

Disponível no site: expstudio-audio-editor.softonic.com.br

Também disponível em: <https://sites.google.com/view/ensino-acustica-im-mnpef-dns/arquivos>

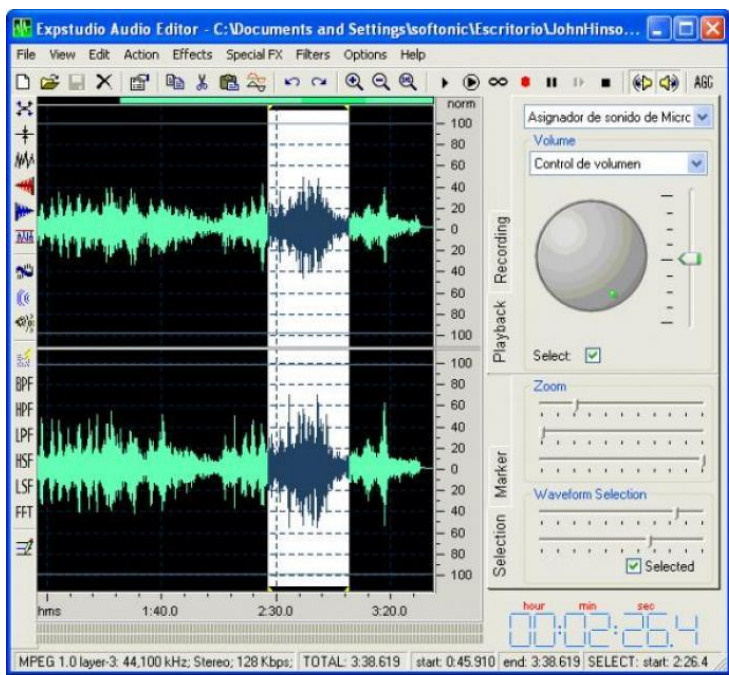
Software Qtiplot-0.9.8.6

Disponível em: <https://sites.google.com/view/ensino-acustica-im-mnpef-dns/arquivos>

Cabos para conexão entre os instrumentos e o computador

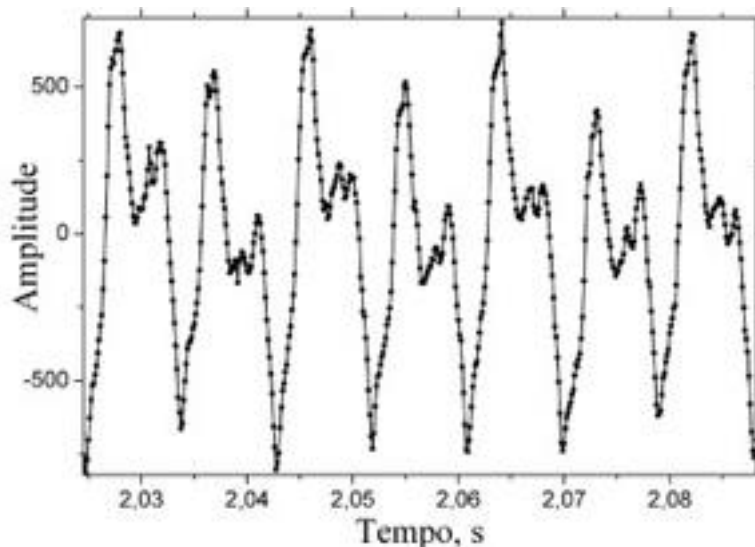
Procedimento:

1º Passo - Gravação de som de uma determinada nota do instrumento, obtendo um gráfico da amplitude em função do tempo.



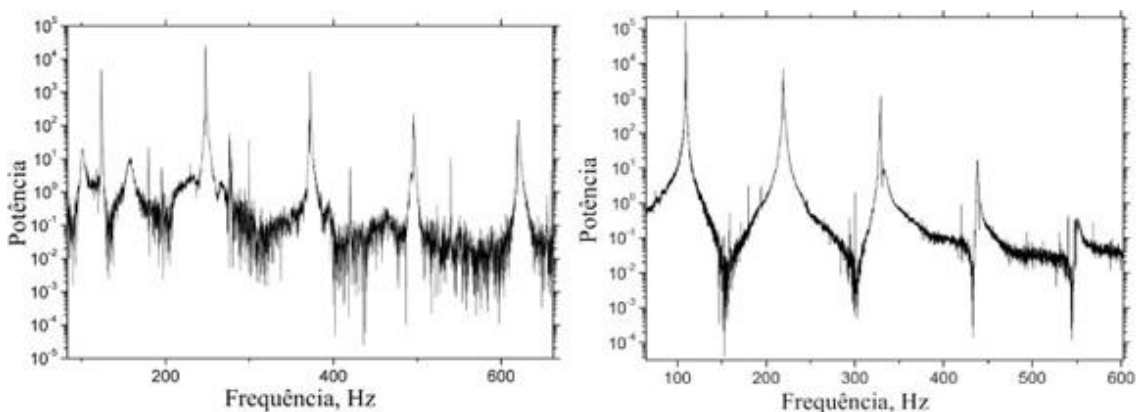
Disponível em: expstudio-audio-editor.softonic.com.br

2º Passo – Selecionar um pequeno trecho do som onde tenha o perfil típico oscilação, e exclua o restante do sinal captado no software.



Disponível em: SANTOS, E.M.; MOLINA, C. and TUFAILE, A.P.B.. Violão e guitarra como ferramentas para o ensino de física. Rev. Bras. Ensino Fis. [online]. 2013, vol.35, n.2

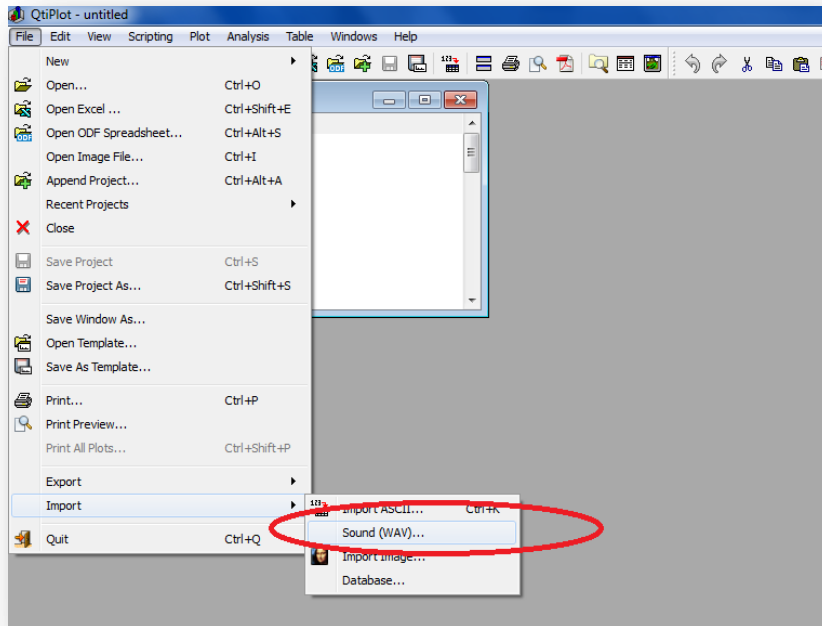
3º Passo – Aplicar uma transformada de Fourier (Via o próprio software Qtiplot), obtendo um gráfico de potência em função da frequência. Sendo que os picos do gráfico irão indicar as frequências dos harmônicos.



Disponível em: SANTOS, E.M.; MOLINA, C. and TUFAILE, A.P.B.. Violão e guitarra como ferramentas para o ensino de física. Rev. Bras. Ensino Fis. [online]. 2013, vol.35, n.2

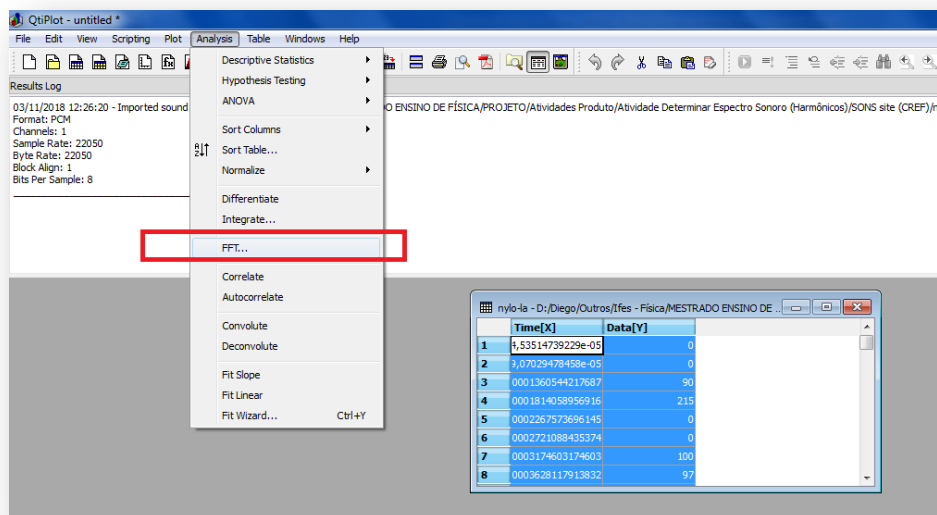
Para realizar esse procedimento utilizando o software *Qtiplot*.

- Abra o arquivo com o áudio captado pelo *software*, selecionando o arquivo na pasta em que está armazenado, utilizando a ferramenta "Import / sound (WAV):



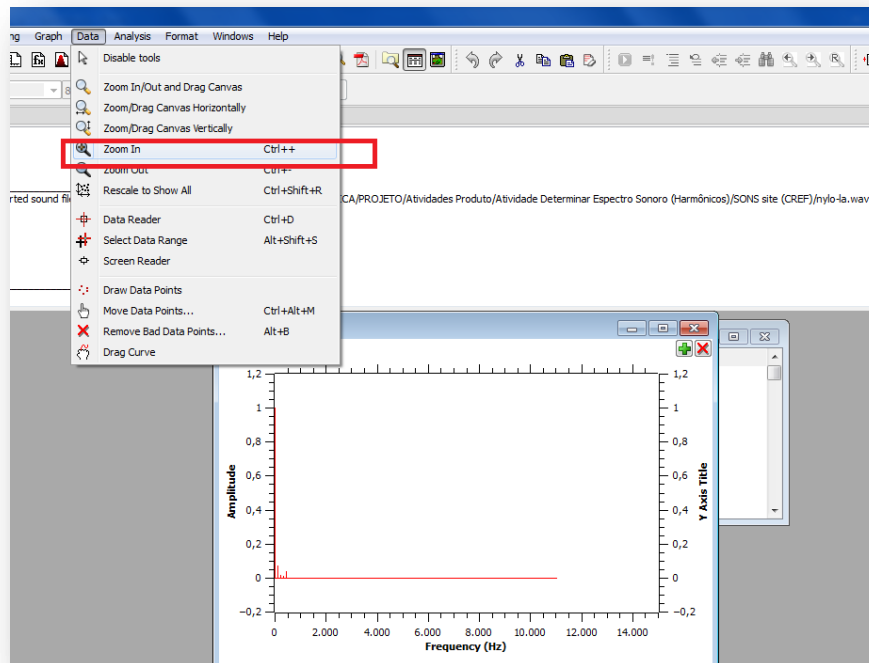
Selecionando arquivo de audio. Fonte: Próprio Autor

- Selecione os dados da tabela e clique em "analysis / FFT (fast fourier transform)"



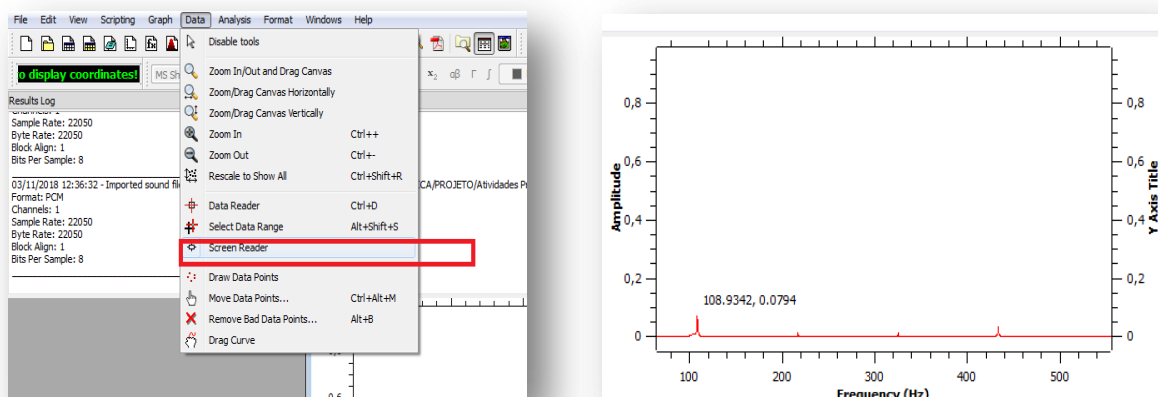
Selecionando arquivo de audio. Fonte: Próprio Autor

- Utilize a ferramenta de zoom para aproximar dos picos com diferentes frequências:



Utilizando o zoom. Fonte: Próprio Autor

- Selecione a ferramenta "Screen Reader" e posicione-a sobre os "picos" com diferentes frequências, de modo que seja possível perceber o valor da frequência em cada "pico" :



Utilizando a ferramenta "Screen Reader". Fonte: Próprio Autor

Após essa análise do sinal produzido pela guitarra, repetir a análise espectral para o som produzido por um diapasão. Disponibilizado pelo site do Cref em: <http://www.if.ufrgs.br/cref/ntef/som/lab/sons.html>

Após a realizada a composição dos espectros realizar comparação entre os espectros dos dois instrumentos.

Aplicação do Conhecimento:

Após o término da análise espectral do sinal produzido pelos instrumentos musicais, pedir aos alunos que redijam um pequeno texto explicando suas concepções sobre o que é o Timbre.

Esse texto poderá servir de análise em relação as concepções dos alunos sobre o conceito, se convergem ou não para a interpretação correta. Se necessário conduzir novamente um dialogo sobre o conceito.

REFERÊNCIAS

- BOGDAN, R. C. et al. *Investigação qualitativa em educação: uma introdução à teoria e aos métodos*. (S.l.: s.n), 1994.
- BORGES, C. R. B. e M. C. A pesquisa participante: um momento da educação popular. *Revista de Educação Popular*, v. 6, p. 51–62, 2007.
- BRASIL, S. Pcn+ ensino médio: orientações educacionais complementares aos parâmetros curriculares nacionais. *Ciências da natureza, matemática e suas tecnologias*. Brasília: MEC, SEMTEC, 2002.
- CARVALHO, A. M. P. de et al. *Ensino de Física*. São Paulo: CENGAGE Learning, 2010. (Coleção Ideias em ação).
- DELIZOICOV, D.; ANGOTTI, J. A. *A Física*. São Paulo: Cortez Editora, 1991. 181 p.
- DELIZOICOV, D. et al. *Ensino de Ciências: fundamentos e métodos*. (S.l.): Cortez Editora, 2002.
- EVANGELISTA, R. L. *Problematizando o Ensino de Física Moderna e Contemporânea: Uma Proposta Didática Baseada nos Três Momentos Pedagógicos Utilizando a Astronomia como Temática Central*. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal do Espírito Santo, <http://ensinodefisica.ufes.br/pt-br/pos-graduacao/PPGEnFis/detalhes-da-tese?id=9944>, 5 2016.
- FREIRE, P. *Pedagogia do oprimido*. 17ª. Ed. Rio de Janeiro: Paz e Terra, v. 3, 1987.
- FREIRE, P. *Pedagogia da autonomia: saberes necessários à prática docente*. São Paulo: Paz e Terra, p. 90, 1996.
- GRILLO, M. L.; PERES, L. R. *Física e Música*. São Paulo edition = 1,; Livraria da Física, 2016.
- JR, F. R.; FERRARO, N. G.; SOARES, P. A. d. T. *Os fundamentos da física vol. 2*. São Paulo: Moderna, 1996.
- KRUMMENAUER, W.; PASQUALETTO, T.; COSTA, S. O uso de instrumentos musicais como ferramenta motivadora para o ensino de acústica no ensino médio. *Física na Escola*, v. 10, n. 2, 2009.
- LÜDKE, M.; ANDRÉ, M. E. *Pesquisa em educação: abordagens qualitativas*. (S.l.): Editora Pedagógica e Universitária São Paulo, 1986.
- MAEOCA, G. da S. *Construção de Instrumentos Musicais Artesanais Por Aluno, Para Auxiliar Na Aprendizagem De Conceitos Físicos Relacionados As Ondas Sonoras*. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, 2012.
- MOURA, D. D. A.; NETO, P. B. O ensino de acústica no ensino médio por meio de instrumentos musicais de baixo custo. *Física na Escola*, v. 12, n. 1, 2011.

MUENCHEN, C.; DELIZOICOV, D. A construção de um processo didático-pedagógico dialógico: aspectos epistemológicos. *Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências*, v. 14, n. 3, 2012.

NUSSENZVEIG, H. M. *Curso de física básica*. (S.l.): Edgard Blücher, 2002. reimp. 2007., 2002.

PANIZ, C. M. et al. Abordagem temática freireana e a dinâmica dos três momentos pedagógicos: uma reflexão sobre os trabalhos dos enpecs.

ROGÉRIO, T. P. *UMA PROPOSTA DE ENSINO DE ASTRONOMIA PARA O ENSINO MÉDIO A PARTIR DE UMA BREVE HISTÓRIA DA EVOLUÇÃO DE NOSSO CONHECIMENTO SOBRE O UNIVERSO*. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal do Espírito Santo, 8 2017.

RUI, L. R. Uma proposta de introdução de conceitos físicos na 8a. série através do som, e algumas importantes curiosidades e aplicações do seu estudo. 2006.

SANTOS, E.; MOLINA, C.; TUFÁILE, A. Violão e guitarra como ferramentas para o ensino de física. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 35, n. 2, p. 2507, 2013.

SILVEIRA, F. L. d.; MOREIRA, M. A. Estudo da validade de um questionário de avaliação do desempenho do professor de física geral pelo aluno. *Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências (Belo Horizonte)*, SciELO Brasil, v. 1, n. 1, p. 54–65, 1999.

VASSOLER, E. *Atividades Para o Aprendizado de Acústica*. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal do Espírito Santo, 2016.