

UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS E
MATEMÁTICA

FENÔMENOS ONDULATÓRIOS E OS INSTRUMENTOS MUSICAIS: ENSINO POR
MEIO DOS TRÊS MOMENTOS PEDAGÓGICOS

ANDRÉ LUIZ OLIVEIRA

GOIÂNIA
2018

**TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR
VERSÕES ELETRÔNICAS DE TESES E DISSERTAÇÕES
NA BIBLIOTECA DIGITAL DA UFG**

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Federal de Goiás (UFG) a disponibilizar, gratuitamente, por meio da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD/UFG), regulamentada pela Resolução CEPEC nº 832/2007, sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a Lei nº 9610/98, o documento conforme permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou *download*, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

1. Identificação do material bibliográfico: ☒ **Dissertação** ☐ **Tese**

2. Identificação da Tese ou Dissertação:

Nome completo do autor: André Luiz Oliveira

Título do trabalho: Fenômenos ondulatórios e os instrumentos musicais: ensino por meio dos três momentos pedagógicos

3. Informações de acesso ao documento:

Concorda com a liberação total do documento ☒ **SIM** ☐ **NÃO**



André Luiz Oliveira

Ciente e de acordo:



Wagner Wilson Furtado (orientador)

Goiânia, 05/09/2018

ANDRÉ LUIZ OLIVEIRA

**FENÔMENOS ONDULATÓRIOS E OS INSTRUMENTOS MUSICAIS: ENSINO
POR MEIO DOS TRÊS MOMENTOS PEDAGÓGICOS.**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Educação em Ciências e Matemática da Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação da Universidade Federal de Goiás, como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Educação em Ciências e Matemática.

Prof. Dr. Wagner Wilson Furtado – Orientador

**GOIÂNIA
2018**

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do
Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UFG.

Oliveira, André Luiz
FENÔMENOS ONDULATÓRIOS E OS INSTRUMENTOS MUSICAIS:
ensino por meio dos três momentos pedagógicos [manuscrito] /
André Luiz Oliveira. - 2018.
132 f.: il.

Orientador: Prof. Dr. Wagner Wilson Furtado.
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Goiás, Pró
reitoria de Pós-graduação (PRPG), Programa de Pós-Graduação em
Educação em Ciências e Matemática, Goiânia, 2018.
Bibliografia. Apêndice.

1. Ensino com Instrumentos Musicais. 2. Ensino de ondulatória. 3.
Três Momentos Pedagógicos. I. Furtado, Wagner Wilson, orient. II.
Título.

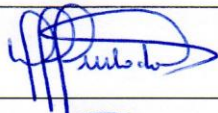


SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS E MATEMÁTICA

ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO

ANDRÉ LUIZ OLIVEIRA

Aos 17 dias do mês de agosto do ano de 2018, às 08:00 horas na sala 223 – IF – 2 na UFG, de forma presencial, reuniu-se a Banca Examinadora composta pelos(as), Prof(a). Dr(a). Wagner Wilson Furtado, presidente(a)/orientador(a) - UFG; Prof(a). Dr(a). Paulo Celso Ferrari – UFG; Prof(a). Dr(a). José Rildo de Oliveira Queiroz – UFG, para sob a presidência do(a) primeiro(a), procederem a DEFESA DE DISSERTAÇÃO do trabalho intitulado **“Fenômenos Ondulatórios e os Instrumentos Musicais: ensino por meio dos três momentos pedagógicos”**, do(a) referido(a) discente do Programa de Pós-Graduação em Educação em Ciências e Matemática (PPGECM), nível Mestrado. Após realizada a avaliação oral no sistema de apresentação e defesa do Trabalho, a Banca Examinadora reuniu-se emitindo os seguintes pareceres com as justificativas e sugestões abaixo:

Docente	Resultado (Aprovado/ Reprovado)	Assinatura
Wagner Wilson Furtado	APROVADO	
Paulo Celso Ferrari	APROVADO	
José Rildo de Oliveira Queiroz	APROVADO	

Justificativas e comentários sobre o trabalho:

O TRABALHO CONTEM TODOS OS ELEMENTOS CONSTITUTIVOS DE
UMA PESQUISA ACADÊMICA EM NÍVEL DE MESTRADO.

Sugestões de alterações do trabalho:

FORAM DADAS SUGESTÕES DE MELHORIA DO CORPO TEÓRICO DO
TRABALHO

Após a avaliação, o referido candidato foi considerado APROVADO na defesa da dissertação. Às 11 horas, a Prof(a). Dr(a). WAGNER WILSON FURTADO - UFG, Presidente da Banca Examinadora, deu por encerrada a sessão e, para constar lavrou-se a presente Ata.

Dedico à minha família.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus e a todos que colaboraram para a realização deste trabalho.

Ao meu núcleo familiar que me irradia amor e luz constantemente: Vó Didi, Antônio (Pai), Luzinete (Mãe), Natália (Irmã), Emmanuel (Cunhado), Henrique (sobrinho/afilhado), aos meus filhos Pedro Henrique, Maria Júlia e Ana Luísa, pelos momentos de alegrias e compreensão de minha ausência durante o tempo de estudo e trabalho.

À minha querida esposa, Cintya Lorena, pelo carinho, paciência, companheirismo e incentivo, dedicados a mim e a nossa família.

Ao professor Dr. Wagner Wilson Furtado pela orientação, apoio e profissionalismo, pelos ensinamentos fundamentais e pela amizade demonstrada em todos esses anos de convivência.

Aos professores José Rildo de Oliveira Queiroz e Paulo Celso Ferrari, pelas sugestões e críticas que muito contribuíram para minha formação e ao resultado final deste trabalho.

A todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Educação em Ciências e Matemática-UFG pelas contribuições em minha formação como docente e com os quais tive o prazer de fazer amizades: José Pedro, Dalva, Sandramara, Cláudio Benite, Marilda e Márlon. De modo especial a professora Agustina Rosa Echeverría, pela dedicação e respeito, e ao professor Juan Bernardino Barrio (in memoriam), pelo exemplo de profissional, amigo e que acolhia todos como se fossem filhos.

Aos amigos do mestrado, Maria Odilma, Adriano, Juvan, Marcelo, Marcos, Gabriel, Elizandra, Elis, Mônica, Regiane, Vanessa, Jaisa, Fernanda, Aparecida, Luciane, Márcia, Lindomar, Ludmylla, Matheus e tantos outros, pelo compartilhamento de angústias e alegrias e pela troca de saberes e experiências nessa importante etapa de nossas vidas.

A todos os professores e alunos do Colégio Estadual Murilo Braga, que contribuíram com a pesquisa, em especial a Diretora Juscelina Rodrigues e a professora Maria Gracinês, por me disponibilizarem o espaço, as turmas e o tempo necessário para o desenvolvimento deste trabalho.

A todos do Ciranda da Arte, em especial a Luz Marina, Valquíria, Vânia, Ângela e ao Maestro Everton, por me cederem os instrumentos musicais e o espaço para o estudo.

Aos professores do Colégio Estadual Lourdes Estivaleta, pelo incentivo durante toda caminhada. Em especial ao Diretor Elton Brasil por organizar meu horário de modo a conciliar os meus estudos com o trabalho.

Muito obrigado

“Ensinar não é transferir conhecimento, mas criar as possibilidades para a sua própria produção ou a sua construção”.

Paulo Freire

OLIVEIRA, André Luiz. **Fenômenos ondulatórios e os instrumentos musicais**: ensino por meio dos três momentos pedagógicos, 2018. Dissertação (Mestrado em Educação em Ciências e Matemática) – Universidade Federal de Goiás. Goiânia, 2018.

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi avaliar se uma sequência didática para o ensino de ondulatória, utilizando instrumentos musicais, estimule o pensamento crítico, a capacidade de abstração e a curiosidade epistemológica dos estudantes. Como metodologia de ensino foram utilizados os Três Momentos Pedagógicos de Delizoicov e Angotti. A pesquisa, de cunho qualitativo, foi realizada com estudantes do segundo ano do ensino médio em uma escola pública da rede estadual de ensino da cidade de Goiânia. Para a coleta de dados, as aulas foram gravadas em áudio e vídeo, posteriormente transcritas e analisadas. No desenvolvimento dos Três Momentos Pedagógicos, os estudantes puderam demonstrar se atingiram as qualificações do objetivo. Durante a problematização (primeiro momento) e na organização do conhecimento (segundo momento) os alunos conseguiram identificar fenômenos de seu cotidiano que envolviam a ondulatória, expondo suas dúvidas ou observações pessoais sobre o assunto. Foram utilizadas seis aulas para a realização da pesquisa, nas quais, as falas e discussões dos alunos foram analisadas. Nestas análises, pôde-se observar que vários foram os momentos em que os alunos demonstraram pensamento crítico, capacidade de abstração e curiosidade epistemológica, indicando que a dinâmica foi capaz de promover uma educação na perspectiva crítica, evitando, assim, uma alfabetização científica do tipo bancária.

Palavras-chave: Ensino com Instrumentos Musicais. Ensino de ondulatória. Três Momentos Pedagógicos. Educação crítica. Curiosidade epistemológica. Pensamento crítico. Capacidade de abstração.

ABSTRACT

The objective of this work was to evaluate if a didactic sequence for the teaching of wave, using musical instruments, stimulates the critical thinking, the capacity of abstraction and the epistemological curiosity of the students. As a teaching methodology, the Three Pedagogical Moments of Delizoicov and Angotti were used. The qualitative research was carried out with students of the second year of high school in a public school of the state education network of the city of Goiânia. For the data collection, the classes were recorded in audio and video, later transcribed and analyzed. In the development of the Three Pedagogical Moments, students were able to demonstrate if they achieved the qualifications of the goal. During the problematization (first moment) and in the organization of the knowledge (second moment) the students were able to identify phenomena of their daily life that involved the wave, exposing their doubts or personal observations on the subject. Six classes were used to carry out the research, in which the students' speeches and discussions were analyzed. In these analyzes, it was observed that there were several moments in which the students demonstrated critical thinking, abstraction capacity and epistemological curiosity, indicating that the dynamics was able to promote an education in the critical perspective, thus avoiding a scientific literacy of the type banking.

Key Words: Teaching with Musical Instruments. Wave education. Three Pedagogical Moments. Critical education. Epistemological curiosity. Critical thinking. Ability of abstraction.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	19
1 PRÁTICA EDUCACIONAL NA AÇÃO DIALÓGICA	23
1.1 O Ensino da Ondulatória.....	23
1.2 O Ensino com Instrumentos Musicais.....	24
1.3 A Extensão Epistemológica da Problemática.....	27
1.4 A Interpretação do Diálogo na Problemática.....	31
1.5 Os Três Momentos Pedagógicos.....	32
1.5.1 O Primeiro Momento Pedagógico	33
1.5.2 O Segundo Momento Pedagógico	35
1.5.3 O Terceiro Momento Pedagógico.....	36
2 METODOLOGIA DA PESQUISA	39
2.1 A Pesquisa Qualitativa	39
2.2 Os Sujeitos da Pesquisa.....	40
2.3 As Fases da Pesquisa.....	42
2.3.1 A Problemática Inicial.....	42
2.3.2 A Organização do Conhecimento.....	43
2.3.3 A Aplicação do Conhecimento.....	45
2.4 Os Instrumentos de Coleta de Dados.....	46
2.5 Análise dos Dados.....	46
3 RESULTADO E DISCUSSÕES	49
3.1 Análise dos Momentos Pedagógicos.....	49
3.2 Análise dos Tópicos Abordados.....	52
3.2.1 Tipos de ondas (Luz e Som).....	52
3.2.2 Amplitude e Frequência.....	58
3.2.3 Velocidade de propagação.....	64
3.2.4 Timbre.....	69
3.2.5 Difração.....	74
3.2.6 Eco e Reverberação.....	76
3.2.7 Ondas estacionárias.....	78
3.2.8 Ressonância.....	80
3.2.9 Batimento.....	89
3.2.10 Efeito Doppler.....	91
3.2.11 Efeito do Som	92
CONSIDERAÇÕES FINAIS	97
REFERÊNCIAS	101
APÊNDICES	
APÊNDICE A – TALE	105
APÊNDICE B – TCLE	107
APÊNDICE C – TCLE (Pais ou Responsáveis).....	109
APÊNDICE D – FÍSICA ONDULATÓRIA.....	111

INTRODUÇÃO

A maior parte de todo conhecimento que temos do mundo material chega até nós por meio da visão e da audição, considerados por muitos como nossos sentidos mais importantes. As informações são recebidas por meio de nossos olhos e ouvidos, sensibilizados por meio de sons e luzes, que são fenômenos ondulatórios produzidos por diferentes tipos de vibrações. Essas vibrações produzem movimentos diversos, chamados de ondas, que podem se propagar em todos os materiais (sólidos, líquidos e gasosos) e até mesmo no vácuo. Assim, o estudo dos fenômenos ondulatórios torna-se de suma importância para a humanidade.

A Física, por nos permitir conhecer e estudar as leis que regem os fenômenos naturais passíveis de serem examinados pela observação experimental, estuda esses fenômenos na parte denominada **ondulatória**. Essa parte da Física é responsável por estudar as características e propriedades em comum dos movimentos das ondas, ou seja, de qualquer perturbação (pulso) que se propaga em um meio.

Os conhecimentos de Física ondulatória são essenciais para um melhor entendimento dos fenômenos da natureza, tais como: o som, o eletromagnetismo e a óptica física, pois esses e muitos outros necessitam da abordagem ondulatória para que possam ser melhor compreendidos.

Por serem fenômenos presentes em diversas situações de nosso dia a dia, é importante seu estudo durante a formação inicial dos estudantes na educação básica, tanto que nos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN), documento elaborado pelo Ministério da Educação Brasileiro para auxiliar no desenvolvimento do currículo da escola e no trabalho das equipes escolares (BRASIL, 1998), os conceitos de ondulatória aparecem diversas vezes em temas diferentes: som e imagem, equipamentos elétricos e telecomunicações e no tema matéria e radiação (BRASIL, 2000).

Outra forma de percebermos a importância do assunto é que, no Exame Nacional do Ensino Médio (Enem), o número de questões relativas ao conteúdo “ondulatória” é significativo dentro da área “Ciências da Natureza e suas Tecnologias”, como pode-se observar na Tabela 1.

Tabela 1. Número de questões por conteúdo da Física nos Enem de 2009 a 2016

Conteúdo da Física	Nº de questões
Mecânica	64
Elettricidade e energia	52
Ondulatória	40
Termologia	36
Óptica	19

Fonte: <<https://abrilguiadoestudante.files.wordpress.com/2017/02/conteudos-enem.png?w=689&h=7179>>. Acesso em: 04 dez. 2017.

No entanto, muitas vezes sua abordagem no ensino médio não é realizada de forma satisfatória, pois muitos alunos saem sem saber seus conceitos básicos. Um dos motivos é que o tratamento dado no ensino médio a esses assuntos está muito aquém do necessário. Conforme afirmam Pacca e Utges (1999):

Esses modelos matemáticos que envolvem a Física ondulatória, devido ao seu nível de dificuldade, não podem certamente ser abordados de modo completo no ensino médio. (PACCA e UTGES, 1999, p.2).

Assim, a ondulatória é muitas vezes relegada a um segundo plano no ensino médio, não sendo abordada sob a justificativa de falta de tempo para “cumprir o programa”. Outro motivo é que as muitas mudanças ocorridas no ensino médio de nosso país, ao longo dos anos, fez o ensino da ciência ser penalizado por grande parte dessas mudanças.

Assim, pode-se perceber uma situação contraditória sobre o ensino de ondulatória no país. Por um lado é tido como importante de acordo com os PCN, com o ENEM e com os pesquisadores da área de ensino, por outro lado é deixado em segundo plano e, por vezes, nem abordado nas escolas de ensino médio.

Diante dos problemas enfrentados pelos alunos com relação aos conceitos de ondulatória (poucas aulas de Física, professores que não são da área, dificuldade na matemática utilizada etc.), surge a necessidade de uma proposta que contemple e ajude os alunos a se envolverem mais com o tema proposto. A partir de uma necessária aproximação com seu universo cultural, essa relação é de extrema importância para o seu desenvolvimento enquanto ser social, histórico e cultural.

Assim, a presente pesquisa surgiu mediante indagações pessoais acerca do ensino de ondulatória na disciplina Física, tais como: será que existe uma maneira diferente do ensino livresco e abstrato de ondulatória que utilize a reprodução prática dos fenômenos ondulatórios a serem estudados?

Assim, para tentar minimizar essas dificuldades de ensino aprendizagem e levar aos alunos uma estratégia para melhor compreenderem os fenômenos ondulatórios, pensamos no uso de instrumentos musicais para uma abordagem do assunto.

A justificativa disso é que dois anos antes de concluir minha graduação em Física pela Universidade Federal de Goiás em 2005, eu já lecionava em escolas públicas e privadas da cidade de Goiânia e a grande dificuldade dos alunos em compreender o assunto me levou a conduzi-los a decorar o máximo de fórmulas possíveis para apenas substituir os valores das variáveis. Acreditava que só assim conseguiria atingir um resultado satisfatório, levando-os a resolver o máximo de questões possíveis. Os anos foram passando e isso foi me incomodando cada vez mais, especialmente quando se tratava de ondulatória, pois a dificuldade dos alunos era ainda maior. Eles não conseguiam decorar as fórmulas e muito menos compreender os fenômenos estudados, devido ao grau de abstração.

Nesta época, eu já era músico e tocava na Banda Musical de Goiânia, e ao entrar na Banda Sinfônica do Estado Goiás em 2012 surgiu a ideia de utilizar instrumentos musicais na tentativa de buscar uma aproximação da ciência com a arte, estabelecendo, assim, uma relação prática no ensino dos fenômenos ondulatórios. Esse foi, então, o meu projeto de trabalho para o Mestrado. Para colocá-lo em prática, entrei em contato com o Centro de Estudo e Pesquisa Ciranda da Arte, órgão vinculado a Secretaria de Educação do Estado de Goiás, que tem a finalidade de proporcionar formação continuada aos professores, e solicitei o empréstimo de alguns instrumentos musicais para a realização de minha pesquisa. O meu pedido foi atendido e tive a oportunidade de utilizar alguns instrumentos da Banda Sinfônica.

O próximo passo foi a escolha de uma escola que contemplasse o ensino com uma proposta freireana. Entramos em contato com a direção do Colégio Estadual Murilo Braga, que fica a duas quadras da sede da Banda, e minha proposta foi muito bem aceita. A Diretora da Escola reiterou a aceitação, dizendo que: *“a nossa proposta da escola é essa mesmo, dialógica e os alunos gostam muito de música”*. Antes de iniciar a pesquisa, buscamos uma aproximação com os alunos da escola com a apresentação do professor Jhonatha Junio Lopes Costa, que ministrou uma aula relacionando os fenômenos físicos da ondulatória e a música. Assim, foi dado o passo inicial para a realização da pesquisa.

Antes de iniciarmos a pesquisa, a mesma foi submetida ao Comitê de Ética em Pesquisa da UFG, tendo sido aprovada. Somente demos início à mesma, após os responsáveis pelos alunos darem autorização nos termos de consentimento para que os menores pudessem dela participar.

Assim, a ideia fundamental da pesquisa era investigar a possibilidade da introdução de elementos da música e dos instrumentos musicais com o intuito de facilitar o aprendizado dos fenômenos ondulatórios e possibilitar a participação crítica dos alunos na discussão dos conceitos da acústica. Adotamos como metodologia de ensino os “Três Momentos Pedagógicos – TMP”, que consiste em uma estratégia didática desenvolvida por dois professores pesquisadores, Demétrio Delizoicov Neto e José André Peres Angotti, com o intuito de manter a filosofia da dialogicidade e da educação libertadora de Freire (2005).

Com tudo isso em mente, ao traçarmos os caminhos iniciais da pesquisa surgiu a seguinte dúvida: O uso de instrumentos musicais promove um ensino de ondulatória na perspectiva crítica? Em busca de respostas a essa pergunta, utilizamos, nas aulas ministradas, uma abordagem dialógica que colocasse em prática uma proposta pedagógica inspirada em Paulo Freire (2005), na qual a problematização, viabilizada pelos Três Momentos Pedagógicos de Delizoicov e Angotti (1994), fosse capaz de promover uma educação libertadora e não do tipo “bancária”.

Com isso, o objetivo geral da pesquisa é avaliar se a sequência didática proposta, utilizando instrumentos musicais para o ensino de ondulatória, estimule o pensamento crítico, a capacidade de abstração e a curiosidade epistemológica do estudante.

Na apresentação da pesquisa, seus caminhos e análises dos resultados, este trabalho foi subdividido em quatro partes. O primeiro capítulo é composto de uma síntese dos estudos relacionados ao tema gerador na abordagem de Paulo Freire (2005), por meio de uma educação dialógica e problematizadora, e os Três Momentos Pedagógico (DELIZOICOV, ANGOTTI, 1994). No segundo capítulo, apresentamos a metodologia da pesquisa. No terceiro capítulo, apresentamos os resultados e as análises da pesquisa. Finalizando esta dissertação, fazemos nossas considerações finais sobre a pesquisa. Nos apêndices, apresentamos um rápido estudo sobre a física ondulatória, com o intuito de darmos ideia da teoria abordada em sala de aula durante a pesquisa e, também, para que o leitor possa ter um material comparativo para analisar a qualidade das respostas dadas pelos alunos e das explicações do professor. Nos apêndices são apresentados, também, os termos de consentimento e assentimento autorizando a pesquisa.

1 PRÁTICA EDUCACIONAL NA AÇÃO DIALÓGICA

Neste capítulo, vamos tratar do ensino da ondulatória no Ensino Médio, o ensino utilizando instrumentos musicais e a educação dialógico-problematizadora.

1.1 O Ensino da Ondulatória

O conhecimento da ondulatória é de grande importância para entendermos diversos fenômenos da natureza, tais como o som, o eletromagnetismo e fenômenos ópticos. Mesmo presente em nosso cotidiano, os fenômenos ondulatórios no ensino médio são muitas vezes deixados em segundo plano ou não abordados como deveriam. Possivelmente, sua complexidade acarreta, na maioria das vezes, dificuldades, tanto para os alunos quanto para os professores, em relacionar esses fenômenos com a linguagem conceitual e matemática necessária para suas compreensões. Depara-se, na maioria das vezes, com uma prática muito comum, que é o ensino expositivo, onde o aluno quase sempre não consegue acompanhar o raciocínio do professor por não ter embasamento conceitual suficiente, permanecendo na posição de passividade (BORGES, 2002, p.1), memorizando fórmulas matemáticas para resolver exercícios e problemas sem ligação com sua realidade.

De acordo com Carvalho e Gil-Perez (1995, p.47), se o estudo da Física ficar limitado apenas às resoluções de exercícios do livro texto, ou resoluções de questões sem um devido questionamento e aprofundamento, poderá passar adiante uma visão deformada e empobrecida da atividade científica, diminuindo o interesse e dedicação dos estudantes, podendo se transformar em um obstáculo para a aprendizagem. Peduzzi (1987, p. 17) afirma que: *Se o estudo da Física ficar restrito à resolução de questões sem os devidos questionamentos conceituais e aprofundamento teórico corre-se o risco de que o estudante seja levado a um procedimento denominado Resolução Mecânica.*

Muitos professores defendem que essa forma de ensino deve ser substituída por um ensino que provoque e envolva o aluno de maneira ativa em sua aprendizagem, ao invés de dificultar a capacidade do indivíduo de criar e refletir seu próprio aprendizado. Assim, o grande desafio atual está ligado às transformações que a educação escolar necessita passar, alguns saberes e práticas habituais já apresentam sinais de fadiga, por causa da sua exaustiva aplicação e ineficácia de resultados.

Dentro de um contexto pedagógico, é importante que teoria e prática caminhem juntas no sentido de proporcionar momentos valiosos no processo de ensino aprendizagem.

Delizoicov e Angotti (1994) consideram mais harmonioso um trabalho experimental que dê margem a discussão e interpretação de resultados obtidos, com o professor atuando no sentido de apresentar e desenvolver conceitos, leis e teorias envolvidas na experimentação. Dessa forma, o professor desempenhará o papel de orientador crítico da aprendizagem, distanciando-se de uma postura autoritária e dogmática no ensino e possibilitando que os alunos venham a ter uma visão mais clara do trabalho em ciências.

A atividade prática utilizada no ensino de ciências, além de despertar um grande interesse nos alunos, pode proporcionar uma situação de investigação, envolvendo o aluno em sua própria descoberta. Segundo Delizoicov e Angotti (1994), na aprendizagem de ciências naturais, as atividades experimentais devem ser garantidas de modo a evitar que a relação teoria-prática ou práxis pedagógica seja transformada numa dicotomia. Notamos que muitas vezes acontece certo distanciamento entre a teoria e a prática, onde a sala de aula parece distanciar o aluno de sua realidade e isso vem reforçando ainda mais esse confronto.

Aguçar a curiosidade dos estudantes pela aprendizagem de Física por meio de estratégias de ensino que aproxime o aluno dos conteúdos curriculares de Física em especial a ondulatória, relacionando ao seu universo cultural, torna-se um grande desafio. É de grande importância que o professor leve para sala de aula recursos que estimulem a participação dos alunos e ao mesmo tempo em que despertem a curiosidade levando-os a participar da aula promovendo uma discussão crítica dos fenômenos apresentados.

Segundo Gaspar (2001, p. 75), o som tem todas as propriedades que caracterizam qualquer propagação ondulatória, embora as ondas sonoras não sejam visíveis. Possui as características das ondas mecânicas, pois além de governado pelas leis de Newton, necessita de um meio físico para se propagar, tais como o ar, a água, uma corda esticada ou uma haste de aço. Assim, partindo do pressuposto de que é a partir de problemas que a Ciência se estabelece, a forma mais comum de introduzir o estudo dos fenômenos ondulatórios é a partir do estudo do som.

1.2 O Ensino com Instrumentos Musicais.

A compreensão de fenômenos e seus respectivos conceitos relacionados à ciência, em sua grande maioria, exige do estudante um entendimento, tanto teórico quanto experimental, das leis e teorias gerais que envolvem a Física. As aulas de ciências, quando há utilização de experimentos ou atividades com apresentação de fenômenos, são cercadas de muitas expectativas e interesse por parte dos alunos. Existe uma motivação natural por aulas

dirigidas a enfrentar desafios e a investigar diversos aspectos da natureza, nos quais o aluno tem naturalmente grande interesse (BIZZO, 2002).

Considerando uma metodologia que envolva tanto a teoria quanto a prática dentro do ensino da ondulatória, direcionamos a atenção para a relação entre esta e os instrumentos musicais, particularmente com a acústica, no sentido de poder explorar diversos conceitos importantes, tais como a frequência, a amplitude e ondas e seus fenômenos em geral, a fim de buscar uma interação interdisciplinar no processo de ensino aprendizagem.

Fazendo um levantamento de trabalhos relacionados à Física no estudo de ondulatória utilizando instrumentos musicais, percebemos que são poucos estudos na área de ensino de acústica que trazem propostas de aplicação de instrumentos musicais para o ensino em sala de aula. A maioria desses trabalhos prioriza uma abordagem matemática mais avançada e ao mesmo tempo revela o potencial pedagógico do assunto e a riqueza de conceitos físicos que podem ser trabalhados, tais como: frequência, amplitude, timbre, etc. Alguns desses trabalhos são descritos ligeiramente a seguir.

Trentin (2006), na intenção de contribuir para o ensino de acústica, trazendo subsídios ao professor do ensino médio, utiliza instrumentos musicais como recurso didático no ensino de acústica. O autor constata que os alunos estabelecem uma relação com os fatos do cotidiano, revelando que se por um lado a acústica é atraente para as pessoas, por outro lado a sua compreensão nem sempre é fácil.

Gotto (2009) examina a relação entre a Física, a Matemática e a Música, destacando as escalas musicais e os conceitos de consonância, estabelecendo-se uma relação entre suas frequências fundamentais.

Krummenauer, Pasqualetto e Costa (2009) apresentam em seu trabalho uma abordagem dos conteúdos de Física por meio de conceitos prévios dos educandos, utilizando os instrumentos musicais como motivação para o estudo da acústica.

Santos, Molina e Tufaile (2013) utilizam violão e guitarra em sala de aula para elucidar conceitos relacionados a ondas e acústica.

Coelho e Machado (2015) tratam de uma oficina para formação docente complementar oferecida a alunos do curso de Física da PUCRS para montagem de móveis, feitos de tubos de alumínio de diferentes comprimentos, na busca da caracterização de sons e abordagem dos princípios físicos envolvidos nos fenômenos acústicos.

Lago (2015), em seu artigo, apresenta uma abordagem baseada na utilização da música e recursos tecnológicos para esclarecer alguns conceitos de Física ondulatória. Explora o interesse dos alunos por instrumentos musicais com uma guitarra elétrica e um

computador para processamento do sinal, ilustrando as propriedades sonoras e as características do som.

Em todos os trabalhos citados, os autores destacam que a utilização de instrumentos musicais e recursos diversos para o ensino de Física é muito importante para auxiliar no processo de aprendizagem por parte dos alunos, garantindo que levar um instrumento musical para a sala de aula torna o aprendizado mais dinâmico e ajuda a consolidar a teoria.

Os instrumentos musicais representam uma boa ferramenta para que o aluno estabeleça uma melhor relação entre a teoria e a prática e proporcione a ele condições para levantar suas dúvidas e questionamentos sobre os fenômenos científicos que ocorrem no seu universo cultural. Porém, Bizzo (2002) argumenta que:

[...] o experimento, por si só não garante a aprendizagem, pois não é suficiente para modificar a forma de pensar dos alunos, o que exige acompanhamento constante do professor, que deve pesquisar quais são as explicações apresentadas pelos alunos para os resultados encontrados e propor se necessário, uma nova situação de desafio (BIZZO, 2002, p.75).

É nesse caminho que Freire (2005) destaca a importância da dialogicidade, concebendo o diálogo entre educador e educando como o aspecto fundamental para a problematização das contradições sociais vividas pelo educando. E nessa perspectiva de ensino, o problema deixa de ser apenas uma ação criada pelo professor e passa a fazer parte de um processo de construção, compartilhado com os estudantes.

Portanto, é de fundamental importância que os conteúdos sejam problematizados em um processo dinâmico e dialógico, envolvendo os temas e a realidade de vida da comunidade, na busca de soluções práticas por meio de uma análise crítica dessa realidade.

A experiência de vida do estudante é o ponto de partida da educação problematizadora, que o considera num realidade passível de ser conhecida e modificada, realizada com o aluno e não sobre o aluno. Por isso, o diálogo, segundo Delizoicov (1982, p.21), deve encontrar-se constantemente na educação problematizadora, no sentido de extrair do aluno a visão da realidade que a comunidade apresenta e buscar com o diálogo, na situação da sala de aula, elementos para problematizar os conteúdos programáticos com os alunos. Segundo o autor,

O que se pretende com o diálogo, em qualquer hipótese, é a problematização do próprio conhecimento em sua indiscutível relação com a realidade concreta da qual se gera e sobre a qual incide, para melhor compreendê-la, explicá-la, transformá-la, [...] (DELIZOICOV, 1982, p.22).

Assim, as ideias que nortearam esse trabalho partiram de uma proposta pedagógica inspirada em Paulo Freire, na qual o ensino de Ciências reunisse não só elementos para motivação, mas também apresentasse como um de seus objetivos a compreensão prática do mundo físico e tecnológico em que o estudante vive, e a utilização dos momentos pedagógicos de Delizoicov e Angotti (1994), enquanto parte estruturante das atividades escolares, por permitir a problematização dos conhecimentos tanto os prevalentes dos alunos quanto os universais sistematizados. Os momentos pedagógicos de Delizoicov e Angotti serão abordados em próximos tópicos.

1.3 A Extensão Epistemológica da Problematização

Delizoicov (1982, p.6) destaca que a condição necessária para que o aluno participe efetivamente do diálogo é que se parta daquilo que seja familiar a ele, colocando os alunos cada vez mais próximos das reais necessidades. E uma das formas de articular o conhecimento que se quer tornar disponível com a realidade dos alunos e os fatores ligados diretamente à aprendizagem é por meio do diálogo, de modo que as situações significativas envolvidas e as discussões em torno do conteúdo programático tratado possam gerar a inclusão de outros temas de estudo.

A preocupação que se tem, quanto ao conteúdo programático de ondulatória, é que se passe a adotar uma abordagem de ensino ainda mais alienante, negando a prática dos pressupostos básicos da educação problematizadora, destacada por Delizoicov (1982, p. 28), que são: a criticidade, a dialogicidade e a intervenção transformadora. Porém, levando em consideração que há uma seleção crítica e certa ordem de prioridade no desenvolvimento deste conteúdo, o educador não pode fugir da responsabilidade de informar.

As teorias do conhecimento apresentam sentidos diferentes ao *sujeito do conhecimento* (àquele que conhece) e ao *objeto do conhecimento* (àquilo que se quer conhecer). Alguns autores como Karl Popper (1902 – 1994), Gaston Bachelard (1884 – 1962), Thomas Kuhn (1922 – 1996) propõem diferentes modelos e teorias para compreender os caminhos da ciência, mais direcionados a uma compreensão atual da mesma. Admite-se tanto a participação do sujeito quanto do objeto na gênese do conhecimento, afastando cada vez mais da visão clássica, conforme defendia o Círculo de Viena, no qual um grupo de estudiosos defendia uma concepção puramente empirista da ciência, afirmando que “todo conhecimento possível pode ser obtido por intermédio da lógica”, destacando que essa

concepção racionalista ou empirista não se sustenta, enquanto base para compreensão do problema do conhecimento.

Delizoicov, Angotti e Pernambuco (2011) destacam Kuhn (1975) pela introdução e uso do termo paradigma (modelo, padrão de conjugação verbal), no qual argumenta que no desenvolvimento da ciência ocorrem rupturas desses modelos, considerado por ele como sendo uma “revolução científica”, onde os novos padrões científicos aceitos são compartilhados pelas comunidades científica, cuja característica mais marcante é a mudança na visão de mundo, evoluindo mediante a solução de problemas.

As teorias epistemológicas contemporâneas, cuja alegação é a de que o conhecimento tem sua origem na *interação não neutra entre o sujeito e objeto*, é que podem fundamentar de maneira mais consistente uma análise epistemológica. Levando em consideração essa premissa, ainda que o conhecimento a ser trabalhado no ensino médio esteja relacionado ao já produzido, que são tidos como conteúdos programáticos escolares, faz-se necessário uma base epistemológica para compreensão também dessa relação dos alunos e professores com o conhecimento para o processo de apropriação.

Em relação ao ensino de ciências, os autores sinalizam que:

O fato de o aluno conviver e interagir com fenômenos que são objetos de estudo dessas Ciências para além dos muros da escola, quer diretamente quer por relações mediatizadas, desautoriza a suposição de que uma compreensão deles seja obtida apenas por sua abordagem na sala de aula com os modelos e teorias científicas. (DELIZOICOV, ANGOTTI e PERNAMBUCO, 2011, p.183).

Desta forma, tanto na produção do conhecimento científico como naquela que origina o conhecimento do senso comum, que o aluno já está demonstrando, decorrente da interação dentro ou fora da escola, é fundamental evidenciar as opiniões advindas das concepções do sujeito e de objeto norteadores das análises epistemológicas que supõem a interação como gênese do conhecimento. Freire (2001) identifica uma curiosidade inerente ao estudante que se transforma em “curiosidade epistemológica” à medida que ele analise criticamente a necessidade do conhecimento.

Quanto mais criticamente se exerça a capacidade de aprender, tanto mais se constrói e desenvolve o que venho chamando “curiosidade epistemológica”, sem a qual não alcançamos o conhecimento cabal do objeto. (FREIRE, 2001, p.27).

Nesse sentido, é fundamental que a atuação do professor seja questionada e desafiada em diversas situações, onde o mesmo se dedique a planejar e organizar a atividade de aprendizagem do aluno por intermédio de interações que apresente ao mesmo uma significação.

[...] mediante *interações adequadas*, de modo que lhe possibilite a apropriação de conhecimentos científicos, considerando tanto seu produto – isto é, conceitos, modelos teorias – quanto a dimensão processual de sua produção (DELIZOICOV, ANGOTTI, PERNAMBUCO, 2011, p.184).

Tanto na teoria do conhecimento quanto na da aprendizagem, os problemas não são aplicações, eles surgem à medida que o aluno estabelece relação com seu meio físico e social, e vão sendo construídos juntamente com a teoria, conforme o aluno sinta necessidade e curiosidade de buscar soluções para tais problemas.

Paulo Freire (2005) ao defender um ensino que valorize o homem, no qual o conhecimento é algo a ser construído na coletividade, corrobora com uma pedagogia que liberta os marginalizados de sua condição de explorado e alienado, para que estes possam se comunicar, agir e pensar.

Delizoicov (2001) defende a problematização de conceitos e práticas como eixo estruturador da atividade docente, na qual a discussão para se gerar fatos novos se caracteriza como objeto das ciências naturais e sociais, propondo novas formas de organização curricular no ensino de Física, em rumo a uma “*educação como prática da liberdade*” (FREIRE, 2005).

O estudante chega à escola com conhecimentos experimentalmente já construídos, produto de sua interação com o mundo em seu dia a dia, e esse aprendizado que o mesmo receberá, especialmente na aula de Física, não se limita em apenas adquirir uma cultura experimental, mas de mudar de cultura superando os obstáculos já amontoados pela vida cotidiana.

Primeiramente é necessário reconhecer que as dificuldades apresentadas são problemas a serem superados e que o conhecimento acontece a partir da busca de soluções para os tais problemas. Nesse sentido que ao aguçar a curiosidade surge a aprendizagem.

A proposta de uma situação problematizadora, além de estar relacionada com a teoria da construção do conhecimento, é de extrema importância, pois é uma das semelhanças que o ensino por investigação tem com as investigações realizadas por cientistas.

Delizoicov (2001) afirma que a preocupação dos educadores não deveria ser só a solução do problema e sim a formação do pensamento científico, por meio de um trabalho pedagogicamente analisado e pensado de acordo com as necessidades da comunidade. Deste modo, é tarefa do educador obter o conhecimento vulgar do educando e não apenas saber que ele existe.

O professor nessa perspectiva assume um papel essencial na elaboração de situações, ajudando os alunos buscarem naquilo que já sabem elementos para desvendar aquilo que ainda não aprenderam.

Além de outros temas como métodos de alfabetização e desenvolvimento da língua escrita nos adultos, Paulo Freire se preocupou com as relações entre professor e aluno e com a formação para consciência crítica. Para o autor, o pensamento crítico envolve um juízo intencional, no sentido de refletir sobre em que se deve crer, ligado à definição do conteúdo e do valor do objeto da observação. Um julgamento propositado e reflexivo sobre o que acreditar ou o que fazer em resposta a uma observação ou experiência vivida.

Para pensar criticamente é necessário estimular o ato reflexivo, o que significa desenvolver a capacidade de observação, análise, crítica, autonomia de pensar e de ideias, ampliar os horizontes, tornar-se agente ativo nas transformações da sociedade, buscar interagir com a realidade (SORDI; BAGNATO, 1998).

Freire (2001, p.28) declara que o professor em sua prática docente deve reforçar a capacidade crítica do aluno, sua curiosidade, sua insubmissão, e reitera dizendo que é tarefa do professor não apenas ensinar os conteúdos, mas também ensinar a pensar certo.

Pensar certo, do ponto de vista do professor, tanto implica o respeito ao senso comum no processo de sua necessária superação quanto o respeito e o estímulo à capacidade criadora do educando. (FREIRE, 2001, p.31)

O avanço da ingenuidade para curiosidade epistemológica não se dá de forma inconsciente, a curiosidade humana vem sendo socialmente construída e reconstruída ao longo da história e uma das tarefas essenciais da prática educativa é exatamente o desenvolvimento da curiosidade crítica ou pensamento crítico.

Freire (2001) destaca que aprender criticamente é possível, e para que essa condição aconteça, exige a presença de educadores e de educandos criadores, instigadores, inquietos, rigorosamente curiosos, humildes e persistentes.

Faz parte das condições em que aprender criticamente é possível a pressuposição por parte dos educando de que o educador já teve ou continua tendo experiência da produção de certos saberes e que estes não podem a eles, os educandos, ser simplesmente transferidos. (FREIRE, 2001, p.28)

Nesse processo do pensamento surge a capacidade de abstração, onde as ideias são distanciadas dos objetos, permitindo ao aluno ser capaz de identificar nos conteúdos científicos estudados por intermédio das atividades práticas, elementos que estejam em sintonia com sua realidade fazendo, assim, uma conexão com seu cotidiano.

1.4 Interpretação do Diálogo na Problemática.

Para um ensino baseado na problematização, proposto por Freire (2005), faz-se necessária certa reestruturação dos conteúdos programáticos trabalhados pelo professor, pois é preciso que temas abordados estejam em sintonia com as situações significativas em que vivem os estudantes. Por isso, a importância do diálogo e de conhecer a necessidade do aluno por parte dos professores (DELIZOICOV, ANGOTTI, PERNAMBUCO, 2011):

Antes de tudo, é preciso conhecê-la! Todavia, não somente enquanto categoria de análise, uma vez que é com base no que seja explicitado pela “fala” do aluno que uma “psicanálise” de seu conhecimento poderá ser realizada. (DELIZOICOV, ANGOTTI, PERNAMBUCO, 2011, p.192)

Os educadores Paulo Freire e George Snyders, analisados por Delizoicov, Angotti e Pernambuco (2011), apresentam uma maneira de ensinar cuja lógica de organização seja estruturada com base em temas, que consiste numa abordagem temática que permite a ocorrência de rupturas durante a formação dos alunos e revelam que quando se leva em conta, explicitamente, na programação e no planejamento didático-pedagógico, duas categorias do conhecimento apresentam: o científico e o do senso comum, onde esta última aparece com bastante intensidade ligada ao conhecimento prévio do aluno.

É a apreensão do significado e interpretação dos temas por parte dos alunos que precisa estar garantida no processo didático-pedagógico, para que os significados e interpretações dos dados possam ser problematizados. (DELIZOICOV, ANGOTTI, PERNAMBUCO, 2011, p.150)

Na perspectiva de uma educação dialógica, como a proposta por Freire, os significados e interpretações dos temas pelos alunos devem ser ligados ao significado do professor que também precisa fazer-se presente no processo educativo.

Deve-se ter em mente que realizar o diálogo não deve ser confundido com uma simples conversa entre aluno e professor, mas sim a apreensão mútua dos distintos conhecimentos e práticas que os sujeitos têm.

Para que o aluno incorpore a visão de mundo da ciência, segundo Freire (2001), deve se tornar crítico, visando uma tomada de consciência. Ao direcionar a atenção aos conteúdos da escolarização formal, enfatizando que os símbolos e suas relações gramaticais expõem o modo pelo qual apresenta uma interação dialógica com os seres humanos, propõe-se uma solução educacional dialógico-problematizadora.

De acordo com as abordagens de Paulo Freire (2005), percebe-se uma forte valorização do diálogo como importante instrumento na constituição dos sujeitos, onde o diálogo só comunica quando os envolvidos se ligam com amor, humildade, esperança, estabelecendo uma relação de simpatia entre ambos, fazendo-se críticos na busca de algo. Para Freire (2001), o papel do educador não é falar aos educandos sobre uma visão de mundo, ou mesmo tentar impô-la, mas dialogar com eles sobre ela.

Ao citar Paulo Freire, Angotti (1982) afirma que:

[...] uma educação só pode ser problematizadora quando é caracterizada na relação professor com o aluno (podemos dizer na interação professor-aluno) (ANGOTTI, 1982, p. 30).

Segundo Zabalza (2015, p.16), ao problematizar e analisar as situações da prática social de ensinar, o professor desfruta o conhecimento elaborado das ciências, das artes, da filosofia, da pedagogia e das ciências da educação como ferramenta para a compreensão e a proposição do real.

Tendo como ponto de partida as situações reais, atuais, concretas e refletindo desejos da comunidade, o conteúdo programático deve ser organizado e compreendido como resultado da práxis educativa, através da qual o indivíduo torna-se capaz de modificar sua realidade (GADOTTI, 1991).

Na prática problematizadora, o educador busca o conteúdo programático da educação não como uma imposição, e sim como uma troca de saberes organizados e sistematizados, em que o indivíduo passa a ser capaz de transformar sua realidade. Freire (2001) considera que existe uma necessidade espontânea de aquisição de conhecimentos, mas confere ao professor a incumbência de fazer surgir no aluno a “curiosidade epistemológica”, uma curiosidade orientada que vai além da predisposição espontânea.

1.5 Os Três Momentos Pedagógicos – TMP

Segundo Ferrari (2008), na experiência com a educação científica em Guiné-Bissau, a solução encontrada por Delizoicov e Angotti (1982) foi a adoção de um “roteiro pedagógico”, uma metodologia que se consagrou como os “Três Momentos Pedagógicos”, denominados problematização inicial, organização do conhecimento e aplicação do conhecimento. Originalmente essa metodologia foi proposta como desdobramento da educação problematizadora aplicada à construção de um currículo de educação científica. Na

concepção curricular, Delizoicov e Angotti (1982) sinalizam por temas geradores sempre em sintonia com a perspectiva freireana da educação.

A nosso ver, ela pode também ser aplicada situações típicas de ensino que não envolvam a alfabetização de adultos, ou cursos de treinamento pós-alfabetização. O que fizemos foi uma tentativa de concretizá-la no âmbito da educação formal e no ensino de ciências. (ANGOTTI, 1982, p.28)

Atualmente, os “Três Momentos Pedagógico” são utilizados na introdução de tópicos de Ciências já considerados significativos para os estudantes, onde novos referenciais teóricos a essa metodologia foram agregadas, e que hoje é realizada independentemente de ter sido realizada a investigação temática nos moldes propostos por Freire.

1.5.1 O Primeiro Momento Pedagógico

Na Problemática Inicial são apresentadas situações reais, que possam fazer parte do universo temático dos estudantes, para serem discutidas com os alunos. Segundo Delizoicov, Angotti (1994), nesse momento são apresentadas questões e/ou situações para discussões, cuja finalidade além de uma simples motivação para se introduzir um conteúdo específico, é fazer a ligação desse conteúdo com situações reais que os alunos conhecem e presenciam em seu cotidiano, para as quais provavelmente eles não possuem conhecimentos científicos suficientes para interpretar total ou corretamente.

A problematização poderá ocorrer pelo menos em dois sentidos. De um lado, pode ser que o aluno já tenha noções sobre as questões colocadas, fruto da sua aprendizagem anterior, na escola ou fora dela. Suas noções poderão estar ou não de acordo com as teorias e a explicações das Ciências, caracterizando o que se tem chamado de “concepções alternativas” ou “conceitos intuitivos” dos alunos (DELIZOICOV, ANGOTTI, 1994, p.54).

A problematização poderá provocar no aluno a necessidade de adquirir outros conhecimentos que ainda não tem, ou seja, coloca-se para ele um problema para ser resolvido. É nesse sentido que as questões e situações devem ser problematizadas, com o professor mantendo uma postura de diálogo, despertando a curiosidade, lançando dúvidas sem fornecer respostas.

Neste primeiro momento, caracterizado pela compreensão e apreensão da posição dos alunos frente ao assunto, é desejável que a postura do professor seja mais de questionar e lançar dúvidas do que de responder e fornecer explicações (DELIZOICOV, ANGOTTI, 1994, p.29).

A partir destas situações reais é feita a problematização do conhecimento dos estudantes, que vão expondo suas concepções com a coordenação do professor, que instiga a participação dos mesmos por meio de constantes questionamentos. Busca-se que o estudante sinta que são necessários novos conhecimentos, que ele não possui, para se obter respostas para a problematização.

Dessa forma, os problemas não são “aplicações da teoria”, mas vão sendo construídos juntamente com a teoria, pois é pela curiosidade de buscar soluções para tais problemas que a teoria irá sendo desenvolvida.

Na perspectiva de ensino de Física em uma perspectiva problematizadora, fundamentado em Freire (2005), é que o problema deve ser compreendido como uma condição para aquisição de conhecimento, além de possuir um caráter social de abertura de diálogo com os estudantes, não só para identificar possíveis concepções resistentes, mas também para conscientizá-los da necessidade de apropriação de conhecimentos científicos para o exercício da cidadania. Segundo o autor:

O que se pretende com o diálogo, em qualquer hipótese (seja em torno de um conhecimento científico e técnico, seja de um conhecimento “experencial”), é a problematização do próprio conhecimento em sua indiscutível relação com a realidade concreta na qual se gera e sobre a qual incide, para melhor compreendê-la, explicá-la, transformá-la. (FREIRE, 2005, p. 52).

Ao discutir os saberes necessários a uma prática educativa, Freire (2001) identifica uma curiosidade inerente ao estudante que se transforma em “curiosidade epistemológica” à medida que ele analisa criticamente a necessidade do conhecimento.

Tais situações devem-se relacionar com o tema e com os conteúdos que serão trabalhados por eles. A partir destas situações reais o professor irá instigar a participação dos alunos, por meio de constantes questionamentos, com o intuito de observar e compreender a visão de cada um a respeito do tema em questão. Nesse sentido os alunos vão expondo suas concepções com a ajuda do professor que tem o papel de levantar e estimular mais questionamentos sobre o tema.

[...] fomentar a discussão das distintas respostas dos alunos – e lançar dúvidas sobre o assunto do que em responder ou fornecer explicações. (DELIZOICOV, ANGOTTI, PERNAMBUCO, 2011, p. 200)

É nesse momento que são estabelecidas as codificações (fazendo uma mediação entre o contexto concreto e o teórico), pois segundo Delizoicov (1982, p.142), tudo o que for dito, é o aluno que dirá, para que a solução do problema se manifeste da necessidade de quem

procura decifrá-lo, onde o papel do professor é apresentar questões iniciais dentro da realidade dos alunos, e estimulá-los, ouvi-los e desafiá-los a novos questionamentos.

A discussão problematizada pode possibilitar que essas concepções surjam a partir da necessidade do aluno.

De outro lado, a problematização poderá permitir que o aluno sinta necessidade de adquirir outros conhecimentos que ainda não detém; ou seja, coloca-se para ele um *problema* para ser resolvido. Eis por que as questões e situações devem ser problematizadas (DELIZOICOV, ANGOTTI, 1994, p.54).

O professor juntamente com os alunos, poderão formular outras questões mais adequadas ao interesse da localidade, além das já sugeridas nesse primeiro momento pedagógico.

1.5.2 O Segundo Momento Pedagógico

O segundo momento se inicia com o fim de alguns questionamentos iniciais. Nesse instante o professor começa a decodificar o tema, partindo para a organização do conhecimento. Agora os conteúdos essenciais para a solução dos problemas apontados na problematização inicial serão trabalhados, exigindo uma maior participação do professor, pois este deve fazer com que os alunos ultrapassem a visão limitada do senso comum, superando as dificuldades que o tema exige. Para Delizoicov e Angotti (1994),

O conhecimento em Ciências Naturais necessários para a compreensão do tema e da problematização inicial será sistematicamente estudado sob orientação do professor. Serão desenvolvidas definições, conceitos e relações. (DELIZOICOV, ANGOTTI, 1994, p.55)

O diálogo permanece presente, quando os conceitos são discutidos. Na busca de relacioná-los aos problemas levantados o estudante constrói relações com seus próprios conhecimentos, tendo possibilidade de compreender outras concepções sobre as questões levantadas na problematização inicial.

Ao iniciar o segundo momento, inicia-se também um estudo organizado do conteúdo programático com o qual a "estrutura profunda" da codificação pode ser apreendida. É o momento de análise dos fatos procurando superar a visão ideológica e eminentemente descritiva, até então revelada. Para Delizoicov (1982),

O questionamento que o professor passa a fazer dá-se em observações sistemáticas do meio e/ou em experimentos relacionados diretamente com os fenômenos e é dirigido para a compreensão do processo de transformação envolvido (a "estrutura profunda" da codificação) (DELIZOICOV, 1982, p.150).

Do ponto de vista metodológico, neste momento de organização do conhecimento admitem-se as mais variadas atividades, como: exposições de definições e propriedades, formulação de questões, texto previamente preparado e impresso, trabalhos extraclasse, experiências ou demonstrações práticas, etc. Para o autor,

Durante a problematização em torno das "codificações auxiliares" (as observações de fatos e/ou os experimentos), o professor irá definindo, conceituando, enfim obtendo e fornecendo as informações que delas possam ser abstraídas (DELIZOICOV, 1982, p.150).

No decorrer do estudo mais sistematizado, seus conhecimentos novos ultrapassam e/ou se juntam os já ditos conhecimentos anteriores, e é nesse instante que o estudante se prepara para o seguinte momento.

1.5.3 O Terceiro Momento Pedagógico

Nesse momento é constatado se o aluno consegue aplicar o que aprendeu em diferentes contextos e situações, mesmo não estando ligado aos fundamentos apresentados de início, mas possibilita estender seu conhecimento para novos temas de estudo, desfrutando do que foi adquirido no segundo momento para entender a sua realidade. Para Delizoicov e Angorri (1994), o terceiro momento:

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. (DELIZOICOV, ANGOTTI, 1994, p.55)

Diversas atividade devem ser desenvolvidas, buscando certas generalizações com os conceitos apresentados anteriormente, quando o estudante vai percebendo que o conhecimento, além de ser uma construção historicamente determinada, está disponível e deve ser apreendido. Assim,

A meta pretendida com este momento é muito mais a de capacitar os alunos ao emprego dos conhecimentos, no intuito de formá-los para que articulem, constante e rotineiramente, a conceituação científica com situações reais, do que simplesmente encontrar uma solução ao empregar algoritmos matemáticos que relacionam grandezas ou resolver qualquer outro problema típico dos livros textos (DELIZOICOV, ANGOTTI, PERNAMBUCO, 2011, p.202).

A criação de novos questionamentos se tornam mais comuns nesse momento, e a conceituação envolvida ganha destaque em relação ao aparato matemático disponível para enfrentar essa classe de problemas. Neste momento, o aluno vai desconstruindo noções ingênuas sobre determinado tema, elaborando opiniões sobre os conceitos científicos mais contextualizadas. Para os autores,

Independente do emprego do aparato matemático disponível para enfrentar essa classe de problemas, a identificação e emprego da conceituação envolvida – ou seja, o suporte teórico fornecido pela ciência – é que estão em pauta neste momento. [DELIZOICOV, ANGOTTI, PERNAMBUCO, 2011, p.202)

De acordo com Delizoicov, (1982, p.149), o fato de determinar primeiro, segundo ou terceiro momento, não significa que exista uma compartimentação estanque ao se desenvolver um determinado tópico do conteúdo programáticos, pois os momentos se integram entre si.

2 METODOLOGIA DA PESQUISA

Para realização desta pesquisa, foram adotados critérios de observação crítica e análise condizente com a modalidade de Pesquisa Qualitativa (TRIVIÑOS, 2009).

2.1 A Pesquisa Qualitativa

Nesta pesquisa, optamos por uma metodologia na qual a qualidade da resposta do sujeito é o dado principal da pesquisa. Segundo Bogdan e Biklen (1994), a investigação qualitativa possui cinco características:

1ª característica: Na investigação qualitativa a fonte direta de dados é dada pelo ambiente natural, em que o investigador é instrumento principal (BOGDAN e BIKLEN, 1994, p.47).

Nossa pesquisa se dá na escola, local em que as pessoas do campo de pesquisa estão inseridas, e onde o pesquisador vai atuar sendo o instrumento principal na busca de esclarecer as questões educacionais.

2ª característica: A investigação qualitativa é descritiva, onde o conjunto de informações é formado por palavras ou imagens e não de números. (BOGDAN e BIKLEN, 1994, p.48).

Segundo os autores, os dados podem constituir de transcrições de entrevistas, notas de campo, fotografias, vídeos, documentos pessoais, memorandos e outros registros oficiais. A análise e o respeito que o investigador tem com os dados e a maneira com que foram registrados fazem com que a descrição tenha um importante papel para pesquisa qualitativa.

3ª característica: Os investigadores qualitativos interessam-se mais pelo processo do que simplesmente pelos resultados ou produtos. (BOGDAN e BIKLEN, 1994, p.49).

O caminho da pesquisa é considerada por muitos investigadores, como uma das principais características da pesquisa qualitativa. As estratégias qualitativas revelaram o modo como as expectativas se traduzem nas atividades, procedimentos e interações diárias.

4ª característica: Os investigadores qualitativos tendem a analisar os seus dados de forma indutiva. (BOGDAN e BIKLEN, 1994, p.50).

É impossível prever tudo antecipadamente, pois o objeto de estudo não é confirmar hipóteses previamente e sim, durante a construção e análise dos dados.

5ª característica: O significado é de importância vital na abordagem qualitativa. (BOGDAN e BIKLEN, 1994, p.50).

Por isso o diálogo entre investigador e sujeito tem um enorme valor para pesquisa. Por meio desse tipo de abordagem de questionar continuamente que os investigadores em educação descobrem o modo como diferentes pessoas interpretam certos significados.

2.2 Os sujeitos da pesquisa

O público alvo da pesquisa foram alunos entre 16 a 18 anos de idade, do segundo ano do Ensino Médio do Colégio Estadual Murilo Braga, situado na Rua 200, número 743, Vila Nova, na cidade de Goiânia-GO. Por ser professor de Física da rede estadual de ensino, a escolha da escola se deu primeiro por ser uma escola Estadual e por ela compactuar com a proposta de trabalho voltada para as ideias de Paulo Freire, e segundo pela localização, pois a escola está localizada a duas quadras da Banda Sinfônica do Estado de Goiás, da qual participo como músico clarinetista. Os instrumentos musicais foram todos cedidos pela Banda Sinfônica vinculada ao Projeto de Pesquisa Ciranda da Arte do Governo de Goiás. A vivência com a musicalização associada à prática de ensinar Física foi o facilitador na escolha e utilização dos instrumentos musicais em sala de aula. Optamos por trabalhar com três turmas, que em média eram compostas de 30 alunos cada. A pesquisa foi realizada com o apoio da professora de Física da turma a qual colaborou de forma ativa.

A Escola foi contatada pelo pesquisador no início do ano letivo de 2017 e tanto a direção quanto a professora regente das turmas colaboraram com a pesquisa e forneceram todas as condições para tal. A pesquisa foi realizada durante o ano de 2017, sendo que o primeiro contato foi com a Direção e Coordenação da Escola, ainda no primeiro semestre, que autorizaram sua realização. Em seguida, ocorreu o contato com a professora regente para realizar o planejamento dos melhores caminhos para a pesquisa de acordo com seu trabalho e com o perfil dos alunos. O Projeto foi submetido ao Comitê de Ética em Pesquisa (CEP) da UFG, tendo sido aprovado. Após essa aprovação, foi feito um primeiro contato com os alunos da turma, visando conhecê-los, apresentar-lhes a proposta da pesquisa e convidá-los a participar da mesma. A coleta de dados foi realizada somente após a aprovação do projeto pelo Comitê de Ética em Pesquisa (CEP) da UFG.

A participação dos alunos foi voluntária, permitida apenas para alunos que tiveram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) assinados pelos seus pais ou responsáveis, no caso de menor de 18 anos. Nesse termo, os responsáveis e os alunos foram esclarecidos sobre o projeto a ser desenvolvido por meio de uma descrição. Os pais ou responsáveis consentiram que o menor participasse da pesquisa com a assinatura do termo. O pesquisador responsável agendou um horário de atendimento aos pais que necessitaram de um melhor esclarecimento, disponibilizando também um número de telefone, caso algum pai ou responsável necessitasse entrar em contato, pois a pesquisa iniciou somente após as assinaturas nos Termos. Os participantes maiores de 18 anos, também assinaram o Termo de Assentimento Livre e Esclarecido (TALE). Para aqueles alunos cujos responsáveis não autorizaram suas participações na pesquisa, foram conduzidos, pela coordenação da escola, para atividades extraclasse programadas.

A coleta de dados ocorreu em um total de 6 (seis) aulas de 50 minutos cada, as quais foram elaboradas e distribuídas conforme a dinâmica dos Três Momentos Pedagógicos, que são: problematização inicial, organização do conhecimento e aplicação do conhecimento.

Durante o segundo semestre (agosto a início de novembro), foram realizadas as aulas e os encontros, nos quais foram estudados os fenômenos ondulatórios com a utilização de instrumentos musicais para melhor compreensão desses fenômenos, buscando certa aproximação com o universo cultural dos estudantes. Os fenômenos foram produzidos e debatidos em sala. Alguns outros fenômenos, que não puderam ser apresentados com os instrumentos utilizados, foram mostrados por meio de vídeos.

Os alunos pesquisados eram dos segundos anos, turmas A, C e D, do turno matutino. As aulas ocorreram sempre nas sextas feiras. O primeiro horário do dia era com a turma do 2º ano D, o segundo ou terceiro horário a turma do 2º ano A, e a turma do 2º ano C sempre o quarto horário. A ordem das aulas influenciou bastante na escolha da turma a ser analisada, pois a que melhor apresentou condições de pesquisa foi o 2º ano A, por apresentar maior quantidade de alunos participativos, e o horário das aulas aconteciam um pouco antes do recreio, proporcionando um tempo maior de aula.

Buscamos realizar a problematização inicial na primeira aula, utilizando diversos instrumentos musicais e objetos que produziam sons. Os fenômenos sonoros produzidos pelo professor foram apresentados de uma forma geral. Os segundo e terceiro momentos pedagógicos aconteceram da segunda aula em diante, sendo estas aulas utilizadas para organizar o conhecimento necessário para a compreensão do tema, definições de conceitos, leis e aprofundar os conhecimentos. Em seguida daremos mais detalhes das aulas e seus respectivos momentos.

2.3 As fases da pesquisa

A primeira atividade da pesquisa teve como objetivo abordar os fenômenos ondulatórios a partir da utilização de instrumentos musicais. Foram apresentados vários fenômenos sonoros, tentando explorar o máximo de conteúdos de ondulatória apresentados no Currículo Referência da Rede Estadual de Educação do Estado de Goiás (p.358), que são:

Tabela 2 – Conteúdos Curriculares do Estado de Goiás para o 3º bimestre do 2º Ano Ensino Médio

Eixo Temático	Conteúdos
Som e luz	• O som e suas propriedades. • Ondas e seus fenômenos. (Efeito Doppler, eco, reverberação, etc.). • Acústica – Oscilações Harmônicas. • Cordas Vibrantes. • A interação luz-matéria e o seu percurso nos colocam diante de duas óticas: a física e a geométrica. • A física das cores, fenômenos relacionados à luz visível como: reflexão, refração, absorção, dispersão, interferência, difração e polarização. • Dualidade onda – partícula.

Fonte: GOIÁS, 2015, p.358 (adaptado)

Sem desconsiderar os pré-requisitos necessários para os temas em estudo, os alunos foram demonstrando os conhecimentos e o professor identificando o que mais deveria ser desenvolvido. Por meio dos instrumentos musicais e de objetos que produzem sons, os fenômenos foram sendo identificados, questionados e problematizados, buscando envolver ativamente os estudantes na construção de seus conhecimentos.

A dialogicidade esteve presente durante todo processo. Os estudantes participaram ativamente, levantando dúvidas e buscando respostas para suas inquietações, e isso fez com que os alunos buscassem analogias com seu próprio universo cultural.

2.3.1 A Problematização Inicial

Procuramos desenvolver o Primeiro Momento Pedagógico na primeira aula. A aula ocorreu na sala de informática da escola. As câmeras e os gravadores de áudio foram posicionados nos melhores lugares para tomadas de imagem e som. As cadeiras ficaram posicionadas em forma de círculo, e a imagem do Datashow foi projetada na parede no fundo

da sala. Os instrumentos musicais foram colocados no centro da sala de modo que todos os estudantes tivessem uma visão geral dos objetos e dos fenômenos sonoros apresentados.

Na problematização inicial, a intenção foi apresentar os fenômenos ondulatórios de uma forma geral, quando o professor pesquisador buscou relacionar o tema com situações reais que os alunos conheciam e vivenciavam. Na medida em que os estudantes iam expondo suas concepções e inquietações, outros fenômenos eram apresentados, buscando manter sempre uma dialogicidade e proximidade com o universo cultural e situações reais vividas pelos estudantes. O professor questionava a todo instante, até os estudantes não conseguirem mais responder, com o propósito de fazer com que sentissem a necessidade de buscar novos conhecimentos que eles ainda não possuíam.

O professor pesquisador realizou demonstrações com os instrumentos, e ao mesmo tempo ia questionando os conceitos científicos relacionados à ondulatória, com o intuito de analisar até que ponto o conhecimento dos alunos conseguia responder aos questionamentos feitos sobre os fenômenos.

Neste primeiro momento, os alunos apresentaram várias dúvidas que não foram respondidas, pois nesse instante, seguindo a proposta dos Três Momentos Pedagógicos, o professor deve manter uma ligação com a problematização inicial, pois elas devem ser sanadas somente em outros momentos ao longo das aulas.

Nessa aula surgiram vários questionamentos, sempre relevantes e relacionados com o universo cultural dos alunos. As dúvidas surgiram à medida que os fenômenos foram apresentados. O primeiro momento teve como objetivo levantar as impressões dos estudantes a respeito do tema proposto.

2.3.2 – A Organização do Conhecimento

Para o desenvolvimento do Segundo Momento Pedagógico, foram utilizadas quatro aulas. Nesta etapa investigativa, inicia-se a fase de conceitos, definições, relações e leis o que exige, portanto, um pouco mais da atenção do professor na orientação, pois a problematização inicial é sistematicamente estudada.

A aula foi iniciada com apresentação de slides, projetados na parede do fundo da sala. Os alunos estavam pouco participativos, e logo com a demonstração dos objetos sonoros e os instrumentos foram interagindo mais. Os fenômenos iam sendo apresentados, de modo que os alunos compreendessem os conceitos. Nesta aula, os conceitos de amplitude e frequência foram construídos à medida que os alunos iam descrevendo as diferenças e

igualdades existentes nas ondas produzidas em uma corda ou mola, e fazendo uma possível relação com as ondas sonoras produzidas nos instrumentos musicais. O professor apresentou vários exemplos a respeito dos fenômenos.

No terceiro dia de aula havia um aluno do PIBID do Instituto Federal de Goiás, IFG, que apareceu para assistir a aula. O professor pesquisador começou a produzir sons em alguns instrumentos, recordando a aula anterior e buscando alternativas de diálogo. Outros levantaram novas dúvidas, relacionando-as com os questionamentos anteriores.

No quarto dia de pesquisa, a aula foi acompanhada por dois alunos do PIBID – IFG. O professor pesquisador iniciou a aula com a produção de sons no instrumento chamado xilofone, e questionando os alunos sobre os conceitos vistos na aula anterior, fazendo uma pequena revisão. Em seguida, apresentou os conceitos de refração, reflexão, difração e velocidade do som em diferentes meios, apresentando um vídeo de aviões quebrando a barreira do som. Ao explicar a intensidade sonora, destacou os níveis de intensidade sonora e a escala logarítmica da equação, demonstrando no instrumento musical o aumento da intensidade e o seu comportamento ondulatório. Os fenômenos de reflexão foram calculados e reforçados com alguns fenômenos executados em uma corda.

O uso da ferramenta matemática é uma grande dificuldade apresentada pelos alunos. Quando os fenômenos foram explicados oralmente ou demonstrados nos instrumentos musicais ou vídeos, os alunos achavam interessante, porém, quando voltamos a atenção para a matemática desses fenômenos, alguns apresentaram certa aversão.

Foram apresentadas em sala de aula algumas questões do livro texto com conceitos apresentados até o momento para que os alunos respondessem durante a aula. A intenção foi provocar um confronto do resultado obtido com as possíveis divergências entre o senso comum e o conhecimento científico, evitando a resolução mecânica. Peduzzi (1987) sugere que o professor sempre incentive o questionamento das respostas obtidas, procurando enfatizar seu significado de acordo com a conceituação teórica envolvida no problema.

No quinto dia de aula, vieram poucos alunos, mas seguimos o mesmo estilo das aulas anteriores. As explicações sobre ressonância, batimento e efeito Doppler foram apresentadas para os alunos nos instrumentos sonoros e nos vídeos. Os alunos tentaram quebrar uma taça de vidro com a voz ou com o som emitido por instrumentos musicais. Não apareceram os alunos do PIBID, mas a participação das turmas foi de grande importância. Foram feitas, também, demonstrações de reflexões em uma corda com o propósito de apresentar os harmônicos e relacioná-los com a equação construída. Como os momentos se comunicam, surgiram em todas as aulas diálogos característicos também de outros momentos.

2.3.3 A Aplicação do Conhecimento

Havíamos reservado a sexta aula para que esse momento acontecesse, porém, não foi possível devido a vários fatores ocorridos durante o semestre que impossibilitaram a continuidade da pesquisa por mais tempo. Assim, terminamos com a aplicação de uma avaliação em que os alunos responderam um teste de múltipla escolha, contendo questões práticas e teóricas, e também questões discursivas. Ao final dessa avaliação, os alunos fizeram uma avaliação da metodologia aplicada. Apesar de não termos um momento específico em que pudéssemos aplicar o terceiro momento, verificamos que eventos com características de terceiro momento ocorreram praticamente em todas as aulas. São esses eventos é que apresentaremos como terceiro momento pedagógico: a aplicação do conhecimento.

Tabela 3 – Resumidamente, as etapas cumpridas foram as seguintes:

Encontro	Ação realizada	Objetivo do encontro
Encontro inicial	Explicação do projeto e entrega do Termo de Consentimento para que os pais assinassem, permitindo a participação do filho no projeto.	● Apresentar o projeto para os alunos da turma, bem como convidá-los a participar e solicitar a assinatura dos pais dos alunos para a participação no projeto.
1º encontro Problematização inicial (25/08/17)	Apresentação dos fenômenos ondulatórios de uma forma geral, com a utilização de todos os instrumentos musicais, objetos e vídeos que foram estudados nas aulas seguintes.	● Questionar situações e lançar dúvidas, para que os alunos exponham suas concepções sobre o tema e que as possíveis dúvidas configurem para eles um problema a ser resolvido.
2º encontro Organização do conhecimento (01/09/17)	Demonstrações com diferentes objetos que produzem ondas e som (corda, mola, diapasão e caixa de ressonância), instrumentos musicais (clarinete, violão e xilofone).	● Definir vários conceitos relacionados à ondulatória buscando responder alguns questionamentos feitos pelos alunos na problematização inicial.
3º encontro Organização do conhecimento (22/09/17)	Demonstrações sonoras com diferentes instrumentos musicais e objetos (diapasão, caixa de ressonância, garrafas de vidro, xilofone, flauta doce e violão) e um áudio variando a frequência audível de 20Hz a 20000Hz.	● Realizar uma discussão dos conceitos acústicos, identificando através do diálogo as principais relações sobre frequência e amplitude. Compreendendo os benefícios e malefícios que o som pode causar.
4º encontro Organização do conhecimento (06/10/17)	Demonstrações sonoras com diferentes instrumentos musicais (xilofone, clarinete, flauta doce, pandeiro, afouche e violão) e vídeos de fenômenos ondulatórios (avião supersônico).	● Demonstrar os fenômenos e explicar sobre os conceitos: reflexão, refração e difração, Esclarecendo sobre o eco, e outros fenômenos que envolvem a velocidade do som.
5º encontro Organização do conhecimento (20/10/17)	Demonstrações sonoras com diferentes instrumentos musicais (xilofone, clarinete, flauta doce, pandeiro, afouche e violão), vídeos de fenômenos ondulatórios (Efeito Doppler, quebrando uma taça) e áudio produzindo o fenômeno (Batimento)	● Realizar um diálogo sobre os fenômenos de Ressonância, Batimento e efeito Doppler apresentados no vídeo. ● Construir as equações matemáticas, com as relações de comprimento, densidade, tensão mostradas em sala.

Encontro	Ação realizada	Objetivo do encontro
6º encontro Aplicação do conhecimento (27/10/17)	Demonstrações sonoras com diferentes instrumentos musicais (xilofone, clarinete, flauta doce, pandeiro, afouche e violão) e objetos que produzem ondas (corda, mola, diapasão).	• Realização de atividade prática em sala de aula retomando os questionamentos feitos anteriormente. Os alunos foram questionados sobre os fenômenos apresentados pelo professor no instante da execução do sons buscando aplicações no cotidiano.

2.4. Os instrumentos de coleta de dados

A coleta dos dados da pesquisa foi realizada por meio de um diário de campo constituído principalmente por observações e percepções do pesquisador e por registros audiovisuais das aulas, que foram transcritos e analisados. Para que a dinâmica das aulas acontecesse mais naturalmente, as câmeras foram colocadas em pontos estratégicos dentro da sala, para que a gravação fosse discreta, de modo a se ter uma tomada geral da turma. Não foi dado zoom em nenhum aluno e a voz gravada com vários gravadores de áudio dispostos de forma a não se perder nenhuma fala dos alunos participantes.

Os conteúdos trabalhados não ofereceram nenhum risco aos alunos e nenhum tipo de prejuízo ou constrangimento, uma vez que os conteúdos trabalhados com metodologias apropriadas estavam de acordo com as Orientações Curriculares da Secretaria de Educação Estadual e com o Plano Político Pedagógico (PPP) da Escola e foram aprovados pelo Comitê de Ética em Pesquisa da UFG.

Os instrumentos musicais (Clarinete, Violão, Xilofone, Flauta doce, Pandeiro e Afouche) utilizados para realização desta pesquisa foram cedidos pelo Centro de Estudo e Pesquisa Ciranda da Arte, vinculada à SEDUCE (Secretaria de Estado de Educação e Cultura do Estado de Goiás).

2.5. A análise dos dados

A análise dos dados seguirá uma proposta dialética. Na obra de Minayo (1994) há uma proposta de interpretação qualitativa de dados que consideramos bastante adequada e, por isso, a utilizaremos em nossa pesquisa.

Minayo denomina sua proposta de método hermenêutico-dialético, no qual a fala dos atores sociais é situada em seu contexto para melhor ser compreendida. Essa compreensão

tem, como ponto de partida, o interior da fala e, como ponto de chegada, o campo da especificidade histórica e totalizante que produz a fala.

Podemos destacar dois pressupostos desse método de análise, de acordo com Minayo (1994). O primeiro diz respeito à ideia de que não há consenso e nem ponto de chegada no processo de produção do conhecimento. Já o segundo se refere ao fato de que a ciência se constrói numa relação dinâmica entre a razão daqueles que a praticam e a experiência que surge na realidade concreta. A autora também entende que os resultados de uma pesquisa em ciências sociais constituem-se sempre numa aproximação da realidade social, que não pode ser reduzida a nenhum dado de pesquisa.

A autora ainda apresenta os seguintes passos para a operacionalização de sua proposta:

(a) Ordenação dos dados: nesse momento, faz-se um mapeamento de todos os dados obtidos no trabalho de campo. Aqui estão envolvidos, por exemplo, transcrição de gravações, releitura do material, organização dos relatos e dos dados da observação.

(b) Classificação dos Dados: nessa fase é importante termos em mente que o dado não existe por si só. Ele é construído a partir de um questionamento que fazemos sobre eles, com base numa fundamentação teórica. Por meio de uma leitura exaustiva e repetida dos textos, estabelecemos interrogações para identificarmos o que surge de relevante. Nesse sentido, determinamos o conjunto ou os conjuntos das informações presentes na comunicação.

(c) Análise final: neste momento, procuramos estabelecer articulações entre os dados e os referenciais teóricos da pesquisa, respondendo às questões da pesquisa com base em seus objetivos. Assim, promovemos relações entre o concreto e o abstrato, o geral e o particular, a teoria e a prática.

O encerramento da pesquisa deu-se, portanto, após a realização e análise final do material coletado.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na interpretação dos dados da pesquisa optamos por uma visão mais ampla de todo o processo de aprendizagem durante os Três Momentos Pedagógicos das atividades com os instrumentos musicais. Acreditamos que todas as fases da pesquisa apresentaram resultados importantes que corroboram a metodologia da pesquisa. A análise foi dividida em tópicos relativos ao conteúdo programático, no qual cada um dos três momentos pedagógicos foi diferenciado ao longo da coleta de dados. No primeiro momento analisamos, com base nos estudos de Delizoicov e Angotti (2011), os diálogos apresentados pelos alunos a partir da problematização dos fenômenos ondulatórios. No segundo analisamos o processo de organização do conhecimento, apresentando os fenômenos sonoros e mantendo um diálogo e certa aproximação com o universo cultural dos estudantes. No terceiro e último analisamos os diálogos de uma forma geral com foco na aplicação do conhecimento, no sentido de buscar respostas apresentadas na problematização inicial, utilizando também nesse tópico dados das notas de campo, com os quais serão levantados alguns aspectos da avaliação geral do processo ensino-aprendizagem por meio dos referenciais mencionados. Por fim, analisamos os resultados de cada tópico na perspectiva de Paulo Freire, procurando indícios de que o método didático tenha promovido o pensamento crítico, a capacidade de abstração e a curiosidade epistemológica dos estudantes.

O trabalho foi realizado em três turmas do 2º ano, sendo 29 alunos do 2º A, 25 do 2º C, 19 do 2º D. As aulas ocorreram às sextas feiras, seguindo o horário escolar. A primeira aula era com a turma do 2º D, a segunda ou terceira aula com o 2º A, e a quarta com o 2º C. Devido à grande quantidade de dados levantados, optamos por fazer um recorte e apresentar os dados relativos ao 2º A. Essa opção foi feita por ter sido a turma que teve o maior número de alunos participantes em todas as aulas e fases da pesquisa. Para apresentação dos resultados e análises, o professor pesquisador foi indicado por PP e os alunos foram representados pela letra A e numerados à medida que iam se expressando.

3.1 Análise dos Momentos Pedagógicos

A análise das transcrições da aula do primeiro momento pedagógico permitiu a observação de alguns conceitos de senso comum por parte dos alunos. O primeiro momento pedagógico foi analisado com o intuito de avaliar, segundo Delizoicov, Angotti e Pernambuco (2011), a aproximação dos estudantes com o tema em termos de linguagem e concepções,

buscando certa aproximação dos conceitos científicos com seu universo cultural. Assim, buscou-se analisar, durante os fenômenos sonoros abordados e problemas apresentados, as categorias: **pensamento crítico** (pensamento que envolve um julgamento propositado, reflexivo e consciente sobre o que acreditar ou o que fazer em resposta a uma observação ou experiência vivida), **capacidade de abstração** (processo onde as ideias são distanciadas dos objetos, permitindo ao aluno ser capaz de identificar nos conteúdos científicos estudados, por intermédio das atividades práticas, elementos que façam conexão com seu cotidiano) e a **curiosidade epistemológica** (curiosidade que vai além do senso comum, onde o aluno perceba que o que está sendo estudado seja necessário para ele).

A postura dialógica do professor durante a aula foi de extrema importância para o desenvolvimento do trabalho, pois foram questionados posicionamentos e promovidas discussões das respostas dos próprios alunos. O intuito maior dessa postura foi de lançar dúvidas sobre o assunto, não respondendo ou fornecendo explicações a elas, e de promover a necessidade da busca de novos conhecimentos. Esse é ponto principal que os autores citados determinam para esse primeiro momento:

O ponto culminante dessa problematização é fazer que o aluno sentisse a necessidade da aquisição de outros conhecimentos que ainda não detém, ou seja, procura-se configurar a situação em discussão como um problema que precisa ser enfrentado. (DELIZOICOV, ANGOTTI e PERNAMBUCO, 2011, p.201).

Assim, na aula destinada ao primeiro momento pedagógico, surgiram vários questionamentos, sempre relevantes e relacionados com o universo cultural dos alunos. As dúvidas foram surgindo à medida que os fenômenos iam sendo apresentados. O primeiro momento teve como objetivo levantar as impressões dos estudantes a respeito dos tópicos abordados. Em todos esses tópicos, o professor sempre buscou primeiramente problematizar, por meio do diálogo, utilizando instrumentos musicais, para em seguida esclarecer as dúvidas, pois, conforme afirmam Delizoicov, Angotti e Pernambuco (2011), neste momento:

As mais variadas atividades são então empregadas, de modo que o professor possa desenvolver a conceituação identificada como fundamental para uma compreensão científica das situações problematizadas. (DELIZOICOV, ANGOTTI, PERNAMBUCO, 2011, p. 201)

Após o primeiro momento, onde foram apresentados aos alunos vários fenômenos relacionados à ondulatória, o professor pesquisador inicia a aula seguinte perguntando aos alunos se ficaram satisfeitos com a aula anterior. Alguns relataram que ficaram bastante satisfeitos, mas curiosos, pois ficaram sem respostas várias dúvidas levantadas por eles

naquele primeiro momento. O professor então retoma dizendo que, naquela aula o propósito era a introdução dos conceitos, alguns alunos dizem:

A8 – Na aula passada muita gente foi embora com dúvidas professor.

A5 – Dessa vez o senhor vai explicar, né professor?

Por meio desse diálogo, confirma-se que o primeiro momento atingiu o objetivo da problematização, pois segundo Delizoicov e Angotti, (1994, p. 54), o ponto culminante da problematização é fazer com que o aluno sinta a necessidade da aquisição de outros conhecimentos que ainda não possui, ou seja, procura-se configurar a situação em discussão como um problema que precisa ser superado.

Na segunda aula, o professor ressalta que o propósito daquela primeira aula era provocá-los, instigá-los e neles despertar o espírito investigativo na busca de respostas sobre o tema, mas que agora irá desenvolver separadamente cada um dos fenômenos apresentados, fundamentados nos conhecimentos da Física, definindo conceitos, fazendo relações e propondo soluções para compreensão do tema central.

Para o segundo momento, as análises serão apresentadas pelos tipos de abordagens utilizadas durante as aulas. O núcleo do conteúdo específico de cada tópico foi preparado e desenvolvido, durante o número de aulas necessárias, em função dos objetos e instrumentos musicais utilizados pelo professor. Os pontos importantes sugeridos no primeiro momento foram ressaltados, favorecendo a compreensão dos conceitos trabalhados para organizar a aprendizagem.

Os conhecimentos de Física necessários para a compreensão do tema central e da problematização inicial foram estudados, nesse segundo momento, sob orientação do professor. Definições, conceitos, relações e leis apresentados na aula introdutória puderam ser esclarecidos e aprofundados em seus conceitos.

O terceiro momento destinado a abordar sistematicamente o conhecimento que vem sendo assimilado pelo estudante surge como uma forma de se aplicar o que foi aprendido para que ele consiga analisar e interpretar as situações em estudo ou até mesmo as que surjam durante o aprendizado, mas que possam ser compreendidas pelo mesmo conhecimento.

As mais variadas atividades foram desenvolvidas, procurando a generalização da conceituação que já foram questionadas e até mesmo formuladas anteriormente. Pois, segundo Delizoicov (1982, p.150), o terceiro momento surge como forma de se utilizar o que foi aprendido no segundo momento, para compreender ou transformar a realidade.

Por meio dos instrumentos musicais (Clarinete, Violão, Xilofone, Flauta doce, Pandeiro e Afouche) e objetos que produzem sons (Diapasão, Caixa de ressonância, Garrafas de vidro), os conceitos científicos foram sendo identificados, estudados e aplicados. E a partir de uma ação planejada e dialogada é que a estrutura do conhecimento científico, associada às situações significativas envolvidas nos temas, pôde ser melhor articulada para facilitar o entendimento, uma vez que essa é uma das metas a ser atingida com o processo de ensino aprendizagem das Ciências.

Apesar de tentar amarrar os momentos em aulas ordenadas, em todas as aulas ocorreram momentos de problematização, organização e aplicação do conhecimento. A primeira aula foi a que apresentou uma maior caracterização de primeiro momento que inicialmente era chamado por Delizoicov (1982) de estudo da realidade, mas ela aconteceu em todas as aulas.

Os três momentos pedagógicos deste roteiro não significam que há uma compartimentação estanque ao se desenvolver um determinado tópico do conteúdo programático. O fato de ter-se denominado o primeiro momento de estudo da realidade, não significa para nós que apenas nele ela é proposta para reflexão, pois todos três momentos se integram para a sua decodificação. (Delizoicov, 1982, p.149)

Em seguida iremos apresentar os tópicos abordados durante as aulas pesquisadas e a aplicação dos três momentos em seus desenvolvimentos.

3.2 Análise dos Tópicos Abordados

A seguir faremos uma análise de 11 tópicos relacionados aos conteúdos de ondulatória, assinalados como conteúdos curriculares do Estado de Goiás para o 3º bimestre do 2º ano do Ensino Médio.

3.2.1 Tipos de Ondas (Luz e Som)

Neste tópico serão apresentadas as análises relativas ao estudo dos tipos de ondas, no qual foram abordados suas diferenças (mecânicas e eletromagnéticas) e os meios de propagação de cada tipo. O estudo se concentrou, especialmente, nestas características das ondas sonoras.

Quanto aos diferentes tipos de ondas existentes, no primeiro momento, o professor pesquisador (usa o violão e uma mola helicoidal com o propósito de problematizar) faz um questionamento com o intuito de melhor problematizar o assunto:

PP – Será que a onda de luz é igual à onda do som?

A9 – Sim, são iguais.

A5 – Acredito que sim professor.

PP – Existem sons que a gente não escuta?

A3 – Provavelmente.

A8 – Não, se não, não é som. É?

Por meio desse diálogo, o professor busca certa aproximação com o problema que precisa ser enfrentado, onde os alunos ainda apresentam respostas para os questionamentos mesmo que contraditórias. O professor segue fomentando a discussão sem fornecer respostas às dúvidas apresentadas.

Consideramos que, na fala do aluno A3 quando afirma que “provavelmente” existem sons que não escutamos, a sequência didática estimulou o pensamento crítico, e quando A8 afirmou “Não, se não, não é som. É?” observamos indícios de um pensamento crítico, pois ele faz uma afirmação e em seguida questiona se está certo.

O professor segue indagando, se existem ondas fora do mar e que tipo de ondas seriam? Os alunos respondem que sim e apresentam algumas opções que eles acham ser exemplos de ondas, tais como: ondas sonoras, calor, luminosas, mas ao serem questionados novamente se essas ondas sonoras e luminosas são do mesmo jeito, alguns respondem de forma positiva e outras negativamente, como foi o caso dos alunos A8 e A9:

A9 – Se é onda, é do mesmo jeito.

A8 – Uma a gente vê, e a outra a gente escuta.

Apesar de estarem enganados em suas respostas sobre o questionamento se as ondas sonoras e luminosas são iguais ou diferentes, o aluno A9 demonstra pensamento crítico, pois considera o fato de que se os dois tipos são ondas, portanto, são do mesmo “jeito”, e o A8 capacidade de abstração quando afirma que a diferença está em somente ver ou escutar a onda.

O professor volta a questioná-los:

PP – Mas será que existem ondas sonoras que a gente não consegue ouvir?

A6 – A onda vai ficando pequena e a gente para de ouvir e passa a ver. Mas é uma onda só, não é professor?

Neste diálogo, observa-se que a problematização permitiu o surgimento das concepções espontâneas dos alunos, quando o aluno A6 começa a explicar os conceitos a partir do senso comum e a suscitar dúvidas.

Ao tentarem explicar a igualdade, que alguns alunos acreditam existir entre as ondas sonoras e luminosas, eles se revelam inseguros em suas respostas. Entretanto, buscam nas suas concepções espontâneas certa sequência de pensamentos que acham mais convincente para explicar os questionamentos feitos. No caso do aluno A6, consideramos que os questionamentos estimularam sua capacidade de abstração, quando ele diferencia o fato de ouvir e ver, apenas devido ao tamanho da onda. Estimulou, também, um pensamento crítico, quando afirma que tudo “é uma onda só” e em seguida, tenta confirmar sua afirmação com o professor, esperando dele uma resposta positiva.

O professor pesquisador sempre responde com outra pergunta, forçando o aluno a refletir em seus questionamentos diante do tópico abordado.

O professor segue questionando e pergunta como eles imaginam que seria o formato das ondas sonoras, já que não podemos ver a onda no ar? Daí, mostra uma onda longitudinal em uma mola helicoidal e pergunta se os alunos estão conseguindo perceber a onda ao que a maioria afirma que sim. Ao produzir a onda na mola, questiona:

PP – Essa onda da mola se parece mais com uma onda de som ou de luz?

A8 – A sei lá! Esse aí é de luz.

A13 – As duas são do mesmo jeito.

Alguns alunos acreditam que a onda na mola (longitudinal) é uma possível representação de uma onda eletromagnética, outros ainda continuam afirmando que as duas ondas, tanto as ondas sonoras quanto as luminosas são do mesmo jeito, mesmo que nunca tenham visto o formato de nenhuma das duas.

O professor produz uma onda transversal em uma corda e pergunta aos alunos se as ondas sonoras que conhecemos são parecidas com as ondas produzidas nesta corda e eles respondem:

A7 – Não. O som é diferente.

PP – Como é então?

A7 – O som, por exemplo, se eu chamar alguém pra cá [olha pro lado oposto onde uma aluna se encontra] ela consegue me escutar.

A6 – Tipo uma onda no lago?

A7 – Sim.

Nesse trecho, os alunos começam a dialogar entre si, tentando compreender o assunto, buscando relação com o tema. Em sua fala, o aluno A7 apresenta indícios de

pensamento crítico e capacidade de abstração, ao justificar o fato das ondas sonoras não serem iguais às ondas produzidas em uma corda, pelo fato dela se propagar em todas as direções, de modo a poder falar para um lado e a colega ouvi-lo, estando em outro lado. Sua ideia foi corroborada pelo colega A6, quando este afirma que a onda sonora é tipo uma onda em um lago, o que demonstra que houve, também em A6, capacidade de abstração ao relacionar com seu cotidiano. Apesar de não terem compreendido que a pergunta do professor era se a onda sonora seria transversal, como a produzida na corda, ou longitudinal, como são as ondas sonoras, eles interpretaram a pergunta como se a dúvida fosse se a onda sonora se propaga em apenas uma direção ou em várias, como a onda sonora.

O professor questionou até os alunos não mais apresentarem respostas, pois é nesse sentido que Delizoicov e Angotti (1994), revelam a importância da discussão problematizada, podendo permitir que o aluno sinta necessidade de adquirir outros conhecimentos que ainda não possui. Segundo Muenchen e Delizoicov (2012),

Para os autores, a finalidade desse momento é propiciar um distanciamento crítico do aluno ao se defrontar com as interpretações das situações propostas para discussão e fazer com que ele sinta a necessidade da aquisição de outros conhecimentos que ainda não detém. (MUENCHEN, DELIZOICOV, 2012, p. 200)

Outros questionamentos feitos pelos alunos nesse primeiro momento foram:

A2 – Por que o som fica diferente ao afrouxar a corda de um violão?

A11 – Todo som é uma onda?

A7 – Como os sons chegam até nossos ouvidos?

Nestas falas, observamos que esses alunos apresentaram pensamento crítico ao buscar respostas as suas observações, no sentido em que querem desvendar o fenômeno, tornando possível analisá-lo e compreendê-lo, demonstrando uma atitude questionadora.

Em todo o trabalho, percebemos que o primeiro momento pedagógico, no qual ocorre a problematização, é grande estimulador do pensamento crítico.

No início de uma aula relativa ao segundo momento pedagógico, o professor relembra os alunos do início da primeira aula, a qual foi iniciada com a figura de uma onda no mar e o uso de um violão. Segue perguntado a eles sobre os diferentes tipos de ondas existentes. Alguns alunos destacaram que:

A11 – Cada vez que eu escutava um som lembrava das explicações dadas na aula.

A8 – Me senti cada vez mais interessada em saber mais sobre os instrumentos musicais.

Essas falas dos alunos indicam que a problematização do primeiro momento alcançou seus objetivos, despertando curiosidades epistemológicas com o tema, provocando em alguns a necessidade de procurar conhecer mais sobre o assunto, ou seja, a metodologia didática promoveu estímulo em buscar novos conhecimentos.

Em outro instante, após apresentar os conceitos de onda, o professor vai até o Xilofone (instrumento musical) e “bate” em uma tecla com uma baqueta, produzindo um som. Em seguida, retira a tecla do aparelho e ao bater na peça, segurando-a solta na mão, questiona o porquê da mudança do som ao bater nela fora do instrumento. Os alunos responderam:

A10 – O som ficou fraco.

A11 – Abafado.

PP – Mas por que o som fica diferente quando coloco ele aqui? [coloca novamente a peça no suporte do instrumento]

A7 – Na mão ele não vibra.

PP – Isso mesmo, aqui onde a tecla encaixa tem uma estrutura que faz o som ressoar, e esse som precisa de alguns elementos para isso acontecer [bate novamente no Xilofone]. Esse tipo de onda é uma onda mecânica.

No primeiro momento (1ª aula), alguns alunos, ainda sem conhecer, falavam de forma errônea os conceitos, mas após as explicações realizadas no segundo momento (a partir da 2ª aula), a maioria, ao ser questionada sobre os conceitos apresentados, começa a emitir afirmações com bases mais científicas.

O professor questiona os alunos se ao tocar algum instrumento eles conseguem ver alguma coisa entre o instrumento (clarinete) e eles? A maioria dos alunos respondem que não, e o professor seque:

PP – Mas então, como o som chega até vocês?

A15 – Através das ondas.

O professor inicia um diálogo lembrando um filme conhecido pelos alunos, chamado de Guerra nas Estrelas (Star Wars), no qual em um dos episódios, uma estrela explode produzindo um grande barulho com a explosão. Questiona os alunos se, estando aqui na Terra e observarmos uma estrela explodindo, conseguiríamos escutar essa explosão. A princípio os alunos ficam calados, e ao serem questionados novamente, eles respondem:

A7 – Não.

PP – Por que não?

A5 – Não tem ar.

PP – É, vocês estão lá assistindo o filme e a estrela vai explodir, e bum explode. Aquela explosão do planeta, vocês acham que isso está certo ou está errado?

A1 – Tá errado. Só aparece a luz, então.

A12 – A luz do sol chega.

Observamos que, ao retomar algumas dúvidas levantadas no primeiro momento, os alunos começam a responder com mais propriedade os conceitos questionados no segundo momento. O aluno A5 revela um pensamento crítico ao afirmar que a luz não consegue se propagar por não haver ar. O aluno A1 apresenta indícios de pensamento crítico, pois conclui que o fenômeno que ocorre no filme está errado e conclui que, então, só aparece a luz. O aluno A12 demonstra capacidade de abstração ao relacionar o assunto abordado com o exemplo da luz solar.

O professor concorda com a resposta e retoma explicando que não tendo o meio para se propagar, que nesse caso seria o ar, não vai escutar, pois as ondas sonoras são ondas mecânicas e, portanto, precisam de um meio para se propagar. A explosão que acontece nos filmes de ficção é para dar emoção. Explica também que existe uma grande diferença entre onda mecânica e onda eletromagnética e relembra que na aula anterior esclareceu que cada onda, tanto mecânica quanto eletromagnética, apresenta particularidades diferentes.

Ao descrever uma onda transversal utiliza uma corda e pede aos alunos para fazerem uma onda na corda. Enquanto os alunos vão executando o movimento, o professor vai explicando que a onda produzida em uma corda é uma onda mecânica transversal, ao mesmo tempo em que classifica melhor os componentes das ondas.

Após essas explicações, característica de segundo momento, o professor faz um breve questionamento, fundamentado nas dúvidas levantadas no primeiro momento, a respeito do conceito apresentado:

PP – Como se dá a propagação do som? Através do que?

A1 – No ar.

PP – Isso, meio material. Que pode ser o ar e mais o que?

A8 – O gás.

PP – Sim, o que mais?

O professor busca sempre questionar os alunos, antes de desenvolver os conceitos, para que as situações problematizadas sejam melhores compreendidas, pois, segundo Freire (2005), o aprendizado depende da participação do aluno, e é nesse sentido que o professor vai

construindo uma linguagem, mediadas por explicações e os conceitos já socialmente construídos.

Segue esclarecendo que o meio material onde o som se propaga pode ser um material sólido, líquido ou gasoso. Continua indagando e explicando outros questionamentos feitos no primeiro momento e respondidos no segundo, a partir das explicações feitas durante a aula.

Após as explicações e demonstrações dos fenômenos apresentados nos instrumentos musicais (Xilofone, violão e clarinete), os alunos levantam, durante o segundo momento, alguns questionamentos característicos de terceiro momento, pois como já citado, os momentos integram entre si (DELIZOICOV, 1982, p. 149):

A10 – Como é a onda de rádio? É uma onda mecânica ou eletromagnética?

[...]

A7 – Mas e o som do rádio professor?

[...]

A1 – E ressonância magnética professor? É igual ao ultrassom?

Observa-se que os questionamentos apresentados possibilitou estender o conhecimento em estudo para novos temas, pois o aluno aborda o conhecimento que vem sendo incorporado para analisar e interpretar “*outras situações que não estejam diretamente ligadas ao motivo inicial, mas que são explicadas pelo mesmo conhecimento*” (DELIZOICOV, ANGOTTI, 1994, p.55). Novamente, percebemos que os questionamentos feitos pelos alunos (A10, A7 e A1) estimularam a capacidade de abstração e a curiosidade epistemológica, quando eles perguntam sobre ondas de rádio, ressonância magnética e ultrassom, assuntos não abordados pelo professor até aquele instante, relacionando o tema em estudo com seu cotidiano e rompendo com o senso comum.

Após cada pergunta, o professor deu as devidas explicações, promovendo a “*identificação e emprego da conceituação envolvida – ou seja, o suporte teórico fornecido pela ciência*” (DELIZOICOV, ANGOTTI, PERNAMBUCO, 2011, p.202).

3.2.2 Amplitude e Frequência

Neste item, serão analisadas as aulas em que a amplitude e a frequência foram abordadas. O tópico é apresentado aos alunos a partir de seu relacionamento com os instrumentos musicais.

Para iniciar a problematização do tópico, no primeiro momento, o professor toca uma melodia em um violão, apresentando e descrevendo o instrumento musical.

PP – Ele é um instrumento de madeira, composto de cordas de metal. Essa caixa de madeira tem um buraco no meio, e para os fenômenos acontecerem nele tem que ter relações matemáticas e equações envolvidas, e tudo tem nome. Então, assim, a gente vê um simples violão, mas existe muita matemática e ciência envolvida aqui nessas cordas. Se eu tocar, a gente vai perceber que cada corda tem um som diferente. [...] A coisa só irá soar legal se as cordas estiverem na medida certa. Se eu pegar aqui e fizer isso [afrouxando a corda], vejam o que acontece.

Logo após diminuir a tensão na corda, o professor pergunta aos alunos:

PP – E esse som com a corda frouxa, vocês acham que está soando melhor?

A4 – Ficou meio estranho agora professor.

PP – Por que ficou estranho?

A4 – Sei não professor!

A2 – Desafinou.

PP – Mas por que desafinou?

A3 – Porque o senhor desenroscou.

Nesse trecho, os alunos A2 e A3, demonstram atentos ao som e aos movimentos feitos pelo professor. Em seguida, o professor, ao tocar na corda mais grave e em seguida na corda mais aguda do violão, pergunta se estão conseguindo perceber alguma diferença? Eles afirmam que sim. Então, segue questionando:

PP – O que diferencia o som de uma corda da outra?

A9 – Uma é mais grossa que a outra.

A5 – Porque uma é mais folgada que a outra.

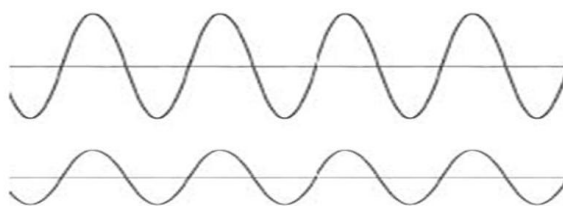
A6 – O tamanho e a grossura das cordas.

A11 – Tem haver com o tanto que ela está esticada.

Os alunos A9, A5, A6 e A11, fundamentados em seus conhecimentos intuitivos, apresentam várias alternativas para tentarem justificar a mudança sonora. Ao analisar a estrutura do material que está produzindo o som, se referindo à tensão, à espessura ou mesmo ao tamanho da corda, demonstram respostas ligadas a uma observação.

Ainda no primeiro momento, o professor entrega uma folha de papel contendo o desenho de duas ondas transversais, tendo amplitudes diferentes, conforme Figura 1:

Figura 1. Representação esquemática de duas ondas com amplitudes diferentes.



Fonte: arquivo do autor.

O professor questiona os alunos sobre a diferença existente entre essas ondas transversais representadas na figura, sem revelar que são de amplitudes diferentes. Os alunos respondem:

A4 – Uma onda é mais alta e a outra é mais baixa.

A6 – Frequência.

O aluno A4 tenta explicar com base em sua observação, referindo-se às ondas de diferentes amplitudes como sendo alta e baixa. Já o aluno A6 busca um nome que sabe fazer parte do conjunto de palavras existentes, mas ainda não compreende o uso desse conceito na representação das ondas.

Os alunos vão seguindo tentando buscar possíveis soluções para o problema proposto, pois como afirmam Delizoicov e Angotti (1994, p.54), na problematização, *“coloca-se para ele um problema para ser resolvido”*.

Em seguida, com o desenho já apresentado (Fig. 01), o professor questiona:

PP – Alguém se arrisca a relacionar aquelas duas ondas aqui no Xilofone?

A8 – Tem jeito não professor.

PP – Por que não tem como? O som não é uma onda?

A8 – Sim.

Na fala do aluno A8, observamos que ele apresentou um pensamento crítico ao afirmar não haver possibilidades de representar as ondas do desenho no instrumento musical (xilofone), e ao mesmo tempo uma contradição ao concordar com o questionamento feito pelo professor de que o som é uma onda.

A seguir, o professor “bate” a mesma tecla do Xilofone com forças de intensidades diferentes e questiona os alunos se o som produzido tem alguma relação com as duas ondas transversais apresentadas na Fig. 01.

Os alunos demonstram dificuldade na capacidade de abstração, pois não conseguem relacionar a intensidade sonora com a amplitude, a partir dos sons produzidos no instrumento musical e da figura apresentada.

Em outra tentativa, para que eles relacionem os sons produzidos no Xilofone com as representações de ondas de diferentes amplitudes, o professor toca no instrumento em uma tecla de tamanho maior e em seguida em outra menor (teclas de diferentes frequências), e questiona se há relação entre os sons e a figura apresentada (ondas com amplitudes diferentes). O professor questiona:

PP – Será que aquela onda é representada assim? [o professor associa cada onda da figura com os sons produzidos no Xilofone, ao bater em teclas de tamanhos diferentes]

A6 – É.

A4 – Essa mesmo.

PP – Ou será que é assim? Que essa onda é representada dessa maneira? [apresentando diferentes amplitudes e diferentes frequências no instrumento e pedindo para que os alunos as associam à figuras apresentadas].

A5 – Eu acho que é essa professor [escolhendo ao acaso uma das situações].

As ondas apresentadas têm amplitudes diferentes, a primeira é maior que a segunda, e alguns alunos acreditam que a onda de maior amplitude é representada pela nota aguda. Mesmo apresentando certa dificuldade em associar o som produzido no instrumento com a figura apresentada, os alunos A4 e A5 concordam com umas das opções dadas pelo professor, revelando que os questionamentos estimularam o pensamento crítico.

Os alunos demonstram-se bastante curiosos em saber as explicações dos fenômenos

A6 – Explica aí professor!

A10 – Vamos ficar só no será? Explica aí pra nós, então.

O professor não apresenta nenhuma possível solução, pois esse ainda é o momento de problematizar, no qual a postura do professor é de apenas lançar dúvidas.

Na segunda aula iniciou-se o segundo momento e o tópico “amplitude e frequência” foi assim trabalhado. Inicialmente, o professor explica o que são ondas transversais e ondas longitudinais. Exemplifica a amplitude em ondas transversais, ao produzir pulsos mais fracos e mais fortes em uma corda, associando-os à amplitude da onda. O professor mostra, também, a amplitude de uma onda longitudinal produzida em uma mola helicoidal.

Em seguida vai até um instrumento musical (Xilofone) e questiona se é possível representar a mudança de amplitude no instrumento.

A4 – Não tenho a mínima ideia.

PP – Lembra que na corda, quando balançamos, produziu uma onda. Para produzirmos uma onda mais alta a gente fez o que?

A13 – Balançou mais forte! [mostrando o movimento com a mão].

PP – Isso! A gente tinha que fazer com uma força maior, não era?

A2 – Sim.

PP – Todos concordam?

A7/A4/A1 – Sim.

PP – Então, no instrumento para produzir uma onda maior, de maior amplitude, temos que bater ou soprar com mais força.

O professor explica que a mudança de amplitude exerce uma certa influência no som, e em seguida executa o experimento no instrumento musical batendo duas vezes na mesma tecla do Xilofone, uma vez fraco e outra vez forte, revelando que assim estaremos representando uma onda de maior amplitude e mais intensidade.

Em sua fala o aluno A4 demonstra pensamento crítico, primeiro ao revelar não ter ideia de como representar a onda e em seguida concordar com a resposta do aluno A13 ao relacionar a força com o tamanho da onda produzida na corda.

O professor, por meio do diálogo, sempre busca primeiro problematizar utilizando os instrumentos musicais, para em seguida esclarecer as dúvidas. Nesse sentido, Delizoicov, Angotti e Pernambuco revelam que, neste momento:

As mais variadas atividades são então empregadas, de modo que o professor possa desenvolver a conceituação identificada como fundamental para uma compreensão científica das situações problematizadas. (DELIZOICOV, ANGOTTI, PERNAMBUCO, 2011, p. 201)

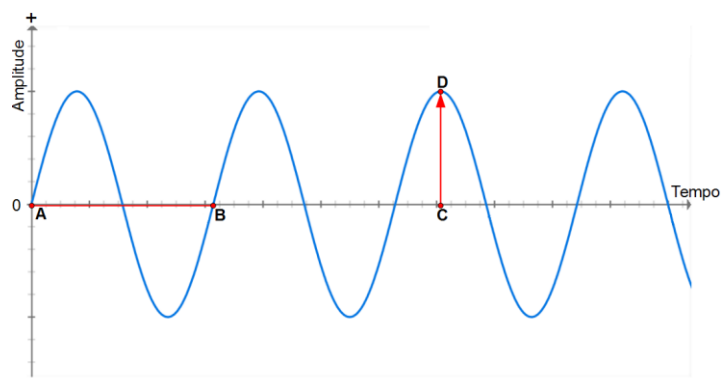
Para apresentar o conceito de frequência, o professor explica que na Física, quando dizemos que o som está baixo, estamos nos referindo ao som grave, e quando falamos que o som está alto, estamos dizendo que o som está agudo. Explica que isso tem a ver com a frequência de vibração. Afirmar que alguns conceitos científicos às vezes se confundem, isso ocorre pelo fato de estarmos acostumados a expressar erradamente no dia a dia. Em seguida toca a tecla do Xilofone com uma baqueta de madeira, primeiro bate na tecla pequena, explicando que esse som agudo é um som alto em relação ao som produzido ao bater em uma tecla maior.

A5 – Mais alto o som?

PP – Sim, quanto mais agudo, mais alto o som. Então, som baixo [bate grave], som alto [bate agudo], frequência menor [bate grave] frequência maior [bate agudo]. O número de oscilações da pressão do ar por unidade de tempo definem sua frequência.

Finaliza apresentando um gráfico, Figura 2, com todos os componentes estudados e que representam as características de cada onda, reforçando que a amplitude altera a intensidade e a frequência representa o grave e o agudo.

Figura 2 - Representação esquemática do comprimento de onda e amplitude.



Fonte: <<https://www.hardware.com.br/static/20120801/image2.png>>. Acesso em: 07 jul. 2018.

Durante o segundo momento, observamos que surgiram dúvidas fora do contexto inicial, no sentido de que o aluno relaciona o novo conhecimento com algo que tenha sentido para ele, de modo a levá-lo a analisar e interpretar essas outras situações pelo uso do mesmo conhecimento, o que caracteriza uma ação de terceiro momento:

A5 – Professor, aquele apito de chamar cachorro é um som que a gente não escuta, como é aquilo?

PP – A frequência sonora que é produzida por aquele apito é além do que o nossos ouvidos são capazes de escutar, mas alguns animais, como os cachorros por exemplo conseguem escutar. Eles escutam muito mais sons que nós seres humanos.

A9 – Interessante, hein! Por que será?

PP – Devido o formato dos ouvidos deles.

A3 – Por isso que os cachorros começam a latir do nada?

PP – Sim, é como se esse instrumento musical fosse nosso ouvido e o ouvido dos cachorros tivessem mais teclas [mostrando o Xilofone]. Pode ter certeza que ele escutou alguma coisa.

O aluno A5, apresenta curiosidade em compreender os fenômenos sonoros, revelando capacidade de abstração ao associar o assunto em pauta ao fato dos cachorros escutarem sons que as pessoas não escutam. Na fala de A9, surgem indícios da necessidade de compreender mais sobre o tema, ou seja, uma curiosidade epistemológica, pois primeiro demonstra compreender o assunto e depois questiona. Já o aluno A3 demonstra a existência de pensamento crítico e capacidade de abstração ao justificar o fato de o cachorro ouvir “algo” e sair latindo do nada, revelando um exemplo de seu cotidiano.

Em outro diálogo ocorrido durante o segundo momento, surgem nas falas dos alunos o relacionamento do assunto estudado com fatos conhecidos que estão fora do escopo da aula, o que caracteriza uma ação de terceiro momento:

A13 – E aquele negócio no gás? A voz fica diferente, por quê?

A7 – A voz muda.

A11 – É, dependendo do gás ele fala fino ou fala grosso.

PP – Tem haver com as partículas do gás. A velocidade do som aumenta ou diminui, dependendo do gás, fazendo com que a frequência aumente ou diminua, e com isso a voz ficar mais aguda ou mais grave.

Ao buscar relação com o tema, o aluno A13 faz um questionamento, demonstrando capacidade de abstração e curiosidade epistemológica ao se referir à mudança da voz quando a pessoa está sob efeito de um determinado gás. O Aluno A7 confirma, e o aluno A11 reitera, afirmando que os sons podem mudar dependendo do gás. Nesse diálogo, característico de

terceiro momento, os alunos revelam uma boa capacidade de abstração, ao relacionarem o assunto estudado com algo que tem sentido para eles.

O suporte teórico fornecido no segundo momento, associado com as situações significativas envolvidas nos temas, possibilitou outro diálogo característico de terceiro momento, com indícios de curiosidade epistemológica, como o que segue:

A13 – Tem pessoas que colocam celular dentro do copo, você já fez isso?

A7 – O som sai mais alto.

A3 – Adianta mesmo?

A13 – Adianta. Melhora o som – aí põe dentro do copo sem água é claro.

A7 – Eu não sei porque, mas adianta. Eu já vi que no copo de vidro fica melhor que o de plástico.

PP – De vidro fica mais alto que o de plástico. Vocês acham que o tipo de material influencia na propagação do som?

A2 – Eu já coloquei o celular dentro do copo, pra aumentar o som.

A6 – E funciona?

A2 – Sim.

Nessas falas, observamos que o aluno A13 apresentou um exemplo que faz surgir um diálogo entre os alunos, onde relacionam uma situação real vivida por eles com os conceitos estudados até esse instante, despertando o pensamento crítico e a capacidade de abstração, já que tiveram que comentar as situações envolvidas em seu cotidiano.

Observamos, também, características de terceiro momento quando abordado o assunto “intensidade sonora”:

A8 – Quando aumento o volume da TV, estou aumentando o que?

PP – Quando vocês aumentam o volume da televisão, vocês estão aumentando esse tamanho da onda aqui ó! [desenhando no quadro a onda aumentando a amplitude]. Então, o tamanho da onda é a amplitude.

A13 – O tamanho da onda não é o volume?

PP – Sim. O tamanho da onda é a amplitude, o volume é amplitude.

Novamente, observamos uma situação, na qual o aluno indicou haver extensão do conhecimento, onde o aluno A8 demonstrou capacidade de abstração ao relacionar o tema com o seu dia a dia. O aluno A13 apresentou indícios de pensamento crítico, ao questionar o professor quando este afirmou que o tamanho da onda é a amplitude.

3.2.3 Velocidade de Propagação

Neste tópico, serão apresentadas as análises dos diálogos relativos ao estudo da velocidade de propagação das ondas. Foram abordadas a expressão matemática da velocidade de propagação das ondas, em especial a velocidade de propagação do som no ar.

No primeiro momento, com o propósito de problematizar, o professor sopra o clarinete e pergunta se a onda produzida em uma nota musical Lá aguda possui a mesma velocidade de uma nota Dó grave? Os alunos seguem:

A8 – Depende.

PP – Depende? Então a velocidade dessa onda aqui [bate em uma nota do xilofone] é a mesma dessa aqui? [bate em outra nota]

A2/A5 – Não.

PP – E aí, o que vocês acham?

A8 – Não sei.

A6 – Como é a velocidade da onda, professor?

Os alunos começam a fazer perguntas buscando soluções para os questionamentos levantados, demonstrando querer conhecer mais sobre o assunto em estudo, evidenciando o alcance proposto pela problematização.

Em seguida o professor mostra uma imagem de um relâmpago, e pergunta aos alunos se eles já viram aquele fenômeno que estava sendo mostrado? Todos responderam que sim. Questiona, então, por que quando estamos a uma determinada distância, primeiro se vê o relâmpago e depois se escuta o trovão? Os alunos respondem:

A10 – Velocidade da luz é mais rápida que a do som.

PP – Por que a velocidade da luz é mais rápida? Mas acontece junto lá, e aí?

A7 – Acho que o som demora um pouquinho.

A8 – Porque o som é mais lento.

PP – Então as ondas não são iguais? Mas vocês falaram que a onda é a mesma?

A5 – As distâncias são as mesmas, né!?

A9 – Então cada um é um? Como assim?

A1 – É estranho isso! Com os fogos de artifício também é assim.

PP – Então as ondas não são iguais?

A6 – Não sei, fala aí pra gente professor?

No caso do aluno A5, consideramos que os questionamentos estimularam o pensamento crítico, quando ele percebe que as distâncias percorridas pelas ondas são as mesmas, pois se as ondas fossem iguais, deveriam ser vistas e ouvidas ao mesmo tempo.

Na fala do aluno A1 revela capacidade de abstração ao relacionar o exemplo dado pelo professor com outro fenômeno de mesmo assunto.

O mesmo aluno A9, que em outro diálogo disse que: “*se são ondas, é do mesmo jeito*”, agora, após esse exemplo, começa a desconfiar de suas respostas, entrando em contradição com seu conhecimento intuitivo. Ao questionar “*Então cada um é um? Como assim?*” demonstra que começa a concluir que suas concepções prévias estavam erradas o que revela pensamento crítico e curiosidade epistemológica.

A postura dialógica do professor segue fomentando a discussão das distintas respostas dos alunos nesse primeiro momento, pois, como afirmam Delizoicov, Angotti e Pernambuco (2012):

Deseja-se aguçar explicações contraditórias e localizar as possíveis limitações e lacunas do conhecimento que vem sendo exposto, quando este é cotejado implicitamente pelo professor com o conhecimento científico que já foi selecionado para ser abordado. (DELIZOICOV, ANGOTTI, PERNAMBUCO, 2011, p. 201)

Ainda no primeiro momento, ao procurar abordar a velocidade do som, o professor questiona:

PP – Será que tem alguma coisa a ver, o som do trovão com quebrar a barreira do som?

A8 – Quebrar a barreira do som? Que isso, professor?

Neste ponto, o aluno A8 demonstra não conhecer sobre o conceito de velocidades supersônicas, mas seu questionamento revela certo interesse em conhecer mais sobre o assunto.

Já no segundo momento, o professor volta a abordar o assunto ao apresentar um vídeo com imagens de aviões supersônicos quebrando a barreira do som, e pede para os alunos observarem o que está acontecendo.

A7 – Ele está quebrando a velocidade do som.

A3 – Como é isso?

A10 – A lá! Ele explode.

A5 – Nossa! Agora eu vi.

A2 – Ele fez uma onda assim, oh! [fazendo um gesto com a mão em formato de círculo]

A3 – Explode?

PP – Não, só o som.

A11 – Ele faz um som tipo trovão.

Curiosos em compreender o fenômeno, surgem questionamentos, revelando a importância dos exemplos também nesta fase de organização do conhecimento. O aluno A7 inicia o diálogo após observar o fenômeno. O aluno A3 apresenta pensamento crítico ao contestar o colega A10, sobre a explosão afirmada por ele. O aluno A11 demonstra capacidade de abstração ao relacionar o fenômeno observado com outro conhecido por ele.

Em seguida o professor explica que quando o avião atinge uma certa velocidade, ele ultrapassa a velocidade de seu próprio som, que no ar é de, aproximadamente, 340 m/s. Os alunos questionam:

A7 – Mas como quebra a barreira do som? Tem que ir mais rápido que isso aí? [mostrando o valor da velocidade do som no ar escrita pelo professor no quadro].

PP – Quando o avião vai mais rápido que o som, seu próprio som comprime o ar na sua frente, e se ele continuar acelerando ele ultrapassa essa barreira de compressão. Isso é chamado de barreira do som.

A9 – Qualquer avião faz isso?

PP – Não! Só os aviões supersônicos. São os aviões que viajam mais rápido que seu próprio som, por isso que chamamos de avião supersônico.

A5 – Faz um barulho?

PP – Sim. E quando ele quebra a barreira do som, acontece esse estrondo.

Nesse trecho do diálogo, observamos que o aluno A7 apresentou um pensamento crítico, quando questiona se a velocidade a ser atingida pelo avião para quebrar a barreira do som deve ser maior que a velocidade do som no ar.

Em seguida, o aluno procura aplicar o conhecimento por meio de um questionamento característico de terceiro momento:

A7 – Um foguete que vai para o espaço tem que subir muito rápido, ele quebra a barreira do som?

O aluno A7 demonstra capacidade de abstração e curiosidade epistemológica, ao fazer esse questionamento, pois busca generalizar a conceituação abordada, relacionando a velocidade do avião apresentado no vídeo com a de uma foguete.

Em outro instante, o professor mostra a imagem de um relâmpago, que foi discutida no momento da problematização inicial, e questiona novamente os alunos sobre qual chegaria primeiro, o som ou a luz?

A8 – A gente vê o relâmpago primeiro, porque a luz é mais rápida.

PP – Está certo, a luz é mais rápida. A velocidade da luz é de aproximadamente 300.000 km/s.

A8 – Nossa! É rápido, hein?

Na fala de A8, fica evidente o aprendizado do estudante ao afirmar ser a luz a mais rápida, mas também bastante surpreso ao conhecer o valor da velocidade da luz, revelada pelo professor.

Para introduzir a equação da velocidade de propagação das ondas, em uma das aulas do segundo momento, o professor vai até o xilofone e toca uma nota musical de cada vez e reforça que, *“sempre que mudar o som, eu estou mudando a frequência, e cada frequência tem um valor em hertz”*.

O professor segue mostrando o comprimento de onda (λ) para os alunos, e, recordando a aula anterior, explica que para encontrar a velocidade de uma onda é necessário multiplicar sua frequência pelo seu comprimento da onda, escrevendo no quadro giz a equação da velocidade.

A7 – Multiplica o lâmbda?

PP – Sim. Esse lâmbda vezes a frequência, você encontra a velocidade da onda.

O aluno A7 fica interessado em resolver matematicamente o questionamento. Em seguida, o professor vai até o xilofone e, ao executar o som no instrumento musical, pergunta se os alunos sabem dizer qual é o valor da velocidade desse som produzido? O aluno responde:

A4 – É só multiplicar o lâmbda vezes a frequência.

PP – Como vamos saber o comprimento da onda?

A5 – assim ó! [o aluno vai até o quadro e mostra o ciclo da onda, tentando associar este ciclo com o comprimento de onda mostrada]

Com essa tentativa de explicação o aluno A5, revela indícios de pensamento crítico, apesar de muito ligada a uma simples observação.

Os alunos ficam calados e o professor volta a bater no instrumento musical (xilofone), produzindo duas notas musicais diferentes, questionando se a velocidade dessas frequências diferentes são as mesmas? Os alunos A2 e A5 respondem que “não”.

Então o professor continua fornecendo elementos para o diálogo, recordando alguns conceitos já estudados, ao mesmo tempo em que produz som no xilofone.

PP – Qual é o meio de propagação do som aqui, vocês lembram?

A3/A11 – O ar.

PP – Será que a velocidade do som tem um valor determinado nos meios, sólidos, líquidos e gasosos.

A3 – Dizem que o som é mais rápido na água, é verdade?

Ao esclarecer que a velocidade do som varia, dependendo do meio em que ele se propaga, o professor segue apresentando aos alunos algumas variações da velocidade do som no ar, na água e no metal.

Ao longo de todo o segundo momento, outros questionamentos característicos de terceiro momento surgiram. Neles, os alunos buscaram articular a conceituação científica apresentada com situações reais, demonstrando em suas falas indícios de capacidade de abstração, pensamento crítico e curiosidade epistemológica.

Essas falas características de terceiro momento surgiram durante a organização do conhecimento, que, segundo Delizoicov, Angotti e Pernambuco (2011), têm como meta capacitar os alunos ao uso dos conhecimentos adquiridos.

A3 – Quando alguém bate alguma coisa na água, e você está mergulhando, parece que a pessoa está perto de você.

[...]

A11 – Professor, então é por isso que quando uma pessoa pula na água, o tubarão a mais de quilômetros já percebe?

A4 – E qual a probabilidade de escapar de um ataque de tubarão, pulando na água?

[...]

A8 – Quando vem o trovão, dá pra saber a distância que o raio cai, né?

A11 – Sim, eu sempre conto 400 metros para cada segundo.

[...]

A2 – Ontem eu estava no ponto de ônibus na BR, e de repente ouvi um barulho, parecendo um pneu estourando, no momento eu não consegui identificar o que era, depois algumas pessoas perceberam que não tinha nenhuma faísca. Aí viram um avião. E então, é porque ultrapassa a barreira do som e ouve um estrondo.

A11 – mas se estiver dentro do avião?

A9 – Eu não sei, porque nunca fiz isso, mas já me falaram que não dá pra escutar nada mais. Fica sem som.

O aluno A3 demonstra capacidade de abstração ao relacionar o tema em estudo com uma situação real.

O aluno A11 apresenta curiosidade epistemológica e pensamento crítico, ao demonstrar descoberta superando seu conhecimento ingênuo e ao mesmo tempo em que concorda com o exemplo dado pelo aluno A3.

Na fala do aluno A8 percebemos, capacidade de abstração e curiosidade epistemológica ao apresentar um exemplo relacionando a velocidade do som produzida por um trovão, para descobrir a distância que o fenômeno ocorreu na observação de um relâmpago.

Na fala do aluno A2 fica evidente a capacidade de abstração do aluno em descrever um fato ocorrido com ele relacionado ao tema em estudo, e curiosidade epistemológica pois a compreensão do assunto abordado revelou um aprendizado que ultrapassou sua curiosidade ingênuo.

Novamente o aluno A11 demonstra um pensamento crítico ao fazer um questionamento retirado do exemplo dado por A2. Já o aluno A9 demonstra uma capacidade de abstração ao procurar elementos do tema em estudo para tentar explicar o questionamento feito pelo aluno A11.

3.2.4 Timbre

Neste tópico, serão analisados os diálogos relativos ao estudo do timbre, iniciando pelos tipos de instrumentos musicais e suas formas de ondas características.

O professor pesquisador, no primeiro momento, informa aos alunos que os instrumentos musicais são classificados por famílias, divididas em: corda, percussão, metais e madeiras. Esclarece que todos eles têm uma forma diferente de vibrar e é isso que classificam as famílias. Depois escolhe dois instrumentos musicais diferentes e apresenta aos alunos, informando que um é chamado de clarinete e o outro de flauta, e que esses fazem parte da família das madeiras.

O professor toca um som na flauta e posteriormente sopra o clarinete, produzindo sons de mesma frequência. O professor produz no clarinete a mesma frequência de um diapasão de 440 Hz (nota musical Lá) apresentado a eles. O professor procura soprar o clarinete e bater no diapasão de modo a ficarem praticamente com a mesma intensidade, de modo que os alunos identifiquem o que é timbre. Ao perguntar se os alunos conseguem identificar o instrumento musical pelo som produzido, a maioria responde que sim, então o professor segue questionando:

PP – Mas, porque vocês conseguem perceber?

A6 – Porque são instrumentos diferentes.

A4 – Um instrumento é menor.

A3 – Eu percebi, professor, que por trás do som do instrumento tem um chiadinho. [Referindo-se ao clarinete].

A8 – O clarinete sai um som mais forte.

Os alunos buscam respostas em suas observações e ficam calados ao serem questionados sobre o conceito. Afirmam conseguir perceber e identificar cada instrumento que está executando os sons produzidos, mas não sabem dizer o porque conseguem diferenciar um som de mesma frequência e intensidade produzidas em diferentes instrumentos musicais.

Outros questionamentos foram feitos nesse primeiro momento, com o propósito de problematizar e compreender melhor os fenômenos demonstrados.

PP – Se bater no diapasão e soprar o clarinete, de olhos fechados, você consegue diferenciar os sons?

A7 – Sim, professor.

PP – Mesmo o som saindo de instrumentos diferentes, vocês acham que a onda tem o mesmo formato?

PP – Como vocês conseguem diferenciar a voz de uma pessoa da outra?

A8 – O som é diferente.

O professor apresenta sugestões no sentido de fomentar o diálogo sobre o tema em estudo. Os alunos revelam certo interesse em descobrir como os sons de mesma intensidade e

frequência são diferentes em variados instrumentos musicais, e fazem questionamentos, tais como:

A13 – Então, cada onda que sai de um instrumento é diferente? Mesmo sendo a mesma nota musical?

A8 – O instrumento treme junto com o som, não é professor? Por isso fica diferente.

PP – Vibra junto. Será que é isso?

O professor segue não fornecendo respostas aos alunos pelos questionamentos feitos e buscando sempre problematizar, de forma que sintam a necessidade de buscar mais conhecimentos.

O aluno A13 apresenta pensamento crítico ao questionar a possibilidade da característica das ondas que saem dos instrumentos serem diferentes, mesmo sendo a mesma frequência. Na fala do aluno A8, consideramos que seus questionamentos demonstraram pensamento crítico ao buscar justificativas, quando afirma que a diferença dos sons emitidos por cada instrumento estaria na vibração do próprio instrumento causada pelo som produzido, e ao confirmar sua afirmação com o professor: “*não é professor?*”.

No segundo momento, após retomar alguns conceitos abordados em aulas anteriores sobre o tema, o professor toca no diapasão, fazendo-o ressoar, depois produz a mesma nota musical na flauta e em seguida no xilofone, e questiona como é possível identificar de qual instrumento o som está sendo produzido, mesmo estando de olhos fechados? Os alunos afirmam que:

A8 – É que cada instrumento tem seu formato.

PP – Então cada onda também tem seu formato?

A3 – Acho que sim.

O aluno A8, por achar que o formato da onda produzida está relacionada diretamente com a forma do instrumento pelo qual ela é produzida, demonstra pensamento crítico.

Após algumas explicações sobre o conceito de timbre, o professor mostra diferentes desenhos de ondas de mesma frequência e intensidade produzidas em diferentes instrumentos musicais. Em seguida esclarece que nem todos os sons têm o mesmo efeito psicológico sobre nossos ouvidos, pois existem uma diferença das intensidades dos harmônicos produzidos nos dois sons e também os distintos métodos pelos quais os sons foram produzidos.

Segue envolvendo os alunos em outra atividade prática com o propósito de compreender melhor os conceitos estudados: pega algumas garrafas de vidro vazias e explica

para os alunos que essas garrafas, ao serem tocadas por um objeto, vão produzir sons diferentes à medida em que nelas colocarmos água.

O professor separa dois grupos: um toca na tecla do xilofone e o outro vai enchendo as garrafas e nelas batendo, procurando produzir o mesmo som emitido pelo xilofone:

A8 – É muito difícil professor.

A2 – Colocando água?

[...]

A10 – Vai funcionar não.

PP – Eles irão bater nas teclas e nós vamos encher de água as garrafas para tentar reproduzir os sons que eles estão fazendo. [professor explicando a dinâmica para os grupos de alunos].

O aluno A2 apresenta um pensamento crítico ao questionar o processo e o aluno A10 ao considerar o provável não funcionamento do experimento.

Os alunos vão realizando a tarefa e ao mesmo tempo, observando a mudança sonora produzida ao encher as garrafas com água. O professor vai reforçando os conceitos estudados anteriormente, ao mesmo tempo em que abre discussão para compreender melhor o conceito de timbre.

PP – Está o mesmo som?

A9 – Não. Enche mais.

PP – E agora? A gente está tentando aproximar o som, igualar as frequências.

A9 – Acho que está igual.

[...]

PP – Aí, vai batendo na garrafa que eu vou colocando água. [em outra garrafa, o professor vai colocando água para mudar o som].

A6 – Está alto.

A2/A11 – Tá baixo.

A10 – Está mais grosso o som.

PP – Está mais grosso, mais baixo. Então, pra diminuir a altura do som das garrafas, o que temos que fazer?

A1 – Colocar mais água.

Os alunos observaram na prática que para o som ficar mais alto é preciso diminuir a coluna de ar da garrafa. Após alguns instantes, os alunos conseguem produzir nas garrafas um som de frequência aproximada à do xilofone. O professor volta a questionar:

PP – Todos concordam? É o mesmo som? [batendo na garrafa, enquanto outro aluno bate na tecla do xilofone].

A11 – Agora sim.

A5 – Mesmo som.

PP – O que estamos fazendo?

A9 – Afinação.

PP – Então, se eu produzir o som na garrafa e no xilofone, vocês não conseguem saber qual eu estou tocando, já que é o mesmo som?

A5 – Dá pra saber.

O professor sempre busca questionar e dialogar, com a intenção de despertar no aluno, por meio da observação e análise das situações apresentadas, a necessidade de compreender os conceitos estudados.

O aluno A5 apresenta pensamento crítico, pois concorda que os sons são iguais, mas que é possível distinguir de qual instrumento o som está sendo emitido, mesmo a nota musical sendo a mesma.

Os alunos, ao buscarem aplicações práticas dos conhecimentos estudados sobre timbre, produzem diálogos com características de terceiro momento:

A7 – Então, se mudar a voz no telefone não adianta?

[...]

A13 – O perito da polícia sabe, não adianta disfarçar a voz, afinar a voz.

A12 – Falar fino.

A4 – Então, como ficam as pessoas que imitam outras? A voz fica idêntica.

A13 – Já vi um homem imitar o som de uma pássaro ou a voz de uma pessoa. Sai igualzinho.

A8 – Tem pessoas que são boas pra imitar mesmo.

A2 – Eu acho muito interessante como a gente conhece a voz de uma pessoa.

A10 – Se eu ouvir uma pessoa falando eu reconheço. Aquela voz no áudio que apareceu na televisão é a do Temer.

A7 – Quando minha mãe me chama, eu conheço a voz dela.

A9 – Meu cachorro conhece o som do carro do meu pai chegando lá na esquina.

No diálogo anterior, o aluno A7 revela capacidade de abstração, ao questionar a possibilidade de mudar o som da voz ao falar no telefone e desperta em seus colegas outros questionamentos também envolvendo capacidade de abstração, como foram os casos dos alunos A9, A10 e A13 que apontam elementos ligados a situações reais vividas por eles. Já o aluno A4 apresenta curiosidade epistemológica ao querer saber como ficam as pessoas que imitam outras, neste contexto.

Na sequência do diálogo, os alunos seguem dando exemplos que abordam sistematicamente o conceito de timbre, inclusive fazendo questionamentos quanto ao material com o qual é construído cada instrumento:

A4 – Madeira diferente, também muda o som?

A1 – Qualidade do material.

Outros diálogos característicos de terceiro momento surgiram após a abordagem teórica. Neles, os alunos buscam articular a conceituação científica com situações reais, demonstrando em suas falas indícios de capacidade de abstração e pensamento crítico.

PP – Aquilo ali também é onda? [mostrando desenho de várias ondas diferentes, representando o conceito de timbre]

A6 – Isso aí está parecendo onda de terremoto.

A5 – Tá parecendo exame de coração.

Nesse trecho acima, os alunos A5 e A6 buscam comparar a explicação do professor com algo que eles conhecem e acham parecido, demonstrando, assim, indícios de capacidade de abstração.

PP – Então, se a pessoa é um músico, ele consegue gravar esse som na cabeça e identificar a nota musical.

A3 – Como ele sabe que esse som é o fá?

PP – O músico acostuma de tanto ouvir. Esse outro é lá também. [sopra o clarinete].

A13 – Mas é mais fino o som, e é lá também!?

A10 – Esse som é o mesmo barulho do meu celular.

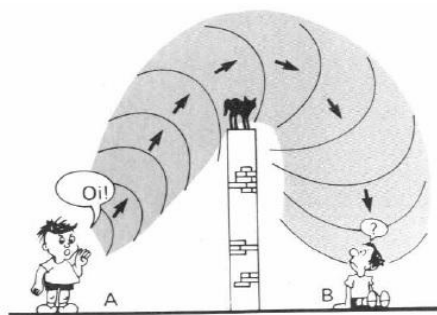
Consideramos que o aluno A13 em seus questionamentos apresentou pensamento crítico e bastante interesse em conhecer mais sobre o assunto. Já o aluno A10 demonstrou capacidade de abstração ao relacionar o som emitido pelo instrumento a um som comum em seu cotidiano.

3.2.5 Difração

Neste tópico, serão abordadas as análises relativas à difração do som, propriedade das ondas sonoras de contornar obstáculos.

O professor apresenta um desenho aos alunos, Figura 3, contendo duas crianças conversando, separadas por um muro, com uma delas direcionando sua voz para o alto do muro.

Figura 3. Difração sonora em torno de um muro.



Fonte: Antônio Máximo, Beatriz Alvarenga. Curso de Física, v.2. São Paulo: Scipione, 1997, p. 842.

O professor questiona:

PP – Se essa criança de cá, tivesse falado na direção do muro, a criança de lá do muro, será que ela conseguiria escutar?

A4 – Não.

PP – Por que não?

A8 – Escuta, dependendo da altura do som. Ele vai escutar mais abafado.

Com isso, o professor inicia o primeiro momento problematizando uma situação comum. Em seguida sai da sala de aula e bate em um diapasão e depois sopra o clarinete ainda do lado de fora da sala com a porta fechada. Ao serem questionados se conseguem escutar o som produzido pelos instrumentos, os alunos respondem que sim e continuam dizendo:

A7 – Lá fora fica mais baixinho o som.

PP – Como o som chegou até você?

A8 – Qual é o nome disso, professor?

A10 – Quer deixar a gente curiosa, né professor?

Os alunos A8 e A10 sentem-se curiosos com o fenômeno, característica do primeiro momento pedagógico, pois despertou neles a curiosidade com o tema e a necessidade de conhecer mais sobre o assunto.

Ao iniciar o segundo momento, o professor contextualizou o conceito de difração, apresentando outra imagem de difração, com o propósito de retomar a discussão iniciada no primeiro momento. Então, o professor fecha bem a porta da sala de aula e pergunta se alguém está escutando ele falar no lado de fora da sala de aula, ao que os alunos respondem que sim. Em seguida, pergunta como o som está passando para dentro da sala, já que ela está bem fechada. Os alunos respondem:

A7 – A parede vibra.

A2 – Passa por baixo da porta.

A9 – Pelo buraco da fechadura.

As respostas dadas por A2, A7 e A9 mostram que os questionamentos estimularam o pensamento crítico desses alunos, quando os mesmos apresentam respostas mais adequadas e compatíveis com os conceitos estudados.

O professor concorda com as respostas dos alunos e esclarece que quando uma pessoa chama outra e existe um obstáculo, podendo ser um muro ou uma parede, o som contorna esse obstáculo, entrando por uma porta, por uma janela ou por qualquer fresta existente.

Em seguida toca um instrumento musical fora da sala de aula com a porta fechada e ao entrar reforça dizendo que o fenômeno físico que explica o fato de o som conseguir contornar obstáculo é chamado de difração.

Para esse tópico não apareceram afirmações ou questionamentos, feitos pelos alunos, que envolvessem aplicações deste fenômeno, que indicassem elementos de terceiro momento pedagógico.

3.2.6 Eco e Reverberação

Neste tópico, analisaremos os três momentos pedagógicos relacionados a dois fenômenos sonoros, o eco e a reverberação.

Com a intenção de provocar um diálogo no primeiro momento, o professor apresenta um vídeo, no qual uma moça aparece cantando em cima de um poço e sua voz produz distorções sonoras características do fenômeno chamado de reverberação.

Em seguida surge um diálogo entre os alunos, tentando associar a reverberação com o fenômeno de amplitude já discutido em sala e já apresentado neste trabalho.

A8 – Igual àquele negócio de colocar o celular no copo?

PP – Vocês acham que esse fenômeno, da moça cantando, é igual ao efeito causado por colocar um celular no copo?

A12/A3 – Acho que sim!

PP – Será?

A5 – Então explica professor?

No primeiro momento, o professor indaga os alunos com o propósito de forçar os questionamentos para que as dúvidas fortaleçam a problematização. Segundo os autores Delizoicov e Angotti (1994), a finalidade desse momento é propiciar um distanciamento crítico do aluno ao se defrontar com as interpretações das situações propostas para discussão.

No segundo momento, o professor faz uma breve recapitulação de alguns assuntos e relembra os conceitos estudados anteriormente, passando a apresentar a reflexão de ondas, conceito fundamental para compreender o eco e a reverberação.

O professor segura uma das extremidades de uma corda, de aproximadamente 4 metros, e pede para um aluno segurar a outra ponta. Antes de produzir pulsos formando uma onda transversal, lembra à turma que no primeiro dia foram feitas várias tentativas com uma corda pequena, de aproximadamente 1 metro, mas que ninguém conseguiu. Em seguida, afirma que ninguém iria conseguir mesmo, pois a corda era muito curta para que se conseguisse produzir ondas transversais de grande amplitude.

Com um aluno na outra ponta, o professor inicia um movimento de subir e baixar a sua ponta da corda, produzindo pulsos, um de cada vez, para que os alunos observassem a reflexão desse pulso na outra extremidade.

A4 – A onda vai e volta mesmo.

A1 – É mesmo!!

PP – Reflexão.

A6 – Na luz também acontece isso?

PP – Sim, na luz, no som acontecem a reflexão.

A11 – Legal! Muito bom.

Nesse diálogo, observamos novamente que os questionamentos e a metodologia didática estimularam o pensamento crítico dos alunos, como na fala de A6, quando questiona se há semelhança de fenômenos de reflexão entre diferentes tipos de ondas (onda mecânica e eletromagnética).

O professor repete o vídeo mostrado no primeiro momento, no qual uma moça canta na direção do fundo de um poço, produzindo uma leve distorção no som, e ao questionar os alunos se conheciam o fenômeno, a maioria respondeu:

A9 – Famoso eco.

A7 – Eco.

A6 – É o eco.

Após responderem o questionamento feito, o professor esclarece que eles estão errados, pois o certo é reverberação e não eco. Os alunos apresentam-se surpresos com a revelação do professor.

A5 – Como assim professor?

A6 – Então não é eco, não?

Nesse momento de organização do conhecimento, o professor esclarece as dúvidas dos alunos e explica que o eco só vai acontecer quando o obstáculo no qual a onda sonora irá se refletir estiver acima de 17 metros de distância do emissor da onda. Isso considerando 340m/s a velocidade do som no ar e um intervalo de tempo de pelo menos um décimo de segundo para que o ouvido perceba os dois sons (o incidente e o refletido). Porém, se acontecer reflexão da onda sonora a menos de 17 metros da fonte sonora, o fenômeno se chama reverberação.

A3 – Reverberação?

PP – Sim.

A6 – Então, se a gente cantar no banheiro da reverberação?

Observamos que o aluno A6 demonstrou capacidade de abstração, ao relacionar o conceito científico estudado com um fenômeno observado por ele em seu cotidiano.

O professor explica que no banheiro e no exemplo da moça cantando na borda do poço, o som reflete nas paredes, e como elas são muito próximas, as ondas sonoras interferem umas nas outras, produzindo a reverberação.

Neste tópico foram identificados diálogos característicos de terceiro momento, e que demonstram indícios de capacidade de abstração e curiosidade epistemológica dos alunos.

A3 – Aquela música de Maiara e Maraisa, está errada, então? [Maiara e Maraisa são os nomes das cantoras sertanejas que cantam uma música falando do eco que ficou em um quarto vazio].

PP – Aquela música que fala “só o eco, eco, eco”, conceitualmente está errada.

A2 – Errada, como professor?

A6 – Então não é eco não? Sempre achei que era eco.

[...]

A3 – Reverberação?

PP – Sim, as cantoras teriam que cantar reverberação, reverberação, reverberação, a não ser que o quarto delas tenha 17 metros ou mais.

Nesse trecho, observamos que o aluno A3 buscou exemplificar o conceito estudado, revelando capacidade de abstração, ao buscar um exemplo que faz parte do seu universo cultural. O aluno A6, demonstra pensamento crítico ao contestar o exemplo dado pelo aluno A3 sobre o fenômeno do eco ocorrido em um quarto.

Outros questionamentos característicos de terceiro momento foram surgindo, após o suporte teórico fornecido.

A2 – Por que que quando entra em uma sala cheia de móveis a gente não consegue ouvir o eco? Pode ser um galpão.

[...]

A4 – Por que no banheiro a gente consegue perceber o som mudando?

O aluno A2 revela capacidade de abstração ao buscar exemplo em seu cotidiano e curiosidade epistemológica ao questionar o fato do som não sofrer distorção quando produzido em uma sala cheia de móveis, e ainda complementa que “*pode ser um galpão*”, possivelmente para justificar o fato do galpão ter uma maior distância onde o eco possa ser percebido.

3.2.7 Ondas estacionárias

Neste tópico, será analisado o estudo das ondas estacionárias e como elas são responsáveis pelos sons produzidos nos instrumentos musicais.

Com o propósito de problematizar no primeiro momento, o professor apresenta um vídeo que mostra as ondas produzidas nas cordas de um violão, filmadas de dentro para fora do instrumento. Os alunos ficam surpresos e curiosos com o fenômeno.

A11 – Olha, dá pra ver as ondas.

A7 – Que legal, hein?

A6 – De fora não dá pra ver não?

A5 – Onda menor é mais difícil de ver.

A7 – Deve ser por causa da iluminação.

A2 – Explica aí pra gente, professor.

Surgem diálogos entre os alunos, no qual eles tentam explicar o fenômeno com base em seus conhecimentos intuitivos e termina com os alunos interessados em compreender o fenômeno apresentado.

No segundo momento, o professor pega, novamente, a corda de aproximadamente 4 metros, segura em uma ponta e pede para um dos alunos segurar a outra extremidade e produzir pulsos. Ao repetir continuamente o movimento, a corda começa a formar harmônicos. Então, o professor pergunta se os alunos estão vendo o nó da onda estacionária formada na corda:

A4 – Tô vendo não!

A9 – Cadê?

A7 – Ala ó, nó rodando aí.

A14 – Cadê o nó? Essa voltinha?

A9 – Essas bolinhas.

PP – Essa voltinha se chama ventre. Estão vendo?

A14 – Dá até pra muita gente pular corda.

PP – Quantas voltas têm?

A8/A11 – Três.

PP – Isso, então nós conseguimos fazer 3 harmônicos.

Os alunos vão observando o movimento realizado na corda e buscando compreender o conceito mostrado pelo professor. O aluno A14 ao perceber o movimento, faz uma relação do que está sendo observado por ele com uma brincadeira de pular corda.

Para contextualizar as ondas estacionárias, o professor mostra aos alunos a flauta doce e apresenta um *slide* com um desenho caracterizando a formação dos harmônicos dentro da flauta e os compara com o movimento produzido na corda.

Sopra a flauta para os alunos perceberem os sons harmônicos, informando algumas notas musicais. Toca a nota Dó e informa que é o primeiro harmônico, e é encontrada quando se fecha todos os registros de passagem de ar da flauta. Explica que aquilo que foi feito na corda, de forma aparentemente semelhante, está acontecendo com o ar dentro do instrumento musical.

Em seguida pega um violão e mostra aos alunos como seriam os harmônicos produzidos na corda do instrumento, juntamente com seus respectivos sons. Complementa mostrando um vídeo com várias garrafas cheias de água, produzindo sons, e o formato das ondas nos tubos fechados. Os alunos seguem dialogando:

A11 – Como é isso professor?

PP – Do mesmo jeito que fizemos na aula passada, você coloca um pouco de água e o comprimento da onda fica menor mudando o som. Só que aquele dia bateu na garrafa e aí eles estão soprando na boca da garrafa.

A7 – É massa! Igual os caras da Tim. [aluno referindo a uma propaganda de uma operadora de telefonia celular].

A8 – Nossa!! Depois vou tentar fazer isso com as garrafas em casa.

A14 – O professor fez aqui na sala.

A8 – Eu sei, tem a medida certa pra fazer cada som.

A1 – Não é fácil não, hein.

PP – Então, isso é um exemplo de tubos fechados. Cada garrafinha daquelas tem certa quantidade de água para fazer a nota produzir frequências diferentes.

O professor complementa e explica os conceitos de tubos abertos e fechados caracterizando os harmônicos.

Em sua fala, o aluno A7 apresenta capacidade de abstração ao identificar o fenômeno em uma propaganda de televisão. No caso do aluno A8, ele revela um pensamento crítico ao afirmar ao colega como fazer para reproduzir o experimento em sua casa e esclarece que sabe que existe uma medida certa para produzir cada som (harmônico).

Na fala do aluno A1, observamos indícios de um pensamento crítico, quando afirma para o colega que existe uma dificuldade em produzir um som específico na construção da atividade prática com as garrafas.

Destacamos também outro exemplo de aplicação com característica de terceiro momento, que revela a capacidade de abstração e curiosidade epistemológica do aluno.

A11 – Eu já fiz isso. Quando vou encher a garrafa de água lá em casa, o som vai mudando. Eu nem sabia, têm Física nisso?

3.2.8 Ressonância

Neste tópico, a ressonância apresentada por meio de diapasões, da quebra de taças de cristal por meio da voz e do desastre da Ponte de Tacoma Narrows é trabalhada ao longo dos momentos pedagógicos.

Inicialmente, ao tentar problematizar a ressonância, o professor pega um diapasão e bate com uma baqueta, fazendo-o soar, e pergunta aos alunos com relação à sonoridade.

PP – Todos estão escutando?

A3 – Sim, bem baixinho.

A5 – Muito pouco.

A4 – Nada.

Em seguida, o professor coloca o diapasão ainda vibrando em sua caixa de ressonância, conforme Figura 4.

Figura 4. Caixa de ressonância utilizada para explicar o fenômeno.



Fonte: <https://www.3bscientific.com.br/imagelibrary/U10121/U10121_01_Diapasao-de-440-Hz-sobre-caixa-de-ressonancia.jpg>. Acesso em 28 jun. 2018

Os alunos, ao observarem o fenômeno, se mostram perplexos:

- A7 – Nossa que massa!
- A4 – O som ficou mais forte do nada!
- A16 – Como fez isso?
- A5 – Ah, professor. O senhor colocou na caixinha!
- A3 – O som fica mais concentrado.
- A11 – Como assim?

Esse diálogo entre os estudantes revela a surpresa que tiveram ao terem presenciado o efeito que o fenômeno causou. Os estudantes buscam conhecimento do senso comum para tentar explicar o fenômeno, mesmo demonstrando não terem base conceitual suficiente.

O aluno A4, que anteriormente não estava escutando o som, apresentou-se surpreso ao ouvir o som após o diapasão ser colocado para vibrar na caixa de ressonância.

O professor pega outro diapasão menor, e faz soar batendo levemente nele com uma baqueta. Como vibra em outra frequência, não produz o mesmo efeito, que o anterior, ao ser colocado na caixa de ressonância. Após fazer experimento com diferentes tipos de diapasões, o professor questiona os alunos:

- PP – Por que para esses outros, quando coloco na caixa, o som não fica mais “forte”?
- A6 – O cabinho dele é bem menor.
- PP – Olha aqui pra vocês verem. [professor mostra para os alunos que o suporte e a base dos diapasões são iguais]
- A6 – É igual mesmo.

Surpresos com o fenômeno, mas sem conhecimento suficiente para explicar, os alunos tentam responder baseado em suas observações dizendo que as hastes dos diapasões eram diferentes. O professor pergunta: o que tem na caixinha, que fez com que acontecesse o

fenômeno? Lembra os alunos que, anteriormente, ninguém estava escutando direito e depois de colocar o diapasão certo na caixa de ressonância, o som “aumentou”. Repete o experimento, e pergunta o que aconteceu? Os alunos ficam calados apenas observando o fenômeno.

O professor, em seguida, pega duas caixas iguais de ressonância e coloca uma de frente para outra, conforme a Figura 5.

Figura 5. Caixas de ressonância com diapasões.



Fonte: <https://www.3bscientific.com.br/thumblibrary/U10120/U10120_01_1200_1200_Par-de-diapasoes-de-440-Hz-sobre-caixas-de-ressonancia.jpg>. Acesso em 28 jun. 2018

Ao bater em um dos diapasões acoplado na caixa, o mesmo passa a emitir seu som característico, amplificado pela caixa de ressonância. Em seguida, o professor segura o diapasão, fazendo-o parar de vibrar, abafando seu som. No mesmo instante, o outro diapasão de mesma frequência, também colocado em uma caixa de ressonância, fica ressoando sem que ninguém tocasse nele.

Ao serem questionados se ainda estão escutando o som produzido, eles respondem:

A3 – Sim, ainda ficou um pouco ainda no ar.

A10 – É, ficou um pouco no ar.

PP – Que fenômeno é esse?

A11 – Sei lá! Como aconteceu isso?

A7 – Professor, segura mais tempo para ver se enche mais a caixa.

Demonstrando não conhecer o fenômeno em questão e curiosos em querer saber mais sobre o tema em estudo. O aluno A7, demonstra suas concepções certa ingenuidade ao acredita que ao esperar um tempo maior antes de abafar o som, o mesmo ficará ressoando mais tempo na sala de aula, pois o som fica preso dentro da caixa de ressonância.

O professor mostra para os alunos que tem duas caixas iguais e repete o experimento, colocando as caixas mais próximas uma da outra.

A7 – Nossa, passou de uma caixinha pra outra.

A11 – Tem som nas duas?

A3 – Como passou de uma caixa pra outra?

A1 – Tem uma conexão.

A11 – Muito estranho isso, professor.

A2 – ...agora responde.

Demonstrando-se surpresos com o resultado, os alunos apresentam muitas dúvidas e bastante curiosos em saber a resposta, tentando compreender o fenômeno e ao mesmo tempo saber do professor a resposta para o problema.

O professor novamente pega o violão e faz um questionamento aos alunos sobre o formato do violão.

PP – Será que o formato, esse desenho do violão, tem alguma coisa a ver com esse fenômeno que acabamos de ver, será?

A11 – Acho que não professor?

PP – Então, porque não fazem um violão quadrado?

A7 – É mesmo professor.

A10 – É mesmo, né?

A8 – Nunca parei para pensar nisso. Sempre vi as pessoas tocarem e achei que era para encaixar o braço.

PP – Mas se o violão não estivesse essa caixa, ele ressoava do mesmo jeito?

A6 – A caixa serve pra isso!?

Na fala dos alunos A7 e A10, revelam um certo grau de descoberta ao concordar com o questionamento feito pelo professor, ao comparar o som produzido no violão com o fenômeno produzido na caixa de ressonância. Já o aluno A8, demonstrou uma curiosidade epistemológica ao se expressar que nunca havia pensado no assunto, sobre o formato do violão estar ligado a produção do som, e complementa dizendo que acreditava ser para encaixar o braço. O aluno A6 surpreso com a descoberta, e curioso em saber mais, demonstra pensamento crítico.

Os alunos parecem surpresos com a descoberta e na tentativa de mostrar o fenômeno para promover mais o diálogo, o professor apresenta variadas atividades e continua questionando.

PP – Se eu pegar a corda sem fixar ela na caixa, ela sai som, produz som?

A8 – Sai sim, mais é um som diferente.

A11 – Sai som não professor. Não estou escutando.

O aluno A11, demonstra um pensamento crítico ao contestar a resposta positiva dada pelo aluno A8, e em afirmar a não existência do som e que só existirá som se alguém estiver escutando.

Em seguida o professor mostra um vídeo, no qual um som é produzido e uma taça de cristal entra em ressonância, vibrando até quebrar, e questiona:

PP – Será que a gente consegue fazer isso com o som da voz?

A11 – Consegue! eu já vi na TV.

A5 – E quebra mesmo?

A8 – É só atingir o ponto certo.

PP – Mas, qual é o ponto certo?

A6 – Não sei.

A8 – Só dar um grito perto que ela quebra.

PP – Será que é só gritar?

Nesse diálogo os alunos vão buscando possíveis soluções para o fenômeno apresentado. O aluno A11, demonstrou capacidade de abstração ao buscar relação do fenômeno apresentado com um exemplo visto por ele na TV. No caso do aluno A8, mesmo estando errado em suas concepções, consideramos que houve pensamento crítico, ao afirmar aos colegas a existência de um ponto certo para que o som produzido seja capaz de quebrar a taça.

Então, o professor apresenta o vídeo que o aluno A11 citou, explicando que o mesmo foi retirado de um programa de TV, o qual mostra alguns concorrentes a um prêmio tentando quebrar uma taça com a voz por meio das ondas sonoras. O professor questiona qual conseguiria quebrar, será que a voz grave masculina ou a voz aguda feminina? A maioria dos alunos responderam que seria a voz feminina que conseguiria quebrar a taça. Ao final do vídeo os alunos seguem dizendo:

A11 – Nossa!

A5 – O homem conseguiu, hein?

A7 – Quebrou, hein?

Nesse trecho, os alunos demonstram, por meio de suas falas, bastante confusão entre os conceitos, onde alguns revelam não conhecer o fenômeno da ressonância e a maioria dos alunos ficam surpresos por ser a voz masculina a que consegue quebrar a taça.

A7 – Ele cantou pra taça e ela quebrou. Como é isso?

A10 – A moça cantando no poço é igual a esse fenômeno?

A3 – Explica aí, professor.

Os alunos tentam compreender o problema proposto, buscando possíveis comparações com outros fenômenos. Como no caso do aluno A10 ao questionar se esse fenômeno (ressonância) era o mesmo que a do poço (reverberação) apresentado anteriormente, demonstrando desconhecer os conceitos em estudo.

Em seguida, o professor apresenta um vídeo de uma ponte balançando até quebrar. Esclarecendo que essa é a estreita ponte de Tacoma Narrows. O professor explica, rapidamente, a história da ponte, mas não revela o fenômeno que a derrubou e questiona:

PP – Quero que vocês expliquem o que foi que aconteceu e o porque que aconteceu?

A7 – É verdade, é?

A6 – Isso é mentira. Tem lógica não.

A11 – Que isso?

A3 – Como ela está fazendo?

A5 – Foi até quebrar, hein?

A7 – Mas, porque aconteceu isso?

A3 – Você não falou que ela é de concreto? Então, porque ela quebrou?

A7 – Duvido!

Os alunos apresentam muitas dúvidas e curiosidades sobre os fenômenos apresentados nesse primeiro momento. O aluno A3 apresenta um pensamento crítico ao questionar o porquê da ponte quebrar já que ela foi feita de concreto, acreditando que por ser feita de concreto, a ponte não quebraria. O aluno A6 ao dizer “*isso é mentira. Tem lógica não*” e o aluno A7 completar dizendo “*duvido!*”, também consideramos que apresentaram pensamento crítico ao se expressarem sobre o efeito causado pelo fenômeno.

No segundo momento, ao tratar esse tópico, o professor inicia perguntando o que mais chamou a atenção deles na primeira aula (primeiro momento). Os alunos relembram os fenômenos apresentados com entusiasmo, destacando os relacionados ao fenômeno da ressonância:

A2 – A ponte de Tacoma.

A11 – A taça quebrando.

A13 – Caixa que transmite o som.

E ao serem indagados se buscaram alguma informação após a aula inicial, o aluno A7 revela que:

A7 – Tive que pesquisar sobre a Ponte, o senhor não explicou naquela aula.

Nessa fala do aluno A7, demonstra que o primeiro momento alcançou seu propósito, despertando no estudante sua curiosidade e provocando a necessidade de conhecer mais sobre o assunto.

O professor segue o segundo momento, e os alunos, lembrando do fenômeno apresentado na aula anterior, questionam sobre como o professor fez para produzir um som mais intenso, utilizando uma caixa de madeira.

A4 – O senhor falou daquela caixinha, mas não explicou pra gente como se faz para o som ficar mais alto.

A9 – Aquilo foi estranho mesmo.

O professor, então, pega o diapasão e, ao realizar novamente o experimento, esclarece que esse fenômeno é chamado de ressonância e que ao aumentar a amplitude da onda dentro da caixa, estamos aumentando sua intensidade sonora.

Em seguida, pega o violão e mostra que cada corda apresenta uma vibração diferente, e ao serem tocadas, fazem com que o som ressoe dentro do instrumento musical aumentando a intensidade de todas elas devido o formato do violão. E continua explicando:

PP – O diapasão aqui, por exemplo, ao bater nele e em seguida quando eu coloco nessa caixinha, o som fica mais forte.

A4 – Isso que eu quero saber!?

PP – Essa caixinha, diferente do violão, ela só consegue ressoar esse diapasão apenas. É como se o violão tivesse apenas uma corda. Essa caixinha tem o tamanho específico para essa vibração de 440 Hz, 440 oscilações por segundo. No entanto, se eu pegar outro diapasão e fazê-lo vibrar em contato com essa caixinha, não vai amplificar o som.

A8 – Por isso que o violão não pode ser quadrado? Eu nunca vi alguém tocar um.

O aluno A8 demonstra capacidade de abstração e pensamento crítico, pois ao fazer uma pergunta, associando o fenômeno produzido na caixa de ressonância com instrumento (violão), busca confirmação para suas conclusões sobre o formato do violão, relacionando com seu cotidiano.

O professor segue informando sobre o efeito causado na caixa de ressonância, esclarecendo que o som vibra o metal que vibra o ar dentro da caixa, que vai aumentando sua amplitude devido às interferências construtivas que ocorrem dentro dela, aumentando a intensidade do som.

O professor continua explicando que o fenômeno da ressonância e informa que este é o principal fenômeno responsável pelo funcionamento de vários equipamentos eletrônicos devido à sintonia.

Em seguida, o professor retoma a atividade prática do primeiro momento, quando mostrou duas caixas de ressonância idênticas já acopladas com diapasão. Agora, pede para os alunos segurarem uma caixa de frente uma pra outra, na direção do orifício. Explica que as duas caixas e o diapasão são iguais no tamanho, na medida, no material, e que os dois vibram a 440 Hz, e complementa:

PP – Vocês perceberam que o som transferiu de uma caixa para outra. Mas como ele transferiu pra lá?

A12 – Pelo ar.

A7 – A vibração.

Em seguida, o professor apresenta uma taça de vidro para que os alunos consigam quebrá-la usando o fenômeno de ressonância, como foi apresentado para eles no primeiro momento.

PP – Vocês lembram que no primeiro dia eu trouxe um vídeo de um rapaz conseguindo quebrar a taça com o som de sua voz?

A3/A11/A7 – Sim.

A1 – Então, como a gente faz pra quebrar essa taça?

A5 – Gritando.

PP – Mas, não é só gritar não. Primeiro temos que descobrir o som da vibração natural da taça.

A7 – Como vou saber?

O professor bate na lateral da taça com o dedo e informa que se conseguir produzir com a voz o mesmo som (mesma frequência) produzido pela taça, ela entrará em ressonância e se quebrará.

A3 – Manter a mesma vibração, é manter o mesmo som?

PP – Sim, mesmo som.

A1 – Hein, professor! Então, se a gente gritar o som da taça bem alto, perto dela ela quebra?

PP – Pode quebrar, sim.

A11 – Eu não concordo não, porque se não as taças dos bares viviam quebradas.

O aluno A11, demonstrou ter um pensamento crítico, ao negar a possibilidade das taças quebrarem, e capacidade de abstração ao apresentar um exemplo de seu cotidiano.

Após alguns alunos tentarem, sem êxito, quebrar a taça, produzindo o mesmo som com a voz, o professor aproxima a taça do xilofone e começa a bater de leve na lateral da taça com uma baqueta. Em seguida a tecla do instrumento musical que apresenta a mesma vibração da taça começa a vibrar. Então, o professor mostra para os alunos, o que é “produzir o mesmo som”:

PP – Estão vendo aqui, esse é o som da taça. [mostrando para os alunos a tecla do instrumento vibrando ao bater na taça]

A7 – Está mexendo mesmo.

A1 – A tecla está vibrando aqui, mexendo sozinha.

Procurando abordar o conhecimento que vem sendo incorporado pelo aluno, novamente os alunos buscam em seu dia a dia um exemplo para representar o fenômeno, trazendo elementos abordados na organização do conhecimento e caracterizados como

terceiro momento. Citam diferentes aplicações do que aprenderam, em outros contextos e situações:

A11 – Existe um exame que quebra as pedras dentro do seu rim, usando o som, não é professor?

PP – Sim, é o ultrassom.

A16 – Eu já fiz isso, quebrei uma pedra.

A4 – Sério?

Ao buscar em seu universo cultural exemplos aplicados no dia a dia, os alunos vão reforçando os conceitos estudados e a criação de novos questionamentos vão se tornando mais comuns. O questionamento feito pelo aluno A11 revela uma boa capacidade de abstração ao trazer um exemplo de aplicação do fenômeno no seu cotidiano, e comprovado pelo aluno A16 em sua experiência vivida. Já o aluno A4 apresenta indícios de pensamento crítico ao contestar o exemplo dado pelo aluno A11.

Outros exemplos característicos de terceiro momento podem ser considerados nesses trechos de conversa:

A5 – No bluetooth do celular tem, né? Esse fenômeno.

A1 – No violão também tem isso, quando toca a corda de cima vibra a corda de baixo.

A fala de A5 demonstra sua capacidade de abstração ao buscar relação do fenômeno estudado com o seu cotidiano, e curiosidade epistemológica ao questionar a existência do fenômeno no dispositivo do celular. Já o aluno A1 apresenta uma análise abstraída pela observação revelando também capacidade de abstração, ao relacionar o fenômeno observado com o conceito estudado.

Seguem outros diálogos de terceiro momento:

A3 – Professor, aquela ponte que caiu no Rio de Janeiro foi assim também?

PP – Não. Aquela caiu porque a onda do mar bateu nela e ela era mal feita e caiu. Devido a ressaca do mar.

A6 – Com o ultrassom dá pra saber dentro de alguma peça de metal, se ela está quebrando?

PP – Sim!

A6 – No caso do Mutirama, teria como saber se o brinquedo estava quebrando com o ultrassom. Como é isso?

O aluno A3 demonstra capacidade de abstração ao relacionar o fenômeno em estudo com um exemplo de seu dia a dia. O aluno A6 busca outros exemplos de aplicação do conhecimento utilizando o fenômeno da ressonância, demonstrando capacidade de abstração e curiosidade epistemológica em querer saber mais sobre o tema ao destacar a possibilidade de analisar trincas de uma peça de metal usando o procedimento estudado.

A11 – O grave é uma nota sonora baixa, né? Faz parede tremer, janela quebrar.

A7 – Por que o som grave faz o alarme do carro disparar?

PP – Se um som grave fizer a mesma vibração do carro ele vai vibrar, tremer e o alarme vai disparar.

O aluno A7, busca no seu universo cultural alguns exemplos que se identifica com o fenômeno apresentado, apresentando capacidade de abstração e curiosidade epistemológica.

O aluno A9 complementa os diálogos se referindo a um grupo musical que usa tambores para produzir sons, dizendo que:

A9 – Aquele grupo do Olodum, lá de Salvador, eles provocam uma vibração, dizem que faz vibração no corpo da gente quando chega perto dos tambores e é um som único no mundo. Então, o nosso corpo vibra igual o tambor?

A fala do aluno A9 indica que houve capacidade de abstração, ao buscar exemplos que descrevem bem o fenômeno estudado.

3.2.9 Batimento

Neste tópico, analisaremos o batimento. Esse assunto foi abordado logo após o tópico ressonância, por utilizar as mesmas caixas de ressonância deste último tópico. Com o propósito de problematizar o professor utiliza dois diapasões com frequência muito próximas, faz ressoar juntos batendo a baqueta nos dois simultaneamente com o intuito de produzir o fenômeno. Questiona se os mesmos conseguem perceber o som produzido, mas a maioria afirma não perceber a diferença entre os sons.

A9 – Não estou percebendo diferença nenhuma no som.

A7 – Tem diferença?

A4 – Pra mim é um som só.

Para exemplificar o fenômeno, o professor apresenta um exemplo de batimento entre duas frequências de 440 Hz e de 439 Hz, reproduzido em áudio, e questiona se os alunos estão conseguindo escutar algo de diferente no som:

A8 – O som some e aparece.

A11 – Está mexendo no volume.

PP – Não está mexendo no volume. Alguém sabe explicar por que acontece isso?

Ao serem questionados, os alunos permanecem apenas observando sem fornecer nenhuma resposta e aguardando resposta do professor, que não fornece explicações para o fenômeno apresentado neste primeiro momento. Com o intuito de aguçar ainda mais a curiosidade epistemológica dos alunos para a solução do problema apresentado, revela que nas caixas de ressonância iguais também acontece a mesma coisa. Esclarece apenas que depois falará mais sobre esse assunto em outra aula.

No segundo momento pedagógico, o professor explica que as ondas sonoras também podem interferir uma na outra, igual fizemos na corda ao produzir pulsos juntos um de frente para o outro, quando as ondas podem aumentar ou diminuir de tamanho quando se encontram.

O professor pega um violão e toca duas notas musicais muito próximas para que os alunos comparem as notas, e em seguida esclarece que para afinar um instrumento musical é necessário que não exista mais variações de intensidade.

A3 – Como no caso da garrafa?

PP – Sim, do mesmo jeito que fizemos para produzir a mesma frequência nas garrafas.

A7 – Se não fizer mais esse “barulhinho” de aumentar e diminuir o som, o violão estará afinado? Sei não!

O aluno A3 ao recordar uma atividade prática ocorrida em outra aula associando ao tema abordado demonstra capacidade de abstração. Já o aluno A7 apresenta um pensamento crítico ao questionar a explicação feita pelo professor.

Novamente roda o áudio apresentado no primeiro momento onde um som formado por duas frequências muito próximas produzem o fenômeno. Então, o professor explica que esse som que parece sumir e aparecer é composto por duas ondas de frequências muito próximas, que se interferem, produzindo o fenômeno que chamamos de batimento. O aluno afirma:

A7 – Eu pensava que alguém estava mexendo no volume.

A1 – Parece uma sirene de polícia.

O aluno A1 demonstra capacidade de abstração ao buscar associar o fenômeno em questão com um exemplo de seu cotidiano.

Após as explicações, os alunos fazem alguns questionamentos, característicos de terceiro momento, que indicam suas falas:

A13 – No violão a madeira influencia, né?

A7 – É claro. Vai fazer um violão de ferro pra ver.

Nesse diálogo, o aluno A13 revela pensamento crítico ao fazer uma pergunta, relacionando o som produzido com o material com que o instrumento foi fabricado. O aluno A7 responde, apresentando um pensamento crítico, ao mesmo tempo em que confirma o questionamento feito pelo colega.

3.2.10 Efeito Doppler

Neste tópico analisaremos o ensino do efeito Doppler a partir dos três momentos pedagógicos. O efeito Doppler é o fenômeno de mudança da frequência da onda percebida por um observador em movimento relativo à fonte que emite a onda.

No primeiro momento, um vídeo sobre o efeito Doppler foi apresentado aos alunos, no qual um carro passa buzinando. Existe uma câmera colocada dentro do carro e uma fora, para melhor observar o fenômeno investigado. Após assistirem o vídeo, os alunos são questionados sobre a mudança ocorrida no som percebido. Alguns tentam explicar o fenômeno, fundamentados em seus conhecimentos intuitivos:

- PP – Primeiro a buzina é tocada escutando de dentro do carro e depois de fora do carro. Vocês viram que o som muda?
 A3 – Parece que abrange.
 A10 – O som parece ser uma coisa diferente.
 A5 – A buzina está virada para frente.
 A1 – Isso acontece porque o carro está andando?
 PP – Como explica isso?
 A8 – Eu sei que é diferente, mas não sei explicar.

As várias respostas dadas pelos alunos revelam que eles não compreendem o fenômeno do efeito Doppler. O aluno A5 tenta justificar a mudança de som, afirmando que a diferença ocorre devido à direção em que a buzina está direcionada. A8 esclarece que percebe o fenômeno, mas que não tem conhecimento suficiente para explicar. O diálogo continua:

- A13 – Interessante professor! O som muda por causa da velocidade, então?
 A8 – Nunca tinha parado pra pensar nisso!
 A5 – Então como o som muda?

Os alunos continuam apresentando dúvidas quanto ao fenômeno, mas como o primeiro momento é para problematizar, o professor apenas fomenta as discussões.

Já em aula do segundo momento, os conceitos sobre o fenômeno foram esclarecidos. Nesse momento, o professor explica que quando a fonte sonora estiver parada e o observador também em repouso, o som percebido terá a mesma altura, mas se um dos dois entrar em

movimento, o som percebido apresentará frequências diferentes, ou seja, a pessoa irá perceber um som mais grave ou mais agudo, dependendo do movimento relativo.

Os alunos A7 e A12 fazem afirmações características de terceiro momento, demonstrando certa capacidade de abstração e curiosidade epistemológica:

A7 – Isso é igual quando o carro de pamonha passa na nossa rua. Fala fino depois fala grosso.

A12 – Quando vejo um vídeo de um carro de Fórmula 1 passando muito rápido, percebo isso acontecendo.

O professor explica o fenômeno por meio de desenhos e explicações orais e, aparentemente, os alunos demonstram ter compreendido o fenômeno.

3.2.11 Efeito do Som

Neste tópico, iremos abordar os benefícios e malefícios que o som pode causar. No primeiro momento, o professor toca no xilofone a mesma nota musical três vezes, primeiro fraco e depois mais forte e em seguida mais forte ainda, para demonstrar a variação da amplitude. Depois, apresenta aos alunos um teste de audição em que a frequência sonora é variada de 20 Hz a 20000 Hz. Ao iniciar os alunos dizem:

A13 – Nossa já começou professor? Não estou escutando nada!

A5 – Nem eu.

PP – Calma, ainda está no 50 Hz.

A11 – Nossa! 50 não escuta não?

O professor segue o teste e os alunos dizem começar a escutar a partir de 160 Hz, e começam a sentir algum desconforto a partir de 13.000 Hz até os 16.000 Hz, quando param de escutar novamente. Alguns alunos ficam interessados em saber o porquê de não conseguirem escutar algumas frequências sonoras, sendo que foi informado a eles que de 20 a 20000 hertz seria a faixa sonora audível do ser humano. O professor informa que, apesar de o ser humano escutar na faixa de 20 a 20.000 hertz, provavelmente o autofalante do computador não consiga reproduzir sons em toda essa faixa, daí eles terem começado a escutar as frequências em torno de 160 Hz e parado em torno de 16.000 Hz.

A3 – O som vai ficando fininho.

PP – Sim vai ficando agudo.

A16 – Já começou a doer, hein!

A13 – Chega arrepi. Dói dentro da cabeça.

A11 – Por que a partir dos 16.000 não escutamos mais?

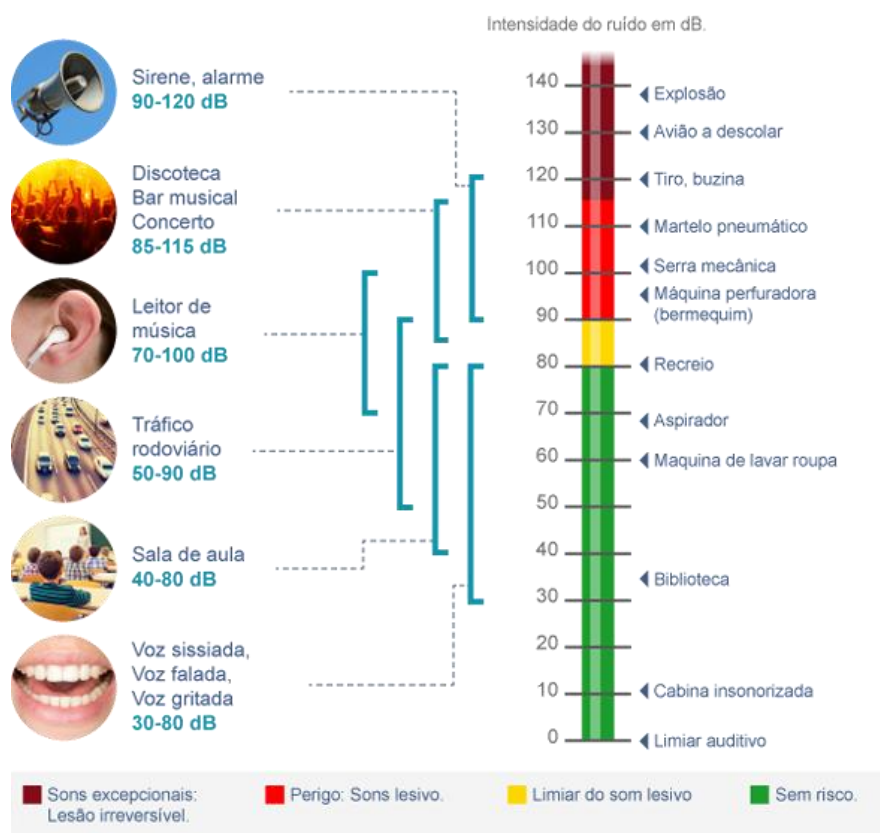
PP – Escuta. Não escuta não?

A7 – Eu não escutei nem abaixo do 150 Hz.

O professor esclarece que esse teste tem pouca intensidade, mas se for feito com muita intensidade pode provocar danos ao ouvido do ser humano. O professor mostra um desenho de uma onda aumentando a amplitude e relembra que quanto maior a amplitude maior a intensidade sonora. Completa dizendo que essa intensidade sonora é melhor medida em decibéis.

No segundo momento, mostra a Figura 6, contendo várias figuras de objetos que produzem sons e seus respectivos níveis sonoros.

Figura 6. Objetos e seus níveis sonoros



Fonte: <http://www.cochlea.org/var/plain_site/storage/images/media/images/jauge_po/15595-1-por-PT/jauge_po.png>. Acesso em 02 jul. 2018

Em seguida, o professor explica que a intensidade sonora pode ser definida como potência por unidade de área, onde bel (B) é uma unidade de medida que nos permite caracterizar se um som é forte ou fraco.

PP – Do zero até o 30 dB é quando está bem silencioso... do 100 dB já incomoda.

A5 – O 100 seria o que professor?

PP – 100 dB seria o barulho de uma furadeira.

A3 – Furadeira é barulhenta mesmo.

PP – Agora, 120 dB já é o limiar da dor.

Em seguida o professor apresenta a equação da intensidade sonora e explica os cálculos logarítmicos para a intensidade sonora. Após os cálculos, o professor mostra que 120 dB é o máximo, por ser o limiar da dor. O som nessa intensidade já prejudica o ouvido.

O professor escolhe uma tecla no xilofone e bate nela com pouca força e explica que essa frequência aguda mesmo batendo com pouca força já incomoda, e se produzir esse mesmo som com muita intensidade pode causar perdas irreversíveis na audição.

Explica também que o som estimula os nossos ouvidos e que com o envelhecimento e o uso excessivo de fones de ouvido ou barulhos muito intensos, começamos a perder essa capacidade auditiva.

Os alunos vão dialogando e construindo o conhecimento com a ajuda do professor.

PP – Agora, acima de 100 dB até o 120 dB já dói, porque 120 dB já é o limiar da dor.

A4 – Ou! 120 é o nível, moço. [aluno falando com outro].

A6 – Isso tem a ver com microfonia professor?

A5 – Mas e quando diz que pessoas que têm a audição mais sensível pode ter problemas antes?

O aluno A5 revela capacidade de abstração, ao questionar buscando associar a antecipação de problemas do ouvido com a sensibilidade auditiva de cada pessoa.

Em seguida, os alunos citam diferentes aplicações em outros contextos e situações do conhecimento que aprenderam, buscando em seu cotidiano alguns elementos abordados no segundo momento. Esses questionamentos são característicos de terceiro momento.

A16 – Tem pessoas que enchem o carro de autofalante, e vai até a praça e liga o som no último volume, na maior intensidade. Por que a polícia vai e manda desligar?

A8 – Porque vai atrapalhar o trânsito.

A5 – É porque é poluição sonora, né?

PP – Isso perfeitamente, você com som muito intenso está causando poluição sonora. É prejudicial à saúde.

A9 – Deixa a gente mais nervoso.

A7 – Porque na lei acima de 90 dB já é prejudicial a saúde.

A12 – Quando incomoda os vizinhos, é poluição sonora?

PP – Poluição sonora tem haver com decibéis. Por exemplo, se eu tocar esse instrumento (xilofone) com força, eu estarei aumentando a intensidade sonora. Essa nota aguda, batendo devagar já incomoda e se eu bater com força e amplificar até 120 db, possivelmente a dor seria insuportável.

A8 – Dói demais o ouvido.

PP – Existem diferentes níveis sonoros. E tem pessoas que são mais sensíveis ao som.

Esse diálogo revela a preocupação dos alunos com a saúde e ao mesmo tempo em que buscam elementos para compreender qual o nível sonoro é permitido por lei. O aluno A16, ao fazer um questionamento descrevendo uma situação vivida, demonstra capacidade de

abstração e pensamento crítico. Os alunos A8, A5, A7 e A9 também apresentam capacidade de abstração ao tentarem explicar a dúvida do colega, relacionando o som muito intenso com o trânsito, a poluição sonora e a saúde das pessoas.

Outros exemplos característicos de terceiro momento são:

A9 – Professor, quando vai ao show, aí você chega em casa. Por que o ouvido fica com aquele chiadinho?

A12 – É! Quando chega de uma festa o ouvido fica zimm [imitando o zumbido no ouvido]. Por quê?

A2 – Nossa é horrível!

[...]

A7 – É igual quando você desce do avião? O ouvido fica entupido.

PP – No avião é diferente. Quanto mais alto você estiver, a pressão atmosférica é menor. Isso acontece quando você vai viajar de carro ou ônibus também, sobe e desce morro. O ouvido entope.

A2 – Já percebi, aí é só bocejar que desentope.

Os alunos A9 e A12 apresentam uma boa capacidade de abstração ao relacionar com seu cotidiano o tema em estudo. No caso do aluno A7, além da capacidade de abstração, surgem também indícios de curiosidade epistemológica ao buscar outro questionamento para contextualizar o assunto.

Outros diálogos com característica de terceiro momento indicam a extensão do conhecimento abordado para novos temas de estudo, nos quais os alunos abordam o conhecimento que vem sendo incorporado para analisar e interpretar situações não ligadas ao tema, mas que são esclarecidas e explicadas por conhecimentos correlatos. Nas falas seguintes, observamos fortemente a capacidade de abstração, pensamento crítico e a curiosidade epistemológica dos alunos:

A8 – Ouvi dizer que os cachorros escutam mais que nós seres humanos.

[...]

A1 – E os fones? [aluna mostra para o professor um fone de ouvido]

A11 – Minha mãe não gosta que eu uso fones.

A7 – vai ficando surdo.

[...]

A11 – Quando vai ficando velho, vai ouvindo menos.

[...]

A3 – Eu ouvi na TV, professor, que as pessoas estão inventando um aparelho que implanta na cabeça, e as pessoas com surdez voltam a ouvir. É verdade isso?

A14 – Já vi em uma criancinha.

[...]

A5 – Onde fica o labirinto?

A2 – Por isso que dá labirintite?

[...]

A9 – O mesmo acontece com raio X. Se você faz muito, direto tirando chapa, seu corpo possivelmente com o tempo pode apresentar algum problema.

A7 – É igual quem trabalha com isso [raio x]. Quem trabalha com isso aposenta cedo.

A2 – Mas radiação é ruim?

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho, procuramos explorar o ensino de ondulatória em uma abordagem dialógica, utilizando os instrumentos musicais no estudo dos sons, buscando, com a utilização dos Três Momentos Pedagógicos, estimular o pensamento crítico, a capacidade de abstração e a curiosidade epistemológica dos estudantes.

Entendemos que na educação formal os conteúdos científicos são pré-determinados, e no sentido de problematizá-los, no intuito de promover algum tipo de emancipação, os Três Momentos Pedagógicos apresentaram-se como uma boa estratégia de ensino no trabalho com os estudantes, pois sabemos que para os autores dos Três Momentos Pedagógicos a educação científica precisa se tornar necessária para deixar de ser “bancária”.

Dentro dessa perspectiva, a pergunta de nossa pesquisa foi: O uso de instrumentos musicais promovem um ensino de ondulatória na perspectiva crítica?

No intuito de respondê-la, trabalhamos com os Três Momentos Pedagógicos como proposta didática. Inicialmente, no primeiro momento, os alunos foram estimulados por meio dos instrumentos musicais a fazerem uma abordagem crítica dos fenômenos apresentados de modo a despertar a necessidade do conhecimento. Os exemplos levantados pelos estudantes tinham uma característica simples e elementar, mas com o decorrer do tempo foram extrapolando os conhecimentos para além da sala de aula, exteriorizando opiniões, enriquecendo o tema com exemplos da vida prática e procurando incorporar ao cotidiano os conhecimentos adquiridos na escola.

Pudemos perceber que o estudo da Física se tornou mais atraente, e com mais significado para eles, quando os tópicos abordados foram inicialmente problematizados em forma de fenômenos para em seguida serem estudados mais detalhadamente.

Durante todo o trabalho, a postura dialógica do professor foi fundamental para que os estudantes sentissem livres e à vontade para expressarem suas ideias, já que assim eles participaram mais ativamente das aulas.

A5 – Nós conversamos e discutimos sobre os assuntos.

A15 – Teve diálogo entre o professor e a turma

A6 – O professor explicava e conversava com nós sobre o assunto.

A12 – Ele explicava e sempre interagia querendo ver nosso ponto de vista.

A9 – Explicações mais práticas e diferentes da maneira que são utilizados por outros professores.

Em suas falas, os estudantes revelaram que a postura dialógica do professor chamou bastante atenção e foi diferenciada do que eles estão acostumados em seu cotidiano escolar.

Em todos os tópicos analisados, observamos que a problematização permitiu o surgimento das concepções espontâneas dos alunos, possibilitando a discussão a partir das dúvidas e explicações com base na curiosidade ingênua dos estudantes. Em todo o trabalho, percebemos que o primeiro momento pedagógico, no qual ocorre a problematização, foi grande estimulador da curiosidade epistemológica e um facilitador da capacidade de abstração, revelando nos alunos a necessidade em buscar novos conhecimentos.

No segundo momento, o professor sempre relembrava os questionamentos feitos pelos alunos no primeiro momento, e no diálogo percebemos que o despertar da curiosidade epistemológica revelou que a metodologia didática além de promover o estímulo à autonomia em buscar novos conhecimentos, também ajudou a melhorar a capacidade abstração e pensamento crítico, devido à quantidade de afirmações e questionamentos feitos pelos estudantes nessa etapa de construção do conhecimento.

O professor buscou responder todos os questionamentos feitos nesse momento de organização do conhecimento, definindo, conceituando e ao mesmo tempo obtendo e fornecendo informações abstraídas do próprio fenômeno, observados nos instrumentos musicais.

Tanto no primeiro quanto no segundo momento, observamos que surgiram dúvidas fora do contexto inicial, nas quais os alunos relacionavam o novo conhecimento com algo que achavam interessante, surgindo como uma forma de se aplicar o que foi aprendido, o que caracterizamos como uma ação de terceiro momento.

Conseguimos identificar situações com características de terceiro momento praticamente em todos os tópicos. Assim, os estudantes analisavam e interpretavam acontecimentos vivenciados e que puderam ser compreendidos pelo mesmo conhecimento, possibilitando estender para novos temas de estudo. Tais aplicações demonstradas nos diálogos revelaram que os alunos buscavam compreender a ondulatória não só nos fenômenos apresentados com os instrumentos musicais, mas a estendendo a outros fenômenos e relacionando o assunto com que viam na televisão, em filmes, em jornais, em suas residências e no dia a dia. Citaram variados exemplos dessa aplicação: em aparelhos usados na medicina, em temperatura de diferentes gases, em fenômenos tecnológicos e naturais, em foguetes etc. Mostraram, também, que o suporte teórico fornecido no segundo momento possibilitou outros diálogos de terceiro momento, revelando indícios de pensamento crítico, capacidade de abstração e curiosidade epistemológica.

Assim, concluímos que os instrumentos musicais conjugados às estratégias didáticas dos Três Momentos Pedagógicos promoveram uma educação mais crítica, conscientizadora e pautada no diálogo. Nestes momentos, os alunos não tiveram receio em se manifestar, como

normalmente acontece, rompendo, assim, com a consciência ingênua, instigados pela curiosidade em um processo investigativo. Os alunos conseguiram compreender a temática abordada, ao invés de apenas recebê-la e depositá-la em suas mentes.

Os Momentos Pedagógicos, aliados às atividades práticas com instrumentos musicais, contribuíram muito para o ensino de ondulatória. Ao trabalharmos com essa proposta didática com estudantes do ensino médio, houve um maior empenho e participação dos educando durante as aulas, provavelmente devido algum tipo de identificação entre o aluno e a temática abordada com a utilização dos instrumentos musicais.

Consideramos que a proposta foi importante, pois permitiu aos alunos perceberem a ciência presente em diversas situações do seu dia a dia, além de proporcionar uma análise crítica do que estava sendo estudado e levantar suas dúvidas e questionamentos, possibilitando associá-los com os de seu universo cultural.

Como o diálogo esteve presente em todos os momentos pedagógicos, podemos afirmar que houve uma relação horizontal entre os sujeitos, originado de uma relação crítica, conforme afirma Paulo Freire.

Alguns obstáculos enfrentados na realização da pesquisa podem ser destacados. Primeiramente, as aulas eram todas nas sextas-feiras, revelando um distanciamento entre uma aula e outra, dificultando uma sequência didática e comprometendo o aprendizado, outra é que a organização da sala de aula para a pesquisa era feita no laboratório de informática e isso perdia-se muito tempo ao deslocar os alunos de uma sala para outra. Outro agravante foi que as primeiras aulas eram muito curtas e o assunto abordado em alguns casos era feito de forma rápida, comprometendo o diálogo. Porém, com todas essas dificuldades a pesquisa apresentou-se eficiente.

Finalmente, para avaliar a proposta didática, pedimos aos alunos que fizessem uma análise das interações entre eles, o professor, os instrumentos e o conhecimento. Algumas respostas foram:

A3 – Eu estava curiosa com os tipos de sons que os diferentes instrumentos Musicais faziam e as explicações do professor.

A5 – Me senti impressionada com todos os sons.

A13 – Fiquei mais interessada no assunto.

A14 – Consegui ver que o assunto é muito mais importante do que eu estava pensando.

A11 – Foi uma forma divertida e diferente de aprender.

A17 – Busquei conhecimentos fora da sala de aula, mas não somente sobre os fenômenos ondulatórios.

A14 – Todo mundo queria saber o por que dessas mudanças de sons.

A12 – O professor sempre nos mostrava os fenômenos nos instrumentos, explicava e sempre querendo ver nosso ponto de vista.

Na fala dos alunos, percebemos que essa metodologia ajudou o professor a ser capaz de transmitir os ensinamentos em Física, reforçando o pensamento crítico, a capacidade de abstração e a curiosidade epistemológica. Os instrumentos musicais permitiram dialogar com os alunos a respeito dos fenômenos sonoros, permitindo que percebessem a ciência presente em diversas situações do dia a dia, revelando a importância do tema. Além de buscar relação com seu cotidiano, os alunos estiveram comprometidos com propostas de transformação social, ajudando a não serem mais vistos como puro objeto da educação.

Ao alcançarmos o objetivo de avaliar a sequência didática para o ensino de ondulatória baseada em instrumentos musicais, concluímos que a sequência didática além de apresentar, durante a prática pedagógica, características de um ensino com perspectiva crítica, foi capaz de estimular o pensamento crítico, a capacidade de abstração e a curiosidade epistemológica dos estudantes.

REFERÊNCIAS

ANGOTTI, J. P. - **Solução alternativa para a formação de professores de Ciências - Um projeto educacional desenvolvido na Guiné Bissau** - Dissertação de Mestrado, FE/USP - São Paulo: 1982.

BIZZO, NÉLIO. **Ciências: Fácil ou difícil?** São Paulo: Ática, 2002. p.74-75.

BOGDAN, R.; BIKLEN, S. **Investigação qualitativa em educação – uma introdução à teoria e aos métodos**. Porto. Portugal: Porto Editora, 1994.

BORGES, A. T. **Novos rumos para o laboratório escolar de ciências**. Caderno Brasileiro. Ensino de Física. v. 19, n.3: p.291-313, dez., 2002

BRASIL. Secretaria de Educação Básica. Parâmetros Curriculares Nacionais – Ensino Médio. Bases Legais. Brasília: MEC/SEB, 2000. Disponível em: <<http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/blegais.pdf>>. Acesso em: 10 Ago. 2017.

_____. MEC – ministério da Educação – PCN's Parâmetro Curriculares Nacionais (1998), Brasília: MEC/SEF

_____. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Média e Tecnológica. Parâmetros Curriculares Nacionais: Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias. Brasília: MEC, 2000.

CARVALHO, A. M. P; GIL PÉREZ, D. **Formação de professores de ciências: tendências e inovações**. 2ª ed. São Paulo: Cortez, 1995.

COELHO, S. M.; MACHADO, G. R. Acústica e música: uma abordagem metodológica para explorar sons emitidos por tubos sonoros. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v.32, n.1, p. 207-222, abr. 2015.

DELIZOICOV, D.; ANGOTTI, J. A. **Metodologia do ensino de ciências**. São Paulo: Cortez, 1994.

DELIZOICOV, D.; ANGOTTI, J. A. P.; PERNAMBUCO, M. M. **Ensino de ciências: Fundamentos e Métodos**. São Paulo: Cortez, 4.ed. 2011.

DELIZOICOV, D. Problemas e Problematisações. In: PIETROCOLA, M. (org.). **Ensino de Física: conteúdo, metodologia e epistemologia numa concepção integradora**. Florianópolis/SC: UFSC, 2001.

DELIZOICOV, D. **Concepção Problematicadora para o Ensino de Ciências na Educação Formal** - Dissertação de Mestrado, FE/USP - São Paulo, 1982.

DOUGLAS KRÜGER DA SILVA. **A Física e os Instrumentos Musicais, construindo significados em uma aula de acústica**. Dissertação de Mestrado, UFRS – Porto Alegre: 2017.

FERRARI, P.C. - **Temas Contemporâneos na Formação Docente a Distância - Uma Introdução à Teoria do Caos**. Tese de doutorado em Educação Científica e Tecnológica, UFSC - Florianópolis: 2008.

FREIRE, P. **Ação Cultural para a Liberdade e Outros Escritos**. rev. atual, 14ªed. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 2011.

_____. **Educação como Prática da Liberdade** [recurso eletrônico]- 1ªed. - Rio de Janeiro: Paz e Terra, 2015.

_____. **Extensão ou Comunicação?** Rio de Janeiro: Paz e Terra, 8º ed. 1983.

_____. **Pedagogia da Autonomia** – Saberes necessários à prática educativa. São Paulo: Paz e Terra, 2001.

_____. **Pedagogia do oprimido**. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 42º ed. 2005.

GASPAR, A. **Física**. v.2, São Paulo: Editora Scipione, 2001.

GADOTTI, M. **Convite a leitura de Paulo Freire**. São Paulo: Editora Scipione, 1991.

GOIÁS, Secretaria de Estado da Educação. Coordenação do Ensino Médio. **Reorientação Curricular do Ensino Médio**. Currículo em Debate. Caderno 5. Goiânia: 2012.

GOTO, M. Física e música em consonância. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v.31, n.2, 2307, 2009.

HALLIDAY D.; RESNICK R. e WALKER J. **Fundamentos de Física**: gravitação, ondas e termodinâmica. Volume 2. 8ª edição. Editora LTC, 2009.

KRUMMENAUER, W.L., PASQUALETTO, T. I., COSTA, S. S. C. **O uso de instrumentos musicais como ferramenta motivadora para o ensino de acústica no ensino médio**. PUC – RS. v.10, n.2, 2009.

LAGO, B. L. A guitarra como um instrumento para o ensino de física ondulatória. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 37, n.1, 1504, 2015.

MÁXIMO, Antônio e ALVARENGA, Beatriz - **Curso de Física** - Vol. 2. São Paulo: Scipione, 1997, p.842.

MINAYO, M. C. de S. (Orgs.). **Pesquisa social**: Teoria, método e criatividade. Petrópolis, RJ: Vozes, 1994.

MINAYO, M. C. de S. Trabalho de Campo: contexto de observação, interação e descoberta. In: DESLADES, S. F.; GOMES, R.; MINAYO, M. C. de S. (Orgs.). **Pesquisa social**: teoria, método e criatividade. Petrópolis, RJ: Vozes, 2008. p. 70-76.

MUENCHEN, C.; DELIZOICOV, D. A construção de um processo didático-pedagógico dialógico: aspectos epistemológicos. **Revista Ensaio**, BH, v. 14, n. 03, p. 199-215, set-dez 2012.

NUSSENZVEIG, H. Moysés, **Curso de Física Básica**. Ed. Edgard Blucher, São Paulo 4 ed. 2002.

PACCA, J. L. A.; UTGES, G. **Modelos de onda no senso comum: as analogias como ferramenta de pensamento**. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 2., Anais... Valinhos, SP: 01 a 04 de setembro, 1999.

PEDUZZI, L. O. Q. (1987). **Solução de problemas e conceitos intuitivos**. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, 4 (1):,17-24.

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

SORDI, M. R. L. de; BAGNATO, M. H. S. **Subsídios para uma formação profissional crítico-reflexiva na área de saúde: o desafio da virada do século**. Rev. latino-am. Enferm., Ribeirão Preto, v.6, n.2, p.83-88, abr. 1998.

TRENTIN, **Os Instrumentos Musicais como recurso didático no ensino de acústica**. Dissertação de Mestrado, Instituto de Física, USP – São Paulo, 2006.

TRIVIÑOS, A. N. S. **Introdução à pesquisa em Ciências Sociais: a pesquisa qualitativa em educação**. 1. ed. São Paulo: Atlas, 2009.

ZABALZA, Miguel A. **O estágio e as Práticas em Contextos Profissionais na Formação Universitária**. São Paulo: Editora Cortez, 1.ed. 2015.

APÊNDICE A

TERMO DE ASSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO – TALE

Você está sendo convidado(a) a participar, como voluntário(a), da pesquisa intitulada **“Fenômenos Ondulatórios e os instrumentos musicais: ensino por meio dos três momentos pedagógicos”**. Meu nome é André Luiz Oliveira, sou o pesquisador(a) responsável e minha área de atuação é ensino de Física. Após receber os esclarecimentos e as informações a seguir, se você aceitar fazer parte do estudo, assine ao final deste documento, que está impresso em duas vias, sendo que uma delas é sua e a outra pertence ao pesquisador responsável. Esclareço que em caso de recusa na participação você não será penalizado(a) de forma alguma. Mas se aceitar participar, as dúvidas *sobre a pesquisa* poderão ser esclarecidas pelo pesquisador responsável, via e-mail (dreol@hotmail.com) e, inclusive, sob forma de ligação a cobrar, através do seguinte contato telefônico: Oi - (62) 98437-5092 / Claro - (62) 98407-7001. Ao persistirem as dúvidas *sobre os seus direitos* como participante desta pesquisa, você também poderá fazer contato com o **Comitê de Ética em Pesquisa** da Universidade Federal de Goiás, pelo telefone (62)3521-1215.

1. Informações Importantes sobre a Pesquisa:

1.1 Título: FENÔMENOS ONDULATÓRIOS E OS INSTRUMENTOS MUSICAIS: ensino por meio dos Três Momentos Pedagógicos.

Justificativa: devido à dificuldade na compreensão dos fenômenos ondulatórios e seus equacionamentos, o objetivo é ensinar esses fenômenos utilizando instrumentos musicais para melhor compreender a teoria.

1.2 Serão utilizadas 6 aulas para aplicação do projeto. Nelas, serão demonstrados os principais fenômenos ondulatórios a partir de instrumentos musicais. As aulas serão realizadas a partir de diálogos entre os alunos e entre estes e o professor pesquisador, promovendo uma interação entre os próprios alunos, o professor e os fenômenos a partir dos instrumentos musicais. Essas atividades serão gravadas em áudio e vídeo para que eu possa, depois, analisar o que foi dito e verificar se houve compreensão e aprendizado. Para isso, preciso que você autorize a gravação desses áudios e vídeos, permitindo que eu use suas falas na minha análise. Eu não usarei, de forma alguma, sua imagem ou sua voz. Serão utilizadas somente as falas que contenham suas opiniões, observações sobre os fenômenos e as interações com os colegas e tudo isso de forma escrita, sendo que não usarei seu nome ou sua imagem para identificar as falas.

1.3 Essa pesquisa trará benefícios tanto para o ensino de Física quanto para melhorar a sua compreensão quanto a fenômenos do dia a dia. Para mim, contribuirá para que eu consiga o grau de mestre em educação, e para os alunos, procurará ensinar a teoria da ondulatória de maneira motivadora e interessante. Caso você se sinta, em algum momento da pesquisa com algum desconforto em participar das aulas, ou ficar angustiado, irritado, insatisfeito, etc., poderá desistir de sua participação sem nenhuma penalização. Basta para isso avisar a mim ou ao professor ou ao coordenador da escola.

1.4 Não haverá custo algum para você participar da pesquisa, pois ela será executada no horário de aula.

1.5 Reforçamos que está garantido o sigilo quanto ao seu nome e sua imagem. Asseguramos sua privacidade e o seu anonimato. Em momento algum da dissertação serão citados os nomes dos alunos ou do Colégio onde se realizou a pesquisa.

1.6 Reforçamos que você tem garantia expressa de liberdade de se recusar a participar ou retirar o seu consentimento, em qualquer fase da pesquisa, sem penalização alguma.

1.7 Terá, também, garantia expressa de liberdade de se recusar a responder questões que lhe causem *desconforto emocional* e/ou *constrangimento* nos diálogos que serão desenvolvidos em sala de aula durante a pesquisa.

1.8 Você terá o direito de pleitear indenização (reparação a danos imediatos ou futuros), garantida em lei, decorrentes da sua participação na pesquisa.

2. Assentimento da Participação na Pesquisa:

Eu, _____, inscrito(a) sob o RG/CPF _____, abaixo assinado, concordo em participar do estudo intitulado “**FENÔMENOS ONDULATÓRIOS E OS INSTRUMENTOS MUSICAIS: ensino por meio dos Três Momentos Pedagógicos**”. Destaco que minha participação nesta pesquisa é de caráter voluntário. Fui devidamente informado(a) e esclarecido(a) pelo pesquisador(a) responsável André Luiz Oliveira sobre a pesquisa, os procedimentos e métodos nela envolvidos, assim como os possíveis riscos e benefícios decorrentes de minha participação no estudo. Foi-me garantido que posso retirar meu consentimento a qualquer momento, sem que isto leve a qualquer penalidade. Declaro, portanto, que concordo com a minha participação no projeto de pesquisa acima descrito.

Goiânia, ____ de _____ de 2017

Faça uma rubrica dentro do parêntese com a proposição escolhida.

() Permito a divulgação da transcrição da minha voz/opinião nos resultados publicados da pesquisa;

() Não permito a divulgação da transcrição da minha voz/opinião nos resultados publicados da pesquisa.

Assinatura por extenso do(a) participante

André Luiz Oliveira (pesquisador responsável)

APÊNDICE B

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO – TCLE

Você está sendo convidado(a) a participar, como voluntário(a), da pesquisa intitulada “**Fenômenos Ondulatórios e os instrumentos musicais: ensino por meio dos três momentos pedagógicos**”. Meu nome é André Luiz Oliveira, sou o pesquisador(a) responsável e minha área de atuação é ensino de Física. Após receber os esclarecimentos e as informações a seguir, se você aceitar fazer parte do estudo, assine ao final deste documento, que está impresso em duas vias, sendo que uma delas é sua e a outra pertence ao pesquisador responsável. Esclareço que em caso de recusa na participação você não será penalizado(a) de forma alguma. Mas se aceitar participar, as dúvidas *sobre a pesquisa* poderão ser esclarecidas pelo pesquisador responsável, via e-mail (dreol@hotmail.com) e, inclusive, sob forma de ligação a cobrar, através do seguinte contato telefônico: Oi - (62) 98437-5092 / Claro - (62) 98407-7001. Ao persistirem as dúvidas *sobre os seus direitos* como participante desta pesquisa, você também poderá fazer contato com o **Comitê de Ética em Pesquisa** da Universidade Federal de Goiás, pelo telefone (62)3521-1215.

1. Informações Importantes sobre a Pesquisa:

1.1 Título: FENÔMENOS ONDULATÓRIOS E OS INSTRUMENTOS MUSICAIS: ensino por meio dos Três Momentos Pedagógicos.

Justificativa: devido à dificuldade na compreensão dos fenômenos ondulatórios e seus equacionamentos, o objetivo é ensinar esses fenômenos utilizando instrumentos musicais para melhor compreender a teoria.

- 1.2 Serão utilizadas 6 aulas para aplicação do projeto. Nelas, serão demonstrados os principais fenômenos ondulatórios a partir de instrumentos musicais. As aulas serão realizadas a partir de diálogos entre os alunos e entre estes e o professor pesquisador, promovendo uma interação entre os próprios alunos, o professor e os fenômenos a partir dos instrumentos musicais. Essas atividades serão gravadas em áudio e vídeo para que eu possa, depois, analisar o que foi dito e verificar se houve compreensão e aprendizado. Para isso, preciso que você autorize a gravação desses áudios e vídeos, permitindo que eu use suas falas na minha análise. Eu não usarei, de forma alguma, sua imagem ou sua voz. Serão utilizadas somente as falas que contenham suas opiniões, observações sobre os fenômenos e as interações com os colegas e tudo isso de forma escrita, sendo que não usarei seu nome ou sua imagem para identificar as falas.
- 1.3 Essa pesquisa trará benefícios tanto para o ensino de Física quanto para melhorar a sua compreensão de fenômenos do dia a dia. Para mim, contribuirá para que eu consiga o grau de mestre em educação, e para os alunos, procurará ensinar a teoria da ondulatória de maneira motivadora e interessante. Caso você se sinta, em algum momento da pesquisa com algum desconforto em participar das aulas, ou ficar angustiado, irritado, insatisfeito, etc., poderá desistir de sua participação sem nenhuma penalização. Basta para isso avisar a mim ou ao professor ou ao coordenador da escola.
- 1.4 Não haverá custo algum para você participar da pesquisa, pois ela será executada no horário de aula.
- 1.5 Reforçamos que está garantido o sigilo quanto ao seu nome e sua imagem. Asseguramos sua privacidade e o seu anonimato. Em momento algum da dissertação será citado o nome dos alunos ou do Colégio onde se realizou a pesquisa.
- 1.6 Reforçamos que você tem garantia expressa de liberdade de se recusar a participar ou retirar o seu consentimento, em qualquer fase da pesquisa, sem penalização alguma.

- 1.7 Terá, também, garantia expressa de liberdade de se recusar a responder questões que lhe causem *desconforto emocional* e/ou *constrangimento* nos diálogos que serão desenvolvidos em sala de aula durante a pesquisa.
- 1.8 Você terá o direito de pleitear indenização (reparação a danos imediatos ou futuros), garantida em lei, decorrentes da sua participação na pesquisa;

2. Assentimento da Participação na Pesquisa:

Eu, _____, inscrito(a) sob o RG/CPF _____, abaixo assinado, concordo em participar do estudo intitulado **“FENÔMENOS ONDULATÓRIOS E OS INSTRUMENTOS MUSICAIS: ensino por meio dos Três Momentos Pedagógicos”**. Informo ter menos de 18 anos de idade e destaco que minha participação nesta pesquisa é de caráter voluntário. Fui devidamente informado(a) e esclarecido(a) pelo pesquisador(a) responsável André Luiz Oliveira sobre a pesquisa, os procedimentos e métodos nela envolvidos, assim como os possíveis riscos e benefícios decorrentes de minha participação no estudo. Foi-me garantido que posso retirar meu consentimento a qualquer momento, sem que isto leve a qualquer penalidade. Declaro, portanto, que concordo com a minha participação no projeto de pesquisa acima descrito.

Goiânia, ____ de _____ de 2017

Faça uma rubrica dentro do parêntese com a proposição escolhida.

- () Permito a divulgação da transcrição da minha voz/opinião nos resultados publicados da pesquisa;
- () Não permito a divulgação da transcrição da minha voz/opinião nos resultados publicados da pesquisa.

Assinatura por extenso do(a) participante

André Luiz Oliveira (pesquisador responsável)

APÊNDICE C

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO – TCLE

Sr(a) pai/mãe ou responsável pelo(a) aluno(a) _____. Ele(a) está sendo convidado(a) a participar, como voluntário(a), da pesquisa intitulada “**Fenômenos ondulatórios e os instrumentos musicais: ensino por meio dos três momentos pedagógicos**”. Meu nome é André Luiz Oliveira, sou o pesquisador(a) responsável e minha área de atuação é ensino de Física. Após receber os esclarecimentos e as informações a seguir, se você aceitar que ele(a) faça parte do estudo, assine ao final deste documento, que está impresso em duas vias, sendo que uma delas é sua e a outra pertence ao pesquisador responsável. Esclareço que em caso de recusa na participação o(a) aluno(a) não será penalizado(a) de forma alguma. Mas se aceitar que ele(a) participe, as dúvidas *sobre a pesquisa* poderão ser esclarecidas pelo pesquisador responsável, via e-mail (dreol@hotmail.com) e, inclusive, sob forma de ligação a cobrar, através do seguinte contato telefônico: Oi - (62) 98437-5092 / Claro - (62) 98407-7001. Ao persistirem as dúvidas *sobre os direitos dele(a)* como participante desta pesquisa, você também poderá fazer contato com o **Comitê de Ética em Pesquisa** da Universidade Federal de Goiás, pelo telefone (62)3521-1215.

1. Informações Importantes sobre a Pesquisa:

1.1 Título: FENÔMENOS ONDULATÓRIOS E OS INSTRUMENTOS MÚSICAIS: ensino por meio dos Três Momentos Pedagógicos.

Justificativa: devido à dificuldade na compreensão dos fenômenos ondulatórios e seus equacionamentos, o objetivo é ensinar esses fenômenos utilizando instrumentos musicais para melhor compreender a teoria.

- 1.2 Serão utilizadas 6 aulas para aplicação do projeto. Nelas, serão demonstrados os principais fenômenos ondulatórios a partir de instrumentos musicais. As aulas serão realizadas a partir de diálogos entre os alunos e entre estes e o professor pesquisador, promovendo uma interação entre os próprios alunos, o professor e os fenômenos a partir dos instrumentos musicais. Essas atividades serão gravadas em áudio e vídeo para que eu possa, depois, analisar o que foi dito e verificar se houve compreensão e aprendizado. Para isso, preciso que você autorize a gravação desses áudios e vídeos, permitindo que eu use a transcrição das falas na minha análise. Eu não usarei, de forma alguma, a imagem ou a voz do(a) aluno(a). Serão utilizadas somente as falas que contenham suas opiniões, observações sobre os fenômenos e as interações com os colegas e tudo isso de forma escrita, sendo que não usarei seu nome ou sua imagem para identificar as falas.
- 1.3 Essa pesquisa trará benefícios tanto para o ensino de Física quanto para melhorar a compreensão dos alunos quanto a fenômenos do dia a dia. Para mim, contribuirá para que eu consiga o grau de mestre em educação, e para os alunos, procurará ensinar a teoria da ondulatória de maneira motivadora e interessante. Caso o(a) aluno se sinta, em algum momento da pesquisa com algum desconforto em participar das aulas, ou ficar angustiado, irritado, insatisfeito, etc., ele poderá desistir de sua participação sem nenhuma penalização. Basta para isso avisar a mim ou ao professor da turma ou ao coordenador da escola.
- 1.4 Não haverá custo algum para participar da pesquisa, pois ela será executada no horário de aula.
- 1.5 Reforçamos que está garantido o sigilo quanto ao nome e a imagem do aluno. Asseguramos sua privacidade e o seu anonimato. Em momento algum da dissertação serão citados os nomes dos alunos ou do Colégio onde se realizou a pesquisa.
- 1.6 Reforçamos que você tem garantia expressa de liberdade de recusar a participação do aluno ou retirar o seu consentimento, em qualquer fase da pesquisa, sem penalização alguma para ele.

1.7 Terá, também, garantia expressa da liberdade do aluno de se recusar a responder questões que lhe causem desconforto emocional e/ou constrangimento nos diálogos que serão desenvolvidos em sala de aula durante a pesquisa.

1.8 Você terá o direito de pleitear indenização (reparação a danos imediatos ou futuros), garantida em lei, decorrentes da participação do aluno na pesquisa.

2. Assentimento da Participação na Pesquisa:

Eu, _____, inscrito(a) sob o RG/CPF _____, abaixo assinado, concordo que o aluno _____ participe do estudo intitulado **“FENÔMENOS ONDULATÓRIOS E OS INSTRUMENTOS MUSICAIS: ensino por meio dos Três Momentos Pedagógicos”**. Fui devidamente informado(a) e esclarecido(a) pelo pesquisador(a) responsável André Luiz Oliveira sobre a pesquisa, os procedimentos e métodos nela envolvidos, assim como os possíveis riscos e benefícios decorrentes da participação do aluno no estudo. Foi-me garantido que posso retirar meu consentimento a qualquer momento, sem que isto leve a qualquer penalidade ao aluno. Declaro, portanto, que concordo com a participação dele no projeto de pesquisa acima descrito.

Goiânia, ____ de _____ de 2017

Faça uma rubrica dentro do parêntese com a proposição escolhida.

() Permito a divulgação da transcrição da voz/opinião do aluno nos resultados publicados da pesquisa;

() Não permito a divulgação da transcrição da voz/opinião do aluno nos resultados publicados da pesquisa.

Assinatura por extenso do(a) responsável pelo aluno

André Luiz Oliveira (pesquisador responsável)

APÊNDICE D

1 A FÍSICA ONDULATÓRIA

Nas atividades realizadas em sala de aula com os alunos, muitos foram os assuntos abordados sobre ondulatória. Apresentaremos, neste apêndice, os principais tópicos abordados durante a pesquisa. O objetivo não é aprofundar nos conteúdos, mas apenas dar uma ideia da teoria trabalhada em sala de aula e para que se possa analisar a qualidade das respostas dadas pelos alunos em comparação ao conteúdo mínimo abordado de cada assunto.

1.1 As Ondas

Ondas são perturbações do meio que se propagam pelo espaço, carregando energia a partir do ponto inicial onde foram geradas. As ondas não conduzem matéria na direção de sua propagação, apenas energia. Existem inúmeros exemplos de perturbações que se propagam de um ponto a outro sem conduzir matéria: ondas geradas em um lago calmo quando jogamos nele uma pedra; o som de um tambor provocado pelo impacto da baqueta com a superfície do instrumento; o barulho de fogos de artifício quando estouram; a luz que chega até nós de uma estrela distante; a vibração do ar dentro de um instrumento de sopro; etc. Até nosso corpo pode gerar e perceber diversos tipos de ondas: geramos ondas ao falarmos e detectamos ondas com nossos ouvidos e olhos.

Para o estudo das ondas, devemos compreender suas principais características e os fenômenos a elas associados.

1.1.1 Natureza das ondas

As ondas possuem duas naturezas: mecânica ou eletromagnética.

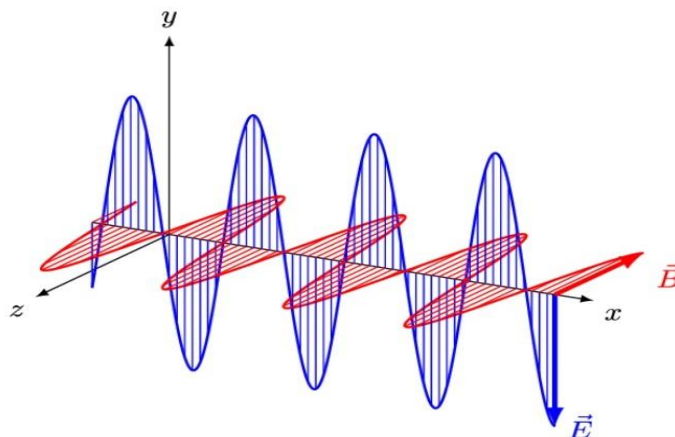
a) Ondas mecânicas

Essas ondas se formam por meio de impulsos mecânicos que se transmitem por meio de vibrações das partículas que formam o meio. As ondas mecânicas precisam da presença de um meio material (das partículas) para que consigam se propagar. É por este fator que as ondas mecânicas não se propagam no vácuo. Essas ondas mecânicas transportam energia mecânica de vibração que aparece na forma de energia potencial e cinética. Ondas em cordas e molas, ondas em superfícies líquidas e ondas sonoras (som) são alguns exemplos de ondas mecânicas.

b) Ondas eletromagnéticas

Essas ondas são formadas por dois campos perpendiculares entre si, um magnético (B) e um elétrico (E) que variam com o tempo e com a posição. Esses campos são perpendiculares à direção de propagação da onda, conforme representado na Figura 1.

Figura 1. Representação esquemática de uma onda eletromagnética.



Fonte: <<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:EM-Wave.gif>>. Acesso em 06 jun. 2018.

É importante sabermos que as ondas eletromagnéticas se propagam no vácuo e também nos meios materiais. Ondas de rádio e TV, micro-ondas, infravermelho, ultravioleta, raios – X e luz visível são alguns exemplos de ondas eletromagnéticas.

1.1.2 Ondas transversais e longitudinais

As ondas se classificam quanto a direção de vibração versus a direção de propagação em ondas longitudinais e transversais:

a) Onda Longitudinal

Essas ondas são causadas por vibrações que estão na mesma direção da propagação, ou sejam, vibram paralelamente à direção de propagação. As ondas sonoras são um exemplo desse tipo de onda, pois o som se propaga através do ar ou qualquer meio material por meio de ondas longitudinais.

b) Onda Transversal

Esse tipo de onda é produzida por vibrações perpendiculares à propagação da onda, como, por exemplo, as ondas em uma corda e as ondas na superfície de um lago, causadas por uma pedra atirada sobre sua superfície. Nelas, a vibração ocorre na vertical e o movimento da onda é na horizontal.

1.1.3 Ondas uni, bi e tridimensionais

Quanto à direção da propagação as ondas podem ser:

a) Unidimensionais

Esse tipo de onda se propaga em apenas uma direção, como as ondas em cordas e molas esticadas.

b) Bidimensionais

São aquelas que se propagam por uma superfície, como as formadas na água de um lago quando se joga uma pedra;

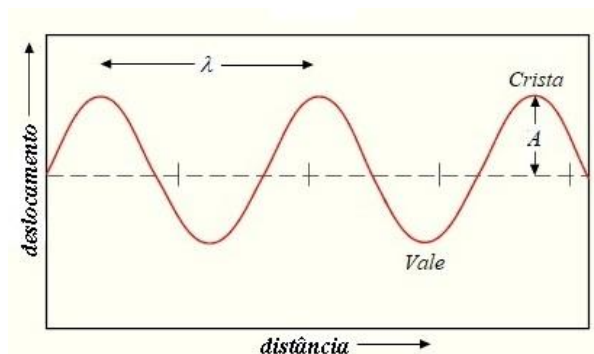
c) Tridimensionais

São as ondas capazes de se propagar em todas as dimensões, como a luz e o som.

1.1.4 Componentes das ondas

No caso de uma onda sinusoidal simples (em forma da função seno), percorrendo uma corda, como representado na Figura 2, podemos identificar alguns de seus componentes básicos.

Figura 2. Representação de uma onda simples, onde “A” é sua amplitude e “ λ ” seu comprimento de onda.



Fonte: <<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Onda.png>>. Acesso em: 07 jun. 2018.

a) Amplitude (A)

A amplitude é a "altura" da onda, ou seja, é a distância entre o eixo da onda (nível de equilíbrio) até a crista ou um vale. Quanto maior for a amplitude, maior será a quantidade de energia transportada.

b) Comprimento da onda (λ)

O comprimento de onda é representado pela letra grega lambda (λ) e é a distância entre duas cristas ou dois vales consecutivos.

c) Período (T)

O período é o tempo decorrido entre a passagem de duas cristas ou vales consecutivos por um mesmo ponto.

d) Frequência (f)

A frequência é o número cristas ou vales que passam por unidade de tempo por um determinado ponto.

O período e a frequência são, portanto, inversamente proporcionais e relacionados por:

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

A unidade de frequência no Sistema Internacional é o hertz (Hz).

1.1.5 Velocidade de propagação das ondas.

As ondas não transportam matéria em sua propagação e se deslocam com velocidade constante. Logo, sua propagação deve ocorrer segundo a função do Movimento Uniforme.

$$\Delta S = v \cdot \Delta t$$

A partir das definições do subitem anterior, pode-se substituir ΔS por λ e Δt por T . Assim, a velocidade de propagação de uma onda é dada por:

$$\lambda = vT$$

$$\lambda = v \frac{1}{f}$$

$$v = \lambda f$$

Essa última equação é chamada de Equação Fundamental da Ondulatória, já que é válida para todos os tipos de ondas.

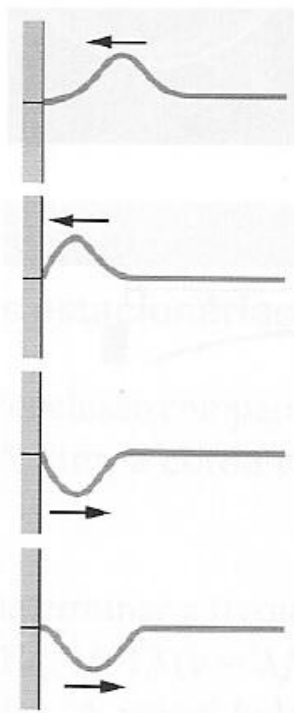
1.1.6 Reflexão de onda

A reflexão é o fenômeno que ocorre quando uma onda incide sobre um obstáculo e retorna ao meio de propagação, mantendo as características da onda incidente. Independentemente do tipo de onda, o módulo da sua velocidade permanece inalterado após a reflexão, já que ela continua se propagando no mesmo meio. No caso de reflexão de ondas unidimensionais, existem a reflexão com extremidade fixa e a com extremidade livre, como se segue:

a) Reflexão com extremidade fixa

Quando um pulso (meia-onda) é gerado, faz cada ponto da corda subir e depois voltar à posição original, no entanto, ao atingir uma extremidade fixa, como uma parede, esta exerce uma força de reação para baixo sobre a corda, causando um movimento na direção da aplicação do pulso, com um sentido inverso, gerando um pulso refletido, assim como apresentado na Figura 3.

Figura 3. Representação esquemática de uma reflexão de onda unidimensional em uma corda com extremidade fixa.



Fonte: David Halliday, Robert Resnick, Jearl Walker. **Fundamentos de Física**, volume 2: gravitação, ondas e termodinâmica. 9. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2013, p. 137, adaptado.

Para este caso, costuma-se dizer que há inversão de fase já que o pulso refletido executa o movimento contrário ao do pulso incidente.

b) Reflexão com extremidade livre

Considerando uma corda presa por um anel a uma haste idealizada, portanto sem atrito, ao atingir o anel, o movimento é continuado, embora não haja deslocamento no sentido do pulso, apenas no sentido perpendicular a este. Então o pulso é refletido em direção da aplicação, mas com sentido inverso, como representado na Figura 4:

Figura 4. Representação esquemática de uma reflexão de onda unidimensional em uma corda com extremidade livre.



Fonte: David Halliday, Robert Resnick, Jearl Walker. **Fundamentos de Física**, volume 2: gravitação, ondas e termodinâmica. 9. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2013, p. 137, adaptado.

Para estes casos, não há inversão de fase já que o pulso refletido executa o mesmo movimento do pulso incidente, apenas com sentido contrário.

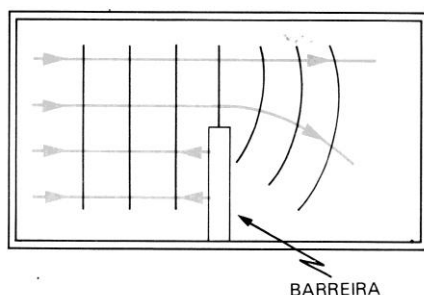
1.1.7 Refração de onda

A onda sofre refração, ou seja, ocorre mudança na direção de sua propagação quando passa obliquamente de um meio para outro, com mudança de velocidade de um meio para o outro sem alteração de sua frequência.

1.1.8 Difração de onda

É a propriedade que uma onda possui de contornar um obstáculo ao ter seu caminho de propagação parcialmente interrompido. Observe na Figura 5, que a onda que chega paralelamente à barreira e ao encontrar o obstáculo (parede) contorna-o, continuando com o mesmo comprimento de onda. A difração ocorre com qualquer tipo de onda.

Figura 5. Representação esquemática de uma difração ocorrida por uma onda plana ao contornar um obstáculo.



Fonte: Antônio Máximo, Beatriz Alvarenga. Curso de Física, v.2. São Paulo: Scipione, 1997, p. 842.

1.1.9 Interferência

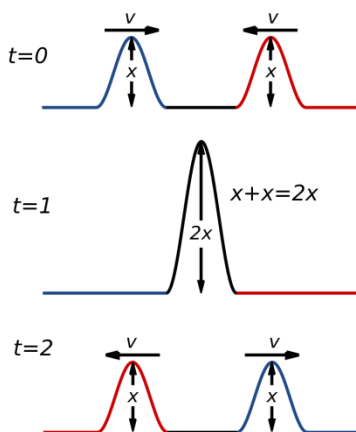
A interferência de ondas consiste na superposição de duas ondas no espaço, resultando em outra onda com intensidade diferente. Esse fenômeno pode ser classificado de duas formas: interferência construtiva ou destrutiva

a) Interferência construtiva

A interferência construtiva ocorre quando duas ondas que se superpõem têm a mesma fase e uma “reforça” a outra, tendo como resultado uma onda maior que as que deram

origem. Sua representação está na Figura 6. Após o encontro, as duas ondas voltam a se propagar com as suas características iniciais.

Figura 6. Representação esquemática de uma interferência construtiva de duas ondas que se movem em sentidos opostos.

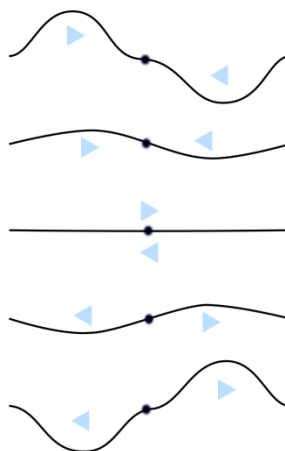


Fonte: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Constructive_interference.svg>. Acesso em: 10 jun. 2018.

b) Interferência destrutiva

A interferência construtiva ocorre quando duas ondas propagando-se com comprimentos de onda e amplitudes iguais, se encontram, tendo fases diferentes de forma que uma aniquila a outra. Após o encontro, as duas ondas voltam a se propagar com as suas características iniciais, conforme Figura 7.

Figura 7. Representação esquemática de uma interferência destrutiva de duas ondas que se movem em sentidos opostos.



Fonte: <<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Node.svg>>. Acesso em: 10 jun. 2018.

1.2 Ondas sonoras: o Som

Os sons são usados a milhares de anos, especialmente para comunicação pela fala ou uso de instrumentos que produzem sons. Atualmente, a percepção do som também pode ser usada de várias maneiras, como na música, na aquisição de informações sobre os ambientes em propriedades com características espaciais (forma, topografia), na ultrassonografia em que a presença de outros animais, objetos ou tecidos humanos podem ser visualizados, nos navios e submarinos na utilização do eco localização, etc.

Na Grécia antiga, os defensores das ideias do filósofo Pitágoras acreditavam que todo o universo poderia ser descrito por meio de relações harmônicas, análogo às existentes entre notas musicais. Acreditavam também que o universo poderia ser descrito inteiramente por números e formas geométricas, sendo por isso, considerados muitas vezes, como os primeiros a relacionar a Matemática com a Física.

Com isso, os pitagóricos mostraram que era possível construir toda a escala musical com base em razões simples entre números inteiros; números, e razões simples entre eles, explicavam por que certos sons eram agradáveis aos ouvidos, enquanto outros eram desagradáveis. (GLEISER, 1997, p.55)

Pitágoras cercava suas teorias matemáticas por analogias musicais, nas quais os sentidos eram considerados como a fase inicial para atingir o conhecimento da realidade. Segundo Wuensche (2006), utilizou-se a relação entre o comprimento das cordas de um instrumento musical, chamado de Lira, para desenvolver toda uma teoria musical:

O ponto de partida era a relação entre os comprimentos das cordas de uma lira, as notas musicais e a percepção que cordas mais curtas emitem sons mais agudos. A partir daí foi desenvolvida toda uma teoria que relacionava comprimentos de cordas, escalas, intervalos, notas, números inteiros e frações. Em particular, a associação de uma fração a um dado intervalo musical mostrou-se um dos princípios mais fecundos da acústica e em cima dele montou-se praticamente toda teoria musical ocidental (WUENSCH, 2006. p.3).

As ondas sonoras são propagações de uma frente de compressão mecânica, que produzem em nossos ouvidos efeitos mecânicos, que afetam os nervos sensoriais e são interpretados pelo cérebro. As ondas sonoras são vibrações longitudinais do meio material no qual se propagam – sólido, líquido ou gasoso –. São transmitidas com uma velocidade determinada precisamente pelas propriedades mecânicas do próprio meio. São originadas de alguma espécie de vibração mecânica causadas por batidas, atrito e outras formas de

dissipação de energia em arranjos mecânicos, naturais ou artificiais. As frentes de ondas são superfícies esféricas que se expandem tridimensionalmente pelo espaço e apenas em meios materiais.

O som tem todas as propriedades que caracterizam qualquer propagação ondulatória. As ondas sonoras apresentam todos os fenômenos descritos até aqui: reflexão, refração, difração e interferência.

Seres humanos e vários animais percebem sons com o sentido da audição, por meio de seus dois ouvidos, o que permite saber a distância e posição da fonte sonora: a chamada audição estereofônica. Muitos sons de baixa frequência também podem ser sentidos por outras partes do corpo.

A audição humana considerada normal consegue captar frequências de ondas sonoras que variam entre aproximadamente 20 Hz e 20.000 Hz. A maioria dos sons é produzida por objetos que estão vibrando. Quando a frequência é menor que 20 Hz, as ondas denominam-se infrassônicas e, quando maior que 20.000Hz, ultrassônicas. As ondas ultrassônicas são audíveis para muitos animais, cujos ouvidos são mais adequados às altas frequências que os dos seres humanos.

Os sons são usados de várias maneiras, muito especialmente para comunicação por meio da fala ou, por exemplo, a música. A percepção do som também pode ser usada para adquirir informações sobre o ambiente em propriedades como características espaciais (forma, topografia) e presença de outros animais ou objetos. Alguns animais como, por exemplo, morcegos, baleias e golfinhos, usam a ecolocalização para voar e nadar por entre obstáculos e caçar suas presas. Navios e submarinos usam o sonar. Uma importante aplicação das ondas sonoras é a visualização de tecidos do corpo humano por meio da ultrassonografia, na qual, por meio do eco produzido pelas ondas nos órgãos, é possível analisar as propriedades mecânicas dos tecidos e reproduzi-las em imagens.

1.2.1 A Velocidade do som

Segundo Halliday, D. e Resnick, R. (2009, p.150), as ondas sonoras são definidas genericamente como qualquer onda longitudinal, que se propaga no ar ou em outros meios materiais. As ondas sonoras têm origem mecânica, pois são produzidas por deformações em um meio elástico. Portanto, as ondas sonoras não se propagam no vácuo.

Quando passa, a onda sonora não arrasta as partículas de ar, por exemplo, apenas faz com que estas vibrem em torno de sua posição de equilíbrio. Como as ondas sonoras são periódicas, é válida a relação da velocidade de propagação apresentada no subitem 1.1.5:

$$v = \lambda f$$

O ar torna-se alternadamente mais denso ou mais rarefeito quando uma onda sonora se propaga através dele. As variações na pressão fazem com que nossos tímpanos vibrem com a mesma frequência da onda, o que produz a sensação fisiológica do som.

A velocidade do som no ar e em outros gases é relativamente pequena pelo fato de as moléculas que se movimentam terem de se chocar umas com as outras, a fim de propagar a onda longitudinal de pressão. Nos líquidos e nos sólidos, onde as moléculas estão mais próximas umas das outras e interagem mais intensamente, a velocidade do som é maior do que em um gás. A velocidade do som na água é, aproximadamente, 1482 m/s e no ar, à 20°C e 1,0 atm, é de 343m/s (HALLIDAY D.; RESNICK R. 2009, p.151).

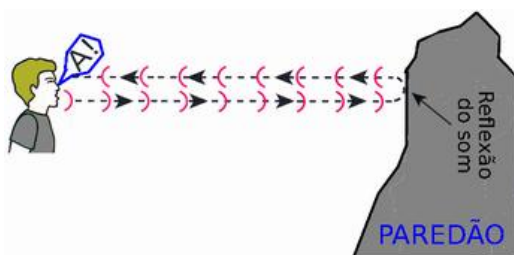
É devido a essa baixa velocidade que durante uma tempestade o trovão é ouvido apenas alguns segundos após a visão do relâmpago e que quando ouvimos um avião a jato passar sobre nós e tentamos localizá-lo no céu, olhamos para a direção da qual o som provém e percebemos que o olhar foca em um ponto a uma distância considerável atrás do avião.

1.2.2 O Eco e a Reverberação

Assim como para qualquer outra onda, as ondas sonoras, ao atingirem um obstáculo fixo, como uma parede, também são refletidas. A reflexão do som acontece com inversão de fase, mas mantém a mesma velocidade de propagação, mesma frequência e o mesmo comprimento de onda do som incidente.

Um efeito muito conhecido causado pela reflexão do som é o efeito de eco, que consiste na reflexão do som que bate em um obstáculo afastado e volta ao ponto de onde foi emitido, conforme representado na Figura 8.

Figura 8. Representação da onda sonora refletindo e produzindo eco



Quando uma pessoa emite um som em direção a um obstáculo, este som é ouvido no momento da emissão, chamado som direto, e no momento em que o som refletido pelo obstáculo retorna a ele. Existe um intervalo de tempo mínimo entre sons emitidos por fontes sonoras diferentes para que o aparelho auditivo humano consiga distingui-los. Esse tempo é chamado de persistência sonora e corresponde, para o ouvido humano, a 0,1 segundos. Sempre que o som refletido, como o representado na Fig. 8, retorna ao emissor em um intervalo de tempo igual ou maior que 0,1 s, ocorre o eco, de forma que a pessoa ouve o som direto e, posteriormente, ou sua própria voz refletida no obstáculo.

Considerando a velocidade do som no ar com 340 m/s, aproximadamente, a distância mínima do obstáculo à pessoa para que ocorra eco é de 17 m, pois:

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

$$340 = \frac{\Delta S}{0,1}$$

$$\Delta S = 34 \text{ m}$$

Considerando a distância de ida e volta, para que ocorra o eco, deve existir uma distância mínima de 17 m entre a pessoa que emitiu o som e o obstáculo.

Quando o tempo de chegada ao ouvido humano for inferior a 0,1 s, ocorre o que chamamos de reverberação, que é a sensação de prolongamento do som emitido. Esse efeito é percebido com frequência em jogos ou shows em ginásios de esporte e dificulta enormemente a compreensão na comunicação entre as pessoas.

1.2.3 Características e qualidades dos sons

a) Intensidade

A intensidade sonora é medida pela quantidade de energia que atravessa uma unidade de área em 1 s. Quanto maior for a quantidade de energia transportada pela onda sonora até nossos ouvidos, maior é sua intensidade. A intensidade da onda sonora é diretamente proporcional à amplitude da onda, característica estudada no item 1.1.4.

A intensidade do som é a qualidade que nos permite caracterizar se um som é forte ou fraco. A intensidade sonora (I) é definida fisicamente como a potência sonora recebida por unidade de área de uma superfície, ou seja:

$$I = \frac{P}{A}$$

Como a potência pode ser definida pela relação de energia por unidade de tempo, então, também podemos expressar a intensidade por:

$$I = \frac{E}{A \cdot \Delta t}$$

As unidades mais usadas para a intensidade são **J/m².s** e **W/m²**. A menor intensidade sonora ainda audível para o ser humano, chamada de **limiar de audibilidade**, em geral, é:

$$I_o = 10^{-12} \frac{W}{m^2}$$

Já a máxima intensidade física ou o maior valor da intensidade sonora suportável pelo ouvido, denominada de **limiar de dor**, é dada por:

$$I_{máx} = 1 \frac{W}{m^2}$$

Foi observado que a sensação produzida em nossos ouvidos por um som de certa intensidade, não varia proporcionalmente a essa intensidade, mas sim que essa sensação varia com o logaritmo da intensidade sonora. Assim, para medir a sensação produzida em nossos ouvidos, foi definida uma grandeza denominada “nível de intensidade”, representada pela letra grega beta (β), e dada por:

$$\beta = \log \frac{I}{I_o}$$

no qual I é a intensidade da onda sonora e I_o o valor dado acima.

A unidade utilizada para o nível sonoro é o bel (B), mas como esta unidade é grande comparada com a maioria dos valores de nível sonoro utilizados no cotidiano, seu múltiplo usual é o **decibel (dB)**, de maneira que $1B = 10 \text{ dB}$. Os valores típicos dos níveis sonoros a que estamos sujeitos está apresentado no Quadro 1.

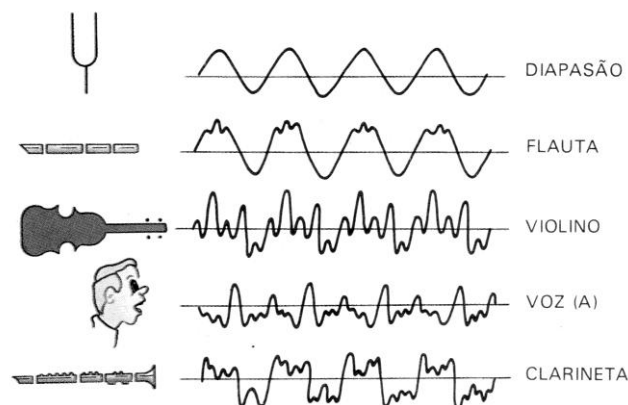
Quadro 1. Exemplos típicos de nível sonoro (ordem de grandeza)

Limiar de audibilidade	0 db
Murmúrio	20 db
Música suave	40 db
Conversa comum	65 db
Rua barulhenta	90 db
Avião próximo	100 db

b) *Altura* – é a qualidade do som que nos permite classificá-lo como grave ou agudo. Um som grave, como a voz “grossa” de alguns homens, é um som baixo e um som agudo, como a voz “fina” de algumas mulheres, é um som alto. Assim, a altura está diretamente relacionada à frequência da onda sonora e, sendo assim, um som de pequena frequência é “baixo”, ou seja, grave, e um som de grande frequência é “alto”, ou seja, agudo. Vulgarmente, nos referimos a sons “altos” ou “baixos” quando queremos falar da intensidade dos som, o que é errado.

c) *Timbre* – é a característica sonora das ondas de mesma frequência emitidas por instrumentos diferentes. É a partir dos timbre do instrumento que distinguimos facilmente uma mesma nota musical tocada em uma flauta e em um violino. Essa diferença é percebida devido às formas das ondas sonoras destes dois instrumentos serem diferentes, apesar de mesma frequência. Na Figura 9 podemos observar que as formas das ondas apresentadas são bem diferentes, porém, suas frequências são as mesmas.

Figura 9. Representação da ondas sonoras de iguais frequências emitidas por diferentes instrumentos, caracterizando o timbre de cada um deles.



Fonte: Antônio Máximo, Beatriz Alvarenga. Curso de Física, v.2. São Paulo: Scipione, 1997, p. 858.

1.2.4 Ressonância

Cada sistema físico capaz de vibrar possui uma ou mais frequências naturais, isto é, frequências que são características do sistema, mais precisamente do modo como são construídos. Por exemplo, um pêndulo ao ser afastado do ponto de equilíbrio, cordas de um violão, uma ponte sobre uma rodovia movimentada possuem suas frequências naturais que lhe são características. Quando ocorrem excitações periódicas sobre um sistema que vibra com sua frequência característica, como, por exemplo, quando o vento sopra com frequência constante sobre uma ponte durante uma tempestade, pode acontecer um fenômeno de

interferência de ondas, mais precisamente a superposição delas, ocorrendo uma interferência construtiva que aumenta sua amplitude de vibração, alterando a energia do sistema.

O nome que se dá a esse fenômeno é “ressonância”, que acontece quando um sistema físico recebe energia por meio de excitações de frequência igual a uma de suas frequências naturais de vibração, passando a vibrar com amplitudes cada vez maiores, podendo até destruir o próprio sistema.

Um exemplo desse fenômeno foi o rompimento da ponte Tacoma Narrows, nos Estados Unidos, em 7 de novembro de 1940, apresentado na Figura 10.

Figura 10. Ponte Tacoma Narrows em colapso após uma ressonância ocorrida entre sua frequência natural e a frequência do vento.

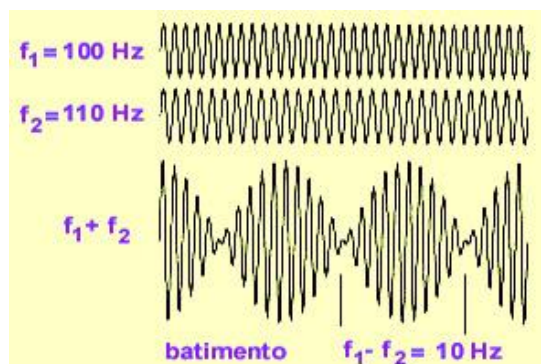


Fonte: <<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Tacoma-narrows-bridge-collapse.jpg>>. Acesso em: 14 jun. 2018.

1.2.5 Batimento

Quando escutamos dois diapasones cujas frequências são muito próximas, por exemplo 256 e 266 Hz, vibrarem com uma diferença de alguns instantes entre um e o outro, temos dificuldades em distingui-los. Porém, quando os dois sons chegam aos nossos ouvidos simultaneamente, ouvimos um som resultante com uma grande variação na intensidade do som que aumenta e diminui alternadamente. Esse fenômeno de oscilação do som resultante, é chamado de “batimento”, cuja frequência é a diferença entre as duas frequências originais. Uma representação esquemática de um batimento está apresentada na Figura 11.

Figura 11. Representação esquemática do batimento ocorrido entre duas ondas sonoras de frequências próximas.



Fonte: <<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Batim.jpg>>. Acesso em: 14 jun. 2018.

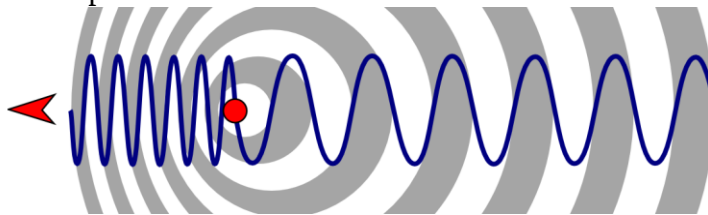
Os músicos usam o fenômeno de batimento para afinar seus instrumentos. O som de um instrumento é comparado com uma frequência padrão, de um diapasão por exemplo, e ajustado até que o batimento desapareça.

1.2.6 Efeito Doppler

Quando uma ambulância passa por nós com a sirene ligada, ouvimos o som da sirene variar a frequência, passando de uma altura mais aguda quando ela se aproxima para uma mais grave quando se afasta de nós. Esse efeito de mudança de frequência da onda, percebida por nós, é chamada de Efeito Doppler. O efeito foi descrito teoricamente pela primeira vez em 1842 por Johann Christian Andreas Doppler, recebendo o nome Efeito Doppler em sua homenagem.

Para ondas sonoras, o efeito Doppler acontece devido à velocidade relativa entre a onda sonora e o movimento relativo entre o observador e/ou a fonte. Quando a fonte sonora estiver parada, o observador também em repouso, perceberá o som de certa altura, caracterizado pela frequência aparente percebida pelo observador. Isso ocorre, pois o número de cristas, por segundo, que chegam ao ouvido do observador é o mesmo emitido pela fonte. Quando estiver em movimento, o observador percebe um som mais baixo ou mais alto, de acordo com o movimento relativo. Na Figura 12, apresentamos uma fonte que se move para a esquerda. Observe que se o observador estiver à frente da fonte em movimento, as ondas terão uma frequência maior e se estiver atrás a frequência será menor.

Figura 12. Observador se aproximando da fonte sonora. Encontra mais frentes de ondas do que se estivesse parado.



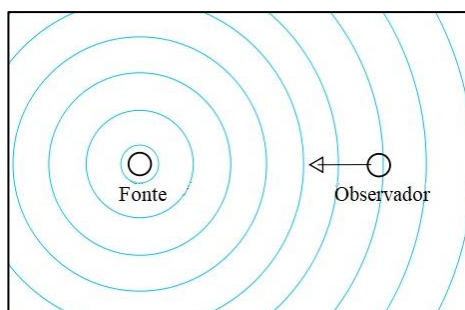
Fonte: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Doppler_effect_diagrammatic.png>. Acesso em: 14 jun. 2018.

Podemos analisar algumas situações em que ocorrem o efeito, considerando o movimento relativo entre o observador e a fonte. São eles:

a) fonte em repouso e o observador se movimenta em sua direção ou se afasta dela.

O som de uma fonte sonora parecerá mais agudo para um observador que se movimenta em direção a ela. Isso ocorre, pois em um mesmo intervalo de tempo ele encontrará mais frentes de onda do que se estivesse parado, conforme ilustrado na Figura 13. Assim a frequência observada será maior que a frequência emitida pela fonte.

Figura 13. Observador se aproximando da fonte sonora. Encontra mais frentes de ondas do que se estivesse parado.



Fonte: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Zaleznosci_opisujace_prawo_Dopplera_ruch_observatora.svg>. Acesso em: 14 jun. 2018. Adaptado.

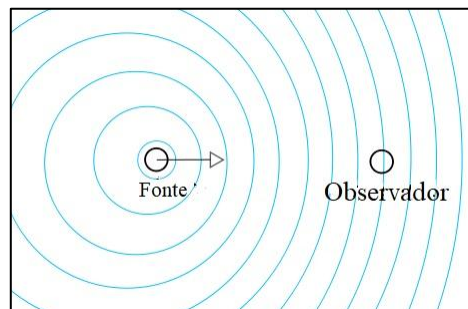
No caso em que o observador se afasta da fonte, em um mesmo intervalo de tempo ele encontrará menor número de frentes de onda do que se estivesse parado. Assim a frequência observada deverá ser menor que a frequência emitida pela fonte.

b) observador em repouso e a fonte se movimenta em sua direção ou se afasta dele.

Para o caso em que a fonte se aproxima do observador, há um encurtamento do comprimento da onda, relacionado à velocidade relativa. Portanto, a frequência percebida pelo observador será maior que a frequência real da fonte, pois em um mesmo intervalo de

tempo ele encontrará mais frentes de onda do que se a fonte estivesse parada, conforme ilustrado na Figura 14

Figura 14. Fonte se aproximando do observador. Mais frentes de ondas chegam a ele do que se a fonte estivesse parada.



Fonte: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Prosty_efekt_dopplera_fale.svg>. Acesso em: 14 jun. 2018.
Adaptado.

Para o caso em que a fonte se afasta do observador, há um alongamento aparente do comprimento de onda, nesta situação a frequência percebida pelo observador será menor que a frequência real da fonte. É como se o observador estivesse atrás da fonte na Fig. 13.

1.3 Sons musicais e a ciência da música

A música é a parte importante na experiência de vida de quase todas as pessoas, no entanto é um fenômeno bastante complexo. Sua sustentação científica não é muito compreendida pelos músicos que estão interessados principalmente na parte artística, enquanto os físicos revelam que o estudo detalhado não traz retribuição, uma vez que pouco conhecimento fundamental será descoberto no caráter ou relação com outros problemas físicos. Assim, os dois grupos perdem muito do interesse e compreensão em um campo que tem grande atração estética a todas as classes de pessoas.

O fenômeno musical abrange assuntos que pertencem especialmente à fonte, à propagação de ondas, e aos mecanismos de recepção e interpretação.

1.3.1 Instrumentos Musicais

Um instrumento musical é um aparelho que fornece energia ao ar, construído com a finalidade de produzir sons, e esses sons bem definidos seguindo uma pré-organização ao longo do tempo, chamamos de música. Essa ligação entre a ciência e a música deixa claro que essa relação não ocorre somente por meio de conhecimentos físicos aplicados na construção de instrumentos, mas sim na vida das pessoas em geral.

De acordo com os parâmetros curriculares, não existe nada mais fascinante no aprendizado da ciência do que vê-la em ação (PCEM, 2009. p. 83). Por isso o ensino de Física deve conectar o aluno ao fenômeno ondulatório, e a música pode ser usada como facilitador para o seu aprendizado.

Cada instrumento musical produz as notas com timbres diferentes. As vibrações são criadas por toque ou sopro, e cada instrumento tem o seu ressoador que amplifica os sons audíveis. Segundo Halliday e Resnick (2009),

Os sons musicais podem ser produzidos pelas oscilações de cordas (violão, piano, violino), membrana (tímpano, tambor), colunas de ar (flauta, oboé, tubos de órgãos), blocos de madeira ou barras de aço (marimba, xilofone) e muitos outros corpos. (HALLIDAY D.; RESNICK R. 2009, p.161)

Quando tocamos um instrumento musical, produzimos um movimento no objeto, que chamamos de vibração. Esse movimento produz também uma vibração no ar, chegando até nossos ouvidos fazendo vibrar as membranas e os ossos. Todo o corpo vibra quando entra em contato com algum som e é assim que os deficientes auditivos têm facilidade em sentir essa vibração: é assim que “escutam”.

1.3.2 Tipos de Instrumentos Musicais

Todos os instrumentos musicais funcionam fazendo o ar vibrar. O que os músicos fazem é controlar a maneira pela qual ocorrerão essas vibrações, pois o timbre (característica das ondas emitidas pelo instrumento) depende da forma como o ar vibra.

Os vários tipos de instrumentos musicais existentes são classificados de diversas maneiras, e a mais comum é a classificação por famílias (cordas, madeiras, metais e percussão) ou modo como os sons são produzidos (sopro, percussão e cordas). Apresentaremos as famílias voltadas para o modo de produção do som.

1.3.2.1 Instrumentos de sopro

Os instrumentos musicais dessa categoria são geralmente constituídos por tubos, onde o som é produzido pela vibração do ar dentro do tubo. Os diferentes sons são obtidos variando o comprimento da coluna de ar. São exemplos de instrumentos de sopro, as flautas, o clarinete, o saxofone, trompa, trombone e trompete.

Cada tipo de instrumento possui um dispositivo vibrante apropriado, que o classifica ser de determinada família. Na família dos metais, os instrumentos são feitos de bronze, latão ou algum outro metal e para produzir os sons, o músico deve soprar contra o bocal fazendo os lábios vibrarem. No caso da família das madeiras, o som é produzido ao soprar um dispositivo de madeira chamada de palheta flexível.

Os tubos desses instrumentos são classificados em abertos e fechados, sendo os tubos abertos aqueles que têm as duas extremidades abertas e os fechados os que têm uma extremidade aberta e outra fechada.

As vibrações das colunas gasosas desses instrumentos podem ser estudadas como ondas estacionárias resultantes da interferência do som enviado na embocadura (parte onde se assopra) com o som refletido na outra extremidade do tubo. Em um instrumento de extremidade aberta, o som reflete-se em fase, formando um ventre (interferência construtiva) e em um de extremidade fechada, ocorre reflexão com inversão de fase, formando-se um nó de deslocamento (interferência destrutiva).

Vejamos alguns desses instrumentos utilizados nas aulas dessa pesquisa.

a) *Trompete* – no Trompete, Figura 15, os músicos sopram no bocal, vibrando os lábios para fazer ressoar o ar dentro do tubo. Para mudar a frequência sonora, alteram a intensidade da vibração e mudam o tamanho do tubo teclando as válvulas, chamadas de pisto.

Figura 15. Trompete.



Fonte: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Trumpet_1.jpg>. Acesso em: 15 jun. 2018.

b) *Trombone* – o Trombone, também de metal, Figura 16, possui um mecanismo de êmbolo chamado de vara, que ao ser movimentada com um dos braços, além de variar o tamanho do instrumento ocorre uma variação nos sons produzidos pelo ar ao percorrer o instrumento.

As colunas de ar mais longas vibram o ar mais lentamente e produzem notas de som mais grave do que nas colunas mais curtas, que neste caso é preciso fazer com que o ar vibre mais, soprando mais forte, produzindo som agudo. Os tubos longos fazem notas graves e os tubos curtos fazem notas agudas.

Figura 16. Trombone.



Fonte: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Trombone_CG_Bach42AG.jpg>. Acesso em: 15 jun. 2018.

c) *Clarinete* – no Clarinete ou Clarineta, o músico ao soprar o instrumento faz com que uma palheta de madeira vibre produzindo o som. Assim, o ar contido dentro de um tubo vibra com frequências sonoras diversas, ao apertar as chaves. Na Figura 17. Apresentamos um Clarinete.

Figura 17. Clarinete ou Clarineta.



Fonte: Arquivo do autor do trabalho

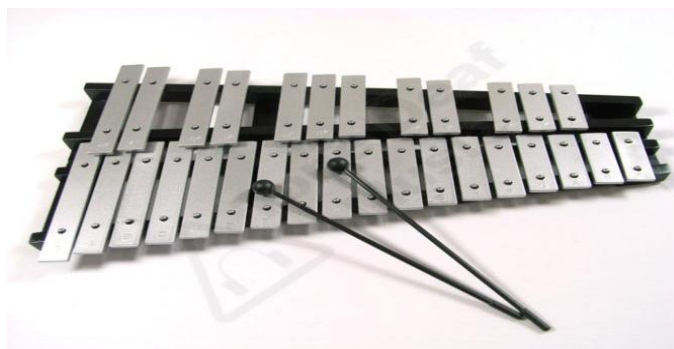
1.3.2.2 Instrumentos de percussão

Os instrumentos de percussão são os que apresentam batidas regulares e ritmadas. Ao bater em uma pele esticada de um tambor, a vibração faz o ar agitar se propagando até os nossos ouvidos. Quanto mais esticada a pele, mais vezes vibrará e mais agudo será o som produzido.

Esses instrumentos podem ser divididos pelo critério de produção sonora. Em alguns, o som é produzido por uma membrana esticada, podendo ser pele, tecidos ou membrana de material sintético, e outros, classificados como idiofones percutidos, nos quais o próprio corpo do instrumento vibra produzindo o som.

Como exemplo de idiofones percutidos, temos o xilofone, apresentado na Figura 18, que consiste em várias barras de madeira ou metal, dispostas em uma sequência ordenada, formando uma escala musical de maneira análoga às teclas de um piano. De forma genérica esse instrumento representa vários outros tais como: a marimba, o balafon, glockenspiels e os metalofones.

Figura 18. Xilofone (metallophon) utilizado na pesquisa.



Fonte: <<https://i.stack.imgur.com/xt0YQ.jpg>>. Acesso em: 08 jul. 2018.

1.3.2.3 Instrumentos de cordas vibrantes

Muitos instrumentos musicais funcionam por meio da vibração de cordas, baseado na teoria das ondas estacionárias em cordas fixas em ambas as extremidades. No fenômeno da corda vibrante, uma certa perturbação na corda, provoca uma oscilação que se propaga por ela com uma determinada velocidade. Quanto maior for a tensão aplicada na corda, maior será a velocidade de propagação. Um instrumento de corda muito comum é o violão.

c) *Violão* – a maioria dos violões possui seis cordas, com ambas as extremidades fixas (Figura 19). Todas as cordas são de mesmo comprimento, embora tenham espessuras diferentes. Para tornar o som emitido por uma corda mais agudo, é necessário esticá-la mais ou pressioná-la em um determinado ponto, com o propósito de diminuir seu comprimento de vibração. No violão, os sons graves ou agudos serão relacionados com a frequência de vibração da corda, a velocidade de propagação na corda mais grossa será menor do que a velocidade de propagação na corda mais fina.

Figura 19. Violão de seis cordas.



Fonte: Arquivo do autor do trabalho