



HELTON DINIZ ROCHA

**UTILIZANDO O *SOFTWARE Audacity* NO ESTUDO DE ONDAS
SONORAS PARA UMA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA**

MARINGÁ

2022

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
(Biblioteca Central - UEM, Maringá - PR, Brasil)

R672u Rocha, Helton Diniz
Utilizando o *software Audacity* no estudo de ondas sonoras para uma aprendizagem significativa / Helton Diniz Rocha. -- Maringá, PR, 2022.
[13], 193 f.: il. color., tabs.

Orientadora: Profa. Dra. Shalimar Calegari Zanatta.
Dissertação (Mestrado Profissional) - Universidade Estadual de Maringá, Centro de Ciências Exatas, Departamento de Física, Programa em Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), 2022.

1. Ondas sonoras. 2. Física - Ensino médio - Estudo e ensino. 3. Teoria da Aprendizagem Significativa. 4. Mapa conceitual. I. Zanatta, Shalimar Calegari, orient. II. Universidade Estadual de Maringá. Centro de Ciências Exatas. Departamento de Física. Programa em Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF). III. Título.

CDD 23.ed. 530.07

Síntique Raquel Eleutério - CRB 9/1641



UTILIZANDO O *SOFTWARE Audacity* NO ESTUDO DE ONDAS SONORAS PARA UMA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA

HELTON DINIZ ROCHA

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física – Polo UEM, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientadora: Prof. Dra. Shalimar Calegari Zanatta

MARINGÁ - PR
2022

HELTON DINIZ ROCHA

**UTILIZANDO O *SOFTWARE Audacity* NO ESTUDO DE ONDAS
SONORAS PARA UMA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA**

Orientadora:
Prof.^a Dra. Shalimar Calegari Zanatta

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação do Mestrado Nacional Profissional de Ensino de Física (MNPEF) da Universidade Estadual de Maringá, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Aprovada por:

Prof.^a Dra. Shalimar Calegari Zanatta
DFI/UEM

Prof. Dr. André Maurício Brinatti
UEPG/ Ponta Grossa

Prof. Dr. Luciano Gonsalves Costa
DFI/UEM

MARINGÁ

2022

Dedico este trabalho aos meus pais, Maura e Sebastião, a minha esposa Patrícia e aos meus filhos Eduarda e Samuel, pois abriram mão da minha presença e me deram toda a base necessária para tornar esta conquista possível.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha orientadora, Professora Dra. Shalimar Calegari Zanatta pela orientação nesse trabalho, pelas sugestões de escrita, leituras de artigos e outros trabalhos e, principalmente, pela paciência.

Agradeço também aos demais docentes do DFI da UEM, pelos ensinamentos e incentivos e em especial, à professora Dra. Hatsumi Mukai pelas importantes sugestões, contribuições e incentivos para a execução deste trabalho em um período tão difícil que está sendo o da pandemia SARS-COV-2.

Agradeço aos meus colegas de trabalho e estudantes do Colégio Estadual Dr. Cândido de Abreu, pois sem o apoio e participação dos mesmos seria inviável a aplicação do Produto Educacional mesmo de forma remota.

Agradeço muito aos meus pais, Maura e Sebastião e a minha irmã, Juliane, pois eles sempre me incentivaram e me apoiaram a estudar, inclusive, durante este mestrado.

Agradeço a minha esposa, Patrícia e aos meus filhos, Eduarda e Samuel, pois sem o apoio e compreensão deles, seria impossível concluir mais esta etapa de estudos.

Agradeço aos meus doze companheiros de mestrado (turma de 2019) pela amizade, companheirismo e conversas sobre o Ensino de Física.

Agradeço à Universidade Estadual de Maringá por oferecer esse programa de mestrado de forma gratuita.

Agradeço também à Secretaria de Estado da Educação e Esporte (SEED-PR) por fazer parte do quadro efetivo de professores de física há mais de 14 anos, o que me permitiu contribuir com a educação paranaense, assim como a aprender muito também.

À Sociedade Brasileira de Física (SBF), que oportunizou a oferta deste Mestrado na UEM – Universidade Estadual de Maringá (Polo 20).

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

O lucro do nosso estudo é tornarmos
melhores e mais sábios.
- Michel de Montaigne

RESUMO

UTILIZANDO O *SOFTWARE Audacity* NO ESTUDO DE ONDAS SONORAS PARA UMA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA

HELTON DINIZ ROCHA

Orientadora:
Prof.^a Dra. Shalimar Calegari Zanatta

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física - Polo UEM (MNPEF/UEM), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Esta dissertação descreve o desenvolvimento metodológico e a aplicação de uma unidade de ensino potencialmente significativa (UEPS), desenvolvida nos pilares da Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel (TAS). Trata-se de uma pesquisa que busca soluções para os desafios que o professor enfrenta em sala de aula ao abordar os conceitos da ondulatória. Este conteúdo está nas Diretrizes Curriculares do Estado do Paraná (2008) voltadas para estudantes do Ensino Médio. A partir disso, esta pesquisa resultou num produto educacional, PE que acompanha esta dissertação em texto próprio direcionado, especificamente para o professor. A sondagem de aprendizagem significativa realizada por meio da confecção de mapas conceituais, entre outros mecanismos, mostra que as metodologias empregadas favorecem a aprendizagem dos conceitos envolvidos no tema em tela. O público alvo, alunos do curso de formação de docentes, mostraram condições de organizar hierarquicamente os conceitos envolvidos, mesmo sendo aplicado de forma virtual, via meet, devido a pandemia causada pelo SARS-COV-2.

Palavras-chave: Ondas sonoras, *Audacity*, Mapas conceituais, Aprendizagem significativa.

MARINGÁ

2022

ABSTRACT

USING Audacity SOFTWARE IN THE STUDY OF SOUNDWAVES FOR MEANINGFUL LEARNING

HELTON DINIZ ROCHA

Advisor: Prof. Dra. Shalimar Calegari Zanatta

Abstract of master's dissertation submitted to Programa de Pós-Graduação do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física – Polo UEM (MNPEF/UEM), in partial fulfillment of the requirements for the degree Mestre em Ensino de Física.

This dissertation describes the methodological development and application of a unit of teaching meaningful or in portuguese (UEPS), developed on the pillars of Ausubel Meaningful Learning Theory (TAS). It is a research that seeks solutions to the challenges that the teacher faces, in the classroom, when approaching the concepts of wave. This theme is in brasilian educational document “Diretrizes Curriculares do Estado do Paraná” (2008). Thus, this research resulted in an educational product, PE that accompanies this dissertation in its own text, specifically for the teacher. A poll of meaningful learning, carried out through the making of conceptual maps, in others else, shows how the methodology used, favoring the learning of the concepts involved in the topic in question. The target audience, students of the teacher training course, showed conditions to hierarchically organize the concepts involved, even for the virtual application, via meet, due to the pandemic caused by SARS-COV-2.

Keywords: Sound waves, Audacity, Concept maps, Meaningful learning

MARINGÁ

2022

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1: Representação gráfica de uma onda senoidal.....	6
Figura 1.2: Onda senoidal.....	12
Figura 1.3: Identificação das grandezas da equação (1.10) para uma onda senoidal.....	12
Figura 1.4: Representação da frequência fundamental, apresentando nó e anti-nó.....	14
Figura 1.5: Representação das ondas em um tubo aberto.....	16
Figura 1.6: Representação de onda em tubos fechados.....	16
Figura 2.1: Representação esquemática de uma onda transversal em um determinado instante.....	22
Figura 2.2: Representação esquemática de uma onda longitudinal em um determinado instante.....	22
Figura 2.3: Simulador PHET de ondas.....	23
Figura 2.4: Representação de uma onda com indicações do significado de suas grandezas.....	23
Figura 2.5: Simulador PHET sobre interferência.....	29
Figura 2.6: Representação da frequência fundamental, apresentando nó e anti-nó.....	30
Figura 2.7: Representação das ondas em um tubo aberto.....	32
Figura 2.8: Representação de onda em tubos fechados.....	33
Figura 2.9: Foto da caixa de frutas a que se refere o item. E, (b) ilustração da parte da caixa a ser retirada.....	35
Figura 2.10: Imagem indicando como unir as duas partes retiradas da caixa de madeira.....	36
Figura 2.11: Imagem indicando como deve ficar a caixa da harpa.....	36
Figura 2.12: Imagem de como foi deve ser pregada a caixa da mini harpa.....	36
Figura 2.13: Imagem indicando o local para fixar as cordas na caixa.....	37
Figura 2.14: Imagem de como vai ficar a caixa após colocar todos os parafusos.....	37
Figura 2.15: Desenho ilustrativo indicando o local para fixar as cordas na caixa em azul e nas duas partes em preto um pedaço de cabo de vassoura posicionado entre a caixa e as cordas.....	38
Figura 2.16: Esquema de como passar a corda do outro lado.....	38
Figura 2.17: Mini-harpa.....	39
Figura 2.18: Interface do <i>software Audacity</i> , mostrando onde clicar para iniciar a gravação do som.....	39
Figura 2.19: Como fazer a redução de ruído no <i>Audacity</i>	40
Figura 2.20: Demonstração de como ampliar o <i>zoom</i> no <i>Audacity</i> para deixar ondas mais visíveis.....	40
Figura 2.21: Exemplo do que se espera de um mapa conceitual final – aula 1.....	42
Figura 2.22: Aparato experimental para determinação da velocidade do som.....	44
Figura 2.23: Como fazer a redução de ruído no <i>Audacity</i>	44
Figura 2.24: Print da tela indicando (pela seta) o tamanho da área selecionada, que é o intervalo de tempo entre o final da primeira onda e o final da segunda onda, caracterizando o tempo que o som vai e volta.....	45
Figura 2.25: Quiz sobre os conceitos físicos trabalhados.....	46
Figura 2.26: Desenho ilustrativo da barrica sem a tampa e fundo.....	50

Figura 2.27: Imagem demonstrando a marcação no couro sintético da boca e fundo da barrica.....	50
Figura 2.28: Tambor.....	51
Figura 2.29: Esboço do mapa conceitual que pode ser construído ao final da segunda oficina.....	53
Figura 2.30: Fotos de flautas pan: (a) peruana e (b) romenas.....	54
Figura 2.31: Especificação para construção de uma flauta pan.....	54
Figura 2.32: Foto da rolha inserida no cano.....	56
Figura 2.33: Esquema para colar os canos.....	56
Figura 2.34: Flauta pan.....	57
Figura 2.35: Esboço de um mapa conceitual após a última oficina.....	60
Figura 4.1: Mapa conceitual construído pela aluna A.....	77
Figura 4.2: Mapa conceitual construído pela aluna B.....	77
Figura 4.3: Mapa conceitual construído pela aluna M.....	78
Figura 4.4: Mapa mental construído pela aluna V.....	78
Figura 4.5: Mapa conceitual construído pela aluna D.....	79
Figura 4.6: Mapa conceitual construído pela aluna MG.....	79
Figura 4.7: Mapa conceitual construído colaborativamente com todos os estudantes.....	81

LISTA DE QUADRO E TABELAS

Tabela 1.1: Níveis de Intensidade Sonora.....	9
Tabela 1.2: Velocidade do som em diferentes meios	11
Quadro 2.1: Identificação dos conteúdos abordados.....	18
Quadro 2.2: Sequência de atividades da UEPS.....	19
Tabela 2.1: Níveis de Intensidade Sonora.....	27
Tabela 2.2: Velocidade do som em diferentes meios de propagação.....	28
Tabela 2.3: Materiais utilizados e estimativa de preços para a construção da mini-harpa.....	34
Tabela 2.4: Materiais utilizados e estimativa de preços para determinação da velocidade do som.....	43
Tabela 2.5: Materiais utilizados e estimativa de preços para construção do tambor.....	49
Tabela 2.6: Materiais utilizados e estimativa de preços para construção do tambor.....	55
Tabela 4.1: Comparativo de aproveitamento entre questionários inicial e final.....	67
Gráfico 4.1: Comparativo de acertos questionário inicial x questionário final.....	68
Tabela 4.2: Comparativo questão 2 dos questionários inicial e final.....	68
Tabela 4.3: Comparativo questão 3 dos questionários inicial e final.....	69
Tabela 4.4: Comparativo questão 4 dos questionários inicial e final.....	70
Tabela 4.5: Comparativo questão 5 dos questionários inicial e final.....	71
Tabela 4.6: Comparativo questão 7 dos questionários inicial e final.....	71
Tabela 4.7: Comparativo questão 9 dos questionários inicial e final.....	72
Tabela 4.8: Comparativo questão 10 dos questionários inicial e final.....	73
Tabela 4.9: Percentual de respostas nas alternativas da questão 11.....	74
Tabela 4.10: Percentual de respostas nas alternativas da questão 12.....	75
Tabela 4.11: Percentual de respostas nas alternativas da questão 13.....	75

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	1
Capítulo 1: Fundamentação teórica	2
1.1 Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS), mapa conceitual (MC) e unidade de ensino potencialmente significativa (UEPS)	2
1.2 Breve história da música e dos instrumentos musicais	4
1.3 Ondas	6
1.3.1 Propriedades das ondas.....	6
1.3.2. O som e suas características	8
1.3.3. Velocidade do som.....	9
1.3.4. Equação de onda, interferência, ondas estacionárias e ressonância	11
1.3.5. Harmônicos e as notas musicais.....	13
1.3.6. Harmônicos em instrumentos de cordas	14
1.3.7. Tubos sonoros abertos e fechados	15
1.3.8. Escutamos todos os sons?.....	17
Capítulo 2: Produto Educacional	18
2.1 Questionário diagnóstico	21
2.2. Texto elaborado pelo autor: Ondas	21
Propriedades das ondas.....	23
2.3 Construção da Mini harpa	33
2.3.1 Materiais Utilizados:.....	34
2.3.2 Tabela de materiais utilizados e estimativa de preços	34
2.3.3 Montagem Experimental	35
2.3.4 Roteiro de atividades após a construção da mini harpa	39
2.3.5 Esboço do que se espera do mapa conceitual referente a oficina 1	42
2.4 Determinando a velocidade do som no ar	43
2.4.2 Tabela de materiais e estimativa de valores	43
2.4.3 Montagem Experimental e roteiro de atividades	43
2.5 Quiz sobre os conceitos físicos trabalhados	46
2.6 Construção do tambor	48
2.6.1 Materiais Utilizados	49
2.6.2 Tabela de materiais utilizados e estimativa de preços	49
2.6.3 Montagem experimental - tambor.....	50
2.6.4 Roteiro de atividades após a construção do tambor	51
2.6.5 Esboço do modelo de mapa conceitual que se espera após a oficina 2	52
2.7 Construção da Flauta Pan	53
2.7.1 Materiais Utilizados:.....	54

2.7.2 Tabela de materiais utilizados e estimativa de valores	55
2.7.3 Montagem da flauta pan	55
2.7.4 Roteiro de atividades após a construção da Flauta Pan	57
2.7.5 Modelo de MC almejado após a oficina 3	59
2.8 Questionário final	61
Capítulo 3: Aplicação do PE	63
3.1 Identificação do local de aplicação	63
3.2 A aplicação	64
Capítulo 4: Resultados e análise dos resultados	66
4.1 Questão 2	67
4.2 Questão 3	68
4.3 Questão 4	69
4.4 Questão 5	69
4.5 Questão 7	70
4.6 Questão 9	71
4.7 Questão 10	71
4.8 Questões envolvendo equações	72
4.8.1 Questão 11	73
4.8.2 Questão 12	73
4.8.3 Questão 13	74
4.9 Avaliação com mapas conceituais	75
Considerações finais	81
Referências	84
Apêndice A: Respostas do Questionário inicial	86
Apêndice B: Respostas do questionário final	89
Apêndice C: Respostas do quiz sobre conceitos de Física	90
Apêndice D: Texto sobre a breve história da música e dos instrumentos musicais para leitura e arquivo dos alunos	93
A história dos instrumentos	101
Apêndice E: Quiz sobre questões referentes ao texto sobre história da música ...	102
Apêndice F: Respostas do quiz sobre história da música e dos instrumentos	106
Apêndice G: Produto Educacional	109

INTRODUÇÃO

O som chamou a atenção da humanidade desde os primórdios. É difícil delimitar quando o homem começou a se interessar pelo som. Aos poucos foi percebendo que há sons harmoniosos aos ouvidos e outros que causam desconforto e que existe um limiar audível (ALMEIDA, 1993).

A humanidade não demorou muito para descobrir que o ato de atritar, bater, soprar, entre outros, poderia, em certas condições específicas, produzir sons harmoniosos aos ouvidos. Assim, a construção de instrumentos musicais se tornou uma arte recheada de conhecimento científico que foi se desenvolvendo ao longo do tempo (TREFIL, 2006).

Diante do exposto, o presente trabalho utiliza elementos da luteria para a construção de instrumentos musicais de sopro (flauta pan), de batida (tambor) e de cordas (mini harpa cítara) para motivar os alunos a compreender os conceitos envolvidos na emissão do som e para auxiliar na dinâmica que promove a aprendizagem significativa.

De acordo com a Teoria de Aprendizagem Significativa de Ausubel (TAS), a aprendizagem significativa é o resultado da aprendizagem não literal e não arbitrária e para promovê-la, é preciso que o aluno deseje aprender, mas também que o professor tenha um papel intransferível e insubstituível. Uma vez que é o professor que organizará o material didático numa sequência denominada de Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS).

Sobre os instrumentos musicais, para Marchand (1997), a harpa foi inspirada no som emitido por uma corda amarrada num arco, pois percebeu-se, a cerca de 3000 a.C. que mais cordas poderiam ampliar a capacidade de emitir maior variedade de sons. Já o primeiro instrumento de sopro foi uma flauta feita de ossos há mais de 40 mil anos em uma região onde hoje se localiza a Eslovênia, ou seja, no leste europeu.

Entre os instrumentos de percussão¹, o mais antigo é uma espécie de tambor, rodeado por lendas devido às diversas crenças populares.

De acordo com as Diretrizes Curriculares do Estado do Paraná (DCE) de Física (2008) os conteúdos escolares devem ser tratados estabelecendo-se relações interdisciplinares que contribuam para a compreensão da produção científica, a reflexão filosófica e a criação artística nos contextos em que elas se constituem.

Apesar de levarmos em consideração a construção dos instrumentos musicais como os citados, não temos o objetivo de especificar conteúdos como as notas

musicais e a afinação musical de cada instrumento. Para o propósito deste trabalho, o som emitido pelos instrumentos construídos foi analisado pelo *software Audacity* que se trata de um programa livre bastante utilizado para edição digital de áudio. O programa está disponível desde 2000 e popular entre os *podcasters*. Em 2011, registrou 76,5 milhões de downloads conforme o site <https://sourceforge.net/top/>.

Para subsidiar a leitura e promover melhor compreensão deste trabalho, o Capítulo 1 traz a Fundamentação teórica sobre os conteúdos e as teorias de ensino.

O Capítulo 2 apresenta o PE desenvolvido e o Capítulo 3 traz os elementos da sua aplicação.

Por fim, apresentamos as considerações finais.

Capítulo 1: Fundamentação teórica

Neste capítulo vamos esboçar os resultados de uma pesquisa bibliográfica que subsidiou o desenvolvimento do PE.

1.1 Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS), mapa conceitual (MC) e unidade de ensino potencialmente significativa (UEPS)

De acordo com os documentos norteadores da educação, o principal objetivo da escola é promover uma aprendizagem que faça sentido para o aluno, ou seja, a aprendizagem deve fazer com que o aluno seja capaz de transportar o conhecimento de sala de aula para sua realidade e para auxiliá-lo na solução de problemas.

Para a TAS quando ocorre a aprendizagem significativa, o novo conceito, informação, ideia ou proposição se organiza hierarquicamente com o conhecimento prévio do aluno. Isto é, ele incorpora a nova informação à sua estrutura cognitiva com grau de clareza, estabilidade e diferenciação hierárquica que o permite fazer novas interpretações diante de novas situações.

Assim, acreditamos que a aprendizagem significativa como definida por Ausubel é exatamente a aprendizagem requerida.

Para Ausubel, este tipo de aprendizagem requer que o professor identifique o conhecimento prévio do aluno, relacionando-o com os conteúdos que serão abordados. Ausubel chamou este conhecimento prévio de subsunçores. Caso o aluno não apresente os subsunçores, o professor deve elaborar um material com os organizadores

prévios e promover um movimento constante de aprendizagem por subordinação e por diferenciação.

É relevante ressaltar o papel do professor para promover a aprendizagem significativa. É ele que desenvolverá o material específico para o desenvolvimento da sequência didática, denominada UEPS. Para Moreira (2013), o desenvolvimento de uma UEPS contribui para modificar a situação atual do tipo de aprendizagem que é produzida em sala de aula e ressignificá-la. De acordo com o mesmo autor, a elaboração de uma UEPS passa por vários momentos:

1. Definição do tópico específico a ser abordado;
2. Criar/propor situações para que o aluno externalize seu conhecimento prévio ou subsunçores. Pode ser por meio de questionário, mapa mental, mapa conceitual, discussão, situação-problema, entre outros. Se os alunos não apresentarem os subsunçores desejados, o professor deve apresentar um material com estes elementos básicos, os organizadores prévios;
3. Apresentar o conteúdo de forma geral e ampla para ir promovendo a diferenciação progressiva, ou seja, apresentar aspectos mais gerais para depois abordar aspectos mais específicos. Pode-se realizar explanação oral como primeira opção e posteriormente utilizar atividades colaborativas em pequenos grupos, seguida de uma atividade de apresentação ou discussão;
4. Retornar os aspectos mais gerais em nível mais alto de complexidade em relação à primeira apresentação. Apresentar situações-problema em nível maior de complexidade e com novos exemplos, destacando semelhanças e diferenças com o que já foi trabalhado, promovendo assim a reconciliação integradora. Após essa segunda apresentação, propor alguma atividade para que os alunos interajam socialmente negociando significados, atividades essas que podem ser resoluções de problemas, construção de um mapa conceitual, um experimento, um pequeno projeto ou outras, mas deve haver negociação de significados e mediação docente;
5. Retorna-se as características mais relevantes do conteúdo em uma perspectiva integradora, buscando a reconciliação integrativa, o que deve ser feito através de nova apresentação de significados que pode ser com metodologias semelhantes às anteriores, pois o que se faz importante aqui é o modo de trabalhar o conteúdo da unidade, a qual deve apresentar novas situações-problema com grau mais alto de complexidade em relação às anteriores, mas que agora devem ser resolvidas de

forma colaborativa e depois apresentadas em grande grupo, sempre com a mediação do professor;

6. A avaliação de aprendizagem da UEPS deve ser feita ao longo de sua implementação e também deve haver uma avaliação somativa após o sexto passo, na qual propõe-se questões que impliquem compreensão e que evidenciem captação de significados;
7. O êxito da UEPS se dará se a avaliação de desempenho dos alunos fornecer evidências de aprendizagem significativa, ou seja, se o aluno consegue explicar e aplicar o conhecimento para resolver novas situações-problema. A ênfase em evidências é importante porque a aprendizagem significativa é progressiva.

Observe que na TAS não existe uma avaliação de caráter classificatório. A utilização dos Mapas Conceituais, por exemplo, serve para o professor definir seus próximos passos. Neste trabalho, utilizamos o programa Cmaptools, disponível gratuitamente para a elaboração dos Mapas Conceituais.

O *software* Cmaptools permite obter, ao final da montagem do MC, a tabela de clareza proposicional (TCP) que verifica a clareza semântica nas frases construídas e também verifica se os conceitos estão corretos.

É importante ressaltar que há uma diferença entre os MC's e os mapas mentais. Os primeiros apresentam relações entre os conceitos buscando sempre hierarquizá-los e os segundos representam livres associações.

O mapeamento conceitual é uma técnica flexível ainda pouco utilizada, apesar de ser útil em diversas finalidades, tais como um instrumento na análise de currículo, técnica didática, recurso de aprendizagem, meio de avaliação (Moreira e Buchweitz,1993).

1.2 Breve história da música e dos instrumentos musicais

O som chamou a atenção da humanidade desde os primórdios. É difícil delimitar quando o homem começou a se interessar pelos sons. Aos poucos foi percebendo que há sons harmoniosos aos ouvidos e outros que causam desconforto. O ouvido humano, um tubo sonoro, tem um limiar audível, independente da harmonia do som (TREFIL, 2006).

A propagação do som, as características da onda e os fenômenos associados, são estudadas pela ondulatória. A descoberta da luz como uma onda eletromagnética, agrupou o eletromagnetismo e a ondulatória num mesmo tema.

Quando falamos em som, pensamos nos instrumentos musicais e na voz humana. Um luthier utiliza todo seu conhecimento científico sobre ondulatória para construir um instrumento musical.

Os instrumentos de corda são aqueles compostos de uma caixa ressonadora com cordas, como o violão, a viola, o alaúde, a harpa e a cítara (mini-harpa), sendo este último, um dos mais antigos, de acordo com Marchand (1997).

Os instrumentos de sopro são aqueles compostos por tubos abertos ou fechados cujo comprimento está relacionado com um múltiplo de um harmônico. Segundo Marchand (1997), o primeiro instrumento de sopro foi uma flauta feita de ossos há mais de 40 mil anos em uma região onde hoje se localiza a Eslovênia, ou seja, no leste europeu.

Os instrumentos de percussão, por exemplo, o tambor, emite som a partir da vibração de um objeto preso na caixa ressonadora.

Um som harmonioso sempre foi um objeto de busca pela humanidade. O homem da pré-história provavelmente produziu som com seu corpo, batendo os pés no chão, batendo palmas, sacudindo colares e braceletes de ossos, de sementes ou de conchas. Estes rituais de produção de som, representavam uma conversa com os deuses.

A música é a manifestação artística e cultural de um povo e uma expressão dos sentimentos. Ela utiliza os sons como matéria prima e é constituída de três elementos: melodia, harmonia e ritmo. A melodia é uma sucessão de sons musicais combinados; a harmonia é a combinação dos sons simultâneos; e o ritmo é a duração e a acentuação dos sons e das pausas. Na música, estes três elementos devem estar presentes. A evolução dos instrumentos musicais se processou lenta e gradualmente através dos séculos. Foi na primeira metade do século XIX, com o grande desenvolvimento da música orquestral, sobretudo entre 1810 e 1850, que os instrumentos musicais adquiriram, em sua essência, as formas que apresentam hoje.

A partir de então, os instrumentos passaram a existir em função da música e não mais o contrário.

1.3 Ondas

Fisicamente falando, ondas são perturbações que se propagam no espaço vazio ou em algum meio material. Elas são classificadas em relação à natureza (mecânicas ou eletromagnéticas), forma de vibração (transversais ou longitudinais) e direção de propagação (unidimensionais, bidimensionais e tridimensionais) (TREFIL,2006).

As ondas mecânicas se propagam em meios materiais como por exemplo: as ondas marítimas, ondas sonoras, ondas sísmicas, etc.

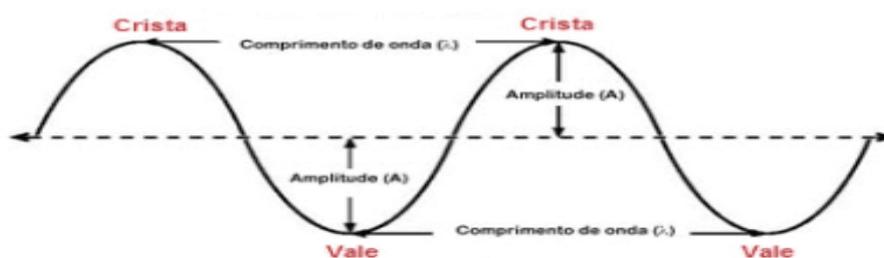
As ondas eletromagnéticas se propagam no espaço vazio e representam um campo elétrico oscilante no espaço e um campo magnético associado. A luz visível, o raio X, as micro-ondas, as ondas rádio e televisão, são alguns exemplos destas ondas.

Vamos restringir nossas discussões às ondas mecânicas, que precisam de um meio para se propagar e são longitudinais, ou seja, vibram na mesma direção da propagação. Uma fonte emissora, emite ondas sonoras em todas as direções, por isso a chamamos de ondas tridimensionais. As características do meio por onde estas ondas se propagam, interferem diretamente na sua velocidade de propagação. Vamos detalhar mais sobre as propriedades e características destas ondas.

1.3.1 Propriedades das ondas

As ondas mecânicas ou eletromagnéticas, ficam bem caracterizadas quando definimos as grandezas: velocidade de propagação, amplitude, período e frequência (HALLIDAY, 2001). Para melhor compreensão dessas propriedades, veja a figura 1.1 que representa graficamente por meio de uma figura de linguagem, a evolução de uma onda em um dado instante.

Figura 1.1: Representação gráfica de uma onda senoidal



Fonte: http://explicatorium.com/CFQ8/images/onda_caracteristicas.jpg

Como a figura 1.1 mostra, a amplitude de uma onda corresponde a altura máxima, uma crista, ou simetricamente, o ponto mais baixo, o vale. Em outras palavras, a amplitude de oscilação de uma onda é a distância máxima entre o ponto de vibração da onda e o seu eixo de equilíbrio (PELEGRINI, 1999).

A letra grega lâmbda, λ representa o comprimento de uma onda o que significa a distância entre duas cristas sucessivas ou entre dois vales sucessivos ou quaisquer dois pontos de referência que representa uma volta completa (PELEGRINI, 1999). Dito de outra forma, o comprimento de onda, λ representa um ciclo de um movimento harmônico que se repete ao longo de sua propagação. Devido a isso, podemos dizer que uma onda se comporta como uma função senoidal, ou seja, ela pode ser representada por uma função do seno ou do cosseno.

O comprimento da onda, λ se relaciona com sua velocidade de propagação e frequência de oscilação. Para o caso específico de uma onda eletromagnética que se desloca na velocidade da luz, temos:

$$\lambda = \frac{c}{T} . \quad (1.1)$$

Onde:

c^1 = velocidade da luz no vácuo, (aproximadamente 3.10^8 m/s),

T = período, é o tempo que a onda leva para se deslocar por um comprimento de onda.

A expressão (1.1) é uma representação da função horária de um corpo que se move com velocidade 'v', durante o tempo 't' e espaço 's' em movimento retilíneo uniforme, MRU ($v = S/t$). Para uma onda mecânica, que se propaga com velocidade 'v' num meio material, temos (1.2).

$$v = \frac{\lambda}{T} . \quad (1.2)$$

¹ A velocidade da luz 'c' é uma das constantes mais importantes da Física. Ela não está sujeita a variações de valores em função do referencial inercial. Ela não obedece às transformações de Lorentz. Este fato levou ao desenvolvimento da teoria da relatividade de Einstein.

No Sistema Internacional (SI) de medidas, o comprimento de onda é dado em metro (m); a velocidade da luz no vácuo é dada em metro por segundo (m/s) e o período em segundos (s).

A frequência f é o inverso do período, dada em Hertz (Hz), que é s^{-1} .

$$f = \frac{1}{T} \quad (1.3)$$

Assim, podemos escrever a 1.2, como:

$$v = \lambda f \quad (1.4)$$

1.3.2. O som e suas características

Além do comprimento de onda, velocidade e frequência, o som deve ser definido por características específicas como: (TREFIL, 2006)

Altura: diferente da definição utilizada cotidianamente, som ‘alto’ é o som mais agudo, de maior frequência. Som ‘baixo’ é mais grave, de menor frequência. Podemos citar a voz masculina como exemplo de som grave e a feminina como agudo (NUSSENZVEIG, 2002).

Timbre: é a característica que nos permite diferenciar uma mesma nota musical, mesmo modo de vibração, produzida por diferentes instrumentos.

Intensidade: diz respeito a quantidade de energia da onda sonora e está relacionada à sua amplitude. Quanto maior a amplitude, maior intensidade, ou seja, sons com alta intensidade são também chamados de sons fortes.

A intensidade sonora que flui de uma fonte e atravessa determinada área é definida como a razão entre a potência dissipada pela fonte sonora e a área da região atingida por ela. No Sistema Internacional de Unidades, a intensidade sonora é dada por Watt por metro quadrado (W/m^2).

$$I = \frac{P}{A} \quad (1.5)$$

A intensidade sonora mínima percebida pelo ser humano é da ordem de $10^{-12} W/m^2$, o que equivale a 0 decibel (dB). A sensação auditiva do ouvido humano vai

do mínimo audível, citado anteriormente, até o limiar da dor, cerca de $1 \times 10^{12} \text{ W/m}^2$ (120 dB).

O decibel (dB) está relacionado com a comparação entre duas medidas, uma de referência I_0 (valor mínimo audível, 10^{-12} W/m^2) e outra com intensidade I , conforme a equação 1.6:

$$dB = 10 \log \left(\frac{I}{I_0} \right). \quad (1.6)$$

Quando $I = I_0$ na 1.6, temos que $dB = 10 \log 1$, que é igual a 0.

Ou seja, o decibel (dB) é um número adimensional que relaciona dois valores diferentes para as mesmas grandezas. Para melhor compreensão, a tabela 1.1, mostra os valores obtidos pela 1.6 para vários valores de I (intensidade do som) (NUSSENZVEIG, 2002).

Tabela 1.1: Níveis de Intensidade Sonora

I (W/m²)	Nível em dB
1 x 10⁻¹²	0
0	1
10	10
100	20
1.000	30
10.000	40
100.000	50
1.000.000	60
1.000.000.000.000	120

Fonte: HALLYDAY, D. RESNICK, R. WALKER, J. Fundamentos de Física – Gravitação, Ondas e Termodinâmica. 6ª edição. Editora LTC. Rio de Janeiro, 2001.

1.3.3. Velocidade do som

A velocidade do som depende das características do meio de propagação: densidade, temperatura e pressão.

Segundo HALLIDAY (2001), a velocidade de qualquer onda mecânica, transversal ou longitudinal, depende tanto de uma propriedade inercial do meio (para

armazenar energia cinética) quanto de uma propriedade elástica do meio (para armazenar energia potencial). Assim, a velocidade do som em uma corda esticada é dada por:

$$v = \sqrt{\frac{\tau}{\mu}} = \sqrt{\frac{\text{propriedade elástica}}{\text{propriedade inercial}}} \quad (1.7)$$

Onde:

τ = tração na corda;

μ = massa específica da corda linear da corda.

Considerando uma onda longitudinal que se desloca no ar, podemos supor que a propriedade inercial (correspondente a μ) é a massa específica volumétrica ρ do ar. A propriedade elástica será representada por pequenos elementos de volume do ar que variam quando é alterada a pressão sobre eles. Esta propriedade chamamos de módulo de compressibilidade B e pode ser representada pela seguinte equação:

$$B = -\frac{\Delta p}{\frac{\Delta V}{V}} \quad (1.8)$$

Sendo:

$\frac{\Delta V}{V}$ = a mudança de volume em relação ao volume original devido a variação de pressão Δp .

A unidade do SI para pressão é de Newton por metro quadrado (N/m^2). E ao fazermos a análise dimensional, percebemos que anulamos as unidades de volume. Já em relação à unidade do módulo de compressibilidade B também é N/m^2 ou pascal (Pa). Na relação da pressão com o volume, acontece que sempre quando um aumenta, o outro diminui e, por este motivo, inseriu-se o sinal negativo na equação 1.8 e desta forma, o modo que B sempre seja uma grandeza positiva. A partir disso, esclarecida as propriedades elásticas e inercial, substituímos τ por B e μ por ρ na equação (1.7) e teremos:

$$v = \sqrt{\frac{B}{\rho}} \quad (1.9)$$

Onde:

β = módulo de elasticidade volumar, grandeza que indica maior ou menor capacidade do material de permitir a passagem das ondas sonoras;

ρ = massa específica do meio onde ocorrerá a propagação das ondas.

A tabela a seguir mostra alguns valores de velocidades de propagação para diferentes meios e temperaturas.

Tabela 1.2: Velocidade do som em diferentes meios

Meio de propagação	Velocidade (m/s)
Ar (0 °C)	331
Ar (20 °C)	343
Água (0°C)	1402
Água (20 °C)	1482
Alumínio	6420

Fonte: HALLYDAY, D. RESNICK, R. WALKER, J. Fundamentos de Física – Gravitação, Ondas e Termodinâmica. 6ª edição. Editora LTC. Rio de Janeiro, 2001.

Observe da tabela 1.2 que trata da influência da densidade do meio para determinar a velocidade de propagação das ondas sonoras. Isto porque quanto maior a quantidade de átomos ou moléculas constituintes do material, mais fácil será a perturbação percorrer este meio.

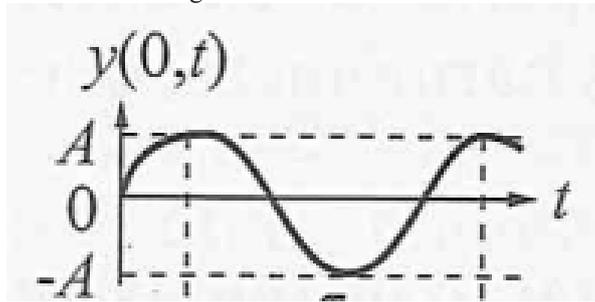
1.3.4. Equação de onda, interferência, ondas estacionárias e ressonância

As interações entre duas ou mais ondas são descritas por alguns fenômenos físicos que se diferenciam entre si quanto aos resultados. Para melhor compreensão, precisamos definir um novo conceito, a fase de uma onda (HALLYDAY, 2001).

Fase é a designação dada para determinar a posição de um pulso em relação ao eixo de equilíbrio num determinado tempo específico. Em geral, quando utilizamos como referência um plano cartesiano, as fases de uma onda são definidas observando o eixo das ordenadas (eixo y), sendo assim, precisamos de uma função que nos dê a forma da onda, ou seja, precisamos de uma relação $y = h(x, t)$, onde y é o deslocamento transversal de qualquer elemento de corda como uma função h do tempo t

e da posição x do elemento ao longo da corda. Em geral, uma onda tem a forma senoidal, conforme a figura 1.2:

Figura 1.2: Onda senoidal



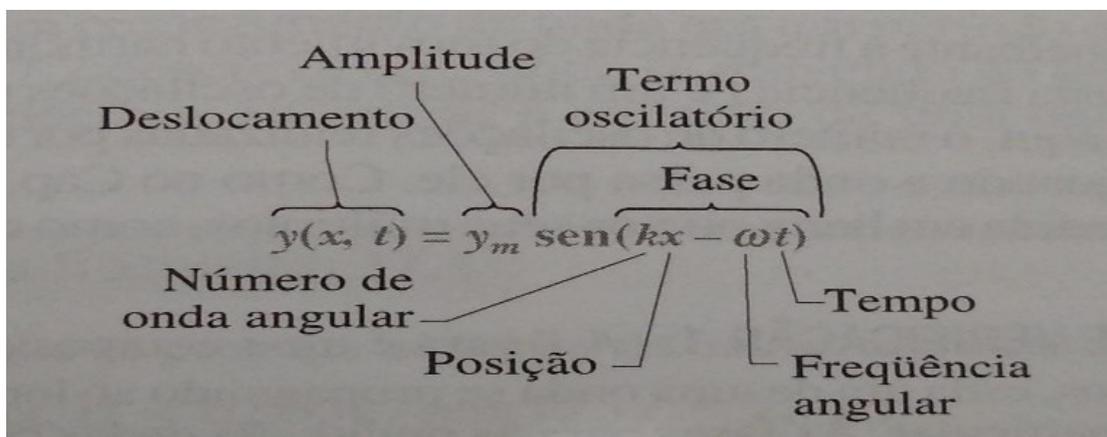
Fonte: NUSSENZVEIG, Herch Moysés. Curso de Física básica – Volume 2. 4ª edição. Editora Blucher. Rio de Janeiro, 2002.

Considerando que a onda senoidal se propaga no sentido positivo do eixo x , as oscilações dos elementos sucessivos da corda oscilam paralelamente ao eixo y , num instante de tempo t e o deslocamento y do elemento localizado na posição x , é dado por:

$$y(x, t) = y_m \text{sen}(kx - \omega t) \quad (1.10)$$

A equação é escrita em termos da posição x e pode ser usada para encontrar todos os deslocamentos de todos os elementos da corda em função do tempo, sendo assim, ela pode apresentar o formato da onda em qualquer tempo e que este varia quando a onda se move ao longo da corda. Os termos utilizados para as grandezas da equação (1.10) estão dispostos na figura 1.3:

Figura 1.3: Identificação das grandezas da equação (1.10) para uma onda senoidal



A amplitude y_m de uma onda é a intensidade máxima do deslocamento dos elementos a partir da posição de equilíbrio. A amplitude é sempre uma grandeza positiva, mesmo quando for medida para baixo do eixo x .

A fase da onda é dada pelo argumento $(kx - \omega t)$ da 1.10, portanto, observe que a fase varia linearmente com o tempo entre os extremos da amplitude.

Quando duas ou mais ondas se encontram, elas sofrem “interferência” que pode ser do tipo Construtiva ou Destrutiva. Se as ondas se encontram num ponto x com a mesma fase, a interferência será construtiva e a onda resultante terá amplitude maior. Se o encontro for com fase defasada em $\pi/2$, elas se anulam e a interferência é dita destrutiva (TREFIL, 2006).

É possível que o encontro ocorra com valores intermediários para a fase, o que acarretará que a onda resultante tenha vários valores para a amplitude.

As Ondas Estacionárias são ondas produzidas pela interferência num caso particular. Elas são verificadas quando as ondas são refletidas por uma superfície e como consequência disso, as ondas da ida se encontram com as ondas da volta. As ondas estacionárias desempenham um papel importante na produção de notas musicais.

Outro fenômeno importante na ondulatória é a ressonância. Trata-se de um fenômeno físico no qual a frequência de oscilação da fonte emissora da onda é igual ou muito próxima à frequência natural do receptor, o que acarreta no aumento da amplitude das oscilações. A ressonância sonora é a responsável pelos instrumentos musicais produzirem os harmônicos (TREFIL, 2006).

1.3.5. Harmônicos e as notas musicais

Segundo TREFIL (2006), quando falamos em música, harmônico é um som que está em equilíbrio, compatível com uma certa coerência e regra musical. Para a acústica, um harmônico é uma onda de frequência específica de vibração que tem como consequência, causar o fenômeno de ressonância, sendo que a primeira ressonância de uma onda é chamada de frequência fundamental e dela surgem todos os harmônicos.

Sendo assim, harmônicos são sons obtidos a partir de frequência específica de vibração que tem como consequência causar o fenômeno da ressonância.

Um harmônico é sempre múltiplo da frequência fundamental, ou seja, sempre é múltiplo da menor frequência capaz de produzir ondas estacionárias em um instrumento musical (GRILLO, 2016).

A menor frequência é também chamada de primeiro harmônico, sendo assim, os demais harmônicos da série são múltiplos do primeiro harmônico.

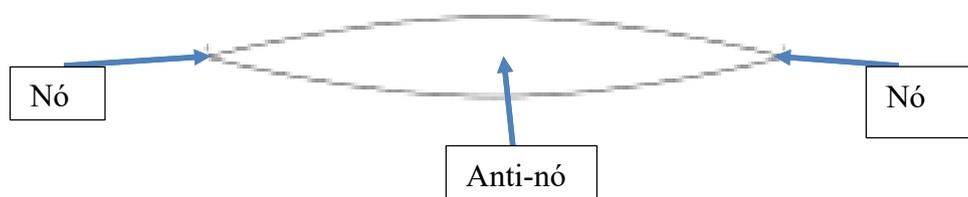
Como exemplo de harmônicos podemos citar as notas musicais, pois cada harmônico corresponde a uma nota musical.

1.3.6. Harmônicos em instrumentos de cordas

Em termos gerais, nos instrumentos de cordas, o som é emitido quando exercemos uma força de tração em uma ou mais cordas e estas vibram produzindo uma perturbação do ar. A vibração das cordas gera ondas transversais que se superpõe às refletidas pelas extremidades, gerando ondas estacionárias, as quais em contato com o ar, dão origem a ondas sonoras.

A figura 1.4 mostra a imagem de uma corda com sua frequência fundamental (f_0).

Figura 1.4: Representação da frequência fundamental, apresentando nó e anti-nó



Fonte: o autor

Esse modo de vibração é chamado de modo fundamental ou primeiro harmônico. Os outros modos de vibração para essa mesma corda serão múltiplos de f_0 , ou seja, o segundo harmônico será $2 f_0$, o terceiro $3 f_0$, e assim sucessivamente (NUSSENZVEIG, 2002).

É importante falarmos em nós e anti-nós. Os nós são pontos onde a amplitude da onda ressonante é zero. Os anti-nós são pontos onde a amplitude é máxima ou mínima.

A frequência de uma corda vibrante pode ser calculada através da seguinte equação:

$$f = \frac{n v}{2 L} . \quad (1.11) .$$

Sendo:

f – frequência (Hz);

n – número de harmônicos (1, 2, 3, 4, ...);

L – comprimento da corda;

v – velocidade de propagação das ondas na corda (m/s).

Como na frequência fundamental, estamos falando do primeiro harmônico, então $n=1$ e a equação acima será:

$$f = \frac{v}{2 L} . \quad (1.12)$$

Lembrando que $v = \lambda f$, então $\frac{v}{f} = \lambda$, comparando com (1.9) temos que $\lambda = 2 L$ para a frequência fundamental, e $\lambda = \frac{2L}{n}$ as demais frequências.

Podemos dizer que o comprimento de onda obtido em uma corda vibrando em sua frequência fundamental é igual ao dobro do comprimento da corda e as demais frequências (todas menores) são múltiplas de f_0 (NUSSENZVEIG, 2002).

Para determinarmos a velocidade de propagação das ondas nas cordas, consideramos F a força da corda que traciona uma corda de comprimento L , de secção transversal com área S e constituída de um material com densidade volumétrica μ , temos:

$$v = \sqrt{\frac{F}{\mu S}} . \quad (1.13)$$

Considerando que o fio tem formato cilíndrico, teremos $S = \pi r^2$, sendo r o raio da corda e L o comprimento da corda.

1.3.7. Tubos sonoros abertos e fechados

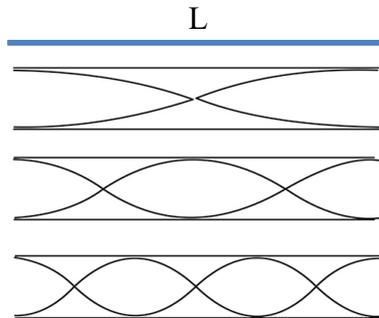
Nos tubos sonoros, as ondas estacionárias ocorrem pela superposição de ondas nas correntes de ar dentro dos tubos.

As ondas geradas são ondas de pressão que entram através do sopro realizado na embocadura do tubo e faz com que o ar de dentro sofra um afunilamento que determina uma vibração originária das ondas (TREFIL, 2006).

Os tubos sonoros podem ter a extremidade oposta a embocadura aberta ou fechada, ou seja, temos tubos de som abertos e tubos de som fechados.

Tal qual nos instrumentos de cordas, nos tubos sonoros abertos podemos ter vários modos de vibração e alguns deles são representados na figura 1.5:

Figura 1.5: Representação das ondas em um tubo aberto.



Fonte: adaptado de <https://pir2.forumeiros.com/t140301-tubos-sonoros>

As frequências naturais em um tubo aberto, também podem ser calculadas pela relação:

$$f = \frac{nv}{2L}. \quad (1.14)$$

Sendo:

f – frequência (Hz);

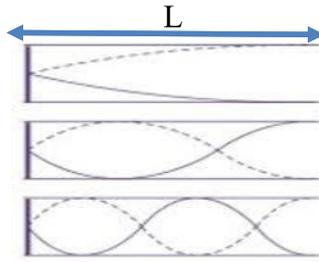
n – número de harmônicos (1, 2, 3, 4, ...);

L – comprimento do tubo (m);

v – velocidade de propagação das ondas na corda (m/s).

Nos tubos sonoros fechados, observamos um nó na parede que fecha o tubo. Veja figura 1.6.

Figura 1.6: representação de onda em tubos fechados.



Fonte: adaptado de <https://www.respondeai.com.br/conteudo/fisica/ondas/tubos-sonoros/488>

Para um tubo fechado, as frequências naturais se relacionam da seguinte maneira:

$$f = \frac{nv}{4L}, \text{ onde } n = 1, 3, 5, 7, \dots \quad (1.15)$$

As frequências naturais são múltiplos ímpares da relação $\frac{v}{4L}$, pois tubos fechados não emitem harmônicos de ordem par.

1.3.8. Escutamos todos os sons?

Não. Basicamente, o ouvido humano é um tubo sonoro aberto em uma extremidade onde se forma ondas sonoras do tipo estacionárias longitudinais. O tamanho do tubo define o intervalo de frequências das ondas estacionárias formadas e, portanto, da frequência audível. A frequência mínima é de 20 Hz e a máxima é de até 20.000 Hz. Os sons abaixo do mínimo audível são denominados de *infrassons* e aqueles acima do máximo audível pelo ser humano são denominados de *ultrassons*. O que para nós pode ser infrassom ou ultrassom pode ser som audível para alguns animais, como os cães (GRILLO, 2016).

O funcionamento do ouvido humano está relacionado a sua sensibilidade às rápidas mudanças de pressão de ar e ao envio desta informação para o cérebro (TREFIL, 2006). As variações de pressão são recebidas por uma membrana chamada tímpano e de lá são transmitidas por meio de pequenos ossos para outra membrana situada na cóclea, um tubo em forma de caracol, cheio de líquido, que se localiza no ouvido interno. As vibrações desta segunda membrana produzem oscilações no líquido, fazendo vibrar os cílios que revestem as paredes da cóclea, estimulando assim, os nervos auditivos que transmitem ao cérebro os sinais que são interpretados como sons.

Capítulo 2: Produto Educacional

Este trabalho surge com a necessidade de resolver um problema prático de sala de aula: Como dar significado aos conceitos da ondulatória para que o aluno interprete os fenômenos sonoras de forma significativa? Para tal, elaboramos e aplicamos um PE que representa uma sequência de atividades didáticas que envolvem a confecção de instrumentos musicais e a utilização do *software Audacity* para análise da onda sonora, emitida pelos instrumentos aqui construídos.

O conteúdo sobre ondulatória, conforme as Diretrizes Curriculares do Estado do Paraná (2008), está inserido no conteúdo estruturante do eletromagnetismo. Porém, neste PE, vamos abordar apenas as ondas mecânicas representadas pelas ondas sonoras. O Quadro 1, elenca os conteúdos abordados e o quadro 2.2 apresenta a sequência de atividades que compõe a UEPS, distribuída de acordo com o tempo utilizado para cada etapa.

Quadro 2.1: Identificação dos conteúdos abordados.

Conteúdo Estruturante	Conteúdos Básicos	Conteúdos Específicos
ONDAS	ONDAS MECÂNICAS, Comprimento, frequência, velocidade de propagação, dimensão das ondas, formas de propagação, fase, fenômenos da interação entre as ondas.	<ul style="list-style-type: none">- Comprimento, velocidade e frequência da onda;- Nó, Anti-nó, ventre, Ressonância, Interferência, Ondas estacionárias;- O som como onda mecânica,- Qualidades do som: volume, intensidade e timbre;- Reflexão do som: reforço, reverberação e eco;- Cordas vibrantes;- Tubos de som: abertos e fechados - o caso do ouvido;- História dos instrumentos sonoros: sopro, cordas e percussão;- Breve introdução às notas musicais;- Características de instrumentos sonoros;

Quadro 2.2: Sequência de atividades da UEPS

Cronograma	Número de aulas	Desenvolvimento
1ª oficina	5 aulas de 50 minutos	<ul style="list-style-type: none"> ● Aplicação de um questionário diagnóstico; Descrito no 2.1 ● Discussão oral e apresentação do tema – aspectos gerais; ● Sistematização dos conceitos relacionados (leitura e discussão de texto desenvolvido neste trabalho): frequência, comprimento de onda, amplitude, velocidade do som, qualidades do som, interferência, ondas estacionárias, cordas vibrantes e ressonância; Descrito no 2.2 ● Construção da mini-harpa e exploração dos conceitos de qualidades do som, interferência, ondas estacionárias, cordas vibrantes e ressonância; Descrito no 2.3 ● Resolução de exercícios numéricos com a utilização de livros didáticos; Conforme item 2.3.4; ● Apresentação do desenvolvimento de instrumentos de cordas e as relações matemáticas para calcular a frequência das notas musicais; Conforme item 2.3.4, atividades 7 c e 7 d; ● Breve discussão sobre as notas musicais em instrumentos de cordas; Conforme item 2.3.4 ● Início da construção do Mapa Conceitual sobre o assunto trabalhado, utilizando o programa <i>Cmaptools</i>; Descrito em 2.3.5
2ª oficina	2 aulas de 50 minutos	<ul style="list-style-type: none"> ● Determinação da velocidade do som, a frequência e período do som com o uso do <i>software Audacity</i>; Descrito no 2.4 ● Construção do tambor e retomada dos principais conceitos; Descrito no 2.6

		<ul style="list-style-type: none"> ● Obtenção da frequência das vozes dos estudantes falando e cantando para efeito de comparação com as ondas obtidas com o tambor; Atividade proposta no item 2.6.4 ● Exploração sobre as frequências nos sons graves e agudos; Item 2.6.4 ● Abordagem histórica do surgimento de instrumentos de percussão e a discussão do uso por diversos grupos sociais; Descrito no Apêndice D ● Continuidade da construção do Mapa Conceitual iniciado na aula anterior, inserindo os conteúdos trabalhados referente ao instrumento de percussão; Descrito no 2.6.5
3ª oficina	3 aulas de 50 minutos	<ul style="list-style-type: none"> ● Construção da flauta pan e revisão dos conceitos sobre ondas estacionárias; Descrito no 2.7 ● Características do som emitido por tubos sonoros; Atividades no item 2.7.4 ● Comparação dos tubos sonoros com o ouvido humano; Atividades no item 2.7.4 ● Abordagem histórica do surgimento de instrumentos de sopro e a sua importância no decorrer da história da humanidade; Descrito no Apêndice D ● As notas musicais em instrumentos de sopro; Atividades no item 2.7.4 ● Finalização do Mapa Conceitual; Descrito no 2.7.5 ● Retomada do questionário inicial, acrescido de mais questões (aplicado após a finalização do Mapa Conceitual); Descrito no 2.8

Fonte: o autor.

2.1 Questionário diagnóstico

Para o questionário diagnóstico, busca-se avaliar o que o estudante já sabe e assim, se faça a construção da UEPS. Nesse sentido, o leitor pode consultá-lo no apêndice A, o qual consta com as respostas de cada questão ou no apêndice G, no qual apresenta-se todo o PE.

Após a aplicação do questionário prévio, introduzimos o texto disposto aqui em 2.2 para subsidiar os Organizadores Prévios. Nesta ação, nosso objetivo foi garantir que os estudantes se apropriassem de todos os subsunçores e a partir disso, compreendessem novos conceitos relacionados.

2.2. Texto elaborado pelo autor: Ondas

Fisicamente falando, ondas são perturbações que se propagam no espaço vazio ou em qualquer outro meio. Elas são classificadas em relação à natureza (mecânicas ou eletromagnéticas), forma de vibração (transversais ou longitudinais) e direção de propagação (unidimensionais, bidimensionais e tridimensionais) (TREFIL, 2006).

Estas perturbações transportam energia e, de acordo com a sua natureza, as ondas podem ser:

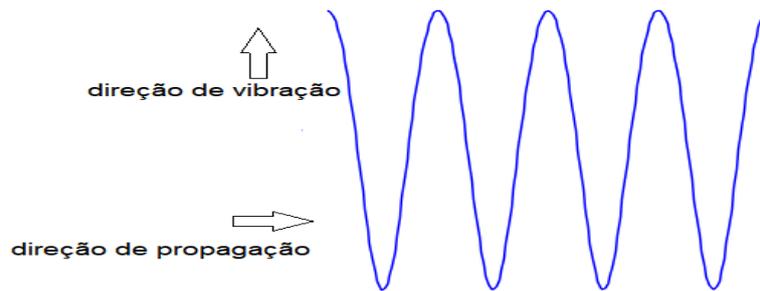
Ondas mecânicas: são as ondas que se propagam em meios materiais. Por exemplo: as ondas marítimas, ondas sonoras, ondas sísmicas, etc.

Ondas eletromagnéticas: são oscilações do campo elétrico e, como consequência desta oscilação, promovem oscilação de um campo magnético associado e não precisam de um meio material para se propagarem. Temos como exemplos: a luz visível, raio X, micro-ondas, ondas de transmissão de rádio e televisão, entre outras.

Quanto a forma de vibração, podemos definir as ondas em:

Transversal: quando as partículas do meio de propagação vibram perpendicularmente à direção de propagação da onda. Um exemplo desse tipo de onda é a luz.

Figura 2.1: Representação esquemática de uma onda transversal em um determinado instante

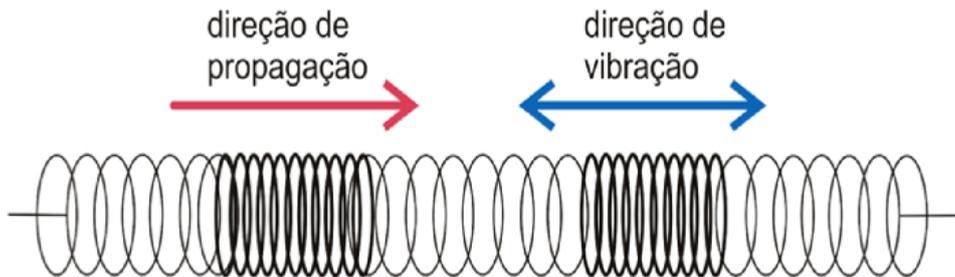


Fonte:

https://www.google.com/search?q=Onda+transversal&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=2ahUKEwin9uSco_bwAhVsELkGHVq5DcoQ_AUoAXoECAEQAw&biw=1366&bih=625#imgrc=WsZT2MHxrwTm5M

Longitudinal: quando as partículas do meio de propagação vibram na mesma direção em que a onda se propaga, como é o caso das ondas sonoras.

Figura 2.2: Representação esquemática de uma onda longitudinal em um determinado instante



Fonte: https://www.researchgate.net/figure/Figura-9-Ilustracao-de-onda-longitudinal_fig5_325942399

Quanto à **direção de propagação**, as ondas podem ser assim classificadas:

unidimensionais: quando se propagam em apenas uma direção, como a onda em uma corda;

bidimensionais: se a propagação ocorre em duas direções, que é o caso da onda gerada por uma perturbação na água;

tridimensionais: que se propagam em três dimensões, como as ondas sonoras.

A figura 2.3 traz uma representação de uma onda se propagando na água e que foi observado por meio do *link* indicado abaixo.

Figura 2.3: Simulador PHET de ondas

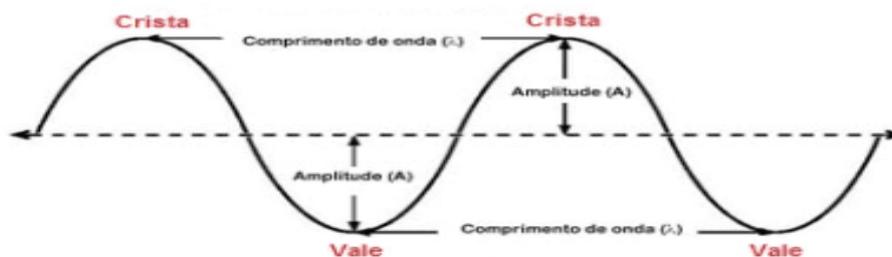


Fonte: https://phet.colorado.edu/sims/html/waves-intro/latest/waves-intro_pt_BR.html

Propriedades das ondas

A caracterização de uma onda depende de suas propriedades, tais como: velocidade de propagação, amplitude, período e frequência (HALLIDAY, 2001). Veja uma representação gráfica para estas grandezas, num instante fixo, na figura 2.4.

Figura 2.4: Representação de uma onda com indicações do significado de suas grandezas.



Fonte: http://explicatoruim.com/CFQ8/images/onda_caracteristicas.jpg

A parte mais alta de uma onda é chamada de crista e a mais baixa, de vale. O comprimento de onda é definido pela distância entre duas cristas sucessivas ou por dois vales sucessivos (PELEGRINI, 1999).

Observe que a onda representa um fenômeno oscilatório. Ou seja, ele se repete ao longo do tempo.

Podemos relacionar o comprimento de onda, que pode ser representado pela letra grega λ , com sua velocidade de propagação c , com a frequência de oscilação por unidade de tempo (segundos):

$$\lambda = \frac{c}{f}. \quad (2.1)$$

Sendo:

λ – o comprimento de onda (metros);

c – velocidade de propagação da onda (c é a representação da velocidade das ondas luminosas, este valor é aproximadamente igual a 3.10^8 m/s e representa o maior valor possível para a velocidade de qualquer coisa do universo);

f – frequência (Hertz).

Da equação (2.1), levando em conta que estamos falando de ondas sonoras, podemos obter a velocidade para ondas mecânicas:

$$v = \lambda \cdot f. \quad (2.2)$$

O link indicado é de um simulador para verificar a velocidade do som no ar:

https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?s=kv_rychlost_zvuku&l=en

Podemos definir o período representado por T e dado em segundos, e também como o tempo que a perturbação leva para fazer uma oscilação completa. Observe que a frequência é o inverso do período e dada por Hertz [Hz]:

$$f = \frac{1}{T}. \quad (2.3)$$

E a velocidade de propagação da onda pode ser dada por:

$$v = \frac{\lambda}{T}. \quad (2.4)$$

Note, que a equação (2.4) é uma outra forma de escrever a equação da velocidade, pois é a divisão de uma distância pelo tempo.

O que é som?

O som é uma perturbação que se desloca num meio material, definida como uma onda mecânica, longitudinal e tridimensional. O **som** precisa de um meio para se propagar, e é **tridimensional**, porque o espaço é isotrópico (tem as mesmas propriedades físicas em qualquer direção) e homogêneo (tem a mesma densidade média em todos os pontos) e de fato, ele é observado em todas as direções. A sua forma de propagação é **longitudinal**, pois a direção de propagação é paralela à vibração que a gerou (NUSSENZVEIG, 2002).

Características fisiológicas do som

Além do comprimento de onda descrito anteriormente, o som possui características fisiológicas, como: (TREFIL, 2006)

Altura: relacionada com a frequência do som, sendo que os sons considerados altos são os sons agudos, os quais tem altas frequências para o ouvido humano, já os sons baixos, são os sons graves, os quais tem baixas frequências. Dentre os exemplos de som grave podemos citar a voz masculina e de som agudo a voz feminina.

Timbre: é a característica que nos permite diferenciar sons, inclusive os de mesma frequência e intensidade, o timbre é o modo de vibração da onda sonora e cada fonte sonora possui seu timbre característico. É essa característica do som que nos permite diferenciar a voz das pessoas.

Intensidade: diz respeito a quantidade de energia que a onda sonora transmite e está relacionada à amplitude, sendo que quanto maior amplitude, maior intensidade, ou seja, sons com alta intensidade são também chamados de sons fortes.

Podemos dizer que a intensidade sonora I que flui de uma fonte e atravessa determinada área A , é:

$$I = \frac{P}{A}. \quad (2.5)$$

Sendo P , a potência do som, a qual é medida em watts (W).

De acordo com o Sistema Internacional de Unidades, SI, a intensidade sonora deve ser medida em Watts por metro quadrado (W/m^2).

Como a intensidade sonora mínima percebida pelo ser humano é da ordem de $10^{-12} \text{ W}/\text{m}^2$, mas usualmente é dado em decibel (dB), sendo 0 dB. O limiar da dor está por volta de $50 \text{ W}/\text{m}^2$, ou 120 dB (GRILLO, 2016).

É importante compreendermos que decibel não se refere a uma quantidade, mas a uma razão entre quantidades, pois resulta em uma expressão logarítmica e trata-se de uma unidade utilizada não somente na acústica, mas também no campo das telecomunicações e eletricidade. Segundo TREFIL (2006), decibel expressa a ligação entre uma certa magnitude e outra magnitude de referência. Em relação à medição da intensidade sonora, o limiar mais baixo de percepção em seres humanos é geralmente usado como magnitude de referência.

O nível de intensidade sonora (β) dado em dB, está relacionado com a intensidade inicial de referência I_0 (que é o valor mínimo audível, $10^{-12} \text{ W}/\text{m}^2$) e o nível de intensidade I relacionam-se conforme a equação (2.6):

$$\beta = 10 \log \left(\frac{I}{I_0} \right). \quad (2.6)$$

Conforme equação (2.6), quando temos $I = I_0$, temos que $\beta = 10 \log 1$, que é igual a 0, e a unidade de β é denominada decibel (dB), o qual é um número relativo que permite representar as relações entre duas grandezas do mesmo tipo (NUSSENZVEIG, 2002).

De acordo com a equação (2.6), pode-se obter (tabela 1) as relações entre a potência de uma onda sonora e o nível em Decibéis (dB). Observe que a função logarítmica facilita o a representação de números grandes ou pequenos.

Tabela 2.1: Níveis de Intensidade Sonora

I (W/m²)	β (Nível de Intensidade Sonora em dB)
1 x 10⁻¹²	0
0	1
10	10
100	20
1.000	30
10.000	40
100.000	50
1.000.000	60
1.000.000.000.000	120

Fonte: HALLIDAY, D. RESNICK, R. WALKER, J. Fundamentos de Física – Gravitação, Ondas e Termodinâmica. 6ª edição. Editora LTC. Rio de Janeiro, 2001

Escutamos todos os sons?

O ouvido humano é capaz de perceber sons com intervalo de frequências, entre **20 e 20.000 Hz**. Os sons abaixo do mínimo audível são denominados de *infrassons* e os acima do máximo audível, são denominados de *ultrassons*. O que para nós pode ser infrassom ou ultrassom pode ser som audível para outros animais. (TREFIL, 2006).

Velocidade do som

A velocidade é uma grandeza física de caráter vetorial, por isso caracterizada por módulo, direção e sentido, que determinam a variação da posição no decorrer do tempo e pode ser representada pela equação (2.7):

$$v = \frac{\Delta S}{\Delta t} = \frac{\text{variação de posição}}{\text{variação do tempo}} \quad (2.7)$$

A velocidade do som depende das propriedades que caracterizam o meio de propagação, como densidade, temperatura e pressão, expresso pela equação (8): Nussenzveig (2002).

$$v = \sqrt{\frac{\beta}{d}} \quad (2.8)$$

Onde:

β = **módulo de elasticidade volumar**, grandeza que indica a maior ou menor capacidade do material de permitir a passagem das ondas sonoras,

d = **densidade do meio** onde ocorrerá a propagação das ondas.

A tabela a seguir mostra alguns valores de velocidades de propagação para diferentes meios.

Tabela 2.2: Velocidade do som em diferentes meios de propagação

Meio de propagação	Velocidade (m/s)
Ar (0 °C)	331
Ar (20 °C)	343
Água (0°C)	1402
Água (20 °C)	1482
Alumínio	6420

Fonte: HALLYDAY, D. RESNICK, R. WALKER, J. Fundamentos de Física – Gravitação, Ondas e Termodinâmica. 6ª edição. Editora LTC. Rio de Janeiro, 2001.

Observe que a velocidade das ondas está diretamente relacionada com a proximidade entre os átomos que constituem o meio, quanto mais próximas as partículas, maior a velocidade de propagação do som porque isto facilita o transporte da onda (TREFIL, 2006).

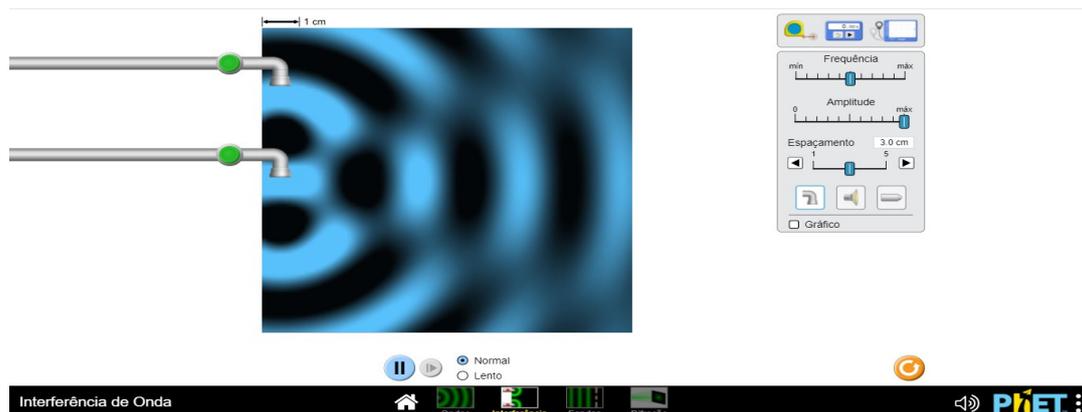
Interferência, ondas estacionárias e ressonância

As interações entre duas ou mais ondas são descritas por fenômenos físicos, como exemplo, a interferência construtiva ou destrutiva, ondas estacionárias e ressonância.

Na interferência construtiva, as amplitudes das ondas se somam, ou seja, dois ou mais vales ou duas cristas (ou mais) se encontram, resultam numa onda de maior amplitude. Na interferência destrutiva, o vale ou a crista de uma onda encontra a crista ou o vale da outra, de tal forma que se cancelam mutuamente (TREFIL, 2006).

Veja no link sugerido, a simulação da interferência:

Figura 2.5: Simulador PHET sobre interferência



Fonte: https://phet.colorado.edu/sims/html/wave-interference/latest/wave-interference_pt_BR.html

As **Ondas estacionárias** resultam da interferência de duas ondas com a mesma frequência e que se deslocam na mesma direção, porém em sentidos contrários. As notas musicais são representadas por este tipo de onda. (GRILLO, 2016). Quando falamos em instrumentos musicais, falamos em ressonância e ondas estacionárias.

A ressonância ocorre quando a frequência de oscilação da fonte emissora da onda é igual ou muito próxima à frequência natural do receptor desta mesma onda, acarretando no aumento da amplitude das oscilações deste sistema. Esta ampliação é muito maior do que outras formas de ampliação da onda (NUSSENZVEIG, 2002).

Ondas estacionárias, harmônicos e notas musicais

Um instrumento musical produz ondas estacionárias de diversos comprimentos de ondas, portanto, diversas frequências. As frequências que resultam em ressonância são chamadas de harmônicos. Então, os harmônicos são um conjunto de frequências específicas que estão relacionados com as notas musicais (GRILLO, 2016).

Um harmônico é sempre um múltiplo da frequência fundamental, ou seja, sempre é múltiplo da menor frequência capaz de produzir ondas estacionárias em um instrumento musical.

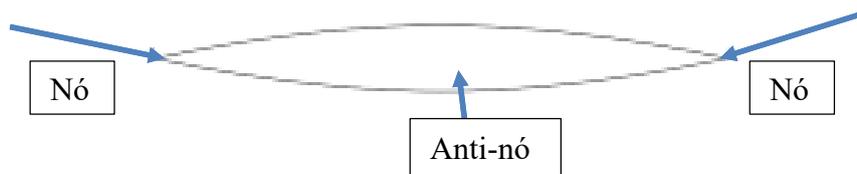
A menor frequência é também chamada de primeiro harmônico, sendo assim, os demais harmônicos da série são múltiplos do primeiro.

Harmônicos em instrumentos de cordas

Nos instrumentos de cordas o som é emitido quando exercemos uma força de tração em uma ou mais cordas. Considerando apenas uma corda, caso ela esteja tensionada (esticada) e vibrada, teremos ondas transversais que se superpõem às refletidas pelas extremidades, gerando ondas estacionárias, as quais em contato com o ar darão origem às ondas sonoras. A figura 6 mostra a imagem de uma corda com sua frequência fundamental (f_0), chamado de modo fundamental ou primeiro harmônico. Os outros modos de vibração para essa mesma corda serão múltiplos de f_0 , ou seja, o segundo harmônico será $2 f_0$, o terceiro $3 f_0$, e assim sucessivamente (NUSSENZVEIG, 2002).

Chamamos de nó os pontos onde a amplitude da onda estacionária, é zero. A região entre os nós é chamada de anti-nó, como também mostra a figura 2.6.

Figura 2.6: representação da frequência fundamental, apresentando nó e anti-nó.



Fonte: o autor

As frequências de uma corda vibrante, podem ser assim, calculadas:

$$f = \frac{n v}{2 L}. \quad (2.9)$$

Sendo:

f – frequência (Hz)

n – número de harmônicos (1, 2, 3, 4, ...)

L – comprimento da corda dado em metros (m)

v – velocidade de propagação das ondas na corda (m/s)

Como na frequência fundamental, estamos falando do primeiro harmônico, então para $n = 1$, a relação fica:

$$f = \frac{v}{2 L}. \quad (2.10)$$

Substituindo f da equação (2.10) em $v = \lambda f$, obtemos que $\lambda = 2L$ para a frequência fundamental, e $\lambda = \frac{2L}{n}$ para as demais frequências.

Ou seja, o comprimento de onda obtido em uma corda vibrando na sua frequência fundamental, é igual ao dobro do comprimento da corda L .

Para determinarmos a velocidade de propagação das ondas nas cordas, considere F , a força exercida sobre a corda de comprimento L e secção transversal de área S , com densidade volumétrica igual a μ , teremos:

$$v = \sqrt{\frac{F}{\mu S}} \quad (2.11)$$

Considerando que o fio tem formato cilíndrico, então a seção de sua área é: $S = \pi r^2$, sendo r o raio e L o comprimento da corda.

Tubos sonoros

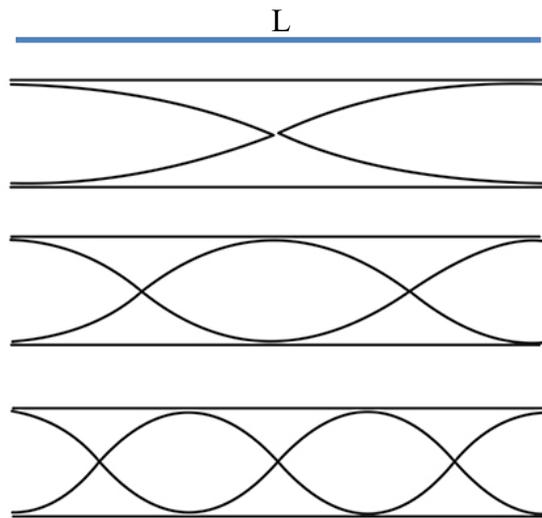
Nos tubos sonoros, as ondas estacionárias ocorrem devido a superposição de ondas nas correntes de ar do seu interior. As ondas geradas são ondas de pressão que entram através do sopro realizado na embocadura do tubo, sendo que o ar dentro do tubo, sofre um afunilamento que determina uma vibração originária das ondas (TREFIL, 2006).

Os tubos sonoros podem ter a extremidade oposta a embocadura aberta ou fechada, ou seja, temos sons produzidos por tubos abertos e fechados.

Tubos sonoros abertos

Tal qual nos instrumentos de cordas, nos tubos sonoros abertos podemos ter vários modos de vibração, alguns deles estão representados na figura abaixo:

Figura 2.7: representação das ondas em um tubo aberto.



Fonte: adaptado de <https://pir2.forumeiros.com/t140301-tubos-sonoros>

As frequências naturais em um tubo aberto, também podem ser calculadas:

$$f = \frac{n v}{2 L}. \quad (2.12)$$

Sendo:

f – frequência (Hz)

n – número de harmônicos (1, 2, 3, 4, ...)

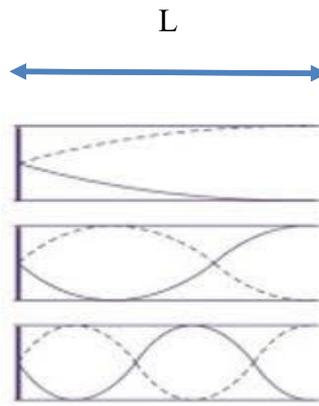
L – comprimento do tubo (m)

v – velocidade de propagação das ondas na corda (m/s)

Tubos sonoros fechados

Nos tubos sonoros fechados, a onda estacionária apresenta um ventre na embocadura e um nó na extremidade fechada, como mostra a figura 2.8.

Figura 2.8: representação de onda em tubos fechados.



Fonte: adaptado de <https://www.respondeai.com.br/conteudo/fisica/ondas/tubos-sonoros/488>

Para um tubo fechado, as frequências naturais se relacionam da seguinte maneira:

$$f = \frac{(n v)}{4 L}, \quad \text{onde } n = 1, 3, 5, 7, \dots \quad (2.13)$$

As frequências naturais são múltiplos ímpares da relação $\frac{v}{4L}$, pois para tubos fechados não temos harmônicos de ordem par.

Após apresentar os conteúdos do texto-base, seguiu-se um roteiro experimental para construção da mini harpa, e na sequência, temos os materiais utilizados, o roteiro passo a passo da construção e para uso do *software Audacity* para a obtenção de grandezas físicas.

2.3 Construção da Mini harpa

Aqui descrevemos o procedimento de construção de uma mini harpa. No PE, que acompanha esta dissertação, apresentamos como esta atividade foi desenvolvida com os estudantes. A TAS fundamenta esta atividade. Além da motivação, esta atividade auxilia discussões que promovem a aprendizagem subordinada e ordenada por meio da retomada dos conteúdos teóricos específicos com relação aos conceitos gerais.

2.3.1 Materiais Utilizados:

- 2 caixas de frutas (caixa de uva, ameixa ou nectarina)
- Ripa 2x5x120 cm
- 16 pregos 10x10"
- 8 pregos 12x12"
- 34 parafusos para chave de fenda de 2,5 cm x 4 mm
- 1 tubo de cola para madeira
- 2 lixas para madeira número 120
- 1 rolo de fita crepe de 10 metros
- 1 carretel de linha de pesca de 0,40 mm
- 1 carretel de linha de pesca de 0,50 mm
- 1 fita métrica de costureira
- Dois pedaços de cabo de vassoura de madeira de 30 cm cada
- 1 martelo

2.3.2 Tabela de materiais utilizados e estimativa de preços

Tabela 2.3: Materiais utilizados e estimativa de preços para a construção da mini harpa

Material	Valor Unitário	Quantidade	Valor total
Caixas de frutas	-	2	Custo zero (doação)
Ripa 2x5x120 cm	R\$ 3,00 o metro	1,20 m	R\$ 3,60
Prego 10x10"	R\$ 10,00 cartela 40 g	1 cartela	R\$ 10,00
Prego 12x12"	R\$ 9,00 cartela 60 g	1 cartela	R\$ 9,00
Parafusos para chave de fenda de 2,5 cm x 4 mm	R\$ 0,10	34	R\$ 3,40
Tubo de cola para madeira (100 g)	R\$ 8,90	1	R\$ 8,90
Lixas para madeira número 120	R\$ 1,50	2	R\$ 3,00
Rolo de fita crepe 25mm x 50 m	RS 9,30	1	R\$ 9,30

Carretel de 100 metros de linha de pesca de 0,40 mm	R\$ 5,90	1	R\$ 5,90
Carretel de 100 metros de linha de pesca de 0,50 mm	R\$ 7,90	1	R\$ 7,90
Fita métrica de costureira de 1,5 m	R\$ 4,00	1	R\$ 4,00
Cabo de vassoura de madeira de 30 cm	-	2	Custo zero (doação)
Martelo	-	1	R\$ 12,00
Total das despesas			R\$ 77,00

Fonte: o autor

2.3.3 Montagem Experimental

Nesta seção apresenta-se o passo a passo para construção da mini harpa.

1. Desmonte duas caixas de frutas;
2. Das 4 laterais das caixas, junte duas a duas de tal forma que os furos fiquem mais próximos (Figura 2.10) e utilize cola e fita adesiva para uni-las;

Figura 2.9: Foto da caixa de frutas a que se refere o item. E, (b) ilustração da parte da caixa a ser retirada



Fonte: o autor

3. Juntam-se duas laterais com cola e fita adesiva de tal modo que fiquem unidas lado a lado, conforme figura 2.10:

Figura 2.10: Imagem indicando como unir as duas partes retiradas da caixa de madeira.



Fonte: o autor

4. Após as duas laterais estiverem bem coladas, retire a fita adesiva e lixe-as, exceto a parte mais visível, conforme a figura 2.10, ou seja, exceto a parte externa da caixa original;
5. Pegue a ripa, realize as medidas com a fita métrica e corte-as de maneira que formem um paralelepípedo com as duas “tampas” feitas anteriormente, conforme a figura 2.11.

Figura 2.11: Imagem indicando como deve ficar a caixa da harpa



Fonte: o autor

6. Lixe as madeiras já cortadas nas dimensões especificadas e quando estiverem bem lisas, pregue-as com os pregos 12x12” na lateral das faces preparadas no item 4 de modo que formem um paralelepípedo com as bases de baixo e de cima, sendo as faces recém construídas, conforme indica na Figura 2.12.

Figura 2.12: Imagem de como deve ser pregada a caixa da mini harpa.



Fonte: o autor.

Observação: pregou-se as laterais da caixa antes de colocar as “tampas” para facilitar a montagem. Também ao invés de pregos, pode-se utilizar cola de madeira.

7. Nos dois lados menores, no canto esquerdo e direito da face menor, indicada pela seta azul na Figura 2.13, marque 17 pontos (iniciando pelo centro) a uns 2 centímetros da borda que ficará para cima, de modo que cada um fique a aproximadamente 1,5 cm de distância um do outro.

Figura 2.13: Imagem indicando o local para fixar as cordas na caixa.



Fonte: o autor

Observação: Para conseguir colocar os 34 parafusos (17 de cada lado), o lado menor precisará ter no mínimo, 25 centímetros.

8. Depois que foram marcados os pontos, coloque os parafusos em cada um deles, de forma que fiquem cerca de 1 cm sem pregar.

Figura 2.14: Imagem de como vai ficar a caixa após colocar todos os parafusos



Fonte: o autor

9. Corte 9 pedaços de aproximadamente 90 cm da linha de pesca de 0,40 mm e 8 pedaços de mesmo tamanho da linha de 0,50 mm.

Observação: pode-se optar por outras linhas, o importante é que sejam de diâmetros diferentes para perceber os diversos sons emitidos.

10. Coloque (sem colar) os cabos de vassoura em forma de V, conforme a figura 2.15;

Figura 2.15: Desenho ilustrativo indicando o local para fixar as cordas na caixa em azul e nas duas partes em preto um pedaço de cabo de vassoura posicionado entre a caixa e as cordas



Fonte: o autor

11. Do centro, a parte maior do V, serão colocadas as nove cordas mais finas e na parte menor do V, as oito cordas mais grossas;
12. Para colocar as cordas conforme a figura 2.15, prenda-as em um parafuso com dois nós e dê mais duas voltas ao redor do parafuso e, em seguida, para levar a corda do outro lado, passe-a pela fenda do parafuso, conforme a figura 2.16;

Figura 2.16: Esquema de como passar a corda do outro lado



Fonte: o autor

13. Com a corda do outro lado, garanta que ela esteja bem firme e amarre-a com dois nós no parafuso do outro lado, dê mais duas voltas e dê mais dois nós;
14. Presas as cordas, corte os excessos (conforme figura 2.16 mostra) que sobraram com um alicate, uma tesoura ou um estilete.
15. E assim estará pronta a mini harpa (cítara), conforme figura 2.17:

Figura 2.17: Mini harpa

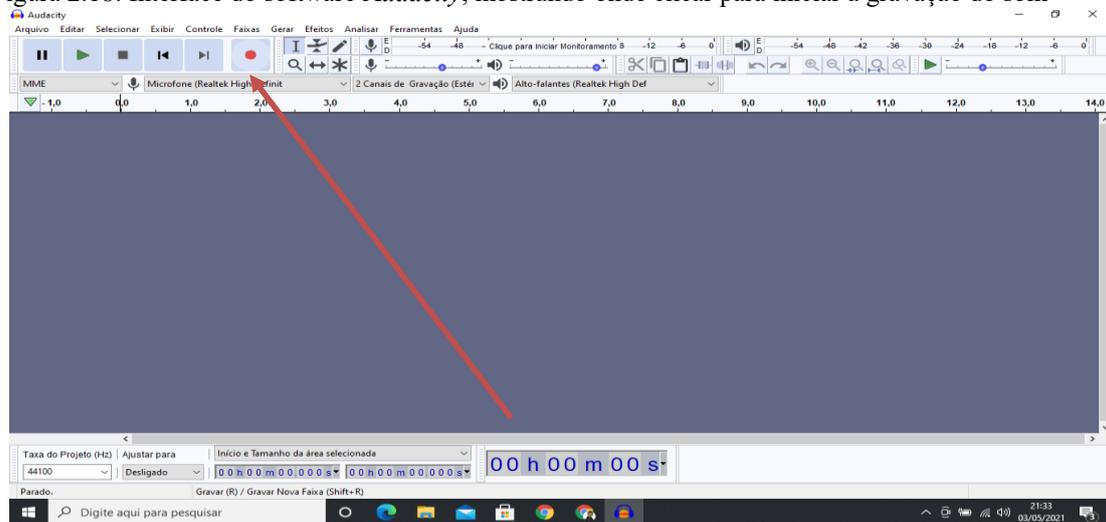


Fonte: o autor

2.3.4 Roteiro de atividades após a construção da mini harpa

1 – Utilizando o instrumento de cordas construído (mini harpa), abra o aplicativo *Audacity* e grave o som do dedilhar de uma das cordas, tomando o cuidado de anotar o comprimento desta corda.

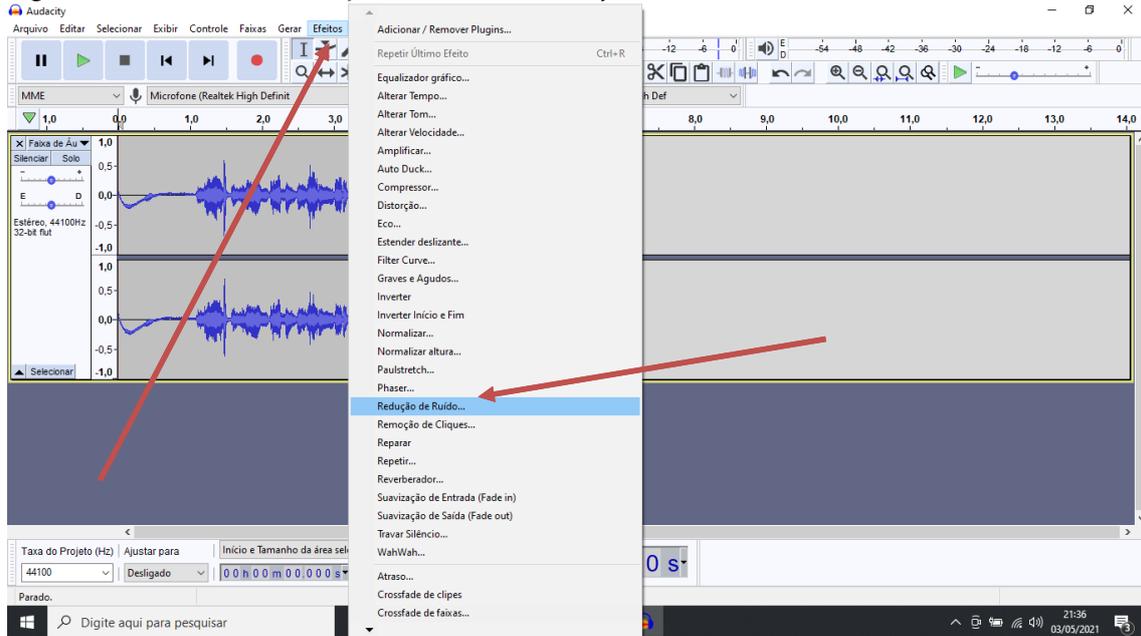
Figura 2.18: Interface do software *Audacity*, mostrando onde clicar para iniciar a gravação do som



Fonte: o autor

2 – Após gravar o som no aplicativo *Audacity*, selecione a gravação e no ícone Efeitos, vá em redutor de ruídos, onde clicará em OK, e assim, limpará o som.

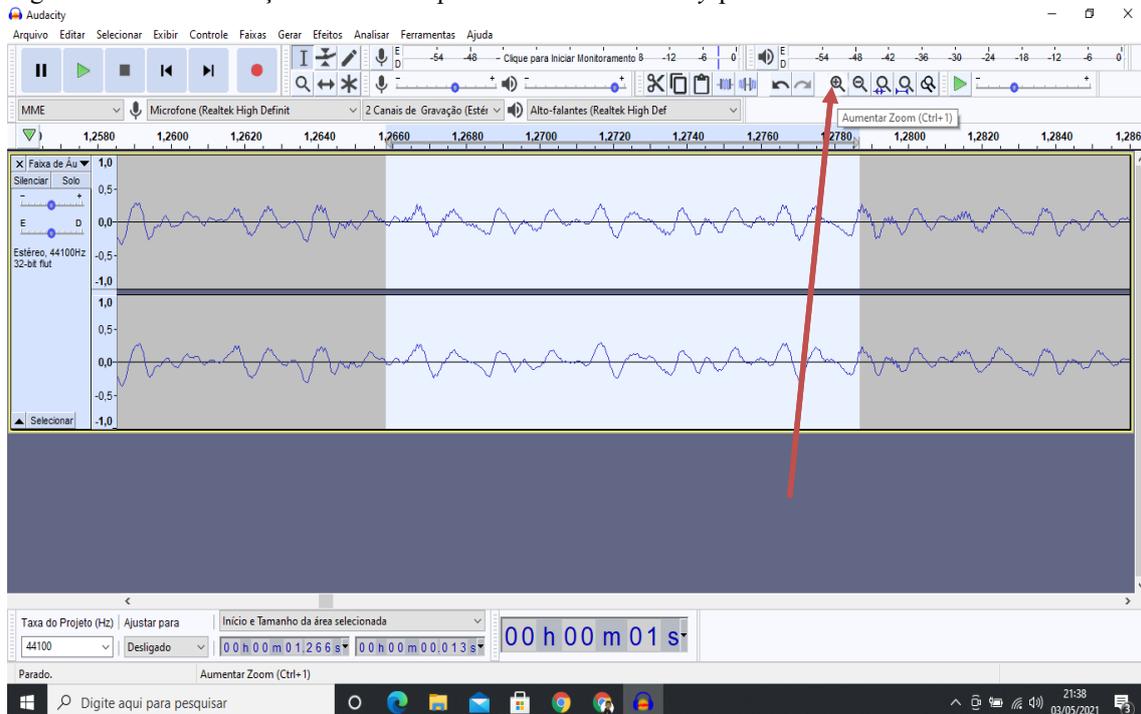
Figura 2.19: Como fazer a redução de ruído no Audacity



Fonte: o autor

3 - Após limpar o som, vá em *zoom* e selecione a área onde o som foi emitido, desta forma, amplie até conseguir visualizar nitidamente os comprimentos de onda.

Figura 2.20: Demonstração de como ampliar o zoom no Audacity para deixar ondas mais visíveis



Fonte: o autor

4 – Visualizado o comprimento de onda, selecione uma única onda da sequência obtida e na parte inferior do *layout* do *Audacity* selecione a opção: “Início e Tamanho da área selecionada”, obtendo assim, o valor do período da onda sonora.

5 – Com o período obtido, substitua-o na equação que o relaciona com a frequência para obtê-la e observe se o valor obtido é o esperado.

6 – Após encontrar o valor da frequência do som, substitua o valor obtido na equação 2.2 ($v = \lambda \cdot f$) considerando o valor de v que obteve no seu experimento, encontrando assim, o valor do comprimento de onda.

7 – Após a resolução da sequência acima, repita os procedimentos para outras cordas, após isso, responda os seguintes questionamentos:

- a) Houve diferença no valor da frequência obtida nas diferentes cordas? Se sim, explique com suas palavras as diferenças observadas.
- b) Foi fácil perceber uma sequência de comprimentos de ondas ao tocar a corda? Como que se pode explicar tal ocorrido?
- c) Conhecendo a frequência obtida em cada corda e o comprimento da mesma, calcule a velocidade de propagação da onda em cada corda tocada (Utilize a relação $f = \frac{Nv}{2L}$).
- d) Agora que já encontrou a velocidade de propagação da onda na corda, sabendo que utilizamos fio de nylon para realização das medidas (densidade = 1,14 g/cm³), e ainda, considerando que o fio se trata de um formato cilíndrico, calcule a força de tração realizada em pelo menos uma das cordas. (Utilize a relação $v = \sqrt{\frac{F}{d \cdot S}}$, onde d é a densidade e S é área da corda e considere $S_{\text{corda}} = 2\pi \cdot r \cdot L$).

Espera-se que o estudante, ao repetir o procedimento com outras cordas, descubra novos valores de frequência e, a partir dos resultados obtidos, possa relacionar

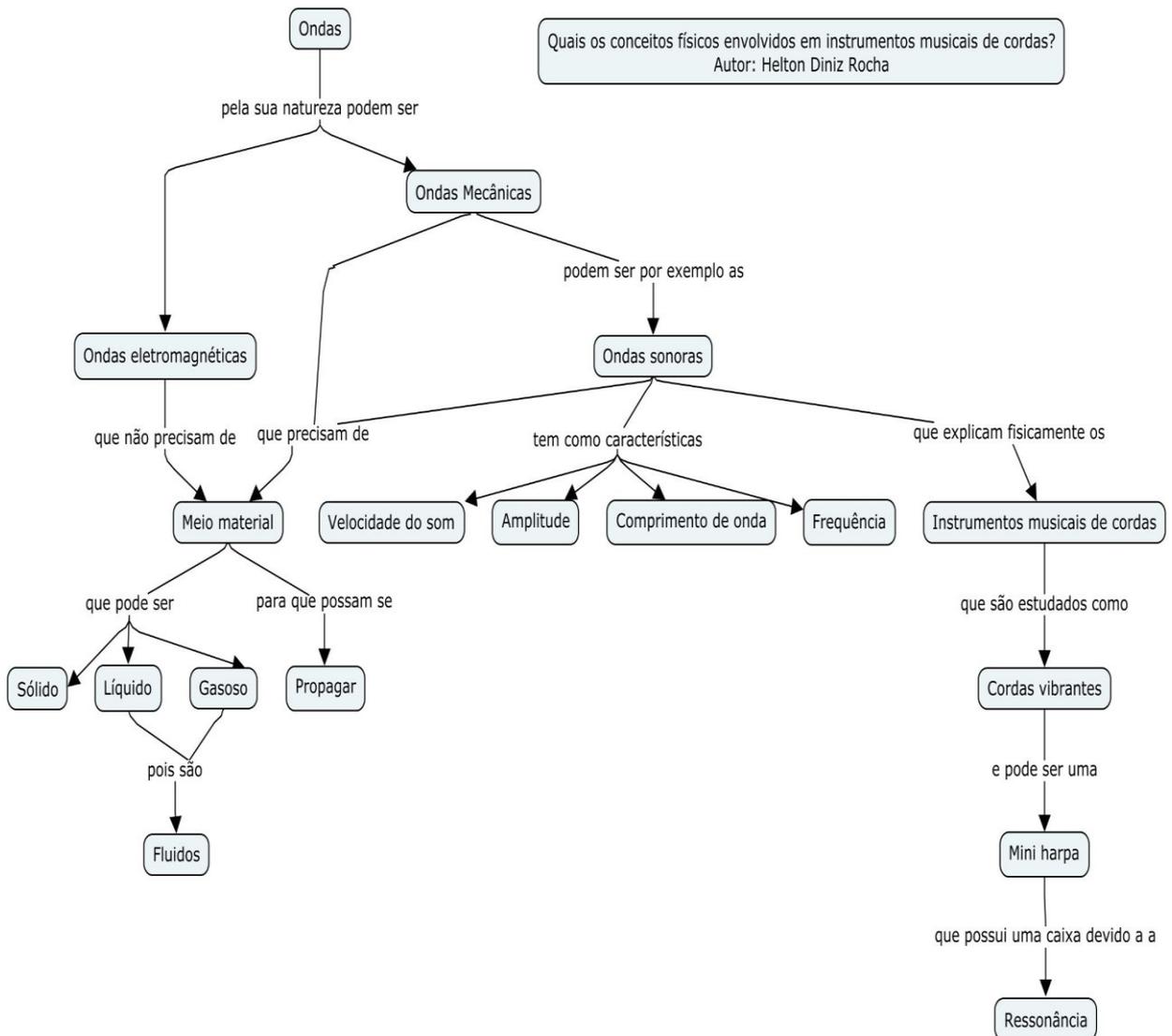
ao conceito de harmônicos, compreendendo assim, que matematicamente, as notas musicais são compostas por diferentes frequências, múltiplas da frequência fundamental.

2.3.5 Esboço do que se espera do mapa conceitual referente a oficina 1

O mapa conceitual (MC) foi elaborado a partir do programa *Cmaptools* que permite obter a tabela de clareza proposicional (TCP). Ou ainda, que o MC é um instrumento capaz de avaliar a clareza semântica e conceitual que o estudante está tendo sobre o tema abordado. E é por meio deste mecanismo que o professor toma decisões sobre seus procedimentos.

A figura 2.21 apresenta um MC como esperado.

Figura 2.21: Exemplo do que se espera de um mapa conceitual final – aula 1.



Fonte: o autor, 2021.

2.4 Determinando a velocidade do som no ar

O segundo dia de oficina iniciou com a mini harpa pronta. O som emitido seria analisado pelo *software Audacity* para se determinar a velocidade de propagação do som. Na seção 2.4.1, descrevemos os materiais utilizados e na seção 2.4.2 apresentamos os custos e em 2.4.3 os procedimentos utilizados. A atividade tinha como objetivo que os estudantes encontrassem a velocidade do som no ar utilizando a mini harpa por eles construída, assim como também por meio do uso do *software Audacity*.

2.4.1 Materiais e procedimentos utilizados

- 1 notebook com o *software Audacity* (programa gratuito)
- 1 microfone (utilizou-se o fone do celular Motorola G7, que tem microfone embutido)
 - 1 instrumento que emita som (utilizaremos a mini harpa construída, mas pode ser qualquer objeto que emita um som no estilo de um clique, pode ser até o estralar dos dedos)
- 1 cano de PVC de 1 metro (pode ser qualquer outra medida, adotou-se esse cano para facilitar os cálculos)

2.4.2 Tabela de materiais e estimativa de valores

Sem incluir a aquisição de um notebook, temos:

Tabela 2.4: Materiais utilizados e estimativa de preços para determinação da velocidade do som

Material	Valor Unitário	Quantidade	Valor total
Microfone	R\$ 15,00	1	R\$ 15,00
Cano de PVC	R\$ 15,00*	1	R\$ 15,00
Total			R\$ 30,00

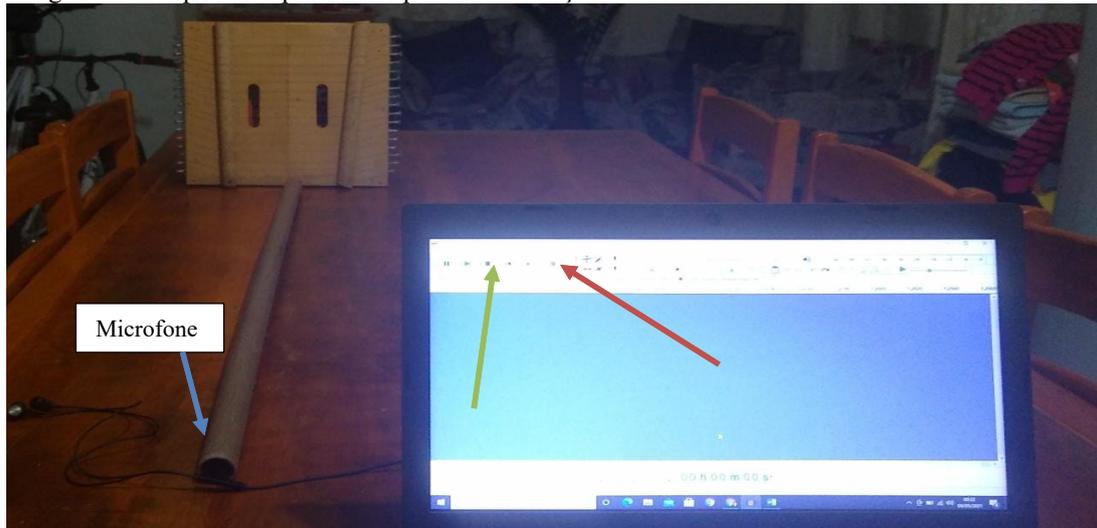
*preço da barra de 6 metros, este item não é vendido de outra forma.

Fonte: o autor

2.4.3 Montagem Experimental e roteiro de atividades

1 – Coloca-se o microfone ligado ao *notebook* e, em seguida, coloca-se uma das bocas do cano junto ao microfone.

Figura 2.22: Aparato experimental para determinação da velocidade do som



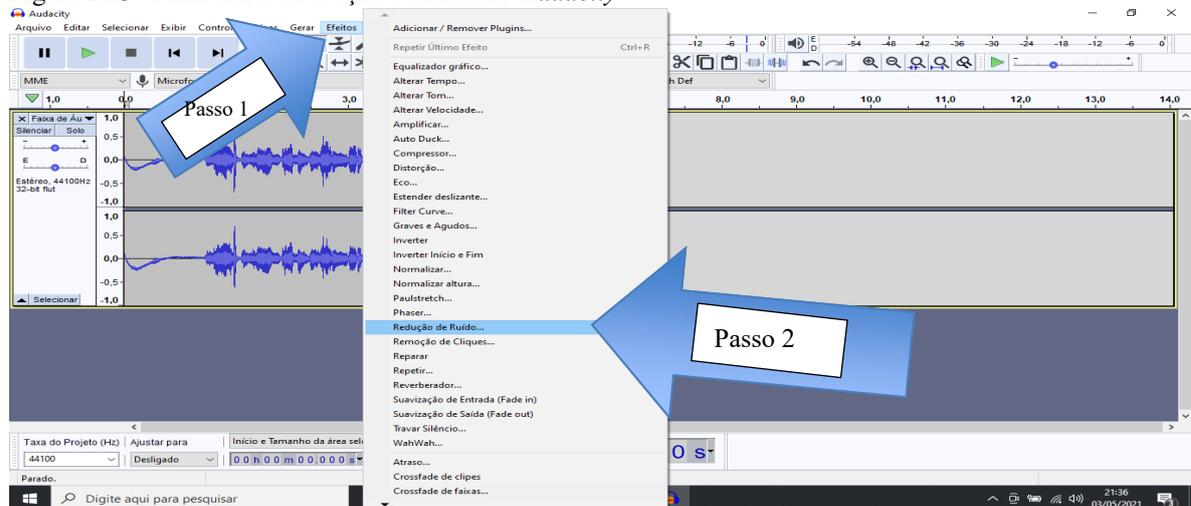
Fonte: o autor, 2021

2 – Com o aparato experimental montado, abre-se o *software Audacity* e uma pessoa clica no ícone “gravar” (botão vermelho na parte superior, indicado pela seta vermelha) e outra pessoa emite o som com a mini harpa na outra boca do cano.

3 - Após uns três segundos aproximadamente, pare a gravação no ícone “stop” (quadrado na parte superior indicado pela seta verde).

4 – Selecione uma parte da gravação que não tenha registro de som (linha reta). No ícone “efeitos”, vá em redutor de ruídos, onde clicará em “obter perfil do ruído” e em seguida, em “ok” onde obtêm-se um perfil do ruído. Feito o procedimento, selecione todo o áudio gravado, vá em “efeitos” e em seguida, em “redução de ruído” e aí limpa-se o som.

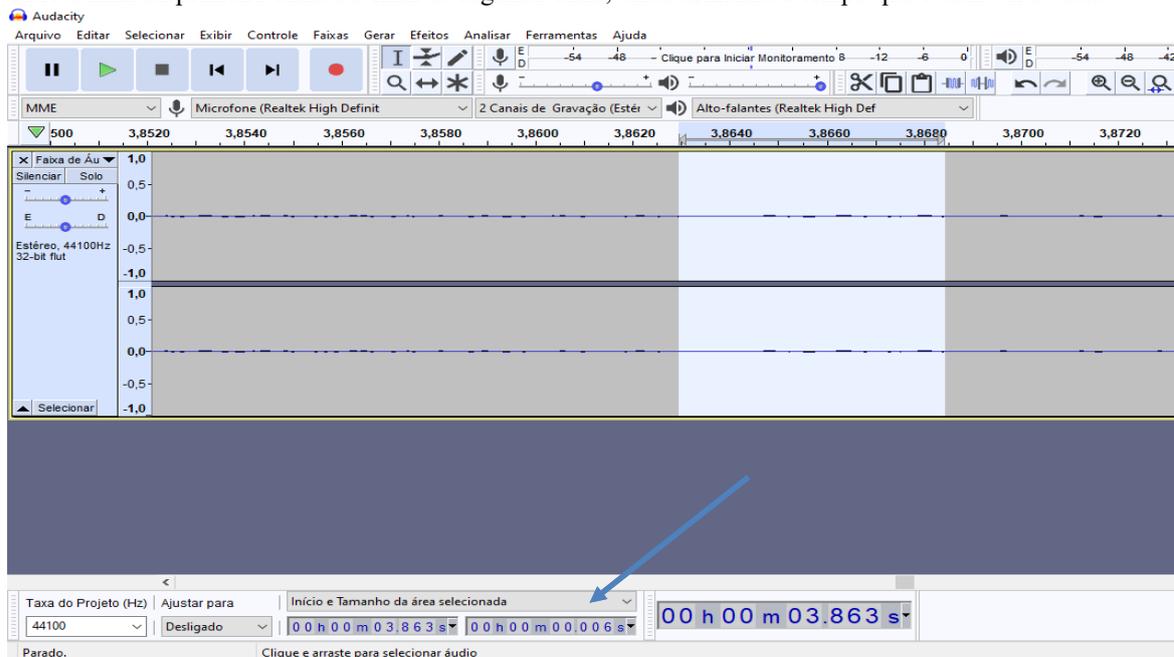
Figura 2.23: Como fazer a redução de ruído no *Audacity*.



Fonte: o autor, 2021.

5 – Utilizando a ferramenta “zoom” do aplicativo, encontre o final da primeira onda e o final da segunda onda, selecione-as. Em seguida, observe no campo abaixo (na tela) o valor referente a distância entre as duas pontas selecionadas, conforme a imagem da figura 2.24.

Figura 2.24: Print da tela indicando (pela seta) o tamanho da área selecionada, que é o intervalo de tempo entre o final da primeira onda e o final da segunda onda, caracterizando o tempo que o som vai e volta.



Fonte: o autor, 2021

6 – Encontrado o valor que corresponde ao tempo de retorno do som, substitua-o na equação $v = \frac{2d}{t}$, onde d é o comprimento do cano utilizado e v será o valor da velocidade do som. Compare o valor obtido com o valor cientificamente aceito que é de 340 m/s, aproximadamente.

7 – Após a realização da atividade, responda aos seguintes questionamentos:

- a) Por que considero a distância $2d$ percorrida pelo som?
- b) Explique com suas palavras, o fenômeno físico que possibilita a determinação da velocidade do som pelo aparato construído.
- c) Se vejo um relâmpago no horizonte e cerca de 5 segundos depois eu ouço o seu som, a que distância de mim ocorreu esse raio? (adote $v_{\text{som}} = 340$ m/s)

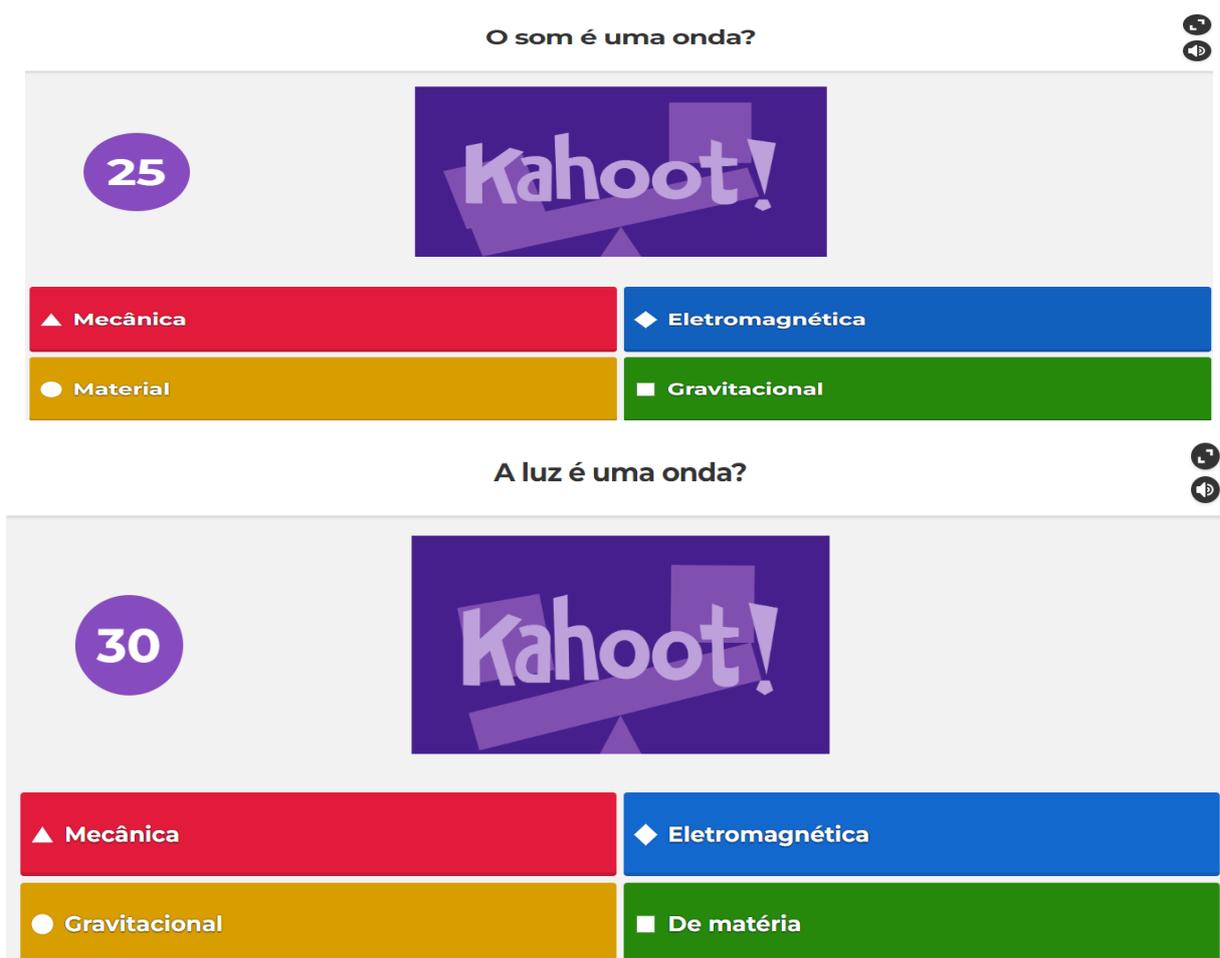
Após a determinação da velocidade do som, espera-se que os estudantes compreendam a necessidade de um meio material para que a onda sonora possa se

propague e que possam encontrar a velocidade do som no ar a partir do zero, ou seja, a partir de materiais por eles construídos aliando-se a recursos tecnológicos de fácil acesso. Em seguida, foi proposto aos estudantes que respondessem um quiz para que os mesmos pudessem assimilar os conteúdos já trabalhados.

2.5 Quiz sobre os conceitos físicos trabalhados

Para aplicação deste quiz, utilizou-se o aplicativo *Kahoot!* Foram 7 perguntas com intervalo de 30 segundos para cada. O programa gera um ranking entre quem mais acertou em menor tempo de resposta. O quiz foi criado para ser utilizado neste trabalho e está disponível a todos através do link https://kahoot.it/challenge/fb1b8a5f-a0b5-473a-9700-e708ff00af6e_1655462408649.

Figura 2.25: Quiz sobre os conceitos físicos trabalhados



Quais são as formas de vibração de uma onda?



30



Bidimensional e tridimensional

Mecânica e eletromagnética

Transversal e longitudinal

Transversal e eletromagnética

Qual destas é uma informação quanto a direção de propagação de ondas?



29



Eletromagnética

Bidimensionais

Transversal

Mecânicas

Qual destes não é uma parte de uma onda?



28



Crista

Vale

Ventre ou antinó

Timbre

Qual a unidade da grandeza física frequência?



A Kahoot! quiz interface showing a question about the unit of frequency. The question is "Qual a unidade da grandeza física frequência?". The timer shows 30 seconds. The Kahoot! logo is visible. There are four answer options: "metros por segundo (m/s)", "Metros (m)", "Hertz (Hz)", and "Segundos (s)".

Qual das alternativas NÃO é uma característica do som?



A Kahoot! quiz interface showing a question about sound characteristics. The question is "Qual das alternativas NÃO é uma característica do som?". The timer shows 28 seconds. The Kahoot! logo is visible. There are four answer options: "Timbre", "Tempo", "Altura", and "Intensidade".

Fonte: o Autor, 2021

2.6 Construção do tambor

Aqui descrevemos o procedimento de construção de um tambor. No PE, que acompanha esta dissertação, apresentamos como esta atividade foi desenvolvida com os estudantes. A TAS fundamenta esta atividade. Além da motivação, esta atividade auxilia discussões que promovem a aprendizagem subordinada e ordenada por meio da retomada dos conteúdos teóricos específicos com relação aos conceitos gerais.

Na seção 2.6.1 apresentamos os materiais utilizados, em 2.6.2 a tabela de materiais e estimativas de preços, no item 2.6.3 os passos para a montagem do tambor, em 2.6.4 o roteiro de atividades e finalizamos com a seção 2.6.5 na qual continuamos a construção do MC, acrescentando os conceitos físicos abordados na construção e os estudos sobre o tambor.

2.6.1 Materiais Utilizados

Nesta seção é apresentada a lista de materiais necessários para a construção de um tambor.

1. Barrica de grafiato ou massa corrida;
2. Estilete
3. Couro sintético 70x70 cm de sofá velho
4. 5 metros de cordão de varal (pode ser qualquer uma corda fina que possa deixar firme)
5. Fita métrica de costureira
6. Caneta
7. Alicate de ilhós
8. 16 ilhoses

2.6.2 Tabela de materiais utilizados e estimativa de preços

Tabela 2.5: Materiais utilizados e estimativa de preços para construção do tambor

Material	Valor Unitário	Quantidade	Valor total
Barrica de grafiato ou massa corrida	-	1	Custo zero (doação)
Estilete	R\$ 7,00	1	R\$ 7,00
Couro sintético 70x70 cm	-	1	Custo zero (doação)
Cordão de varal	R\$ 2,00 (corda 10 m)	1	R\$ 2,00
Fita métrica de costureira de 1,5 m	R\$ 4,00	1	R\$ 4,00
Caneta	R\$ 1,00	1	R\$ 1,00
Alicate de ilhós	R\$ 20,00	1	R\$ 20,00
Ilhoses	R\$ 0,20	16	R\$ 3,20
Total das despesas			R\$ 37,20

Fonte: o autor, 2021

2.6.3 Montagem experimental - tambor

1. Deixe a barrica sem tampa e sem fundo (Figura 2.26)

Figura 2.26: Desenho ilustrativo da barrica sem a tampa e fundo



Fonte: o autor.

2. Marque a boca da barrica e seu fundo com uma caneta na parte interna do couro sintético, conforme figura 2.27.

Figura 2.27: Imagem demonstrando a marcação no couro sintético da boca e fundo da barrica



Fonte: o autor, 2021.

3. Conforme a figura 2.27, observe que na parte inferior há dois círculos com mesmo centro e diâmetros diferentes. Para fazê-los, use um barbante fixo no centro da circunferência e com uma caneta amarrada neste barbante, trace uma circunferência de 4 cm maior que a tampa da barrica. Você estará construindo a tampa do tambor. Faça duas peças desta.
4. Corte os dois círculos maiores com o uso de um estilete, faça em uma mesa de mármore ou granito sem nenhuma toalha para não riscar a mesa ou rasgar alguma toalha.

5. Faça 8 furos nas bordas dos pedaços de couro para prendê-los como mostra a figura 2.28. Use a fita métrica para garantir que eles fiquem simetricamente espaçados. Coloque ilhós para dar resistência aos furos;
6. Posicione estes pedaços de couro na barrica e passe as cordas em forma de zigue-zague até que se passe por todos os buracos;
7. Estique a corda de forma a mantê-la à mesma pressão em toda a volta do tambor;

Figura 2.28:Tambor



Fonte: o autor

2.6.4 Roteiro de atividades após a construção do tambor

1 – Utilizando o instrumento de percussão construído (tambor), abra o aplicativo *Audacity* e grave o som das batidas no tambor.

2 – Selecione a gravação e no ícone “efeitos”, vá em “reductor de ruídos”, onde clicará em “ok”, limpando assim o som.

3 - Após limpar o som, vá em “zoom” e selecione a área onde o som foi emitido, amplie até conseguir visualizar nitidamente os comprimentos de onda.

4 – Selecione uma única onda da série de sequência obtida (caso consiga identificar uma sequência) e na parte inferior, faça a subtração dos valores de início e fim da área selecionada.

5 – Com o valor da subtração, você terá o período, substitua-o na equação que relaciona o período com a frequência, desta forma, encontrará a frequência e por último, observe se o valor encontrado está de acordo com o que é esperado.

6 – Após encontrar o valor da frequência, substitua o valor obtido na equação 2.2 ($v = \lambda \cdot f$), considerando o valor da velocidade do som como 340 m/s, encontre o comprimento de onda.

7 – Repita o procedimento para outras batidas em outros ritmos, utilize também vozes masculinas e femininas, conversando e cantando.

Responda:

a) No gráfico das ondas sonoras obtidas com as diferentes percussões, há alguma sequência? Justifique sua resposta.

b) Você percebeu alguma diferença nas ondas obtidas pelas vozes masculinas e femininas e nos diferentes toques do tambor? Explique o que observou?

c) Por que será que as ondas obtidas pelos toques do tambor são diferentes das ondas com as vozes falando e cantando?

Fazendo uso do instrumento construído e do *software Audacity*, o estudante perceberá que as ondas sonoras emitidas por instrumentos de percussão são ondas irregulares, e que as ondas sonoras emitidas por vozes masculinas e femininas, possuem frequências diferentes, o que possibilita definirmos sons graves e agudos.

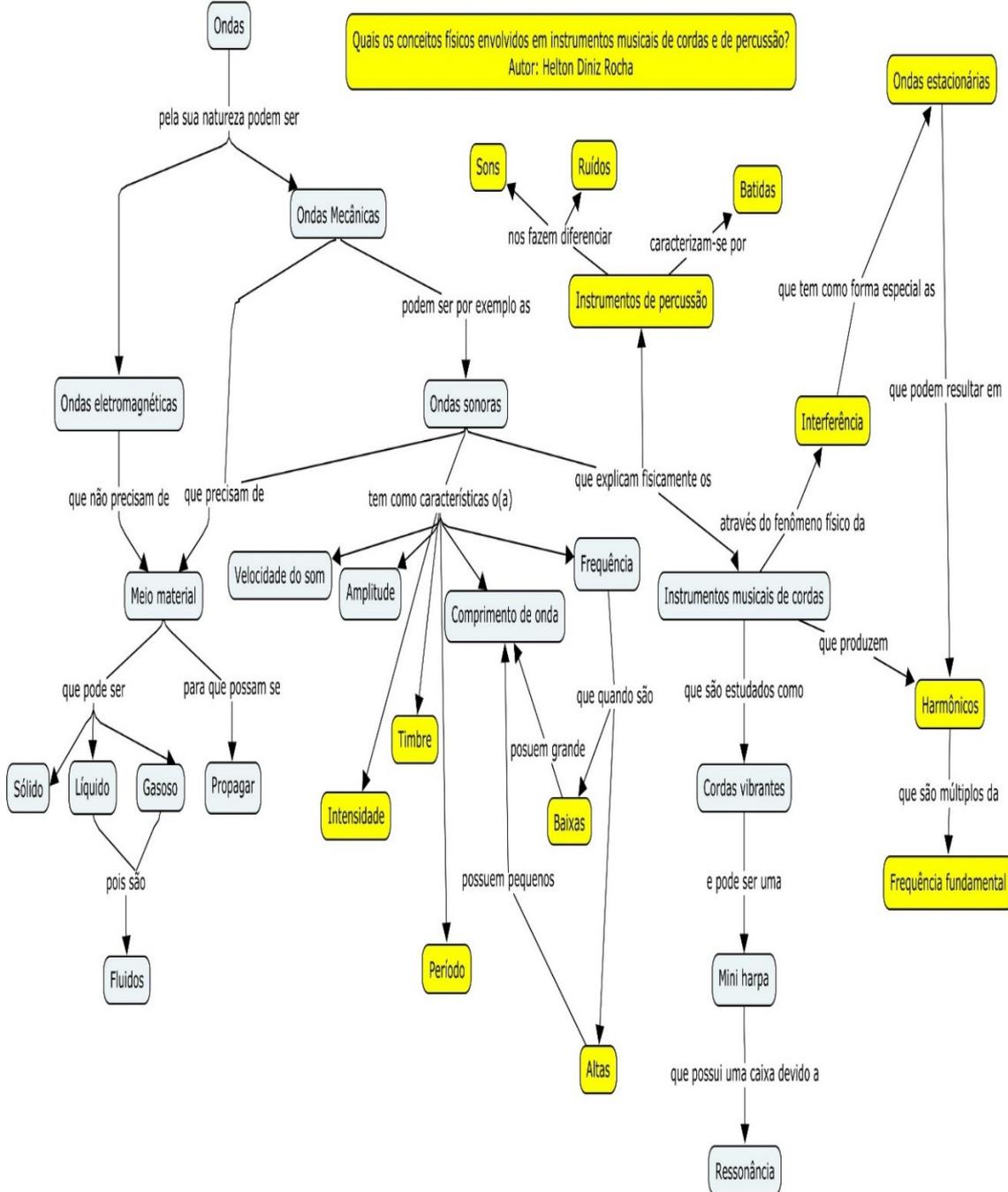
2.6.5 Esboço do modelo de mapa conceitual que se espera após a oficina 2

O MC parte da construção anterior e novamente obtemos a tabela de clareza proposicional (TCP).

Espera-se que o MC, construído coletivamente se aproxime do fornecido na figura 2.29. Observe da referida figura que os conceitos trabalhados, neste segundo encontro, estão na cor amarela. Outro dado importante, é que alguns já tinham sido trabalhados no primeiro encontro. Porém, de acordo com a TAS, a aprendizagem se faz por idas e vindas na hierarquia conceitual.

Caso o MC fique muito grande, pode-se optar por construir mapas complementares e anexar os mesmos a um mapa principal. O programa Cmaptools permite esse recurso.

Figura 2.29: Esboço do mapa conceitual que pode ser construído ao final da segunda oficina



Fonte: o autor, 2021.

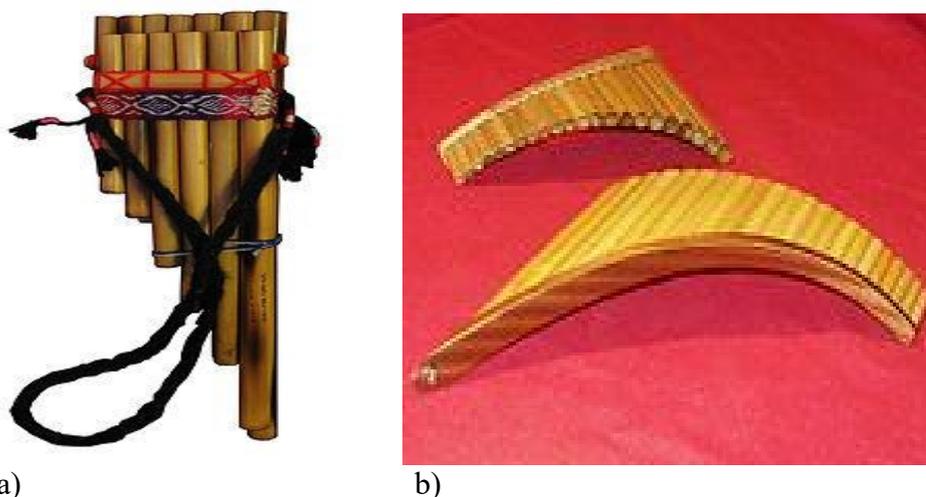
2.7 Construção da Flauta Pan

A construção do instrumento serve de motivação para o estudo do som em tubos sonoros e, a partir dos mesmos, aprofunda-se a discussão de conceitos físicos importantes para ondas sonoras, dando maior destaque ao conceito de harmônico e ainda,

mostrando que as frequências obtidas podem ser visualizadas e também calculadas matematicamente.

A flauta pan, é uma flauta normalmente construída com bambu. O nome pan é uma homenagem ao deus grego Pã. O modelo mais visto em nossa região (norte do Paraná) está representado na Figura 2.30 (a).

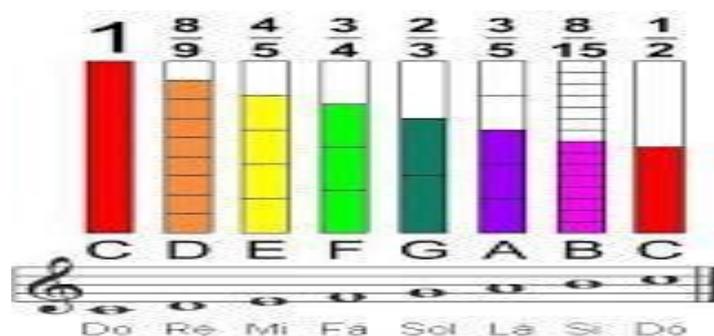
Figura 2.30: Fotos de flautas pan: (a) peruana e (b) romenas



Fonte: https://pt.wikipedia.org/wiki/Flauta_de_p%C3%A3

A flauta pan pode ser construída com cano de PVC. A Figura 2.31 mostra o diagrama esquemático para a construção da flauta.

Figura 2.31: Especificação para construção de uma flauta pan.



Fonte: Luciano silva ita - https://pt.wikipedia.org/wiki/Flauta_de_p%C3%A3

2.7.1 Materiais Utilizados:

- 1,20 metro de cano de PVC 20 mm
- 4 rolhas de cortiça

- Cola quente (refil e pistola), pode ser substituída por cola de cano
- Serra de cano
- Estilete
- Lixa de madeira 150
- Fita métrica
- Caneta
- Fita dupla face
- Dois pedaços de madeira de 16 x 2 cm

2.7.2 Tabela de materiais utilizados e estimativa de valores

Tabela 2.6: Materiais utilizados e estimativa de preços para construção do tambor

Material	Valor Unitário	Quantidade	Valor total
Cano de PVC 20 mm	R\$ 15,00 (barra 6 m)	1	R\$ 15,00
Rolha de cortiça	R\$ 0,90	4	R\$ 3,60
Cola de cano 75 g	R\$ 13,50	1	R\$ 13,50
Serra de cano	R\$ 20,00	1	R\$ 20,00
Estilete	R\$ 7,00	1	R\$ 7,00
Lixa de madeira 150	R\$ 1,50	1	R\$ 1,50
Fita métrica de costureira de 1,5 m	R\$ 4,00	1	R\$ 4,00
Caneta	R\$ 1,00	1	R\$ 1,00
Fita dupla face 5 mm x 3 m	R\$ 7,00	1	R\$ 7,00
Madeira de 16 x 2 cm	-	2	Custo zero (doação)
Total das despesas			RS 72,60

Fonte: o autor, 2021

2.7.3 Montagem da flauta pan

Antes de cortar os canos nas medidas descritas, você precisa descobrir o quanto a rolha tomará de espaço do cano. Para isto, pegue um pedaço de cano, aproximadamente 20 cm, lixe bem uma das bocas por dentro, corte uma rolha de cortiça

no meio e insira nesta boca, você vai precisar forçar. Obtenha o espaço ocupado pela rolha.

Figura 2.32: Foto da rolha inserida no cano.



Fonte: o Autor

Importante: Nas medidas abaixo, acrescente o valor da rolha. Estimamos este valor entre 1,5 e 2 cm.

Por exemplo, no primeiro cano se a rolha entrou 2 cm no cano, corte-o com 19 cm.

Medimos e cortamos o cano maior com 17 cm como referência da nota Dó:

- O segundo cano cortamos com $8/9$ do primeiro– 15,11 cm (Ré)
- O terceiro cano cortamos com $4/5$ do primeiro– 13,60 cm (Mi)
- O quarto cano cortamos com $3/4$ do primeiro– 12,75 cm (Fá)
- O quinto cano cortamos com $2/3$ do primeiro– 11,33 cm (Sol)
- O sexto cano cortamos com $3/5$ do primeiro– 10,20 cm (Lá)
- O sétimo cano cortamos com $8/15$ do primeiro– 9,06 cm (Si)
- O oitavo cano cortamos com $1/2$ do primeiro – 8,50 cm (Dó)

1. Cortado cada cano na medida acima acrescida do valor relativo à rolha, inserimos a rolha em cada cano, conforme a figura anterior.
2. Juntamos os canos, do maior para o menor, ou seja, da esquerda para a direita, lixamos cada um deles e colamos um no outro, um por um, com a cola de cano.

Figura 2.33: Esquema para colar os canos



Fonte: o Autor

3. Após colar todos os canos, deixamos secar por um tempo e lixamos levemente para tirar o excesso de cola;

4. Colados os canos, para firmá-los, utilizamos dois pedaços de madeira de 16x2 cm e passamos fita dupla face em um dos lados;
5. Passada a fita dupla face, descolamos o outro lado e colamos nos canos, um de cada lado, e assim, está pronta a flauta pan

Figura 2.34: Flauta pan



Fonte: o Autor

6. Para finalizar, podemos decorar nosso instrumento.

2.7.4 Roteiro de atividades após a construção da Flauta Pan

- 1 – Abra o aplicativo *Audacity* e grave o som ao realizar o sopro em um dos tubos.
- 2 – Selecione a gravação e no ícone “efeitos”, vá em redutor de ruídos, onde clicará em “ok”, limpando assim o som.
- 3 - Após limpar o som, vá em “zoom” e selecione a área onde o som foi emitido, amplie até conseguir visualizar nitidamente os comprimentos de onda.
- 4 – Visualizado o comprimento de onda, selecione uma única onda da sequência obtida e na parte inferior do *layout* do *Audacity*, selecione a opção “Início e Tamanho da área selecionada”, obtendo assim, o valor do período da onda sonora.
- 5 – Com o valor obtido, você terá o período, substitua-o na equação que relaciona o período com a frequência e obtenha a frequência do som obtido e por último, observe se o valor obtido está de acordo com o que é esperado.

6 – Após encontrar o valor da frequência do som, substitua o valor obtido na equação 2.2 ($v = \lambda \cdot f$) considerando $v = 340$ m/s, encontrando assim, o valor do comprimento de onda.

7 – Após a resolução da sequência acima, repita os procedimentos para os outros tubos da flauta pan, após isso, responda os seguintes questionamentos:

- a) Houve diferença no som e no valor da frequência obtidos nos diferentes tubos? Se sim, explique com suas palavras as diferenças observadas.
- b) A que conclusão você chegou ao realizar o sopro em outros tubos? Tente estabelecer uma relação entre as frequências obtidas e o tamanho do tubo.
- c) Com a medida de frequência obtida, calcule a velocidade de propagação do som em cada tubo. (Utilize $f = \frac{NV}{4L}$ (equação 2.9) e considere N um número ímpar)
- d) Conforme os estudos no texto de apoio, é possível encontrarmos matematicamente o valor do harmônico? (Dica: relacione $v = \lambda \cdot f$ (equação 2.2) com $f = \frac{NV}{4L}$ (equação 2.9)).
- e) Os valores de velocidade de propagação são próximos ao valor da velocidade de propagação no ar? Calcule o erro.
- f) Descreva, com suas palavras, a comparação dos tubos sonoros com o ouvido humano.

Realizada as atividades após a construção da flauta pan, espera-se que o estudante possa compreender que a frequência obtida é diferente conforme o comprimento de cada tubo e que utilizando as equações 2.2 e 2.9 pode-se calcular matematicamente o harmônico, comparando com o valor obtido experimentalmente. Neste sentido, para que a prática seja exitosa, é fundamental que os tubos estejam afinados.

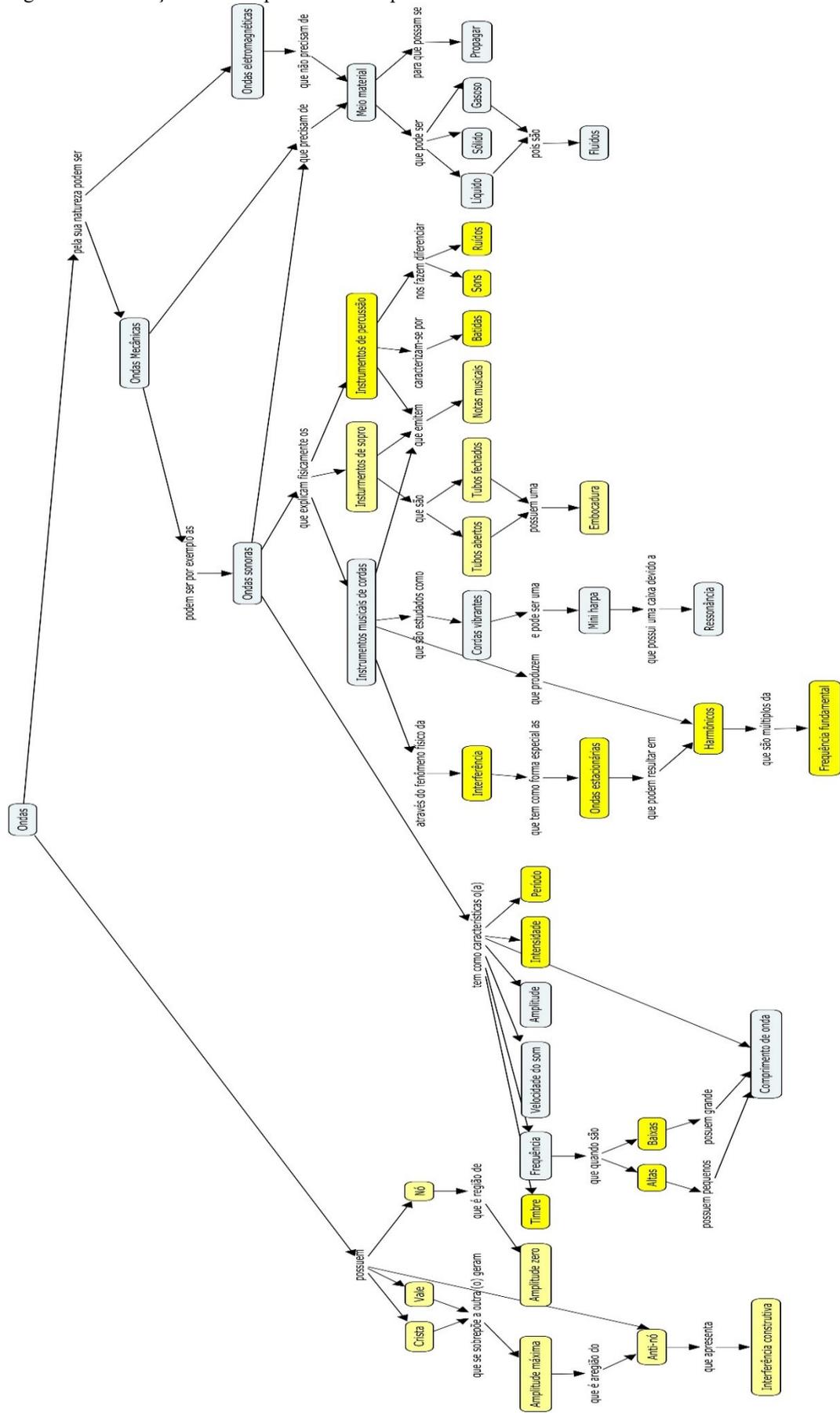
2.7.5 Modelo de MC almejado após a oficina 3

Para finalizarmos nosso último encontro sobre o estudo do som, vamos fazer uma versão final de nosso Mapa Conceitual (MC), versão esta que nunca poderá ser considerada acabada e definitiva, pois os estudantes no decorrer dos estudos, certamente acrescentarão novos conceitos em seus mapas. Seguindo conforme os encontros anteriores, vamos fazer uso do programa Cmaptools e iniciaremos a revisão e acréscimos necessários no MC reformulados no segundo encontro. Posteriormente, seguiremos a discussão coletiva e certamente a pergunta focal será alterada porque englobará a construção de mais um instrumento e junto dele, acrescentaremos novos conceitos, novos termos de ligação e ao final da revisão desta segunda versão do Mapa Conceitual, a tabela de clareza proposicional (TCP) através do aplicativo utilizado será alterada, verificando assim, se o MC apresenta clareza semântica e está conceitualmente correto.

Espera-se que ao final desta aula, consiga-se construir coletivamente um MC o mais próximo possível do exemplo da figura 2.35.

Com o mapa conceitual finalizado, espera-se que a partir de sua construção se faça uma retomada de conteúdos e, para terminarmos a aplicação do PE, os discentes responderão um questionário final, acrescido de três questões que envolvem equações que utilizaram no decorrer das atividades experimentais.

Figura 2.35: Esboço de um mapa conceitual após a última oficina



Quais os conceitos físicos envolvidos no estudo dos instrumentos musicais?
Autor: Helton Diniz Rocha

Fonte: o autor, 2021.

2.8 Questionário final

Após todas as ações desenvolvidas, utilizamos um questionário para a avaliação final. O objetivo é verificar se o PE desenvolvido atende aos objetivos propostos.

1 – Sobre instrumentos de corda, de sopro e de percussão, assinale as alternativas corretas:

- () Instrumentos de percussão são utilizados para dar ritmo as músicas, tendo como exemplos tambor, pandeiro e surdo.
- () Nos instrumentos de cordas, o comprimento das cordas determina o som que o instrumento produz.
- () Nos instrumentos de sopro, quanto maior for o comprimento do tubo, mais grave será o som.
- () Nos instrumentos de sopro, em tubos menores obtemos sons mais graves, ou seja, sons com frequências mais baixas.
- () Nos instrumentos de cordas, o som obtido independe do comprimento e de quanto as cordas estão esticadas.

2 – Sobre a propagação do som, é correto afirmar?

- a) O som se propaga somente no vácuo.
- b) O som se propaga em qualquer meio, inclusive no vácuo.
- c) O som depende de um meio material para se propagar.
- d) O som se propaga apenas no ar.

3 - Qual das alternativas abaixo é a definição de onda?

- a) Onda é um pulso que se propaga de um ponto a outro transportando energia sem transportar matéria. As ondas podem ser classificadas com relação à sua natureza de vibração como mecânicas e eletromagnéticas.
- b) Onda é um pulso que se propaga de um ponto a outro transportando energia e matéria. As ondas podem ser classificadas com relação à sua natureza de vibração como transversais e longitudinais.
- c) Onda é uma propagação de um lugar para outro que depende sempre de um meio material para que essa propagação aconteça. As ondas podem ser classificadas com relação à sua natureza de vibração como sonoras e eletromagnéticas.
- d) Onda é um pulso que se propaga de um ponto a outro sem transportar energia e matéria. As ondas podem ser classificadas com relação à sua natureza de vibração como mecânicas e sonoras.

4– Segundo a natureza das ondas, elas podem ser classificadas como:

- a) Transversais e longitudinais

- b) Mecânicas e sonoras
- c) Sonoras e eletromagnéticas
- d) Mecânicas e eletromagnéticas

5 – Quais palavras melhor completam a frase: “O som é classificado como uma onda _____, _____ e _____ porque _____ de um meio material para se propagar.

- a) Mecânica, longitudinal, tridimensional, precisa.
- b) Eletromagnética, transversal, adimensional, não precisa.
- c) Sonora, longitudinal, tridimensional, precisa
- d) Mecânica, transversal, tridimensional, não precisa.

6 – Qual é a definição de volume?

- a) É a altura do som.
- b) Está relacionado a intensidade sonora, que é a quantidade de energia emitida por uma fonte sonora por unidade de tempo em relação a certa área.
- c) São todos os sons ouvidos pelos seres humanos.
- d) É a intensidade com que uma nota é executada.

7 – Qual qualidade fisiológica do som faz com que possamos diferenciar a voz de uma pessoa ou o som de diferentes instrumentos musicais?

- a) Altura.
- b) Timbre.
- c) Intensidade.
- d) Frequência.
- e) Comprimento da onda sonora.

8 – Um dos conceitos importantes no estudo do som é o de “frequência”, fisicamente, qual a definição deste conceito?

- a) É o número de oscilações de ondas por minuto e sua unidade de medida é o segundo.
- b) É o número de oscilações de ondas por segundo e sua unidade de medida é Hertz (Hz).
- c) É o número de ondas que passa em um determinado ponto.
- d) Está relacionado a quantidade de ondas que são emitidas.

9 - Considerando um instrumento de cordas, é correto afirmar que:

- a) A espessura da corda não interfere na nota musical a ser emitida.
- b) Todos os instrumentos de cordas emitem sons idênticos para uma mesma nota.
- c) Existe uma relação entre o tamanho da corda e a nota musical a ser emitida.

d) Pode-se tocar e segurar em qualquer lugar de uma corda que ela emitirá sempre o mesmo som.

10 – Sobre instrumentos de sopro, é correto afirmar que:

- a) Ao soprar um tubo, o som emitido independe do comprimento do tubo.
- b) O som só pode ser emitido em tubos com uma das pontas fechadas.
- c) Um tubo curto produz um som mais grave.
- d) Um tubo curto produz um som mais agudo.

11 - Se um homem vê um raio e após 10 segundos ouve o som emitido por ele, qual é a distância que este homem está do ponto onde caiu o raio? (Considere a velocidade do som 340 m/s)

- a) 34.000 m
- b) 34 m
- c) 3.400 m
- d) 340.000 m

12 - Em um tubo sonoro fechado de comprimento igual a 0,5 m, forma-se um harmônico de frequência igual a 850 Hz. Sendo a velocidade do som no interior do tubo igual a 340 m/s, o harmônico formado nesse tubo é igual a:

- a) Sexto harmônico
- b) Primeiro
- c) Quinto
- d) Sétimo

13 - Uma onda estacionária cujo comprimento de onda mede 50 cm é formada em uma corda vibrante de 4,0 m de comprimento. A ordem do harmônico formado é igual a:

- a) 8
- b) 12
- c) 16
- d) 4

Capítulo 3: Aplicação do PE

3.1 Identificação do local de aplicação

O PE foi aplicado no Colégio Estadual Dr. Cândido de Abreu – EFMN, localizado no perímetro urbano do município de Cândido de Abreu, estado do Paraná. O colégio atende alunos do ensino médio, formação de docentes, EJA anos finais do ensino fundamental e EJA ensino médio, totalizando cerca de 530 alunos, dos quais mais de 50%

são oriundos do perímetro rural do município. A economia local depende do cultivo da soja, produção de leite e olarias.

O PE foi aplicado em duas turmas do curso de formação de docentes, uma do terceiro e outra do quarto ano. No primeiro caso, com 7 alunas e no segundo caso, com 15 alunas, perfazendo assim, um total de 22 estudantes.

O PE foi organizado em três oficinas, distribuídas em 10 aulas, precisamente distribuídas em duas tardes de cada turma, perfazendo um total de cinco aulas em cada turma na disciplina de Prática de Formação. As aulas iniciavam-se às 13:00 horas e sendo encerradas às 17:20 horas, ou seja, com cinco aulas de 50 minutos e 10 minutos de intervalo entre a terceira e a quarta aula.

3.2 A aplicação

A proposta de aplicação é composta de oficinas presenciais que contariam com a divisão das alunas em grupos de três a quatro participantes para construção dos instrumentos musicais, como também dos registros dos dados experimentais, resolução das equações apresentadas e formulação de respostas às situações-problema apresentadas e das observações realizadas e dados coletados, porém, em decorrência da pandemia do SARS-COV-2, as atividades presenciais ficaram impossibilitadas desde o mês de março de 2020 e optou-se por fazer algumas adaptações e aplicar no modo remoto, via *meet*.

Durante a aplicação do PE, as alunas não construíram os instrumentos, porém os mesmos foram apresentados através do roteiro de construção e manuseio pelo autor durante as transmissões via *meet*, e as questões relacionadas aos roteiros propostos foram possíveis porque foram apresentados vídeos do autor do presente trabalho realizando os experimentos e, na sequência, apresentou arquivos de documentos com os dados obtidos para que as estudantes realizassem os cálculos e respondessem as questões.

Devido à dificuldade de não ser aplicado presencialmente, para buscar ferramentas para que atendesse ao que antes estava proposto, fez-se uso de simuladores disponibilizados na internet e com uso autorizado pelos autores, pois foi a forma encontrada para que as estudantes pudessem suprir a carência de manuseio da atividade experimental e pudessem visualizar os fenômenos físicos e como eles acontecem, pois a partir dos simuladores, abriu-se a discussão e trouxe a motivação necessária para aprendizagem significativa dos conteúdos.

A proposta precisou ser remodelada para aplicação, e pelas observações realizadas e resultados obtidos, no decorrer da aplicação de uma turma para outra mudou-se a forma de abordagem, falando menos e explorando mais o manuseio dos simuladores, estabelecendo diálogo a partir do manuseio dos mesmos, enviando inclusive, o link aos estudantes e disponibilizando apresentação em tela pelos mesmos, estabelecendo a discussão entre as colegas.

Outra modificação que ocorreu no decorrer da aplicação foi a retirada de perguntas abertas no questionário prévio, pois ao perguntar aos discentes sobre o que entendiam por “volume do som” e o conceito físico de “frequência”, aproveitou-se poucas respostas, porque observou-se a utilização de palavras que não pertencem ao vocabulário dos mesmos, tais como sonância, oscilações e acuidade. Também foi muito válida a utilização de jogos de perguntas e respostas através do aplicativo de celular *Kahoot*. O que pudemos levar em consideração que seria muito proveitoso utilizar deste meio tecnológico para desenvolver questões da história da música e dos instrumentos musicais, voltados às cordas vibrantes e tubos sonoros, pois os estudantes foram receptivos e extremamente envolvidos com este recurso para a aprendizagem.

Falando ainda nas modificações a serem realizadas, uma delas seria na sétima questão do questionário prévio e final, pois ficou uma pergunta muito simplória e que não leva o aluno a reflexão sobre o conceito de “timbre”. Acredito que em uma próxima aplicação, faria uma questão aberta para que pudessem responder de forma descritiva o que é timbre.

Tais modificações relacionadas às questões abertas, acredita-se que não seriam necessárias se a aplicação fosse presencial, pois certamente não fariam uma pesquisa prévia e responderiam com o conhecimento que realmente possuíam sobre os conceitos. Acredita-se que assim, atingiria melhor a obtenção daquilo que realmente conheciam.

Outra modificação que também faria com relação ao questionário inicial, seria a de inclusão das questões envolvendo equações de velocidade do som, cordas sonoras e tubos vibrantes, as quais não se considerou incluir nesta avaliação inicial por entender que a falta do conhecimento das relações matemáticas envolvidas não permitiria a resolução do problema. E que ao fazer uma questão de múltipla escolha, o fato de se obter respostas corretas, seria por mera sorte na escolha aleatória.

Com relação às modificações no roteiro de aplicação, acredita-se que nas duas últimas oficinas, faltaram apresentar mais simulações sobre cordas vibrantes e

tubos sonoros para uma clara visualização dos fenômenos físicos, pois foram apresentados vídeos de própria autoria mostrando as ondas produzidas com o auxílio do *software* livre *Audacity*, o que deu uma noção sobre a regularidade das ondas em instrumentos de cordas e de sopro e a irregularidade nos instrumentos de percussão, no entanto, se considera que as simulações poderiam facilitar os participantes na elaboração das respostas sobre os questionamentos após os dados obtidos no manuseio dos instrumentos.

Capítulo 4: Resultados e análise dos resultados

Para a análise dos resultados, analisamos primeiramente o desempenho geral das questões 2, 3, 4, 5, 7, 9 e 10, questões estas, de múltipla escolha. Já as questões 1, 6 e 8 no questionário inicial, foram descritivas e aproveitou-se poucas respostas, pois nas mesmas, observou-se a utilização de palavras incomuns no vocabulário dos estudantes, o que deixa evidente que realizaram cópias em sites de pesquisa, sendo assim, a análise comparativa entre os questionários inicial e final não mostrariam a realidade.

No questionário final, também foram inclusas 3 questões envolvendo equações da velocidade do som, de cordas vibrantes e de tubos sonoros, as quais não foram apresentadas no questionário diagnóstico por acreditar que as respostas mesmo que corretas, não representariam conhecimento do assunto.

Ao analisar as sete questões idênticas que foram realizadas antes e após as aulas, observou-se evolução em todas, conforme dados na tabela abaixo:

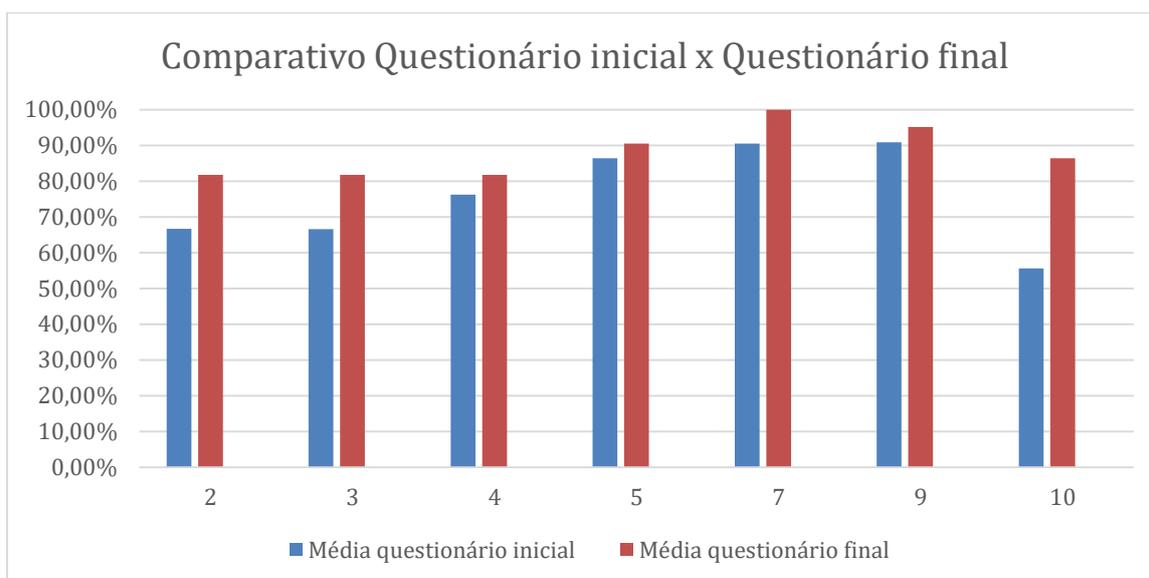
Tabela 4.1: Comparativo de aproveitamento entre questionários inicial e final

Questão	Média questionário inicial	Média questionário final	Aumento após a aplicação do PE
2	66,7 %	81,8 %	15,1 p.p
3	66,6 %	81,8 %	15,2 p.p
4	76,2 %	81,8 %	5,6 p.p
5	86,4 %	90,5 %	4,1 p.p
7	90,5 %	100,0 %	9,5 p.p
9	90,9 %	95,2 %	4,3 p.p
10	55,6 %	86,4 %	30,8 p.p

p.p: pontos percentuais

Fonte: o autor, 2021

Gráfico 4.1: Comparativo de acertos questionário inicial x questionário final



Fonte: o autor, 2021

Passamos agora para a discussão dos resultados, analisando cada uma das questões:

4.1 Questão 2

Sobre a propagação do som, é correto afirmar?

Tabela 4.2: Comparativo questão 2 dos questionários inicial e final

Alternativas	Questionário inicial (%)	Questionário final (%)
a) O som se propaga somente no vácuo?	0	0
b) O som se propaga em qualquer meio, inclusive no vácuo?	4,8 (1)	4,5 (1)
c) O som depende de um meio material para se propagar?	66,7 (14)	81,8 (18)
d) O som se propaga apenas no ar?	28,6 (6)	13,6 (3)

Fonte: o autor, 2021.

Pelas respostas, teve-se uma evolução de 22,64 % nos acertos e observa-se pelo questionário inicial que mais de $\frac{1}{4}$ dos participantes acreditavam que o som se propaga apenas no ar, e para mais de $\frac{1}{3}$ deles, o som propaga-se em qualquer

meio. Pelas respostas após a aplicação do PE, observa-se que as simulações e as práticas realizadas deixaram claro aos estudantes que o som depende de um meio material para se propagar, pois para responder a essa questão, propôs-se durante as aulas questões semelhantes nos quizzes e discutiu-se sobre o assunto na análise dos mapas conceituais.

4.2 Questão 3

Qual das alternativas abaixo é a melhor definição de onda?

Tabela 4.3: Comparativo questão 3 dos questionários inicial e final

Alternativas	Questionário inicial (%)	Questionário final (%)
a) Onda é um pulso que se propaga de um ponto a outro transportando energia sem transportar matéria. As ondas podem ser classificadas com relação à sua natureza de vibração como mecânicas e eletromagnéticas.	66,7 (14)	81,8 (18)
b) Onda é um pulso que se propaga de um ponto a outro transportando energia e matéria. As ondas podem ser classificadas com relação à sua natureza de vibração como transversais e longitudinais.	23,8 (5)	9,1 (2)
c) Onda é uma propagação de um lugar para outro que depende sempre de um meio material para que essa propagação aconteça. As ondas podem ser classificadas com relação à sua natureza de vibração como sonoras e eletromagnéticas.	4,7 (1)	9,1 (2)
d) Onda é um pulso que se propaga de um ponto a outro sem transportar energia e matéria. As ondas podem ser classificadas com relação à sua natureza de vibração como mecânicas e sonoras.	4,7 (1)	0

Fonte: o autor

O questionário final apresentou uma evolução de 22,6 % de acertos com relação a questão inicial. E ao observarmos este avanço comparando as respostas, percebe-se que parte dos estudantes consideravam erroneamente que a onda transporta

matéria, o que foi demonstrado a partir de simuladores e das práticas demonstrativas com os instrumentos musicais. Refletindo sobre essa questão, percebe-se que se o estudante possuísse o conhecimento do que significa o conceito matéria, certamente, acertaria a questão. O que nos fornece indícios que tal conceito foi um subsunçor para 66,7% dos participantes.

4.3 Questão 4

Segundo a natureza das ondas, elas podem ser classificadas como:

Tabela 4.4: Comparativo questão 4 dos questionários inicial e final

Alternativas	Questionário inicial (%)	Questionário final (%)
a) Transversais e longitudinais	23,8 (5)	13,6 (3)
b) Mecânicas e sonoras	0	4,5 (1)
c) Sonoras e eletromagnéticas	0	0
d) Mecânicas e eletromagnéticas	76,2 (16)	81,8 (18)

Fonte: o autor

Nesta questão apresenta-se a evolução de acertos representando 7,34 %, ou seja, dois alunos a mais que o questionário inicial. Percebe-se que três alunos confundiram a classificação da natureza das ondas com a classificação quanto à direção de propagação, marcando erroneamente a alternativa a. Neste sentido, percebe-se que os estudantes se confundiram com relação a classificação. E quanto ao desenvolvimento do PE, se faz necessário reforçar essas diferenças, principalmente no momento de análise dos mapas conceituais feitos individualmente e também no momento da construção coletiva, pois um bom mapa feito coletivamente, faz com que os estudantes não façam essa inversão de classificação, uma vez que o aspecto visual e a discussão para a construção do MC contribuem para a assimilação do conteúdo verbal, auditivo e visual.

4.4 Questão 5

Quais palavras melhor completam a frase: “O som é classificado como uma onda _____, _____ e _____ porque _____ de um meio material para se propagar.

Tabela 4.5: Comparativo questão 5 dos questionários inicial e final

Alternativas	Questionário inicial (%)	Questionário final (%)
a) Mecânica, longitudinal, tridimensional, precisa.	85,7 (18)	90,9 (20)
b) Eletromagnética, transversal, adimensional, não precisa.	0	0
c) Sonora, longitudinal, tridimensional, precisa.	9,5 (2)	4,5 (1)
d) Mecânica, transversal, tridimensional, não precisa.	4,8 (1)	4,5 (1)

Fonte: o autor

A questão 5 apresentou uma evolução de 6,06 % nos acertos e ao ser formulada, procurou-se compor palavras nos distratores que resultassem em concordância verbal com a frase. Durante a aplicação do PE, frisou-se sempre que o som é uma onda de natureza mecânica, a qual é classificada desta forma porque depende de um meio material para se propagar e ainda, que sua propagação é longitudinal, pois a direção de vibração é a mesma da direção de propagação e que o som se propaga em todas as direções. Este conteúdo foi revisado na construção dos mapas conceituais e demonstrado em simuladores que inclusive demonstravam ondas resultantes na água e no som.

4.5 Questão 7

Qual qualidade fisiológica do som faz com que possamos diferenciar a voz de uma pessoa ou o som de diferentes instrumentos musicais?

Tabela 4.6: Comparativo questão 7 dos questionários inicial e final

Alternativas	Questionário inicial (%)	Questionário final (%)
a) Altura	0	0
b) Timbre	90,5 (19)	100,0 (22)
c) Intensidade	0	0
d) Frequência	4,7 (1)	0
e) Comprimento de onda sonora	4,7 (1)	0

Fonte: o autor

Mesmo a questão apresentando uma evolução de 11,05% no comparativo do questionário antes e depois da aplicação do PE, considera-se uma questão

que não remete muito a reflexão do estudante, pois a pergunta corresponde à resposta de um conceito. Em uma próxima aplicação, a questão certamente seria modificada, pois não se aprofundou no conceito de timbre.

4.6 Questão 9

Considerando um instrumento de cordas, é correto afirmar que:

Tabela 4.7: Comparativo questão 9 dos questionários inicial e final

Alternativas	Questionário inicial (%)	Questionário final (%)
a) A espessura da corda não interfere na nota musical a ser emitida.	4,7 (1)	4,5 (1)
b) Todos os instrumentos de cordas emitem sons idênticos para uma mesma nota.	4,7 (1)	0
c) Existe uma relação entre o tamanho da corda e a nota musical a ser emitida.	90,5 (19)	95,4 (21)
d) Pode-se tocar e segurar em qualquer lugar de uma corda que ela emitirá sempre o mesmo som.	0	0

Fonte: o autor

Nesta questão a evolução de acertos foi de 5,41 % e apenas um estudante respondeu errado no questionário final. O assunto abordado nesta questão fez parte dos exercícios manuseando a mini harpa e levantou-se questões sobre o som emitido em cordas de mesma espessura e comprimentos diferentes. A partir do resultado, considera-se um bom índice de acertos, mas acredita-se que na possibilidade do estudante manusear o instrumento e buscar as medidas na prática, certamente sua aprendizagem seria melhor, porém com as práticas realizadas no modo remoto e com o auxílio de vídeos gravados para demonstração da prática e apresentação de resultados, os estudantes compreenderam que a nota musical a ser emitida depende do tamanho da corda.

4.7 Questão 10

Sobre instrumentos de sopro, é correto afirmar que:

Tabela 4.8: Comparativo questão 10 dos questionários inicial e final

Alternativas	Questionário inicial (%)	Questionário final (%)
a) Ao soprar um tubo, o som emitido independe do comprimento do tubo.	28,6 (6)	4,5 (1)

b) O som só pode ser emitido em tubos com uma das pontas fechadas.	4,7 (1)	9,1 (2)
c) Um tubo curto produz um som mais grave.	9,5 (2)	0
d) Um tubo curto produz um som mais agudo.	57,1 (12)	86,4 (19)

Fonte: o autor

Com uma evolução de 51,3 % nos acertos, a questão 10 foi a que mostrou a maior diferença dentre todas as questões, o que se subentende que foi auxiliado pelo texto com uma breve história da música e dos instrumentos musicais sobre a questão. E ainda também pelo fato de se apresentar uma descrição de como é som em instrumentos de tubos curtos e tubos longos, o que também pôde ser observado e ouvido quando o professor soprou os diferentes tubos da flauta pan e realizou-se questionamentos sobre cada som emitido.

O fato de todas as questões terem apresentado evoluções, nos mostra que a aprendizagem é fortalecida quando se estimula a participação dos estudantes em quizzes que os fazem praticar o que estão aprendendo, também é fortalecida com demonstrações que possam ser visualizadas através de vídeos, aplicativos e simuladores, pois os mesmos deram embasamento para formular hipóteses, elaborar respostas e realizar cálculos com os dados obtidos e também é reforçada com a construção de mapas conceituais. Este último, um recurso que pode ser utilizado em qualquer conteúdo que tem como objetivo o de relacionar conceitos. Sendo assim, a diversidade de ferramentas utilizadas mostra novas oportunidades de aprendizagem, as quais precisaram de adaptações e do uso de novas ferramentas para que o objetivo fosse atingido.

4.8 Questões envolvendo equações

No questionário final aplicou-se três exercícios a mais do que no questionário inicial, os quais envolviam equações para obtenção da velocidade do som, dados do som em cordas vibrantes e em tubos sonoros. A opção por apresentar estes exercícios apenas no final foi devido ao fato de que os estudantes não conheciam essas relações antes da aplicação do PE e entende-se que os resultados apresentados não seriam parâmetros confiáveis. Ao término do desenvolvimento, obteve-se os seguintes índices:

4.8.1 Questão 11

Se um homem vê um raio e após 10 segundos ouve o som emitido por ele, qual é a distância que este homem está do ponto onde caiu o raio? (Considere a velocidade do som 340 m/s)

Tabela 4.9: Percentual de respostas nas alternativas da questão 11

Alternativas	Questionário final (%)
a) 34.000 m	4,5 (1)
b) 34 m	27,3 (6)
c) 3400 m	59,1 (13)
d) 340.000 m	9,1 (2)

Fonte: o autor

A questão envolve a equação que relaciona o conceito básico de velocidade, que é a razão da distância pelo tempo e poderia ser aplicada no questionário inicial por se tratar de conhecimento prévio. Uma vez que o conceito de velocidade é trabalhado no primeiro ano de Física, porém, após a aplicação de exercícios para cálculos da velocidade do som e apresentação do simulador representando uma situação semelhante ao problema apresentado, verifica-se que o índice de acertos foi baixo e pelas opções que 27,3 % dos discentes responderam, nota-se que houve confusão na hora da resolução e ao invés de multiplicar a velocidade pelo tempo para determinar a velocidade do som, eles acabaram realizando a operação inversa, ou seja, a divisão. Essa questão nos deixa evidente que o conceito de velocidade, mesmo sendo um subsunçor, precisa ser mais discutido e detalhado, precisa-se inclusive reforçar a questão de resolução de equações quando ocorre a mudança de lado em relação ao sinal de igual, pois os estudantes precisam ter clareza que os valores passam a ser resolvidos com a operação inversa, no caso se antes multiplicavam, com a mudança de lado, passarão a dividir.

4.8.2 Questão 12

Em um tubo sonoro fechado de comprimento igual a 0,5 m, forma-se um harmônico de frequência igual a 850 Hz. Sendo a velocidade do som no interior do tubo igual a 340 m/s, o harmônico formado nesse tubo é igual a:

Tabela 4.10: Percentual de respostas nas alternativas da questão 12

Alternativas	Questionário final (%)
a) Sexto harmônico	18,2 (4)
b) Primeiro harmônico	4,5 (1)
c) Quinto harmônico	77,3 (17)
d) Sétimo harmônico	0

Fonte: o autor

Mais de $\frac{3}{4}$ dos participantes acertaram a questão, a qual subentende-se que ocorreu a assimilação após os exercícios sobre tubos sonoros que foram realizados com a utilização da flauta pan. Com relação aos estudantes que responderam erroneamente, explica-se que realizaram divisões de forma errada e inverteram valores na equação, o que não deveria ocorrer, pois foi orientado durante a aplicação que uma das formas de se resolver o problema é que o primeiro passo deve ser registrar os dados que o problema apresenta para depois inserir na relação, o que temos para obtenção de respostas. O que certamente não aconteceu, pois sem esse levantamento, sem essa organização, pode-se confundir dados e errar equações mesmo as mais simples.

4.8.3 Questão 13

Uma onda estacionária cujo comprimento de onda mede 50 cm é formada em uma corda vibrante de 4,0 m de comprimento. A ordem do harmônico formado é igual a:

Tabela 4.11: Percentual de respostas nas alternativas da questão 13

Alternativas	Questionário final (%)
a) 8	4,5 (1)
b) 12	9,1 (2)
c) 16	86,4 (19)
d) 4	0

Fonte: o autor

O percentual de acertos desta questão é bastante satisfatório, pois foi apresentado aos discentes apenas dados para obtenção da frequência e da velocidade do som nas cordas, ficando exercícios para determinar o harmônico apenas na parte de exercícios de fixação, sem muita relação visível aos educandos e mesmo assim, os resultados foram bons.

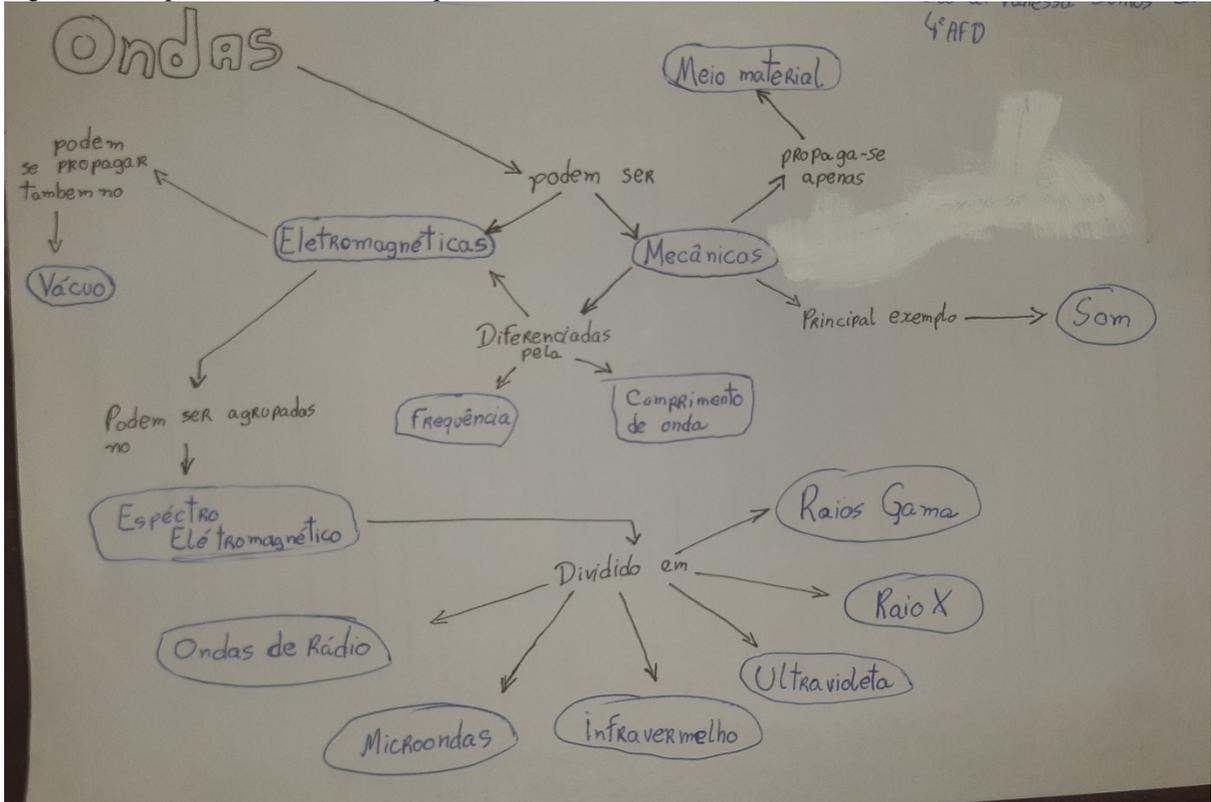
4.9 Avaliação com mapas conceituais

Após a explanação do conteúdo, foi apresentado aos estudantes o aplicativo *Cmaptools* que tem por objetivo construir mapas conceituais (MC) e, a partir dele, diferenciou-se mapas mentais de mapas conceituais. Sendo que este último, requer termos de ligação entre os conceitos, requer também uma rede de ligação entre todos e ainda, que para se manter o foco, também se faz necessário uma pergunta focal, a qual limita e deixa claro que conceitos devem fazer parte do MC de forma que a mesma seja respondida. Ainda fazendo uso do aplicativo, mostrou-se as opções de modificação de layout do MC, de verificação da tabela de clareza proposicional (TCP), a qual gera um arquivo de texto mostrando as frases construídas pelo mapeadores e através desta tabela, ele pode verificar a clareza semântica das frases formadas, ou seja, se a frase faz sentido e se tem concordância com relação aos tempos verbais.

A utilização de MC na avaliação se deu de forma individualizada, onde cada estudante a partir das aulas, dos textos-base, das aplicações, dos simuladores e demais componentes das aulas, construiu seu mapa utilizando o aplicativo solicitado ou outros que conheçam. E para aqueles com dificuldades com programas computacionais, foi oportunizado que a construção de seus mapas fossem feitos em folhas de caderno e enviados como imagem.

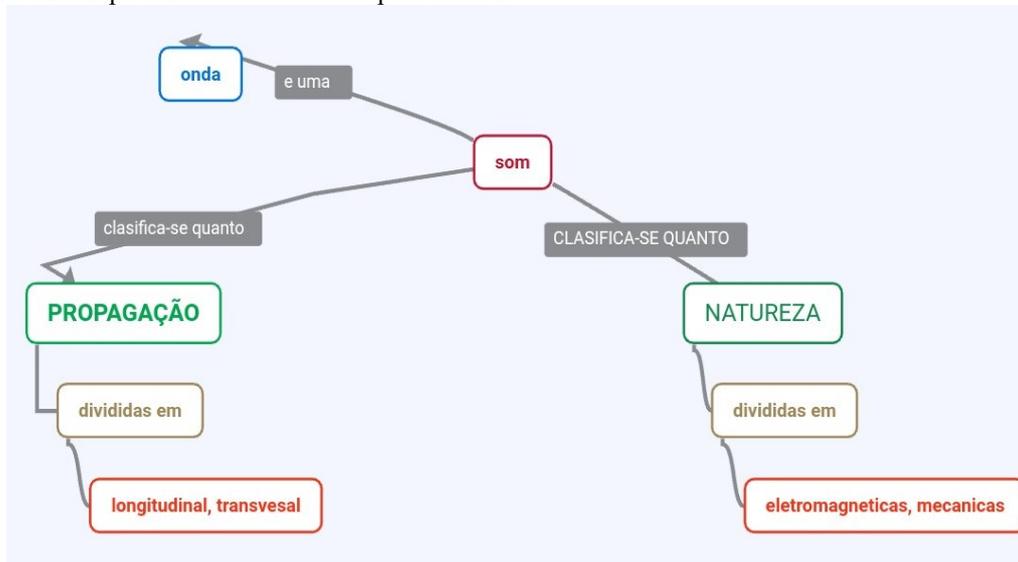
Segue abaixo alguns mapas conceituais e mapas mentais construídos por alguns dos alunos participantes.

Figura 4.1: Mapa conceitual construído pelo aluno A



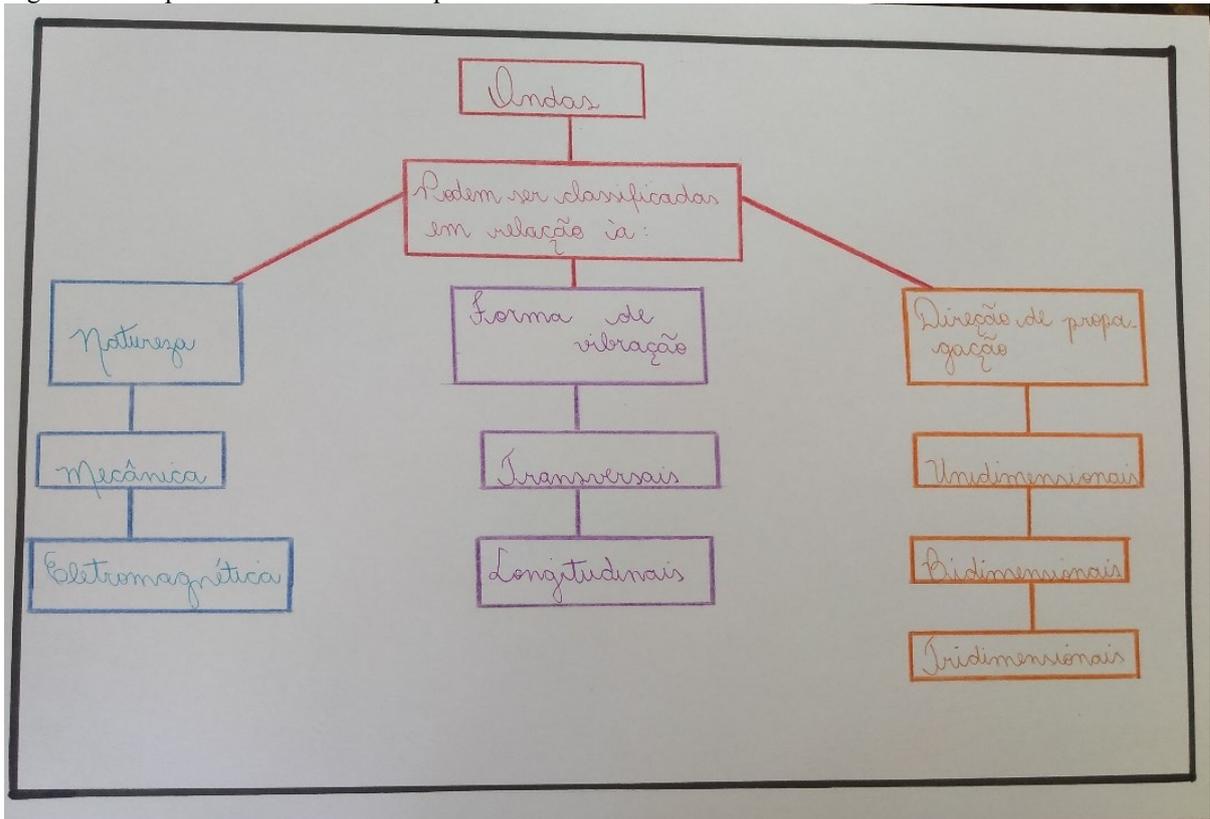
Fonte: arquivo do autor, 2021.

Figura 4.2: Mapa conceitual construído pelo aluno B



Fonte: arquivo do autor, 2021.

Figura 4.3: Mapa conceitual construído pelo aluno M



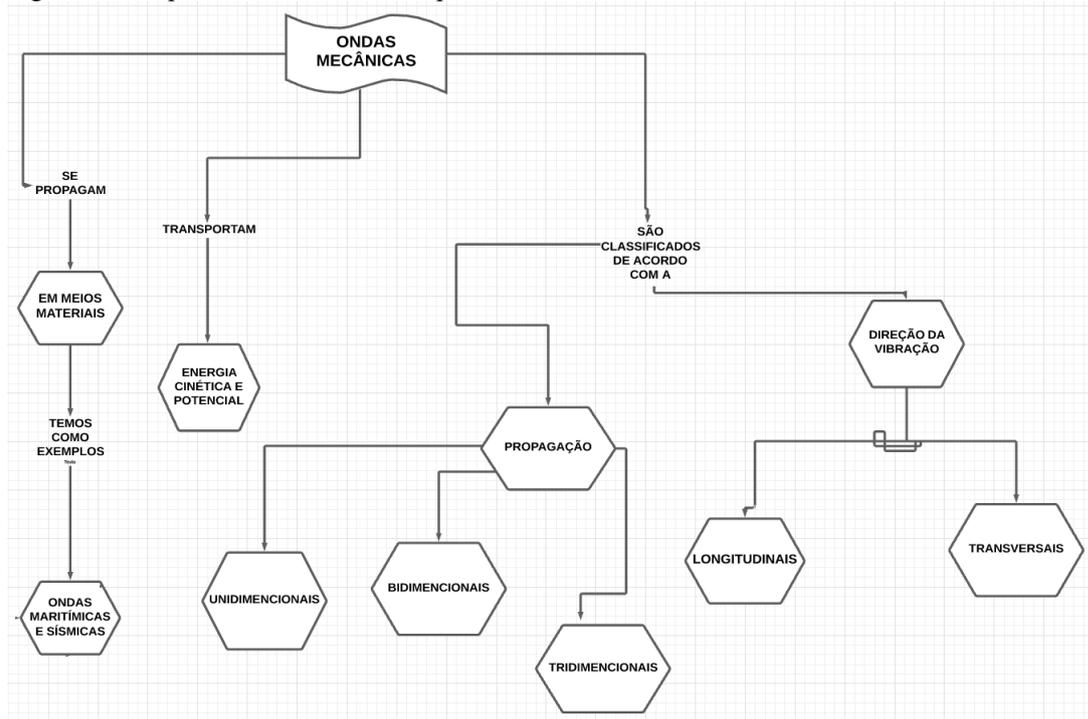
Fonte: arquivo do autor, 2021.

Figura 4.4: Mapa mental construído pelo aluno V



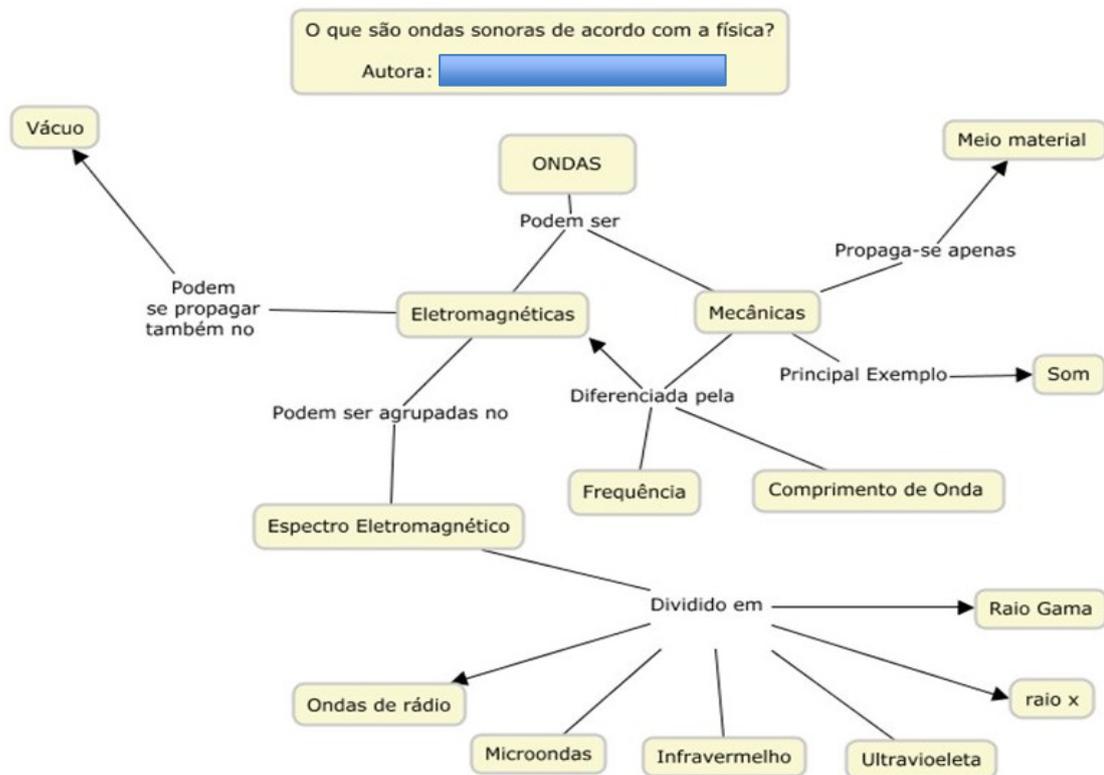
Fonte: arquivo do autor, 2021.

Figura 4.5: Mapa conceitual construído pelo aluno D



Fonte: arquivo do autor, 2021.

Figura 4.6: Mapa conceitual construído pelo aluno MG



Fonte: arquivo do autor, 2021.

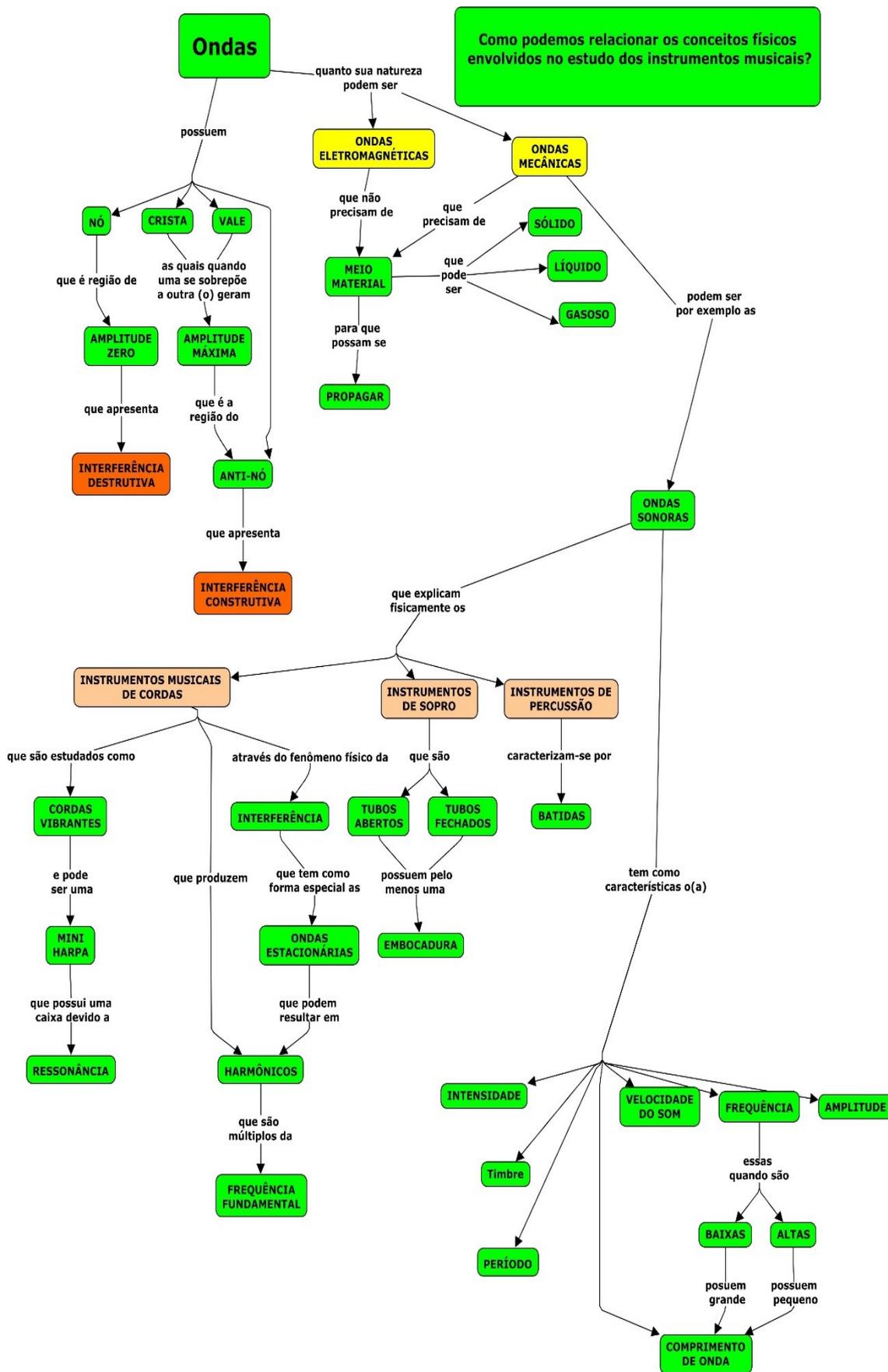
Nota-se que alguns mapas construídos foram mapas mentais e os mapas conceituais alguns deles não possuem pergunta focal, possuem apenas termos de ligação sem um verbo e não há sinalização das setas para qual conceito se dirige, o que é normal para um primeiro mapa.

Após o envio dos MC's individuais, abriu-se cada um deles e discutiu-se com cada um dos autores e os demais alunos sobre os aspectos da construção do mapa, relembrando os conceitos e corrigindo aqueles que estavam errados. Abriu-se todos os arquivos dos mapas solicitados para trazerem prontos e cada estudante apresentou brevemente o que construíram. Na sequência, teceu-se os comentários sobre eles, o que foi um momento importante ocorrido durante a segunda oficina e antes do questionário final. Uma vez que quando o estudante coloca no papel a sua rede de conceitos, ele percebe se vai ou não amadurecendo sua construção de significados e, partindo desta ideia, pôde-se fazer um MC coletivo a partir das colocações dos colegas. Foi aplicado via meet utilizando-se o *cmaptools* e os educandos foram citando os conceitos e eles mesmos foram estabelecendo as relações, sendo apenas direcionados para que não deixassem de colocar os termos de ligação e a pergunta focal.

Para a construção deste MC coletivo, levou-se aproximadamente 45 minutos, tempo este que foi muito bem aproveitado, pois pudemos fazer o estabelecimento de discussões sobre erros cometidos e reforçar conceitos como energia, frequência, e inclusive, sobre o espectro eletromagnético, onde perceberam que as ondas sonoras são apenas uma pequena faixa de frequência dentre as que são possíveis.

Como conclusão da aplicação do PE, tivemos como resultado final a construção do MC coletivo que segue:

Figura 4.7: Mapa conceitual construído colaborativamente com todos os estudantes



Fonte: o autor, 2021

Esse MC foi o produto final da aplicação nas duas turmas. Observa-se que se optou por destacar de mesma cor conceitos que possuem alguma diferenciação para uma melhor visualização. Um exemplo disso foi a respeito dos conceitos “ondas eletromagnéticas” e “ondas mecânicas” que ficaram com caixa de texto amarelo, pois os mesmos foram apresentados no MC diferenciados pelo conceito “meio material”. Neste MC coletivo, buscou-se também resgatar conceitos que foram trabalhados no decorrer das aulas e não pareceram nos MC’s individuais, tais como “crista” e “vale” que são partes de uma onda.

A construção de MC’s mostrou-se uma ferramenta de avaliação muito promissora, pois não somente pelo número de conceitos, mas também pelas redes de ligações e proposições construídas pelos estudantes, pode-se aferir como está acontecendo a aprendizagem.

Ao final da aplicação, reforçou-se com os discentes que não existe um MC pronto e acabado e que na continuidade dos estudos alguns conceitos podem ser substituídos por outros e as redes relacionais podem cada vez mais tomarem a forma de uma teia. E ainda que é com um MC como o elaborado por eles que podemos verificar e traçar comparações com os MC’s anteriores resultando na análise se aprendizagem está sendo realmente significativa. E além disso, que não apenas o MC pode apresentar tais resultados, mas todos os demais recursos utilizados como os quizzes aplicados, os questionários iniciais e final, a construção dos instrumentos, o uso de simuladores e as demais atividades desenvolvidas, resultam em uma UEPS, a qual apresenta mais do que apenas uma possibilidade de aprendizagem, de construção de significados, é uma forma de apresentar aos educandos de que há a possibilidade de se aplicar novos conceitos aprendidos em diversas outras situações.

Considerações finais

A aplicação do produto educacional sobre ondas mecânicas, mais especificamente sobre som, contou com a teoria de aprendizagem significativa de Ausubel, a construção de mapas conceituais e uma unidade de ensino potencialmente significativa, pois contou com diversos recursos, tais como simuladores, proposta de construção de instrumentos sonoros e a utilização de software livre, como o *Audacity*. Por si só, a aplicação já faria a utilização de diversos recursos para efetivar uma aprendizagem significativa, porém com a impossibilidade de encontros presenciais devido a pandemia do SARS-COV-2, a aplicação se deu via *meet* e precisou-se adaptar muito da ideia inicial

de construção, pois essa parte foi suprida com simuladores computacionais disponibilizados gratuitamente e vídeos demonstrando os experimentos e arquivos apresentando os dados coletados para que os alunos fizessem as análises e resolução de problemas.

Diante de todas as dificuldades, percebe-se que há recursos e formas de se fazer uma aprendizagem significativa, mas para que isso possa acontecer, o professor precisa adotar uma adaptação disciplinada, fazer uso de novas ferramentas, usar de toda sua criatividade, sair da zona de conforto e buscar conhecimentos e trabalhos científicos já realizados sobre o tema para que de tal forma, o aprendizado de fato, seja significativo.

Neste sentido, a metodologia utilizada e as dificuldades causadas pela pandemia levaram a busca por mais recursos que culminaram em crescimento profissional e uma aprendizagem significativa por parte do docente, pois a aprendizagem de manuseio de um software de edição de som, o *Audacity*, para o ensino de Física só foi possível após pesquisas em artigos científicos e a busca por realizar a determinação da velocidade do som a partir de um programa que até então, se fazia desconhecido por muitos professores de Física.

Também se fez importante a proposta de construção de instrumentos musicais, pois a mesma evidencia ao professor que é possível realizar atividades experimentais a partir da construção de equipamentos com materiais de fácil acesso e baixo custo, que tais ações envolvem e motivam os alunos para a construção da aprendizagem significativa e progressiva.

Já a construção de mapas conceituais, pode acontecer a partir de análise de textos e em qualquer área para o processo de ensino-aprendizagem, uma vez que se trata de um recurso que faz com que os estudantes relacionem conceitos para que assim aconteça a integração e significação daquilo que apreendem. Levando em consideração que é uma ferramenta que oportuniza ir além da aprendizagem mecânica e que certamente os estudantes jamais esquecerão do que realizaram.

Durante o percurso e para a aplicação do PE, o autor sentiu a necessidade de participar de cursos sobre recursos tecnológicos, aprender a gravar e editar vídeos, fazer pesquisas sobre como utilizar o *Audacity*, visualização de muitos tutoriais de uso de simuladores e de construção dos instrumentos, além de cursos sobre mapas conceituais e aprendizagem colaborativa, sendo que toda essa trajetória enriqueceu e o preparou para a aplicação do PE, além de proporcionar muita segurança nas ações pensadas, inclusive nas improvisações que tiveram de ser feitas devido a pandemia

SARS-COV-2. No entanto, toda essa formação não foi útil apenas para aplicar o PE, mas transformou a visão do autor sobre o papel do professor, apresentando novas possibilidades.

Pensando na educação do século XXI e os avanços tecnológicos que vemos dia após dia, o professor precisa buscar ferramentas de linguagem computacional para demonstrar e apresentar conceitos para seus alunos. O docente necessita cada vez mais, dominar técnicas de gravação e edição e, segundo Aguiar e Correia (2013), o uso de MC's podem fazer com que os alunos externalizem seus conhecimentos e, quando propor-se a construção de um MC coletivo como produto final, o professor pode estimular a colaboração e o trabalho em grupo e o processo de negociação na busca por consenso entre os envolvidos pode se tornar um meio profícuo de socialização e de aprendizagem entre pares.

Uma vez que quando os estudantes possuem os mesmos anseios e ainda tem a facilidade de se comunicarem na mesma linguagem, essa é uma prática que precisa ser cada vez mais levada em consideração em sala de aula, pois ninguém constrói conhecimento e não produz nada sem contar com apoio e colaboração de outras pessoas. Podemos ver isso nos dias atuais, pois os recursos tecnológicos que surgem e as novas abordagens e conclusões de pesquisas não são produtos de uma mente brilhante, mas sim, fruto de muita colaboração e de muitas pessoas envolvidas em grupos. E este modelo educacional precisa ser pensado para nossos estudantes.

Neste sentido, estão à disposição as propostas de Novo Ensino Médio e Educação Integral, as quais só darão certo se o professor tiver conhecimento, as escolas possuírem recursos e, principalmente, se houver a consciência para que o produto fruto do conhecimento seja do todo, feito coletivamente.

Portanto, o presente trabalho apresenta que é possível repensar e construir UEPS sobre qualquer assunto e que o uso de simuladores, *quizzes*, vídeos, mapas conceituais e outros recursos, tratam-se de ferramentas imprescindíveis para que a aprendizagem seja realmente significativa.

Referências

- AGUIAR, J.G. CORREIA, P.R.M. *Como fazer bons mapas conceituais? Estabelecendo parâmetros de referências e propondo atividades de treinamento*. In: Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências Vol. 13, nº 2, 2013.
- CUSTÓDIO, Euclides. *Tambor de sucata*. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=a0CJ8DYInEE>>. Acessado em 29/09/2019
- DA SILVA, Luiz Vitor, *Construindo uma flauta pan*. <<https://www.youtube.com/watch?v=5T0wuLIGIBw>> Acessado em 29/09/2019
- GRILLO, Maria Lúcia. PEREZ, Luiz Roberto. Organizadores. *Física e música*. São Paulo. Editora Livraria da Física, 2016.
- HALLIDAY, D. RESNICK, R. WALKER, J. *Fundamentos de Física: Gravitação, Ondas e Termodinâmica*. Volume 2. 6ª edição. Editora LTC. Rio de Janeiro, 2002.
- HELERBROCK, Rafael. *“Ressonância”*; Brasil Escola. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/fisica/ressonancia.htm> acesso em 04 de maio de 2021 às 21:45 horas.
- JÚNIOR, Joab Silas da Silva. *“O que é som?”*; Brasil Escola. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/o-que-e/fisica/o-que-e-som.htm> acesso em 03 de maio de 2021 às 22:40 horas.
- MARCHAND, P. *A música dos instrumentos: das flautas de osso da pré-história às guitarras elétricas*. 6ª edição, Melhoramentos, 1997.
- MAZETI, Lucas Jesus Bettiol . *Sequência didática: uma alternativa para o ensino de acústica para o ensino médio*. 2017. 145 f.: 30 cm.
- MENDES, Mariane. *“Ondas”*; Brasil Escola. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/fisica/ondas.htm> acesso em 03/05/2021 às 21:30 horas.
- MOURA. Daniel de Andrade. NETO. Pedro Bernardes. *O ensino de acústica no Ensino Médio por meio de instrumentos musicais de baixo custo*. In: Física na Escola,

v. 12, n. 1, 2011. Disponível em:

<<http://www.sbfisica.org.br/fne/Vol12/Num1/acustica.pdf>>. Acesso 29/09/2019.

MOREIRA, M. A. *Teorias de aprendizagem*. Editora EPU, 2011.

MOREIRA, M. A. *Aprendizagem significativa*. Brasília: Editora da UnB, 1998.

MOREIRA, M. A. *A Teoria da aprendizagem significativa e sua implementação em sala de aula*. Brasília: UnB, 2006.

NUSSENZVEIG, Herch Moysés. *Curso de Física básica – Volume 2*. 4ª edição. Editora Blucher. Rio de Janeiro, 2002.

PELEGRINI, Márcio. *Minimanual compacto de Física: teoria e prática* / Márcio Pelegrini. São Paulo: Rideel, 1999.

TREFIL, James. HAZEN, Robert. *Física Viva: Uma Introdução à Física Conceitual*, vol. 2, Editora LTC, Rio de Janeiro (2006).

RIBEIRO, Tiago Garcia. SENRA, Clarice Parreira. RESENDE, Mateus Antônio. *Utilização do software Audacity como recurso didático no ensino de ondas*. In: Física na Escola, v.16, n.1, 2018. Disponível em: <<http://www1.fisica.org.br/fne/phocadownload/Vol16-Num1/a10.pdf>>, Acesso 29/09/2019.

Como construir um tambor. Disponível em: <<https://pt.wikihow.com/Fazer-um-Tambor-Caseiro>>. Acessado em 15/11/2019 às 19:30 horas.

LUTHIERIA DE POBRE, *Cítara, Zither, Mini-Harpa, Saltério, etc! Como construir?* Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=EdOk2VI-1w4>> Acessado em 29/09/2019;

Apêndice A: Respostas do Questionário inicial

1 – Sobre instrumentos de corda, de sopro e de percussão, assinale as alternativas corretas:

(X) Instrumentos de percussão são utilizados para dar ritmo as músicas, tendo como exemplos tambor, pandeiro e surdo.

(X) Nos instrumentos de cordas, o comprimento das cordas determina o som que o instrumento produz.

(X) Nos instrumentos de sopro, quanto maior for o comprimento do tubo, mais grave será o som.

() Nos instrumentos de sopro, em tubos menores obtemos sons mais graves, ou seja, sons com frequências mais baixas.

() Nos instrumentos de cordas, o som obtido independe do comprimento e de quanto as cordas estão esticadas.

2 – Sobre a propagação do som, é correto afirmar?

a) O som se propaga somente no vácuo.

b) O som se propaga em qualquer meio, inclusive no vácuo.

c) O som depende de um meio material para se propagar.

d) O som se propaga apenas no ar.

3 – Qual das alternativas abaixo é a definição de onda?

a) Onda é um pulso que se propaga de um ponto a outro transportando energia sem transportar matéria. As ondas podem ser classificadas com relação à sua natureza de vibração como mecânicas e eletromagnéticas.

b) Onda é um pulso que se propaga de um ponto a outro transportando energia e matéria. As ondas podem ser classificadas com relação à sua natureza de vibração como transversais e longitudinais.

c) Onda é uma propagação de um lugar para outro que depende sempre de um meio material para que essa propagação aconteça. As ondas podem ser classificadas com relação à sua natureza de vibração como sonoras e eletromagnéticas.

d) Onda é um pulso que se propaga de um ponto a outro sem transportar energia e matéria. As ondas podem ser classificadas com relação à sua natureza de vibração como mecânicas e sonoras.

4 – Segundo a natureza das ondas, elas podem ser classificadas como:

- a) Transversais e longitudinais.
- b) Mecânicas e sonoras.
- c) Sonoras e eletromagnéticas.
- d) Mecânicas e eletromagnéticas.**

5 – Quais palavras melhor completam a frase: “O som é classificado como uma onda _____, _____ e _____ porque _____ de um meio material para se propagar.

- a) Mecânica, longitudinal, tridimensional, precisa.**
- b) Eletromagnética, transversal, adimensional, não precisa.
- c) Sonora, longitudinal, tridimensional, precisa.
- d) Mecânica, transversal, tridimensional, não precisa.

6 – Qual é a definição de volume?

- a) É a altura do som.
- b) Está relacionado a intensidade sonora, que é a quantidade de energia emitida por uma fonte sonora por unidade de tempo em relação a certa área.**
- c) São todos os sons ouvidos pelos seres humanos.
- d) É a intensidade com que uma nota é executada.

7 – Qual qualidade fisiológica do som faz com que possamos diferenciar a voz de uma pessoa ou o som de diferentes instrumentos musicais?

- a) Altura.
- b) Timbre.**
- c) Intensidade.
- d) Frequência.
- e) Comprimento da onda sonora.

8 – Um dos conceitos importantes no estudo do som é o de “frequência”, fisicamente, qual a definição deste conceito?

- a) É o número de oscilações de ondas por minuto, e sua unidade de medida é o segundo

b) É o número de oscilações de ondas por segundo, e sua unidade de medida é Hertz (Hz).

c) É o número de ondas que passa em um determinado ponto.

d) Está relacionado a quantidade de ondas que são emitidas.

9 – Considerando um instrumento de cordas, é correto afirmar que:

a) A espessura da corda não interfere na nota musical a ser emitida.

b) Todos os instrumentos de cordas emitem sons idênticos para uma mesma nota.

c) Existe uma relação entre o tamanho da corda e a nota musical a ser emitida.

d) Pode-se tocar e segurar em qualquer lugar de uma corda que ela emitirá sempre o mesmo som.

10 – Sobre instrumentos de sopro, é correto afirmar que:

a) Ao soprar um tubo, o som emitido independe do comprimento do tubo.

b) O som só pode ser emitido em tubos com uma das pontas fechadas.

c) Um tubo curto produz um som mais grave.

d) Um tubo curto produz um som mais agudo.

Apêndice B: Respostas do questionário final

O questionário final, as questões 1 a 10 são as mesmas do questionário inicial, portanto não se repetirá o mesmo gabarito destas questões, neste questionário final acrescentamos três questões, a seguir:

11 - Se um homem vê um raio e após 10 segundos ouve o som emitido por ele, qual é a distância que este homem está do ponto onde caiu o raio? (Considere a velocidade do som 340 m/s)

- a) 34.000 m.
- b) 34 m.
- c) 3.400 m.**
- d) 340.000 m.

12 - Em um tubo sonoro fechado de comprimento igual a 0,5 m, forma-se um harmônico de frequência igual a 850 Hz. Sendo a velocidade do som no interior do tubo igual a 340 m/s, o harmônico formado nesse tubo é igual a:

- a) Sexto harmônico.
- b) Primeiro.
- c) Quinto.**
- d) Sétimo.

13 - Uma onda estacionária cujo comprimento de onda mede 50 cm é formada em uma corda vibrante de 4,0 m de comprimento. A ordem do harmônico formado é igual a:

- a) 8.
- b) 12.
- c) 16.**
- d) 4.

Apêndice C: Respostas do quiz sobre conceitos de Física

1 - Quiz

O som é uma onda?



30 sec

	Mecânica	✓
	Eletromagnética	✗
	Material	✗
	Gravitacional	✗

2 - Quiz

A luz é uma onda?



30 sec

	Mecânica	✗
	Eletromagnética	✓
	Gravitacional	✗
	De matéria	✗

3 - Quiz

Quais são as formas de vibração de uma onda?



30 sec

	Bidimensional e tridimensional	✗
	Mecânica e eletromagnética	✗
	Transversal e longitudinal	✓
	Transversal e eletromagnética	✗

4 - Quiz

Qual destas é uma informação quanto a direção de propagação de ondas?



30 sec

- | | | |
|--|-----------------|---|
| | Eletromagnética | ✗ |
| | Bidimensionais | ✓ |
| | Transversal | ✗ |
| | Mecânicas | ✗ |

5 - Quiz

Qual destes não é uma parte de uma onda?



30 sec

- | | | |
|--|------------------|---|
| | Crista | ✗ |
| | Vale | ✗ |
| | Ventre ou antinó | ✗ |
| | Timbre | ✓ |

6 - Quiz

Qual a unidade da grandeza física frequência?

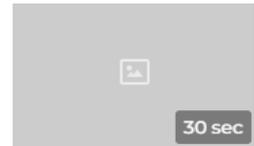


30 sec

- | | | |
|--|--------------------------|---|
| | metros por segundo (m/s) | ✗ |
| | Metros (m) | ✗ |
| | Hertz (Hz) | ✓ |
| | Segundos (s) | ✗ |

7 - Quiz

Qual das alternativas NÃO é uma característica do som?



 Timbre	✗
 Tempo	✓
 Altura	✗
 Intensidade	✗

Apêndice D: Texto sobre a breve história da música e dos instrumentos musicais para leitura e arquivo dos alunos

No decorrer da aplicação, sentiu-se a necessidade realizar um compilado e organizar um texto explicativo sobre a história da música e dos instrumentos musicais para conhecimento dos alunos. Neste sentido, buscou-se em diversas fontes para fornecer um texto que responda alguns questionamentos.

Após a leitura do texto, será aplicado um quiz no aplicativo kahoot para verificar o entendimento do texto.

Breve história da música e dos instrumentos musicais

A palavra música deriva do grego *musiké téchne* e quer dizer “arte das musas”. A música é a combinação de ritmo, harmonia e melodia de maneira agradável ao ouvido (ALMEIDA, 1993). Música é uma manifestação artística e cultural de um povo em determinada época ou região e também serve para expressar sentimentos (OLIVEIRA, 2019). Por sua vez, a música é uma forma de expressão que tem como matéria-prima o som.

De acordo com Almeida, a música é composta por três elementos: melodia, harmonia e ritmo, sendo a melodia uma sucessão de sons musicais combinados, a harmonia a combinação de sons simultâneos e o ritmo a duração e a acentuação dos sons e das pausas. Se faltar um destes elementos, não tem como produzir música.

No dicionário Houaiss (apud Bréscia, 2003, p. 25) a música é definida como “combinação harmoniosa e expressiva de sons e como a arte de se exprimir por meio de sons, seguindo regras variáveis conforme a época, a civilização, etc.”.

A música expandiu-se ao longo dos anos, e atualmente, tem diversas utilidades não apenas como arte, mas também no contexto militar, educacional ou terapêutico. Além disso, tem presença central em diversas atividades coletivas, como em rituais religiosos, festas e funerais.

Antes de pensarmos em música, no começo dos tempos, o homem ouvia os sons da natureza, como por exemplo o vento assobiando nos bambus. Não há povo da Antiguidade que não tenha feito uso de instrumentos musicais mais ou menos rudimentares, já que a música é uma linguagem espontânea e inerente ao próprio homem, sendo provável que tenha aparecido antes da linguagem verbal.

O certo a se dizer é que os primeiros sons se iniciaram com o homem da pré-história, provavelmente, usando seu corpo todo como um instrumento musical: batia-se os pés no chão, com cadência, batiam-se as palmas, sacudiam colares e braceletes de ossos, de sementes ou de conchas, envolvendo-se completamente em sons, para falar com os deuses. Desde a pré-história o homem tirou sons de madeira, de ossos, das rochas e outros materiais naturais e, a partir daí, começou a evoluir para a construção de novos meios de emitir sons que evoluíram até a música, a qual é um dos principais elementos de nossa cultura, pois o uso da música como entretenimento puro e simples é uma conquista recente, que remonta à Idade Moderna.

Podemos dizer que a música tem sua origem consequente da observação dos sons da natureza, sendo que o primeiro instrumento musical foi uma flauta feita de osso de animal, conforme a figura abaixo:

Figura 1: Flauta de ossos



Fonte: <https://www.dicasecuriosidades.net/2021/03/conheca-o-primeiro-instrumento-musical-da-historia.html>

As culturas primitivas atribuíam à criação dos instrumentos aos deuses, pois acreditavam que a música tinha origem divina. Assim, de acordo com a mitologia grega, a flauta tinha sido inventada por Pan, a cítara por Apolo, a harpa por Narada, o alaúde por Pólux e a lira por Mercúrio.

Os antigos chineses, por sua vez, acreditavam que a gênese dos instrumentos musicais estava na tentativa de imitar os sons da natureza. Quando se trata de uma explicação racional, porém, chega-se à conclusão de que a origem dos instrumentos deve estar intimamente relacionada com a dança, o trabalho e as atividades guerreiras ou os ritos mágico-religiosos. A música seria um importante meio de reforço no desempenho dessas atividades básicas do homem antigo.

Nessas situações, o emprego de material com potencial sonoro, como armas, ferramentas, joias e adornos levou provavelmente à necessidade de “musicá-los”, isto é, desenvolver esse potencial. Essa tese nos fornece as bases para reconstruir sua evolução. A princípio, lançou-se mão de materiais da natureza ou objetos usados para outros fins. Posteriormente, as conquistas da técnica foram sendo gradualmente utilizadas na exploração de novos corpos sonoros.

É muito provável que os instrumentos rítmicos, chamados de percussão, tenham precedido, no tempo, os tonais e melódicos. Embora isso não possa ser comprovado, por falta de documentos dos povos antigos, pode-se chegar facilmente a essa conclusão, observando-se a música das sociedades primitivas atuais da Oceania e África Central. Nelas, os instrumentos são basicamente rítmicos.

Pesquisas arqueológicas revelaram que, no período Paleolítico, instrumentos de pedra ou osso já eram utilizados como formas rudimentares de chocalhos, apitos, matracas ou mesmo trompas. No Neolítico, surgiram os primeiros tambores e flautas de osso e de bambu, bem como um primitivo instrumento, constituído de uma corda presa a um arco, em cuja extremidade se colocava a boca e, mais tarde, se fixava um objeto côncavo (um pote, por exemplo), que servia como caixa de ressonância. Este foi, sem dúvida, o precursor dos instrumentos de cordas. No 3º milênio antes de Cristo, apareceram as liras, na Suméria e sabe-se também da existência de harpas e alaúdes no Egito.

A criação de instrumentos musicais entre as civilizações da Antiguidade parece ter sido mais significativa na Ásia e no norte da África. Devemos nos lembrar, no entanto, de que não é fácil afirmar com certeza se um instrumento é originário de uma determinada região ou país, na medida em que eles podem ter sido transportados para as mais diferentes áreas, levados pelo homem em suas conquistas e invasões.

Numa visão de conjunto da música dos povos da Antiguidade, sabe-se, através do testemunho deixado por documentos – arte ou escrita -, que os egípcios, assírios, babilônios, hebreus, chineses, gregos e romanos conheceram muitas espécies de instrumentos musicais, como harpa, lira, alaúde, flauta, cítara, trompa, trompete, gaita, órgão, xilofone, além de inúmeros instrumentos de percussão: tambores, pandeiros, sistros, címbalos, castanholas e campainhas. Embora se encontrem, desde a Antiguidade,

formas rudimentares de instrumentos de palheta, foi só na Idade Moderna que seu fabrico passou a ser aprimorado.

O crescimento da arte instrumental durante o século XVI, estimulado pela invenção dos tipos móveis de Gutemberg, que tornou possível a divulgação das partituras, provocou grande desenvolvimento na música e, conseqüentemente, o aparecimento de novos instrumentos e o aperfeiçoamento dos já existentes.

Nessa época, começaram a surgir os primeiros fabricantes, como os Andrea Amati, construtor de violinos em Cremona; Hans Ruckers, fabricante de cravos na Antuérpia; Hans Neuschel e sua manufatura de trombones em Nuremberg; e Jean Hottetere, especialista no fabrico de flautas e oboés. Dois séculos mais tarde, com a Revolução Industrial, a mecanização tornou possível a construção, em larga escala, de todos os tipos de instrumentos, o que barateou os custos e popularizou os instrumentos e a própria execução musical.

A evolução dos instrumentos se processou lenta e gradualmente através dos séculos. Foi na primeira metade do século XIX, com o grande desenvolvimento da música orquestral, sobretudo entre 1810 e 1850, que os instrumentos musicais adquiriram, em sua essência, as formas que ainda hoje apresentam.

Colocada a serviço da música, a tecnologia permitiu o aperfeiçoamento dos instrumentos, possibilitando a execução de qualquer som sugerido pelo compositor. A partir de então, os instrumentos passaram a existir em função da música e não mais o contrário. Não é exagero, portanto, afirmar que os modelos criados por volta de 1850 equiparam a orquestra para a execução da música do século XX, exceção feita aos instrumentos eletroacústicos e aos geradores de frequência.

Existem vários critérios de classificação. Em geral, os instrumentos são ordenados de acordo com o material empregado, o modo de produção do som, de execução, formato, mecanismo, etc. Todos são válidos, mas o que nos parece mais satisfatório é o que considera a maneira de produção do som, em essência, a finalidade da música.

Este critério foi proposto inicialmente pelo filósofo e matemático francês Marin Mersenne, em seu ensaio “Harmonia Universal” (1636/37). De acordo com

essa classificação, os instrumentos se agrupam, grosso modo, em 3 grandes categorias: cordas, sopros e percussão.

Instrumentos de percussão

Os instrumentos de percussão geralmente são usados para dar ritmo à música. Eles produzem som quando são golpeados, agitados, arranhados, dedilhados ou friccionados. Essa classe de instrumentos abrange sinos, pratos, castanholas, gongos, chocalhos, xilofones e tambores. Estes últimos têm uma membrana esticada que vibra quando é golpeada ou friccionada. Eles podem ser tocados com as mãos ou com outros objetos, como baquetas.

Figura 2: Instrumentos de percussão



Fonte: <https://br.pinterest.com/pin/317855686200561894/>

Instrumentos de corda

Os instrumentos de corda possuem cordas esticadas que vibram quando são dedilhadas, golpeadas ou friccionadas com um arco. Eles se dividem em categorias, baseadas no modo como as cordas são presas ao corpo do instrumento. As principais categorias são harpas, alaúdes, cítaras e liras.

As harpas têm muitas cordas, e cada uma delas produz uma nota diferente. O comprimento da corda determina o som que ela produz. As notas mais agudas saem das cordas mais curtas. As harpas modernas têm o formato aproximado de um triângulo. Para tocá-las, o músico dedilha as cordas.

Nos alaúdes, as cordas ficam presas ao corpo do instrumento e se estendem ao longo de um braço que se projeta do corpo. O corpo constitui a caixa de ressonância, que amplifica o som. Alguns exemplos de alaúdes são o violino, a viola, o violoncelo, o contrabaixo, o violão, o cavaquinho, o banjo, o bandolim e a guitarra. Diferentemente das harpas, esses instrumentos geralmente possuem apenas quatro ou cinco cordas. Para produzir som, o músico pressiona as cordas com uma mão; com a outra, ele pode dedilhá-las, friccioná-las com um arco ou tangê-las com um pequeno acessório chamado palheta.

Nas cítaras, as cordas ficam dispostas ao longo do corpo do instrumento. As cordas têm o mesmo comprimento que o corpo. As cítaras podem ter vários formatos, desde um tubo longo e estreito até uma caixa achatada e larga. O número de cordas também varia, desde uma até dúzias delas. As cordas são dedilhadas ou tocadas com um arco. Em algumas versões do instrumento, um pequeno martelo é usado para golpeá-las.

A família das liras teve grande importância na Antiguidade, porém hoje em dia é encontrada apenas em certas áreas do leste da África. As liras consistem de um corpo (cujo formato pode ser oval, redondo ou retangular), do qual se projetam dois braços. Esses braços são unidos no alto por uma barra. As cordas se esticam da barra até o corpo do instrumento. Para tocar a lira, o músico dedilha as cordas.

Figura 3: harpa



Fonte: <https://br.pinterest.com/pin/307792955768850967/>

Figura 4: Alaúde



Fonte: <http://www.todosinstrumentosmusicais.com.br/imagens-do-instrumento-alaude.html>

Figura 5: Cítara



Fonte: <https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-789907910-citara-unio-antiguidade-instrumento-decoraco-usado- JM>

Instrumentos de sopro

Nos instrumentos de sopro, o som é gerado por um fluxo de ar que percorre o corpo do instrumento ou flui em volta dele. Na maioria dos casos, o ar vem da boca do instrumentista. Nas orquestras ocidentais modernas, os instrumentos de sopro se dividem em metais e madeiras. Os metais são feitos de latão ou de outro metal; as madeiras, apesar do nome, também podem ser feitas de metal. Os instrumentos do grupo dos metais incluem o trombone, o trompete, a trompa e a tuba. Dentre as madeiras estão o clarinete, o saxofone, a flauta e o oboé.

Outro sistema de classificação divide os instrumentos de sopro em instrumentos de aresta, de palheta e de bocal. Nos instrumentos de aresta, o músico sopra o ar junto à borda dura do instrumento. Um exemplo conhecido é a flauta de Pã, comum na América Latina, na Ásia e nas ilhas do Pacífico. Essas flautas são formadas por

diversos tubos de diferentes comprimentos, unidos uns aos outros. O som é produzido quando o músico sopra na parte superior dos tubos, enviando o ar para dentro deles.

Os instrumentos de palheta possuem pelo menos uma lâmina fina feita de cana-do-reino ou de metal. O som é produzido quando o ar provoca a vibração dessa peça. O clarinete e o saxofone possuem uma palheta cada, enquanto o oboé e o fagote têm duas palhetas. Nesses casos, a palheta fica presa junto à embocadura (a parte do instrumento onde o músico coloca a boca para soprar). No caso da gaita de fole, as lâminas ficam posicionadas em diversas partes do instrumento. Esse tipo de gaita é formado por vários tubos e por uma bolsa (o fole). Quando o ar é forçado para fora do fole, as palhetas vibram e o som é produzido.

Nos instrumentos de bocal, é a vibração dos lábios comprimidos do músico que põe o ar em movimento. Essa classe inclui o trompete, a tuba e o trombone, porém existem vários outros em diversas partes do mundo. O didjeridu, por exemplo, é um instrumento de bocal típico dos aborígenes da Austrália.

Figura 6: Instrumentos de sopro



Fonte: <https://soaresdenis.wordpress.com/instrumentossopro/>

A evolução dos instrumentos musicais

Os instrumentos musicais possuem grande poder de despertar e expressar emoções humanas e já foram empregados para muitas finalidades. Em alguns lugares se pensava que tivessem poderes mágicos. Em muitas culturas, tambores eram usados para afastar maus espíritos. Religiões de todo o mundo usam instrumentos em

cerimônias de culto e para festejar datas sagradas. Instrumentos musicais eram usados para anunciar a chegada de reis e para instigar soldados à batalha. Além disso tudo, eles são tocados por prazer e para entretenimento.

Os instrumentos podem ser tocados individualmente ou em grupo. Um grupo de músicos que tocam juntos é conhecido como banda. Na música erudita ocidental, as composições tocadas por um grupo pequeno de músicos são conhecidas como música de câmara (pequeno grupo de instrumentos ou vozes que tradicionalmente podiam acomodar-se nas câmaras de um palácio). Um grupo maior de instrumentistas é chamado de orquestra.

Referências

Música - origem - Sons e instrumentos

Valéria Peixoto de Alencar*,

Especial para a Página 3 Pedagogia & Comunicação

<https://educacao.uol.com.br/disciplinas/artes/musica---origem-sons-e-instrumentos.htm>

A música no contexto da Psicopedagogia e a utilização de instrumentos musicais como ferramentas de aprendizagem

Francisco Lindoval de Oliveira

Professor tutor universitário, licenciado em Turismo (UNIRIO), especialista em EJA (UFF) e em Psicopedagogia Clínica e Institucional (Unesa), músico com formação em instrumentos de cordas e teoria musical (Escola de Música Municipal Chiquinha Gonzaga – Itaguaí/RJ)

<https://educacaopublica.cecierj.edu.br/artigos/20/10/a-musica-no-contexto-da-psicopedagogia-e-a-utilizacao-de-instrumentos-musicais-como-ferramentas-de-aprendizagem>

Instrumento musical

<https://escola.britannica.com.br/artigo/instrumento-musical/481992>

A história dos instrumentos

Antônio Rodrigues 14 de setembro de 2011

<https://movimento.com/a-historia-dos-instrumentos/>

Apêndice E: Quiz sobre questões referentes ao texto sobre história da música

Após a leitura e uma breve conversa com os alunos sobre o texto, lançou-se um quiz nos mesmos moldes do realizado anteriormente sobre conceitos físicos, mas esse contou com 10 perguntas e os alunos tiveram 20 segundos para responder cada uma delas, o objetivo desta atividade foi a de realizar uma reflexão e aferição da compreensão do texto e da explicação do mesmo por parte do professor. O quizz está disponível no link <https://kahoot.it/challenge/?quiz-id=1ede304e-fc35-417e-af04-46fc798e011a&single-player=true> onde os interessados podem fazer uso na aplicação de suas aulas.

A música é uma combinação de ritmo, harmonia e melodia?



19



◆ Verdadeiro

▲ Falso

A música apareceu antes da linguagem verbal.



19



◆ Verdadeiro

▲ Falso

A música existe como entretenimento desde a idade média?



19



Verdadeiro

Falso

A quem as culturas primitivas atribuíam a criação dos instrumentos musicais?



17



Ao Sol

A Lua

Aos Deuses

A Terra

Qual destas não é uma categoria de instrumentos musicais?



19



Sopros

Cordas

Percussão

Ressonantes

A palavra música deriva do grego e significa?



19



Harmonia

Paz

Sons da natureza

Arte das musas

Qual dos instrumentos abaixo é de percussão?



19



Triângulo

Harpa

Flauta pan

Alaúde

Qual dos instrumentos abaixo é de sopro?



18



Surdo de marcação

Chocalho

Clarinete

Pratos

Nos instrumentos de cordas, o comprimento e a espessura da corda determinam o som que ela produz?



19



◆ Verdadeiro

▲ Falso

Como chamamos um grande grupo musical de instrumentistas?



19



▲ Fanfara

◆ Orquestra

● Banda

■ Músicos de câmara

Apêndice F: Respostas do quiz sobre história da música e dos instrumentos

1 - True or false A música é uma combinação de ritmo, harmonia e melodia?	 20 sec
<input checked="" type="checkbox"/> True	✓
<input type="checkbox"/> False	✗
2 - True or false A música apareceu antes da linguagem verbal.	 20 sec
<input checked="" type="checkbox"/> True	✓
<input type="checkbox"/> False	✗
3 - True or false A música existe como entretenimento desde a idade média?	 20 sec
<input type="checkbox"/> True	✗
<input checked="" type="checkbox"/> False	✓
4 - Quiz A quem as culturas primitivas atribuíam a criação dos instrumentos musicais?	 20 sec
<input type="checkbox"/> Ao Sol	✗
<input type="checkbox"/> A Lua	✗
<input checked="" type="checkbox"/> Aos Deuses	✓
<input type="checkbox"/> A Terra	✗

5 - Quiz

Qual destas não é uma categoria de instrumentos musicais?



20 sec

-  Sopro ✗
-  Cordas ✗
-  Percussão ✗
-  Ressonantes ✓

6 - Quiz

A palavra música deriva do grego e significa?



20 sec

-  Harmonia ✗
-  Paz ✗
-  Sons da natureza ✗
-  Arte das musas ✓

7 - Quiz

Qual dos instrumentos abaixo é de percussão?



20 sec

-  Triângulo ✓
-  Harpa ✗
-  Flauta pan ✗
-  Alaúde ✗

8 - Quiz

Qual dos instrumentos abaixo é de sopro?



20 sec

- | | | |
|--|-------------------|---|
| | Surdo de marcação | ✗ |
| | Chocalho | ✗ |
| | Clarinete | ✓ |
| | Pratos | ✗ |

9 - True or false

Nos instrumentos de cordas, o comprimento e a espessura da corda determinam o som que ela produz?



20 sec

- | | | |
|--|-------|---|
| | True | ✓ |
| | False | ✗ |

10 - Quiz

Como chamamos um grande grupo musical de instrumentistas?



20 sec

- | | | |
|--|-------------------|---|
| | Fanfarrã | ✗ |
| | Orquestra | ✓ |
| | Banda | ✗ |
| | Músicos de câmara | ✗ |

Apêndice G: Produto Educacional

Neste apêndice apresenta-se o Produto Educacional (PE) que é uma produção a parte da dissertação, produzido para facilitar o uso e aplicação da UEPS de acordo com as normas do MNPEF/SBF.



PRODUTO EDUCACIONAL - Material Didático-Pedagógico

HELTON DINIZ ROCHA

UTILIZANDO O *SOFTWARE Audacity* NO ESTUDO DE ONDAS SONORAS PARA UMA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA

Produto Educacional da Dissertação de Mestrado apresentado ao Programa de Pós-Graduação do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física – Polo UEM, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física

Orientadora: Prof^ª. Dra. Shalimar Calegari Zanatta

MARINGÁ

2022

SUMÁRIO

Apresentação	113
Justificativa	113
Objetivo Geral:	114
Objetivos Específicos:	114
Público alvo	114
Papel do Professor	114
Avaliação	115
Metodologia didático-pedagógica	115
1ª semana (4 aulas)	118
Questionário de conhecimentos prévios	118
Apresentação do tema para os alunos – Texto elaborado durante o desenvolvimento deste PE	121
1.3 Atividade prática - Construção da Mini harpa	133
1.3.1 Materiais Utilizados:	133
1.3.2 Tabela de materiais utilizados e estimativa de preços	134
1.3.3 Montagem da Mini Harpa	135
1.3.4 Análise do som emitido pela mini harpa utilizando o <i>software Audacity</i>	138
1.3.5 Exemplo de um Mapa Conceitual final – aula 1	141
2ª Semana (4 aulas)	142
2.1 Atividade prática - Determinando a velocidade do som no ar	142
2.1.1 Materiais utilizados	143
2.1.2 Tabela de materiais utilizados e estimativa de preços	143
2.1.3 Montagem Experimental e roteiro de atividades	144
2.2 Quiz sobre os conceitos físicos trabalhados	146
2.3 Atividade prática - Construção do tambor	149
2.3.1 Materiais Utilizados	149
2.3.2 Tabela de materiais utilizados e estimativa de preços	150
2.3.3 Montagem experimental	151
2.3.4 Roteiro de atividades após a construção do tambor	152
2.3.5 Exemplo e um mapa conceitual como esperado – oficina 2	154
3ª Semana – (4 aulas)	156
3.1 Texto, elaborado pelo autor, a partir das referências bibliográficas apontadas abaixo	156
Instrumentos de percussão	160
Instrumentos de corda.....	161
Instrumentos de sopro	163
3.1.2 Quiz sobre o texto: Breve história da música e dos instrumentos musicais	165
3.2 Construção da Flauta Pan	168
3.2.1. Materiais Utilizados:	169

3.2.2 Tabela de materiais utilizados e estimativa de preços	170
3.2.3 Montagem Experimental.....	171
3.2.4 Roteiro de atividades após a construção da Flauta Pan	172
3.2.5 Perspectiva para o esboço de um MC	174
Questionário final:	176
Respostas do Questionário inicial	179
Respostas do questionário final:.....	182
Respostas do quiz sobre conceitos de Física	183
Respostas do quiz sobre história da música e dos instrumentos	185
Considerações finais	188
Referências	191

Apresentação

Este Produto Educacional - PE é uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa -UEPS que foi elaborada e aplicada no Ensino Médio, no curso de formação de professores para promover a aprendizagem significativa dos conceitos envolvidos na propagação das ondas sonoras, por meio do *software Audacity*.

Esta UEPS está organizada na forma de oficina, composta por três encontros de 4 horas cada.

Visando a proposta de Educação em Tempo Integral e um maior protagonismo e construção por parte dos alunos, o PE apresenta roteiros para que os instrumentos musicais utilizados sejam confeccionados durante a realização da oficina com o objetivo de motivar o aluno e mostrar os desafios da luteria. De acordo com a Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel - TAS, a motivação é uma condição indispensável para que a aprendizagem significativa ocorra.

A sequência de atividades didático metodológicas, aqui planejada, está disposta no quadro 1. Já no quadro 2, temos os conteúdos abordados durante a oficina.

O conteúdo sobre ondulatória, conforme as Diretrizes Curriculares do Estado do Paraná (2008), está inserido no conteúdo estruturante do eletromagnetismo.

Convidamos você, professor, que utilize e divulgue aos demais professores este PE. Como resultado geral, ele é motivador e se mostrou eficiente para promover a aprendizagem significativa dos conceitos sobre ondas sonoras.

Justificativa

Como professor de Física da Educação Básica, um dos desafios que enfrentamos é o questionamento do aluno sobre os motivos para estudar este ou aquele conteúdo. Assim, o professor transmite o conhecimento acumulado pela humanidade e, ao mesmo tempo, procura mostrar sua contextualização. As teorias pedagógicas do aprender a aprender defendem a transmissão dos conteúdos do cotidiano como solução para este impasse. Em oposição a isto, neste trabalho, apontamos que a solução é dada por Ausubel que defende a aprendizagem significativa. Por sua vez, não são os conteúdos que devem ser significativos, mas sim, a forma de aprendizagem.

No entanto, para que a aprendizagem ocorra, como afirma Ausubel, o aluno deve ter o desejo de aprender. Por isso, esta proposta didática tem um caráter

motivacional, dado pela construção dos instrumentos musicais. A confecção destes instrumentos também auxilia o professor na retomada do conteúdo promovendo a integração e reconciliação entre os conceitos. A aprendizagem significativa requer que o aluno organize hierarquicamente seus conceitos, o que implica numa dinâmica de idas e vindas na cadeia hierárquica.

Objetivo Geral:

Promover a aprendizagem significativa dos conceitos da ondulatória por meio do *software Audacity*, emitido por instrumentos musicais lúdicos.

Objetivos Específicos:

Identificar os problemas da luteria;
Reconhecer o processo histórico e evolutivo dos instrumentos musicais;
Relacionar os conceitos da ondulatória com os conceitos envolvidos na propagação do som.

Público alvo

Estudantes do Ensino Médio.

Papel do Professor

O professor tem protagonismo no processo de ensino. É este profissional que escolhe as metodologias didático-pedagógicas, os conteúdos, a profundidade de abordagem, avalia o nível de aprendizagem do aluno e retoma os conteúdos, quando julga necessário. Neste trabalho, devido ao referencial teórico utilizado, a TAS, a sequência de atividades propostas que compõem todo o processo metodológico é definida como Unidade de Ensino Potencialmente Significativa e abreviada por UEPS. Trata-se de uma sequência previamente planejada para promover a aprendizagem significativa.

Cabe ao aluno tomar a decisão de aprender. E de acordo com Ausubel, esta decisão depende da motivação que ele tem.

Avaliação

De acordo com Moreira (1998), na TAS, o professor deve diagnosticar o que o aluno já sabe sobre o tema, os subsunçores e, iniciar a o ensino a partir deste conhecimento. Portanto, a avaliação diagnóstica é a primeira etapa do processo. Neste trabalho, utilizamos um questionário para levantar os subsunçores dos alunos. Por sua vez, a avaliação teve caráter constante e contínuo. As avaliações se deram por meio da utilização de quizzes e mapas conceituais - MC, elaborados de forma individual e coletiva. É a partir da construção e revisão dos MC's ao longo da aplicação do PE que observa-se o progresso do estudante e seu amadurecimento e modificações nas relações conceituais.

Metodologia didático-pedagógica

O quadro 1 mostra as atividades e a sequência com que elas foram desenvolvidas (UEPS). O quadro 2 traz os conteúdos abordados.

Na sequência apresentamos o passo a passo utilizado para desenvolver as atividades que compõem a UEPS.

Quadro 1: Resumo da UEPS

Cronograma	Número de aulas	Desenvolvimento
1ª semana	4 aulas de 50 minutos, correspondendo a uma tarde	<ul style="list-style-type: none"> ● Aplicação de um questionário diagnóstico; ● Apresentação do tema a ser trabalhado e uma breve discussão sobre som e instrumentos sonoros; ● Apresentação e leitura do texto sobre ondas mecânicas: frequência, comprimento de onda, amplitude, velocidade de propagação do som, qualidades fisiológicas do som, interferência, ondas estacionárias, cordas vibrantes e ressonância; ● Construção da mini harpa e exploração dos conceitos de qualidades fisiológicas do som, interferência, ondas estacionárias, cordas vibrantes e ressonância; ● Determinação da velocidade de propagação do som, da frequência e período com o uso do <i>software Audacity</i>; ● Resolução de exercícios; ● Abordagem histórica do surgimento de instrumentos de cordas e as relações matemáticas para calcular a frequência das notas musicais; ● Breve discussão sobre as notas musicais em instrumentos de cordas; ● Início da construção do MC, utilizando o programa Cmaptools.
2ª semana	4 aulas de 50 minutos	<ul style="list-style-type: none"> ● Uso do <i>Software Audacity</i> para determinação da velocidade do som emitido pela mini harpa; ● Quiz; ● Construção do tambor e discussão sobre outros objetos capazes de produzir som por meio da percussão e sobre o conceito de timbre e reflexão do som; ● Exploração, por meio do <i>software Audacity</i>, da frequência das vozes dos estudantes e do som emitido pelo tambor; discussão sobre sons graves e agudos;

		<ul style="list-style-type: none"> ● Abordagem histórica e cultural sobre o surgimento e a utilização de instrumentos de percussão; ● Continuidade do MC iniciado na aula anterior;
3ª semana	4 aulas de 50 minutos	<ul style="list-style-type: none"> ● Leitura e interpretação do texto sobre a história da música e dos instrumentos musicais; ● Quiz referente ao texto sobre a história da música e dos instrumentos musicais; ● Construção da flauta pan e exploração dos sons emitidos por tubos; ● Utilização do <i>software Audacity</i> para determinar as qualidades fisiológicas do som emitidos por tubos sonoros; ● Comparação dos tubos sonoros com o ouvido humano; ● Abordagem histórica do surgimento de instrumentos de sopro e a sua importância no decorrer da história da humanidade; ● Breve discussão sobre as notas musicais em instrumentos de sopro; ● Finalização do MC; ● Avaliação final por meio da retomada do questionário inicial, acrescido de mais questões (aplicado após a finalização do MC)

Fonte: o autor.

Quadro 2. Contextualização dos conteúdos abordados no PE.

Conteúdo Estruturante	Conteúdos Básicos	Conteúdos Específicos
ONDAS	ONDAS MECÂNICAS, Comprimento, frequência, velocidade de propagação, dimensão das ondas, formas de propagação, qualidades fisiológicas do som.	-Comprimento, velocidade e frequência da onda; Nó, Anti-nó, ventre, Ressonância, Interferência, Ondas estacionárias; - O som como onda mecânica, - Qualidades fisiológicas do som: volume, intensidade e timbre; - Reflexão do som: reforço, reverberação e eco; - Cordas vibrantes; - Tubos de som: abertos e fechados - o caso do ouvido; - História dos instrumentos sonoros: sopro, cordas e percussão; - Características de instrumentos sonoros;

Fonte: DCE de Física do estado do Paraná (2008)

1ª semana (4 aulas)

Questionário de conhecimentos prévios

1 – Sobre instrumentos de corda, de sopro e de percussão, assinale as alternativas corretas:

() Instrumentos de percussão são utilizados para dar ritmo as músicas, tendo como exemplos tambor, pandeiro e surdo.

() Nos instrumentos de cordas, o comprimento das cordas determina o som que o instrumento produz.

() Nos instrumentos de sopro, quanto maior for o comprimento do tubo, mais grave será o som.

() Nos instrumentos de sopro, em tubos menores obtemos sons mais graves, ou seja, sons com frequências mais baixas.

() Nos instrumentos de cordas, o som obtido independe do comprimento e de quanto as cordas estão esticadas.

2 – Sobre a propagação do som, é correto afirmar:

- a) O som se propaga somente no vácuo.
- b) O som se propaga em qualquer meio, inclusive no vácuo.
- c) O som depende de um meio material para se propagar.
- d) O som se propaga apenas no ar.

3 – Qual das alternativas abaixo é a definição de onda?

- a) Onda é um pulso que se propaga de um ponto a outro transportando energia sem transportar matéria. As ondas podem ser classificadas com relação à sua natureza de vibração como mecânicas e eletromagnéticas.
- b) Onda é um pulso que se propaga de um ponto a outro transportando energia e matéria. As ondas podem ser classificadas com relação à sua natureza de vibração como transversais e longitudinais.
- c) Onda é uma propagação de um lugar para outro que depende sempre de um meio material para que essa propagação aconteça. As ondas podem ser classificadas com relação à sua natureza de vibração como sonoras e eletromagnéticas.
- d) Onda é um pulso que se propaga de um ponto a outro sem transportar energia e matéria. As ondas podem ser classificadas com relação à sua natureza de vibração como mecânicas e sonoras.

4 – Segundo a natureza das ondas, elas podem ser classificadas como:

- a) Transversais e longitudinais.
- b) Mecânicas e sonoras.
- c) Sonoras e eletromagnéticas.
- d) Mecânicas e eletromagnéticas.

5 – Quais palavras melhor completam a frase: “O som é classificado como uma onda _____, _____ e _____ porque _____ de um meio material para se propagar.

- a) Mecânica, longitudinal, tridimensional, precisa.
- b) Eletromagnética, transversal, adimensional, não precisa.
- c) Sonora, longitudinal, tridimensional, precisa.
- d) Mecânica, transversal, tridimensional, não precisa.

6 – Qual é a definição de volume?

- a) É a altura do som.
- b) Está relacionado a intensidade sonora, que é a quantidade de energia emitida por uma fonte sonora por unidade de tempo em relação a certa área.
- c) São todos os sons ouvidos pelos seres humanos.
- d) É a intensidade com que uma nota é executada.

7 – Qual qualidade fisiológica do som faz com que possamos diferenciar a voz de uma pessoa ou o som de diferentes instrumentos musicais?

- a) Altura.
- b) Timbre.
- c) Intensidade.
- d) Frequência.
- e) Comprimento da onda sonora.

8 – Um dos conceitos importantes no estudo do som é o de “frequência”, fisicamente, qual a definição deste conceito?

- a) É o número de oscilações de ondas por minuto, e sua unidade de medida é o segundo.
- b) É o número de oscilações de ondas por segundo, e sua unidade de medida é Hertz (Hz).
- c) É o número de ondas que passa em um determinado ponto.
- d) Está relacionado a quantidade de ondas que são emitidas.

9 – Considerando um instrumento de cordas, é correto afirmar que:

- a) A espessura da corda não interfere na nota musical a ser emitida.
- b) Todos os instrumentos de cordas emitem sons idênticos para uma mesma nota.
- c) Existe uma relação entre o tamanho da corda e a nota musical a ser emitida.
- d) Pode-se tocar e segurar em qualquer lugar de uma corda que ela emitirá sempre o mesmo som.

10 – Sobre instrumentos de sopro, é correto afirmar que:

- a) Ao soprar um tubo, o som emitido independe do comprimento do tubo.
- b) O som só pode ser emitido em tubos com uma das pontas fechadas.
- c) Um tubo curto produz um som mais grave.
- d) Um tubo curto produz um som mais agudo.

Apresentação do tema para os alunos – Texto elaborado durante o desenvolvimento deste PE

Ondas Sonoras

Este texto foi elaborado a partir da leitura de diversas referências, descritas abaixo, e utiliza o Sistema Internacional de medidas (SI):

GRILLO, Maria Lúcia. PEREZ, Luiz Roberto. Organizadores. **Física e música**. São Paulo. Editora Livraria da Física, 2016.

HALLIDAY, D. RESNICK, R. WALKER, J. **Fundamentos de Física – Gravitação, Ondas e Termodinâmica**. 6ª edição. Editora LTC. Rio de Janeiro, 2001.

HELERBROCK, Rafael. “**Ressonância**”; Brasil Escola. Disponível em: <https://brasilescola.uol.com.br/fisica/ressonancia.htm> acesso em 04 de maio de 2021 às 21:45 horas.

JÚNIOR, Joab Silas da Silva. “**O que é som?**”; *Brasil Escola*. Disponível em: <https://brasilescola.uol.com.br/o-que-e/fisica/o-que-e-som.htm> acesso em 03 de maio de 2021 às 22:40 horas.

MENDES, Mariane. “**Ondas**”; Brasil Escola. Disponível em: <https://brasilescola.uol.com.br/fisica/ondas.htm> acesso em 03/05/2021 às 21:30 horas.

NUSSENZVEIG, Herch Moysés. **Curso de Física básica – Volume 2**. 4ª edição. Editora Blucher. Rio de Janeiro, 2002.

PELEGRINI, Márcio. **Minimanual compacto de Física: teoria e prática** / Márcio Pelegrini. São Paulo: Rideel, 1999.

TREFIL, James. HAZEN, Robert. **Física Viva: Uma Introdução à Física Conceitual: vol. 2**. Editora LTC, Rio de Janeiro (2006).

Fisicamente falando, ondas são perturbações que se propagam no espaço vazio ou em qualquer outro meio. Elas são classificadas em relação à natureza

(mecânicas ou eletromagnéticas), forma de vibração (transversais ou longitudinais) e direção de propagação (unidimensionais, bidimensionais e tridimensionais) (TREFIL, 2006).

Estas perturbações transportam energia e, **de acordo com a sua natureza**, as ondas podem ser:

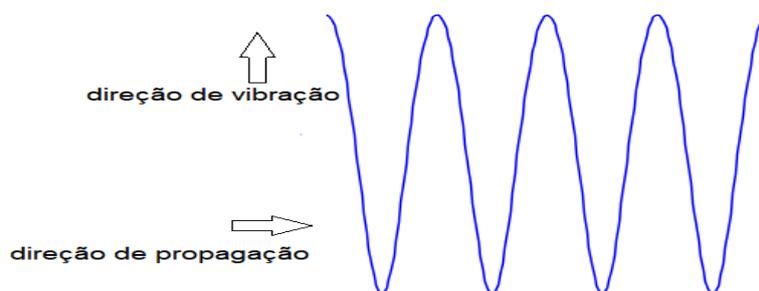
Ondas mecânicas: são as ondas que se propagam em meios materiais. Por exemplo: as ondas marítimas, ondas sonoras, ondas sísmicas, etc.

Ondas eletromagnéticas: são oscilações do campo elétrico e, como consequência desta oscilação, promovem oscilação de um campo magnético associado e não precisam de um meio material para se propagarem. Temos como exemplos: a luz visível, raio X, micro-ondas, ondas de transmissão de rádio e televisão, entre outras.

Quanto a **forma de vibração**, podemos definir as ondas em:

Transversal: quando as partículas do meio de propagação vibram perpendicularmente à direção de propagação da onda. Um exemplo desse tipo de onda é a luz.

Figura 1: esquema de propagação de uma onda transversal em um determinado instante.

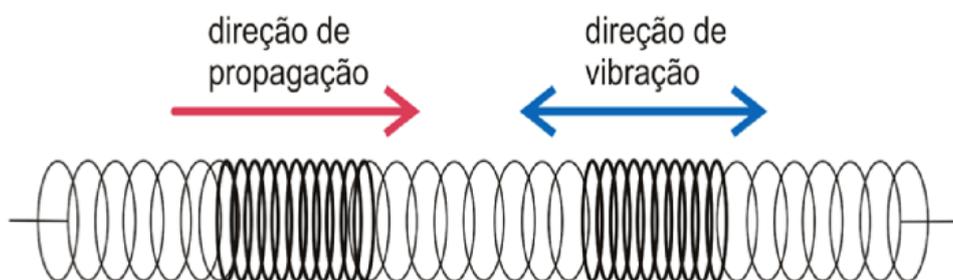


Fonte:

https://www.google.com/search?q=Onda+transversal&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=2ahUKEwin9uSco_bwAhVsELkGHVq5DcoQ_AUoAXoECAEQAw&biw=1366&bih=625#imgre=WsZT2MHxrwTm5M

Longitudinal: quando as partículas do meio de propagação vibram na mesma direção em que a onda se propaga, como é o caso das ondas sonoras.

Figura 2: Esquema de propagação de uma onda longitudinal em um determinado instante.



Fonte: https://www.researchgate.net/figure/Figura-9-Ilustracao-de-onda-longitudinal_fig5_325942399

Quanto à **direção de propagação**, as ondas podem ser classificadas:

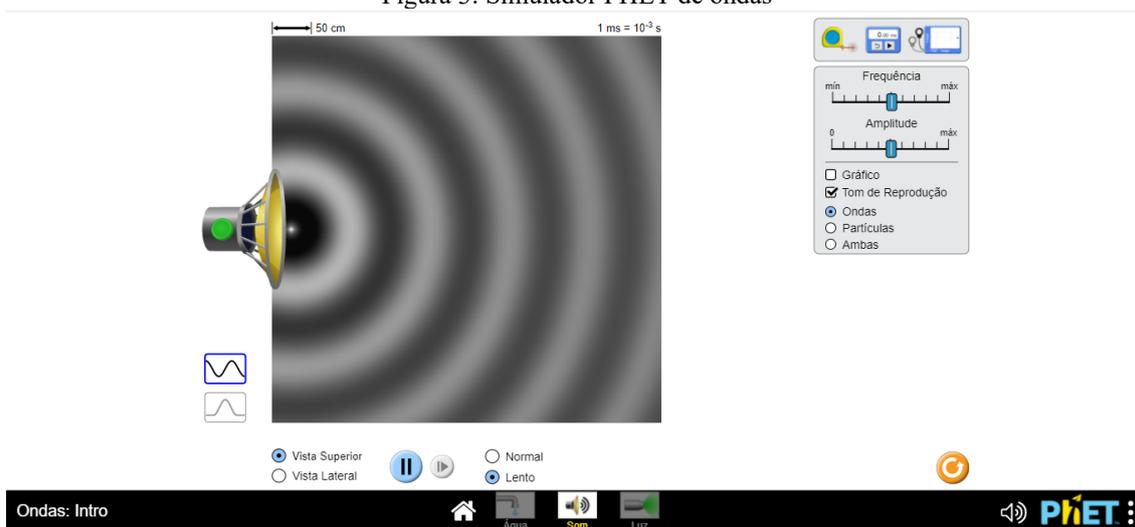
unidimensionais: quando se propagam em apenas uma direção, como a onda em uma corda;

bidimensionais: se a propagação ocorre em duas direções, que é o caso da onda gerada por uma perturbação na água;

tridimensionais: que se propagam em três dimensões, como as ondas sonoras.

Para que se possa compreender o que se resulta a partir das ondas, veja no *link* abaixo uma demonstração de ondas na água, no ar (som) e ondas de luz:

Figura 3: Simulador PHET de ondas

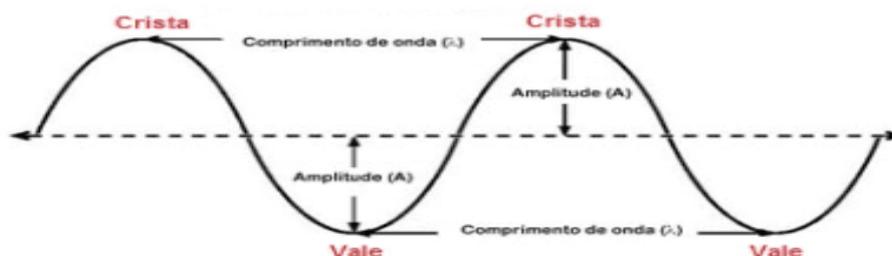


Fonte: https://phet.colorado.edu/sims/html/waves-intro/latest/waves-intro_pt_BR.html

Propriedades das ondas

A caracterização de uma onda depende de suas propriedades, tais como: velocidade de propagação, amplitude, período e frequência (HALLIDAY, 2001). Para uma melhor compreensão dessas propriedades, veja a seguir a representação gráfica de uma onda em um determinado instante:

Figura 4: Onda e suas características



Fonte: http://explicatoruim.com/CFQ8/images/onda_caracteristicas.jpg

A parte mais alta de uma onda é chamada de crista e a mais baixa, de vale. O comprimento de onda é definido pela distância entre duas, cristas sucessivas ou por dois vales sucessivos (PELEGRINI, 1999).

Observe que a onda representa um fenômeno oscilatório. Ou seja, ele se repete ao longo do tempo.

Podemos relacionar o comprimento de onda, que pode ser representado pela letra grega λ , com sua velocidade de propagação c , com a frequência de oscilação por unidade de tempo (segundos):

$$\lambda = \frac{c}{f}. \quad (1)$$

Sendo:

λ – o comprimento de onda (metros);

c – velocidade de propagação da onda (c é a representação da velocidade das ondas luminosas, este valor é aproximadamente igual a $3 \cdot 10^8$ m/s e representa o maior valor possível para a velocidade de qualquer coisa do universo);

f – frequência (Hertz).

Da equação (1), levando em conta que estamos falando de ondas sonoras, podemos obter a velocidade para ondas mecânicas:

$$v = \lambda \cdot f. \quad (2)$$

Abaixo, segue o link de um simulador para verificar a velocidade do som no ar:

https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?s=kv_rychlost_zvuku&l=en

Podemos definir também o período, representado por T e dado em segundos, como o tempo que a perturbação leva para fazer uma oscilação completa. Observe que a frequência é o inverso do período e dada por Hertz [Hz]:

$$f = \frac{1}{T}. \quad (3)$$

E a velocidade de propagação da onda pode ser dada por:

$$v = \frac{\lambda}{T}. \quad (4)$$

Note, que a equação (4) é uma outra forma de escrever a equação da velocidade, pois é a divisão de uma distância pelo tempo.

O que é som?

O som é uma perturbação que se desloca num meio material, definida como uma onda mecânica, longitudinal e tridimensional. O **som** precisa de um meio para se propagar, e é **tridimensional**, porque o espaço é isotrópico (tem as mesmas propriedades físicas em qualquer direção) e homogêneo (tem a mesma densidade média em todos os pontos) e de fato, ele é observado em todas as direções. A sua forma de propagação é **longitudinal**, pois a direção de propagação é paralela à vibração que a gerou (NUSSENZVEIG, 2002).

Características fisiológicas do som

Além do comprimento de onda descrito anteriormente, o som possui características fisiológicas, como: (TREFIL, 2006)

Altura: relacionada com a frequência do som, sendo que os sons considerados altos são os sons agudos, os quais tem altas frequências para o ouvido

humano, já os sons baixos, são os sons graves, os quais tem baixas frequências. Dentre os exemplos de som grave podemos citar a voz masculina e de som agudo a voz feminina.

Timbre: é a característica que nos permite diferenciar sons, inclusive os de mesma frequência e intensidade, o timbre é o modo de vibração da onda sonora e cada fonte sonora possui seu timbre característico. É essa característica do som que nos permite diferenciar a voz das pessoas.

Intensidade: diz respeito a quantidade de energia que a onda sonora transmite e está relacionada à amplitude, sendo que quanto maior amplitude, maior intensidade, ou seja, sons com alta intensidade são também chamados de sons fortes.

Podemos dizer que a intensidade sonora I que flui de uma fonte e atravessa determinada área A , é:

$$I = \frac{P}{A}. \quad (5)$$

Sendo P , a potência do som, a qual é medida em watts (W).

De acordo com o Sistema Internacional de Unidades, SI, a intensidade sonora deve ser medida em Watts por metro quadrado (W/m^2).

A intensidade sonora mínima percebida pelo ser humano é da ordem de $10^{-12} W/m^2$, que equivale a 0 decibel (dB). A sensação auditiva do ouvido humano vai do mínimo audível, citado anteriormente, até o limiar da dor, cerca de $50 W/m^2$ (120 dB).

Por meio da grandeza denominada de **nível de intensidade sonora**, pode-se medir a sensação que o som produz sobre o sistema auditivo humano, uma vez que o nível de intensidade sonora é uma grandeza comparativa entre duas intensidades sonoras (GRILLO, 2016).

O nível de intensidade sonora (β) está ligado à comparação entre duas unidades, no caso, a intensidade inicial de referência I_0 (que é o valor mínimo audível, $10^{-12} W/m^2$) e o nível de intensidade I relacionam-se conforme a equação (6):

$$\beta = 10 \log \left(\frac{I}{I_0} \right). \quad (6)$$

Conforme equação (6), quando temos $I = I_0$, temos que $\beta = 10 \log 1$, que é igual a 0, e a unidade de β é denominada decibel (dB), o qual é um

número relativo que permite representar as relações entre duas grandezas do mesmo tipo (NUSSENZVEIG, 2002).

De acordo com a equação (6), pode-se obter (tabela 1) as relações entre a potência de uma onda sonora e o nível em Decibéis (dB). Observe que a função logarítmica facilita a representação de números grandes ou pequenos.

Tabela 1: Níveis de Intensidade Sonora

I (W/m²)	β (Nível de Intensidade Sonora em dB)
1 x 10⁻¹²	0
0	1
10	10
100	20
1.000	30
10.000	40
100.000	50
1.000.000	60
1.000.000.000.000	120

Fonte: HALLIDAY, D. RESNICK, R. WALKER, J. Fundamentos de Física – Gravitação, Ondas e Termodinâmica. 6ª edição. Editora LTC. Rio de Janeiro, 2001.

Escutamos todos os sons?

O ouvido humano é capaz de perceber sons com intervalo de frequências, entre **20 e 20.000 Hz**. Os sons abaixo do mínimo audível são denominados de *infrassons* e os acima do máximo audível, são denominados de *ultrassons*. O que para nós pode ser infrassom ou ultrassom pode ser som audível para outros animais. (TREFIL, 2006).

Velocidade do som

A velocidade é uma grandeza física de caráter vetorial, por isso caracterizada por módulo, direção e sentido, que determinam a variação da posição no decorrer do tempo e pode ser representada pela equação (7):

$$v = \frac{\Delta S}{\Delta t} = \frac{\text{variação de posição}}{\text{variação do tempo}}. \quad (7)$$

Quanto a velocidade do som, de acordo com Nussenzveig (2002), ela depende das propriedades que caracterizam o meio de propagação, como **densidade, temperatura e pressão, expresso pela equação (8):**

$$v = \sqrt{\frac{\beta}{d}} \quad (8)$$

Onde:

β = **módulo de elasticidade volumar**, grandeza que indica a maior ou menor capacidade do material de permitir a passagem das ondas sonoras,

d = **densidade do meio** onde ocorrerá a propagação das ondas.

A tabela a seguir mostra alguns valores de velocidades de propagação para diferentes meios.

Tabela 1.2: Velocidade do som em diferentes meios de propagação

Meio de propagação	Velocidade (m/s)
Ar (0 °C)	331
Ar (20 °C)	343
Água (0°C)	1402
Água (20 °C)	1482
Alumínio	6420

Fonte: HALLYDAY, D. RESNICK, R. WALKER, J. Fundamentos de Física – Gravitação, Ondas e Termodinâmica. 6ª edição. Editora LTC. Rio de Janeiro, 2001.

Note que a velocidade das ondas está diretamente relacionada com a proximidade entre os átomos que constituem o meio, quanto mais próximas as partículas, maior a velocidade de propagação do som (TREFIL, 2006).

Interferência, ondas estacionárias e ressonância

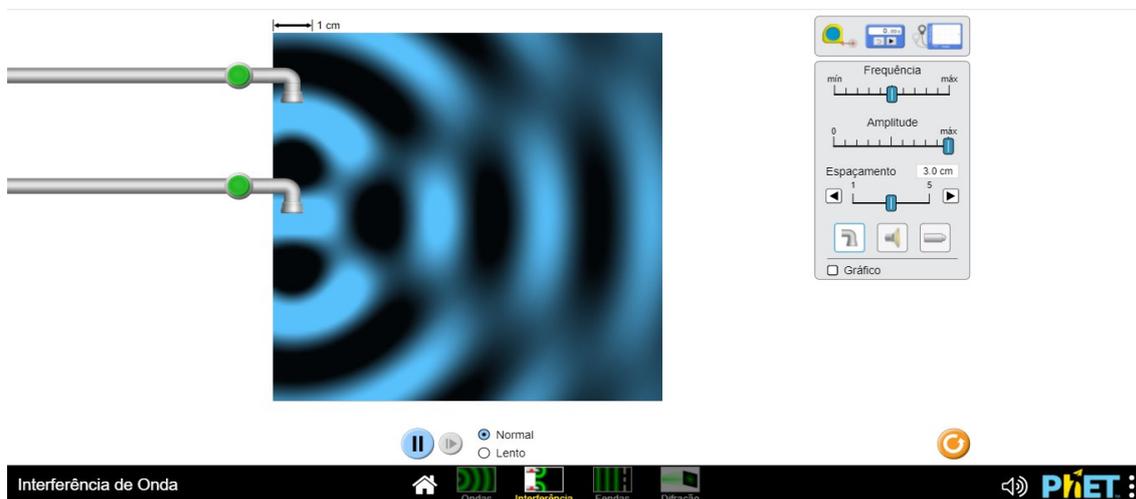
As interações entre duas ou mais ondas são descritas por fenômenos físicos, como exemplo, a interferência construtiva ou destrutiva, ondas estacionárias e ressonância.

Na interferência construtiva, as amplitudes das ondas se somam, ou seja, dois ou mais vales ou duas cristas (ou mais) se encontram, resultando numa onda de

maior amplitude. Na interferência destrutiva, o vale ou a crista de uma onda encontra a crista ou o vale da outra, de tal forma que se cancelam mutuamente (TREFIL, 2006).

Veja no link sugerido, a simulação da interferência:

Figura 5: Simulador PHET sobre interferência



Fonte: https://phet.colorado.edu/sims/html/wave-interference/latest/wave-interference_pt_BR.html

As **Ondas estacionárias** resultam da interferência de duas ondas com a mesma frequência e que se deslocam na mesma direção, porém em sentidos contrários. As notas musicais são representadas por este tipo de onda. (GRILLO, 2016). Quando falamos em instrumentos musicais, falamos em ressonância e ondas estacionárias.

A ressonância ocorre quando a frequência de oscilação da fonte emissora da onda é igual ou muito próxima à frequência natural do receptor desta mesma onda, acarretando no aumento da amplitude das oscilações deste sistema. Esta ampliação é muito maior do que outras formas de ampliação da onda (NUSSENZVEIG, 2002).

Ondas estacionárias, harmônicos e notas musicais

Um instrumento musical produz ondas estacionárias de diversos comprimentos de ondas, portanto, diversas frequências. As frequências que resultam em ressonância são chamadas de harmônicos. Então, os harmônicos, são um conjunto de frequências específicas que estão relacionados com as notas musicais (GRILLO, 2016).

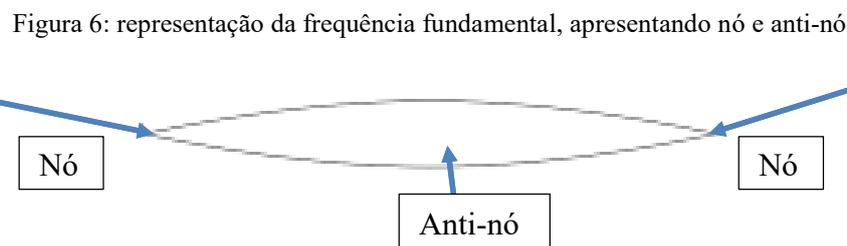
Um harmônico é sempre um múltiplo da frequência fundamental, ou seja, sempre é múltiplo da menor frequência capaz de produzir ondas estacionárias em um instrumento musical.

A menor frequência é também chamada de primeiro harmônico, sendo assim, os demais harmônicos da série são múltiplos do primeiro.

Harmônicos em instrumentos de cordas

Nos instrumentos de cordas o som é emitido quando exercemos uma força de tração em uma ou mais cordas. Considerando apenas uma corda, caso ela esteja tensionada (esticada) e vibrada, teremos ondas transversais que se superpõem às refletidas pelas extremidades, gerando ondas estacionárias, as quais em contato com o ar darão origem às ondas sonoras. A figura 6 mostra a imagem de uma corda com sua frequência fundamental (f_0), chamado de modo fundamental ou primeiro harmônico. Os outros modos de vibração para essa mesma corda serão múltiplos de f_0 , ou seja, o segundo harmônico será $2 f_0$, o terceiro $3 f_0$, e assim sucessivamente (NUSSENZVEIG, 2002).

Chamamos de nó os pontos onde a amplitude da onda estacionária é zero. A região entre os nós é chamada de anti-nó, como também mostra a figura 6.



Fonte: o autor

As frequências de uma corda vibrante, podem ser assim, calculadas:

$$f = \frac{n v}{2 L}. \quad (9)$$

Sendo:

f – frequência (Hz)

n – número de harmônicos (1, 2, 3, 4, ...)

L – Comprimento da corda dado em metros (m)

v – velocidade de propagação das ondas na corda (m/s)

Como na frequência fundamental estamos falando do primeiro harmônico, então para $n = 1$, a relação (9) fica:

$$f = \frac{v}{2L}. \quad (10)$$

Substituindo f da equação (10) em $v = \lambda f$, obtemos que $\lambda = 2L$ para a frequência fundamental, e $\lambda = \frac{2L}{n}$ para as demais frequências.

Ou seja, o comprimento de onda obtido em uma corda vibrando, na sua frequência fundamental, é igual ao dobro do comprimento da corda L .

Para determinarmos a velocidade de propagação das ondas nas cordas, considere F a força exercida sobre a corda de comprimento L e secção transversal de área S , com densidade volumétrica igual a μ , teremos:

$$v = \sqrt{\frac{F}{\mu S}}. \quad (11)$$

Considerando que o fio tem formato cilíndrico, então a seção de sua área é: $S = \pi r^2$, sendo r o raio e L o comprimento da corda.

Tubos sonoros

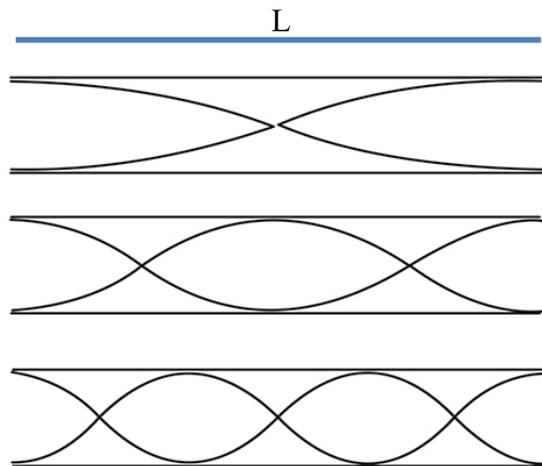
Nos tubos sonoros, as ondas estacionárias ocorrem devido a superposição de ondas nas correntes de ar do seu interior. As ondas geradas são ondas de pressão que entram através do sopro realizado na embocadura do tubo, sendo que o ar dentro do tubo, sofre um afunilamento que determina uma vibração originária das ondas (TREFIL, 2006).

Os tubos sonoros podem ter a extremidade oposta à embocadura aberta ou fechada, ou seja, temos sons produzidos por tubos abertos e fechados.

Tubos sonoros abertos

Tal qual nos instrumentos de cordas, nos tubos sonoros abertos podemos ter vários modos de vibração, alguns deles estão representados na figura abaixo:

Figura 7: representação das ondas em um tubo aberto.



Fonte: adaptado de <https://pir2.forumeiros.com/t140301-tubos-sonoros>

As frequências naturais em um tubo aberto, também podem ser calculadas:

$$f = \frac{n v}{2 L}. \quad (12)$$

Sendo:

f – frequência (Hz)

n – número de harmônicos (1, 2, 3, 4, ...)

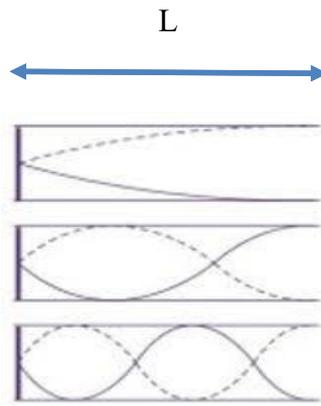
L – Comprimento do tubo (m)

v – velocidade de propagação das ondas na corda (m/s)

Tubos sonoros fechados

Nos tubos sonoros fechados, a onda estacionária apresenta um ventre na embocadura e um nó na extremidade fechada, como mostra a figura 8.

Figura 8: representação de onda em tubos fechados.



Fonte: adaptado de <https://www.respondeai.com.br/conteudo/fisica/ondas/tubos-sonoros/488>

Para um tubo fechado, as frequências naturais se relacionam da seguinte maneira:

$$f = \frac{(n v)}{4 L}, \quad \text{onde } n = 1, 3, 5, 7, \dots \quad (13)$$

As frequências naturais são múltiplos ímpares da relação $\frac{v}{4L}$, pois para tubos fechados não temos harmônicos de ordem par.

1.3 Atividade prática - Construção da Mini harpa

A mini harpa foi confeccionada pelo professor e utilizada como instrumento didático motivador para a compreensão das grandezas que caracterizam o som produzido por um instrumento de cordas.

1.3.1 Materiais Utilizados:

- 2 laterais menores de caixas de frutas (caixa de uva, ameixa ou nectarina);
- Ripa adquirida em casas de materiais de construção com tamanho de 2x5x120 cm
- 16 pregos 10x10"
- 8 pregos 12x12"
- 34 parafusos para chave de fenda de 2,5 cm x 4 mm

- 1 tubo de cola para madeira
- 2 lixas para madeira número 120
- 1 rolo de fita crepe de 10 metros
- 1 carretel de linha de pesca de 0,40 mm
- 1 carretel de linha de pesca de 0,50 mm
- 1 fita métrica de costureira
- Dois pedaços de cabo de vassoura de madeira de 30 cm cada
- 1 martelo

1.3.2 Tabela de materiais utilizados e estimativa de preços

Tabela 1: Materiais utilizados e estimativa de preços para a construção da mini harpa

Material	Valor Unitário	Quantidade	Valor total
Caixas de frutas	-	2	Custo zero (doação)
Ripa 2x5x120 cm	R\$ 3,00 o metro	1,20 m	R\$ 3,60
Prego 10x10"	R\$ 10,00 cartela 40 g	1 cartela	R\$ 10,00
Prego 12x12"	R\$ 9,00 cartela 60 g	1 cartela	R\$ 9,00
Parafusos para chave de fenda de 2,5 cm x 4 mm	R\$ 0,10	34	R\$ 3,40
Tubo de cola para madeira (100 g)	R\$ 8,90	1	R\$ 8,90
Lixas para madeira número 120	R\$ 1,50	2	R\$ 3,00
Rolo de fita crepe 25mm x 50 m	RS 9,30	1	R\$ 9,30

Carretel de 100 metros de linha de pesca de 0,40 mm	R\$ 5,90	1	R\$ 5,90
Carretel de 100 metros de linha de pesca de 0,50 mm	R\$ 7,90	1	R\$ 7,90
Fita métrica de costureira de 1,5 m	R\$ 4,00	1	R\$ 4,00
Cabo de vassoura de madeira de 30 cm	-	2	Custo zero (doação)
Martelo	-	1	R\$ 12,00
Total das despesas			RS 77,00

Fonte: o autor

1.3.3 Montagem da Mini Harpa

Nesta seção, apresenta-se o passo a passo para construção da mini harpa.

1 - Desmonte duas caixas de frutas para utilizar as laterais menores, partes que possuem o furo por onde se segura a caixa. Veja Figura 1.1 (a) e 1.1 (b).

Figura 1.1: Foto da caixa de frutas a que se refere o item. E, (b) ilustração da parte da caixa a ser retirada



(a)



(b)

Fonte: o autor

2 - Das 4 laterais das caixas, junte duas a duas de tal forma que os furos fiquem mais próximos (Figura 1.2). Utilize cola e fita adesiva para uni-las;

3 - Juntam-se duas laterais com cola e fita adesiva de tal modo que fiquem unidas lado a lado, conforme figura 1.2:

Figura 1.2: Desenho ilustrativo indicando como unir as duas partes retiradas da caixa de madeira.



Fonte: o autor

4 - Corte a ripa, adquirida em uma loja de materiais de construção, em pedaços de 30cm para formar as laterais da mini harpa. Você pode usar pregos ou cola para madeira. Depois, encaixe as tampas coladas e lixadas. Veja a figura 1.3 como deve ficar a montagem.

Observação: prega-se as laterais da caixa antes de colocar as “tampas” para facilitar a montagem.

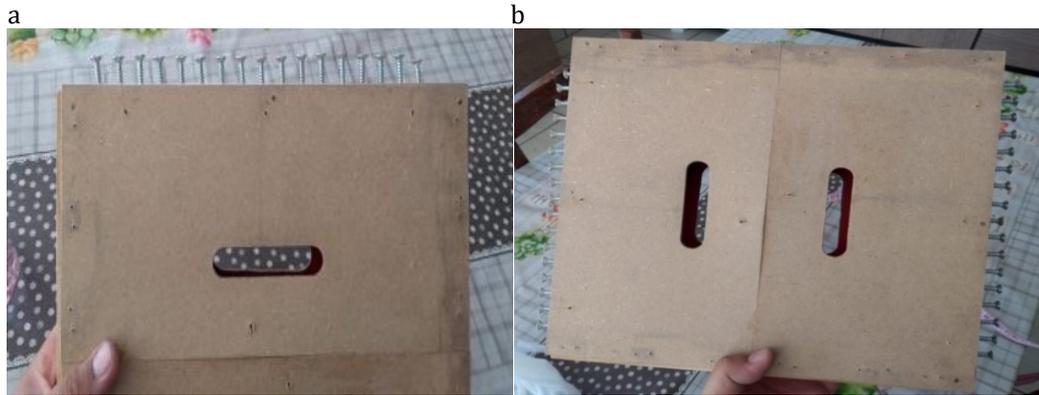
Figura 1.3: foto da mini-harpa montada.



Fonte: o autor

5 - Iniciando pelo centro, encontre 17 pontos equidistantes entre si, nas duas laterais menores deixando 2 cm de borda em cima e em baixo. Veja as figuras 1.4.

Figura 1.4: a) Vista lateral dos parafusos fixos e b) Vista de cima os parafusos fixos de ambos os lados.



Fonte: o autor

Observação: Para conseguir colocar os 17 parafusos de cada lado, a lateral deve ter, no mínimo, 25 centímetros

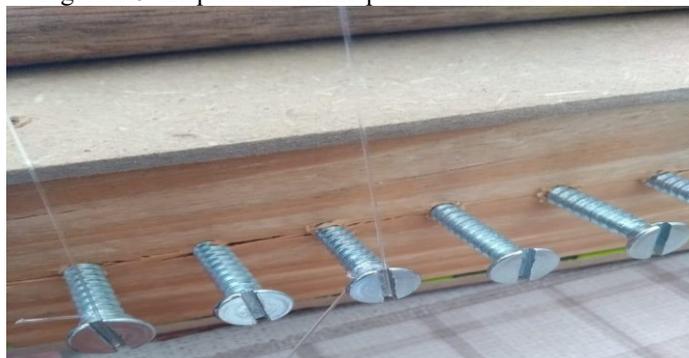
6 - Corte 9 pedaços de aproximadamente 90 cm da linha de pesca de 0,40 mm e 8 pedaços de mesmo tamanho da linha mais grossa, de 0,50 mm.

Observação: pode-se optar por outras linhas, o importante é que sejam de diâmetros diferentes para produzir diferentes sons.

7 - Coloque (sem colar) os cabos de vassoura em forma de V. As nove cordas mais finas são posicionadas na parte superior do V e as oito mais grossas, na parte inferior.

Observação: Para colocar as cordas, use os parafusos como suporte e dê dois nós e mais duas voltas. Para levar a corda do outro lado da mini harpa, passe pela fenda do parafuso, como mostra a figura 1.5 para fazer o mesmo procedimento do outro lado. Se certifique que a corda esteja bem firme. Corte os excessos do fio com um alicate, uma tesoura ou um estilete. E a mini harpa ou cítara estará pronta, conforme figura 1.6:

Figura 1.5: Esquema de como passar a corda do outro lado



Fonte: o autor

Figura 1.6: Mini-harpa

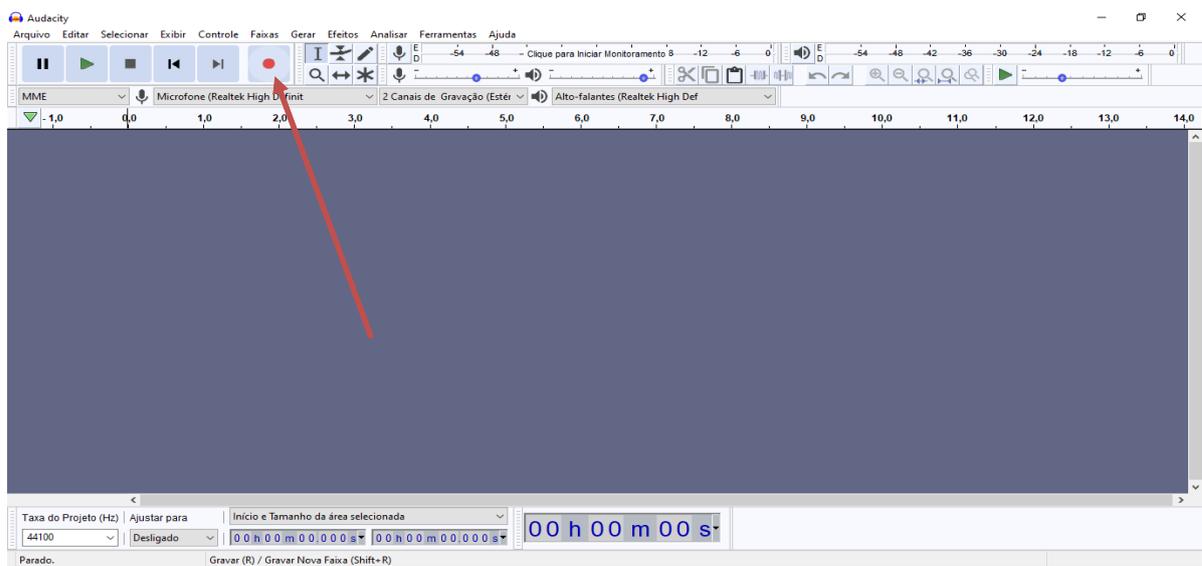


Fonte: o autor

1.3.4 Análise do som emitido pela mini harpa utilizando o *software Audacity*.

1 – Baixe gratuitamente o *software Audacity*. Veja a interface do programa na figura 1.7.

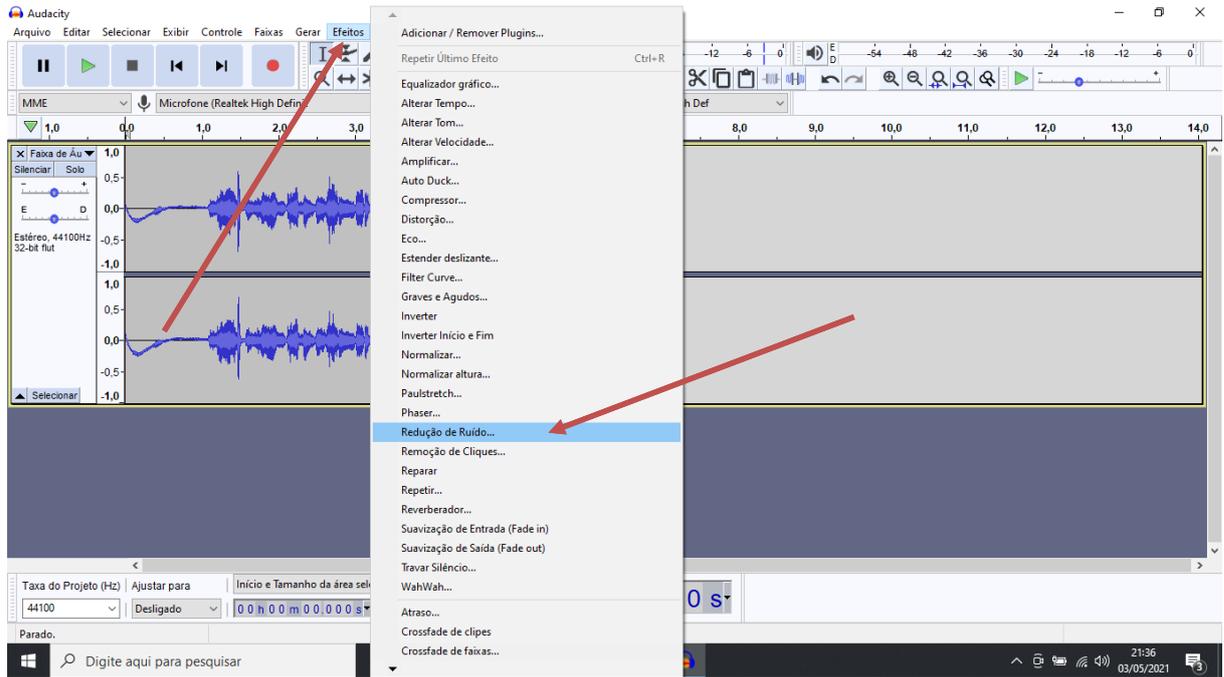
Figura 1.7- Interface do *software Audacity*, mostrando onde clicar para iniciar a gravação do som



Fonte: o autor

2 – Dedilhe as cordas da mini harpa para produzir som e coloque o programa para gravá-lo. Para isto, selecione o ícone ‘gravação’. Depois de gravado, no ícone ‘efeitos’, busque o redutor de ruídos, clicando em ‘OK’.

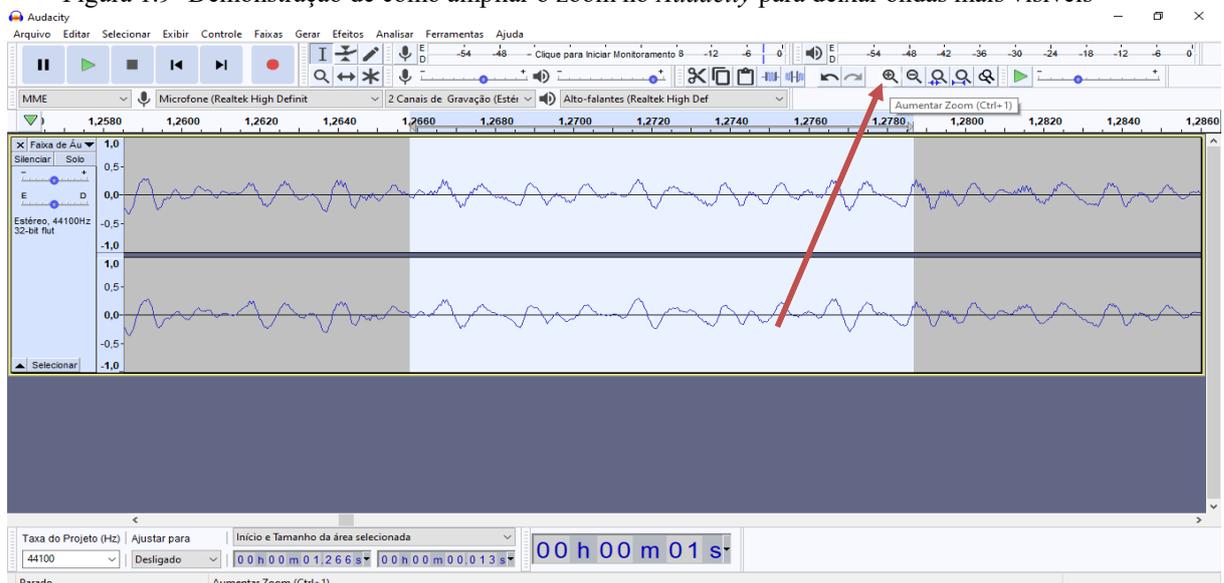
Figura 1.8:- Como fazer a redução de ruído no Audacity



Fonte: o autor

3 - Após limpar o som, vá em ‘zoom’ e selecione a área onde o som foi emitido, amplie até conseguir visualizar nitidamente os comprimentos de onda.

Figura 1.9- Demonstração de como ampliar o zoom no Audacity para deixar ondas mais visíveis



Fonte: o autor

4 – Visualizado o comprimento de onda, selecione uma única onda da sequência obtida e na parte inferior do layout do Audacity, selecione a opção “Início e Tamanho da área selecionada”, obtendo assim o valor do período da onda sonora.

5 – Com o período obtido, substitua-o na equação 3, ($f = \frac{1}{T}$), obtendo assim, a frequência, observe se o valor obtido está de acordo com o que é esperado.

6 – Após encontrar o valor da frequência do som, substitua-o na equação 2, ($v = \lambda \cdot f$) do texto-base, considerando o valor de $v = 340 \text{ m/s}$ e obtenha o comprimento de onda.

Realizados todos os procedimentos acima, espera-se que os estudantes encontrem valores próximos a 340 m/s para a velocidade do som.

7 – Repita o procedimento descrito acima para outras cordas. Terminada esta atividade, responda os seguintes questionamentos:

- a) Houve diferença no valor da frequência obtida nas diferentes cordas? Se sim, explique com suas palavras as diferenças observadas.
- b) Foi fácil perceber uma sequência de comprimentos de ondas ao tocar a corda? Como que podemos explicar tal ocorrido?
- c) Conhecendo a frequência obtida em cada corda e o comprimento da mesma, calcule a velocidade de propagação da onda em cada corda tocada (Utilize a equação 12 ($f = \frac{Nv}{2L}$) do texto-base)
- d) Agora que já encontrou a velocidade de propagação da onda na corda, sabendo que utilizamos fio de nylon para realização das medidas (densidade = $1,14 \text{ g/cm}^3$), e considerando que o fio se trata de um formato cilíndrico, calcule a força de tração realizada em pelo menos uma das cordas. (Utilize a equação 11 $v = \sqrt{\frac{F}{\mu S}}$, onde μ é a densidade e S é área da corda e considere $S_{\text{corda}} = 2\pi \cdot r \cdot L$)

Espera-se que o estudante, ao repetir o procedimento para outras cordas, encontre valores diferentes de frequência e, a partir dos resultados obtidos, possa relacionar ao conceito de harmônicos, compreendendo assim, que matematicamente as

notas musicais são compostas por diferentes frequências, múltiplas da frequência fundamental.

Agora vamos elaborar um Mapa Conceitual (MC), com os conceitos vistos.

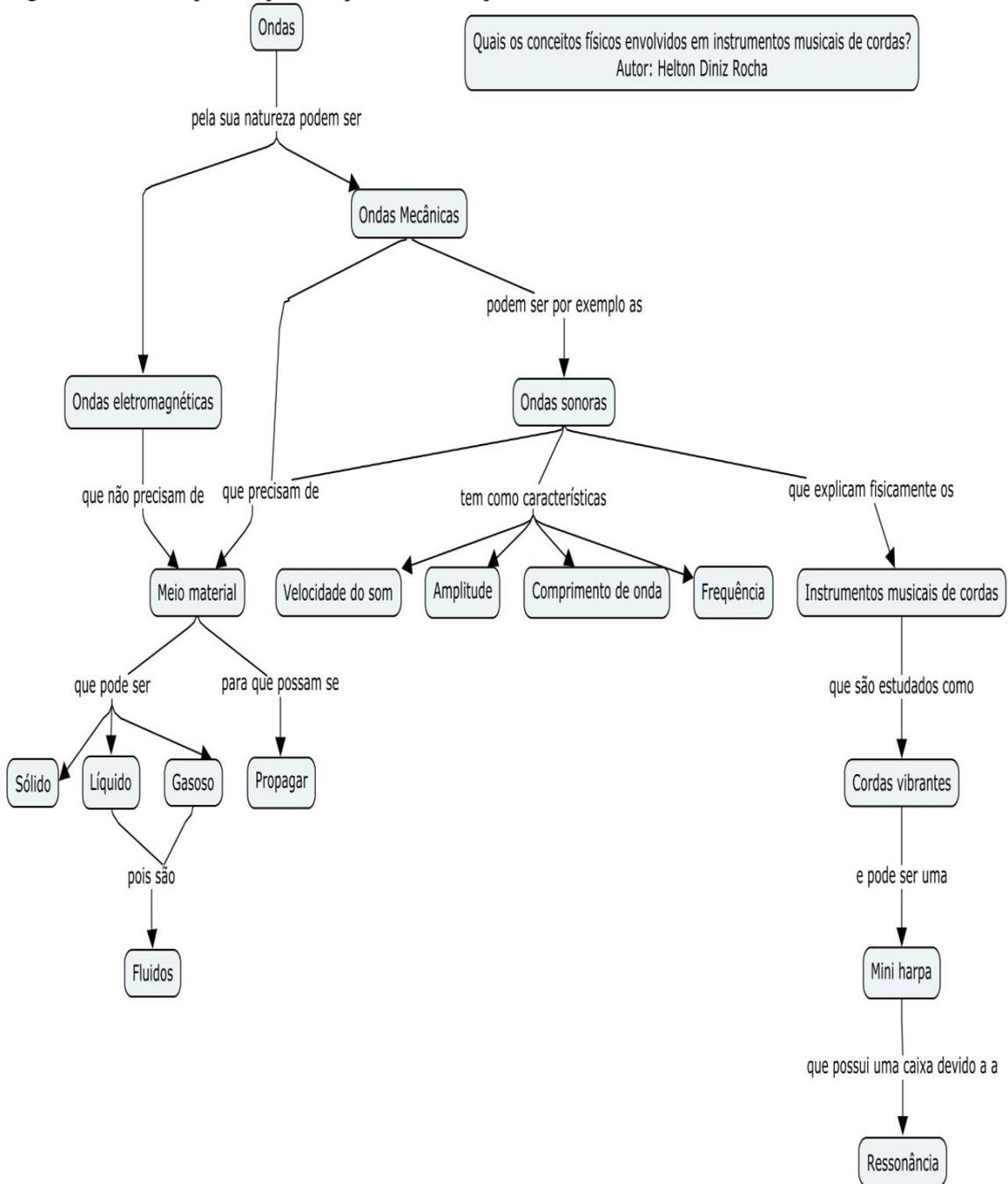
1.3.5 Exemplo de um Mapa Conceitual final – aula 1

Terminado esse momento da primeira oficina, passa-se a construção do Mapa Conceitual (MC), onde apresenta-se aos alunos o programa Cmaptools e fala-se sobre a necessidade de uma pergunta focal para que possam pensar e relacionar os conceitos buscando construir um MC que responda convincentemente e apresente o entendimento dos mesmo sobre o assunto trabalhado. Para isso, é de fundamental importância não só colocar os conceitos, mas também conectá-los com bons termos de ligação, que não devem ser generalistas ou simplistas. E ao final da montagem desta primeira versão do MC, obtém-se a tabela de clareza proposicional (TCP), verificando assim se o MC apresenta clareza semântica e está conceitualmente correto.

Espera-se que ao final desta aula, cada aluno possa esboçar seu MC individual que será utilizado para a construção do MC coletivo.

De acordo com Novak (apud AGUIAR, 2013) não existe MC certo ou errado. No entanto, quanto mais conceitos os alunos relacionar hierarquicamente, mais completo será o MC. Na figura 1.10, trazemos um modelo esperado. E, a partir disto, finalizamos o cronograma proposto para a primeira oficina.

Figura 1.10 – Exemplo do que se espera de um mapa conceitual final – aula 1.



Fonte: o autor, 2021.

2ª Semana (4 aulas)

2.1 Atividade prática - Determinando a velocidade do som no ar

O segundo dia de oficina iniciou com a mini harpa pronta. O som emitido seria analisado pelo *software Audacity* para se determinar a velocidade de

propagação do som. Na seção 2.4.1, descrevemos os materiais utilizados e na seção 2.4.2 apresentamos os custos, já na 2.4.3 os procedimentos utilizados. Esta atividade tem como objetivo que os estudantes encontrem a velocidade do som no ar fazendo uso da mini harpa por eles construída e também do *software Audacity*.

Na atividade anterior, consideramos a velocidade do som igual a 340 m/s para resolvermos as atividades. No entanto, nesta atividade, iremos determinar a velocidade do som fazendo uso do *software Audacity*

Para esta etapa, utilizamos os materiais citados abaixo:

2.1.1 Materiais utilizados

- 1 notebook com o *software audacity* (programa gratuito)
- 1 microfone (utilizou-se o fone do celular Motorola G7, que tem microfone embutido)
- 1 instrumento que emita som (utilizaremos a mini harpa construída, mas pode ser qualquer objeto que emita um som no estilo de um clique, pode ser até o estalar dos dedos)
- 1 cano de PVC de 1 metro (pode ser qualquer outra medida, adotou-se esse cano para facilitar os cálculos)

2.1.2 Tabela de materiais utilizados e estimativa de preços

Considerando que se pode utilizar o notebook pessoal ou algum computador de mesa e ainda que podemos medir qualquer som, sem a necessidade de um instrumento, desconsideramos estes últimos na estimativa de preços.

Tabela 2.1: Materiais utilizados e estimativa de preços para determinação da velocidade do som

Material	Valor Unitário	Quantidade	Valor total
Microfone	R\$ 15,00	1	R\$ 15,00
Cano de PVC	R\$ 15,00*	1	R\$ 15,00
Total	R\$ 30,00		

*preço da barra de 6 metros, este item não é vendido de outra forma.

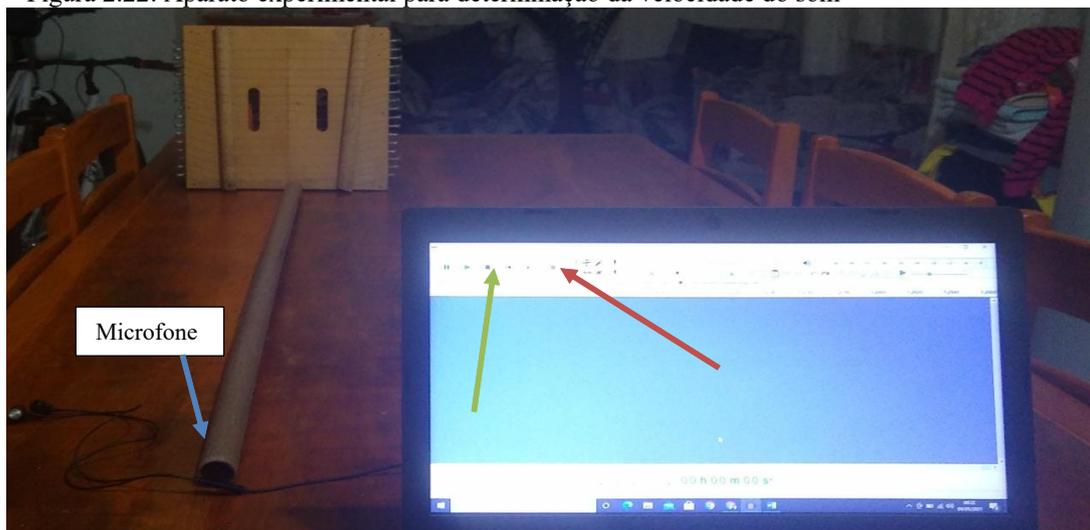
Fonte: o autor

2.1.3 Montagem Experimental e roteiro de atividades

Nesta seção, apresenta-se a montagem do aparato experimental.

1 – Coloca-se o microfone ligado ao *notebook* e, em seguida, coloca-se uma das bocas do cano junto ao microfone.

Figura 2.22: Aparato experimental para determinação da velocidade do som



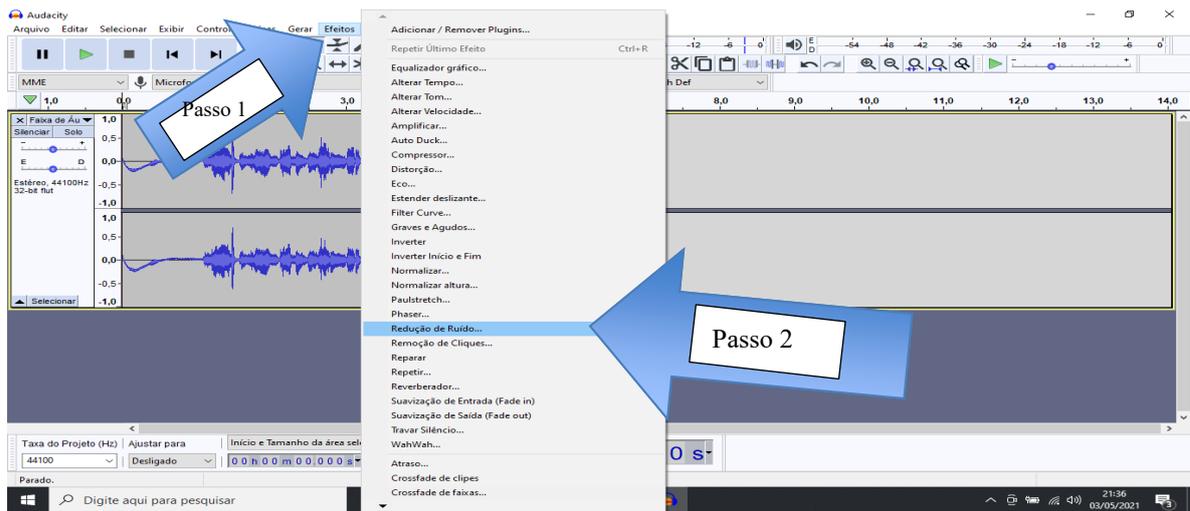
Fonte: o autor, 2021

2 – Com o aparato experimental montado, abre-se o *software Audacity* e uma pessoa clica no ícone “gravar” (botão vermelho na parte superior, indicado pela seta vermelha) e outra pessoa emite o som com a mini harpa na outra boca do cano.

3 - Após uns três segundos aproximadamente, pare a gravação no ícone “stop” (quadrado na parte superior indicado pela seta verde).

4 – Selecione uma parte da gravação que não tenha registro de som (linha reta). No ícone “efeitos”, vá em redutor de ruídos, onde clicará em “obter perfil do ruído” e em seguida, em “ok” onde obtêm-se um perfil do ruído. Feito o procedimento, selecione todo o áudio gravado, vá em “efeitos” e em seguida, em “redução de ruído” e aí limpa-se o som.

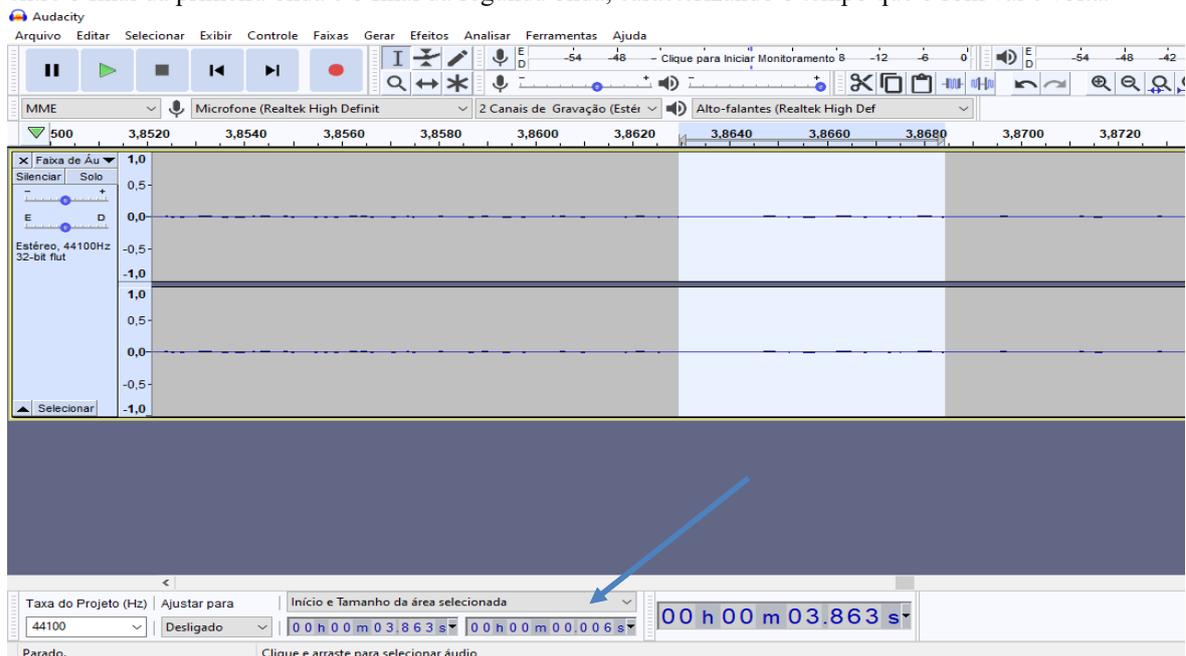
Figura 2.23: Como fazer a redução de ruído no *Audacity*.



Fonte: o autor, 2021.

5 – Utilizando a ferramenta “zoom” do aplicativo, encontre o final da primeira onda e o final da segunda onda, selecione-as. Em seguida, observe no campo abaixo (na tela) o valor referente a distância entre as duas pontas selecionadas, conforme a imagem da figura 2.24.

Figura 2.24: Print da tela indicando (pela seta) o tamanho da área selecionada, que é o intervalo de tempo entre o final da primeira onda e o final da segunda onda, caracterizando o tempo que o som vai e volta.



Fonte: o autor, 2021

6 – Encontrado o valor que corresponde ao tempo de retorno do som, substitua-o na equação $v = \frac{2d}{t}$, onde d é o comprimento do cano utilizado e v será o valor da velocidade do som. Compare o valor obtido com o valor cientificamente aceito que é de 340 m/s, aproximadamente.

7 – Após a realização da atividade, responda aos seguintes questionamentos:

- d) Por que considero a distância $2d$ percorrida pelo som?
- e) Explique com suas palavras, o fenômeno físico que possibilita a determinação da velocidade do som pelo aparato construído.
- f) Se vejo um relâmpago no horizonte e cerca de 5 segundos depois eu ouço o seu som, a que distância de mim ocorreu esse raio? (adote $v_{\text{som}} = 340 \text{ m/s}$)

Após a determinação da velocidade do som, espera-se que os estudantes compreendam a necessidade de um meio material para que a onda sonora possa se propagar e que possam encontrar a velocidade do som no ar a partir do zero, ou seja, a partir de materiais por eles construídos aliando-se a recursos tecnológicos de fácil acesso. Em seguida, foi proposto aos estudantes que respondessem um quiz para que os mesmos pudessem assimilar os conteúdos já trabalhados.

2.2 Quiz sobre os conceitos físicos trabalhados

Para aplicação deste quiz, utilizou-se o aplicativo *Kahoot!* Foram 7 perguntas com intervalo de 30 segundos para cada. O programa gera um ranking entre quem mais acertou em menor tempo de resposta. O quiz foi criado para ser utilizado neste trabalho e está disponível a todos através do link https://kahoot.it/challenge/fb1b8a5f-a0b5-473a-9700-e708ff00af6e_1655462408649.

Na figura 2.4 exibimos a sequência das questões elaboradas para o quiz.

Figura 2.4. Sequência das questões do Quiz.

O som é uma onda?

25

Kahoot!

▲ Mecânica

◆ Eletromagnética

● Material

■ Gravitacional

A luz é uma onda?

30

Kahoot!

▲ Mecânica

◆ Eletromagnética

● Gravitacional

■ De matéria

Quais são as formas de vibração de uma onda?

30

Kahoot!

▲ Bidimensional e tridimensional

◆ Mecânica e eletromagnética

● Transversal e longitudinal

■ Transversal e eletromagnética

The image displays three sequential Kahoot! quiz questions. Each question is presented in a grey-bordered box with a white background. At the top of each box is the question text, followed by a circular timer icon containing the number of seconds. The Kahoot! logo is centered in a purple box. Below the logo are four colored buttons (red, blue, yellow, green) representing different subject categories. The first question, 'O som é uma onda?', has a 25-second timer and options: Mecânica (red), Eletromagnética (blue), Material (yellow), and Gravitacional (green). The second question, 'A luz é uma onda?', has a 30-second timer and options: Mecânica (red), Eletromagnética (blue), Gravitacional (yellow), and De matéria (green). The third question, 'Quais são as formas de vibração de uma onda?', has a 30-second timer and options: Bidimensional e tridimensional (red), Mecânica e eletromagnética (blue), Transversal e longitudinal (yellow), and Transversal e eletromagnética (green). Each question box also features a small speaker icon in the top right corner.

Qual destas é uma informação quanto a direção de propagação de ondas?



29



Eletromagnética

Bidimensionais

Transversal

Mecânicas

Qual destes não é uma parte de uma onda?



28



Crista

Vale

Ventre ou antinó

Timbre

Qual a unidade da grandeza física frequência?



30



metros por segundo (m/s)

Metros (m)

Hertz (Hz)

Segundos (s)



Fonte: o autor

A intenção da atividade é verificar se os conceitos envolvidos foram compreendidos e proporcionar a fixação dos mesmos. Os alunos tiveram acesso aos resultados da sua pontuação, onde todas as respostas dadas devem ser comentadas.

2.3 Atividade prática - Construção do tambor

Aqui descrevemos o procedimento de construção de um tambor. No PE, que acompanha esta dissertação, apresentamos como esta atividade foi desenvolvida com os alunos. A TAS fundamenta esta atividade. Além da motivação, esta atividade auxilia discussões que promovem a aprendizagem subordinada e ordenada por meio da retomada dos conteúdos teóricos específicos com relação aos conceitos gerais.

Na seção 2.3.1 apresentamos os materiais utilizados, em 2.3.2 a tabela de materiais e estimativas de preços, no item 2.3.3 os passos para a montagem do tambor, em 2.3.4 o roteiro de atividades e finalizamos com a seção 2.3.5 na qual continuamos a construção do MC, acrescentando os conceitos físicos abordados na construção es estudo sobre o tambor.

2.3.1 Materiais Utilizados

Nesta seção é apresentada a lista de materiais necessários para a construção de um tambor.

1. Barrica de grafiato ou massa corrida;
2. Estilete

3. Couro sintético 70x70 cm de sofá velho
4. 5 metros de cordão de varal (pode ser qualquer uma corda fina que dê para deixar firme)
5. Fita métrica de costureira
6. Caneta
7. Alicata de ilhós
8. 16 ilhoses

2.3.2 Tabela de materiais utilizados e estimativa de preços

Tabela 2.3.2

: Materiais utilizados e estimativa de preços para construção do tambor

Material	Valor Unitário	Quantidade	Valor total
Barrica de grafiato ou massa corrida	-	1	Custo zero (doação)
Estilete	R\$ 7,00	1	R\$ 7,00
Couro sintético 70x70 cm	-	1	Custo zero (doação)
Cordão de varal	R\$ 2,00 (corda 10 m)	1	R\$ 2,00
Fita métrica de costureira de 1,5 m	R\$ 4,00	1	R\$ 4,00
Caneta	R\$ 1,00	1	R\$ 1,00
Alicata de ilhós	R\$ 20,00	1	R\$ 20,00
Ilhoses	R\$ 0,20	16	R\$ 3,20
Total das despesas			R\$ 37,20

Fonte: o autor, 2021

2.3.3 Montagem experimental

1. Deixe a barrica sem tampa e sem fundo (Figura 2.5)

Figura 2.5: Desenho ilustrativo da barrica sem a tampa e fundo



Fonte: o autor.

2. Use a barrica para marcar, com uma caneta esferográfica, a circunferência do couro sintético, veja figura 2.6.

Figura 2.6: Desenho ilustrativo da marcação no couro sintético da boca e fundo da barrica



Fonte: o autor.

3. Agora use um barbante fixo no centro da circunferência e com uma caneta amarrada neste barbante trace uma circunferência 4 cm maior que a tampa da barrica. Você estará construindo a tampa do tambor. Faça duas peças destas.
4. Corte os dois círculos maiores com o uso de um estilete, faça - o em uma mesa de mármore ou granito sem nenhuma toalha para não riscar a mesa ou rasgar alguma toalha.

5. Pegue a fita métrica e meça o comprimento do círculo de couro sintético cortado, marque oito pontos próximos a borda (entre o círculo menor e a parte cortada) com o mesmo espaçamento e fure-os com o alicate de ilhós;
6. Agora que tem os pontos, coloque um círculo em cada boca e passe as cordas, sem esticar por enquanto, em forma de zigue-zague até que se passe por todos os buracos;
7. Passada toda a corda ao redor nos couros sintéticos, comece a esticá-la de forma que mantenha a mesma pressão em toda a volta do tambor. Veja figura 2.7.

Figura 2.7: Tambor



Fonte: o autor

2.3.4 Roteiro de atividades após a construção do tambor

1 – Utilizando o instrumento de percussão construído (tambor), abra o aplicativo *Audacity* e grave o som das batidas no tambor.

2 – Selecione a gravação e no ícone “efeitos”, vá em “reduzidor de ruídos”, onde clicará em “ok”, limpando assim o som.

3 - Após limpar o som, vá em “zoom” e selecione a área onde o som foi emitido, amplie até conseguir visualizar nitidamente os comprimentos de onda.

4 – Selecione uma única onda da série de sequência obtida (caso consiga identificar uma sequência) e na parte inferior, faça a subtração dos valores de início e fim da área selecionada.

5 – Com o valor da subtração, você terá o período, substitua-o na equação que relaciona o período com a frequência, desta forma, encontrará a frequência e por último, observe se o valor encontrado está de acordo com o que é esperado.

6 – Após encontrar o valor da frequência, substitua o valor obtido na equação 2.2 ($v = \lambda \cdot f$), considerando o valor da velocidade do som como 340 m/s, encontre o comprimento de onda.

7 – Repita o procedimento para outras batidas em outros ritmos, utilize também vozes masculinas e femininas, conversando e cantando.

Responda:

d) No gráfico das ondas sonoras obtidas com as diferentes percussões, há alguma sequência? Justifique sua resposta.

e) Você percebeu alguma diferença nas ondas obtidas pelas vozes masculinas e femininas e nos diferentes toques do tambor? Explique o que observou?

f) Por que será que as ondas obtidas pelos toques do tambor são diferentes das ondas com as vozes falando e cantando?

Fazendo uso do instrumento construído e do *software Audacity*, o estudante perceberá que as ondas sonoras emitidas por instrumentos de percussão são ondas irregulares, e que as ondas sonoras emitidas por vozes masculinas e femininas, possuem frequências diferentes, o que possibilita definirmos sons graves e agudos.

Após os alunos responderem, compartilhem suas respostas e elas serem discutidas com a turma, retornamos para a construção do MC.

2.3.5 Exemplo e um mapa conceitual como esperado – oficina 2

Neste momento, relembramos os alunos do programa *Cmaptools* e iniciamos a revisão do MC anterior para acrescentarmos informações sobre os conceitos e os termos de ligação.

Nesta atividade o professor manuseou o programa conforme as indicações de todos estudantes, sempre os orientando-os para que verificassem a TCP de forma que o MC apresentasse clareza semântica e estivesse conceitualmente correto.

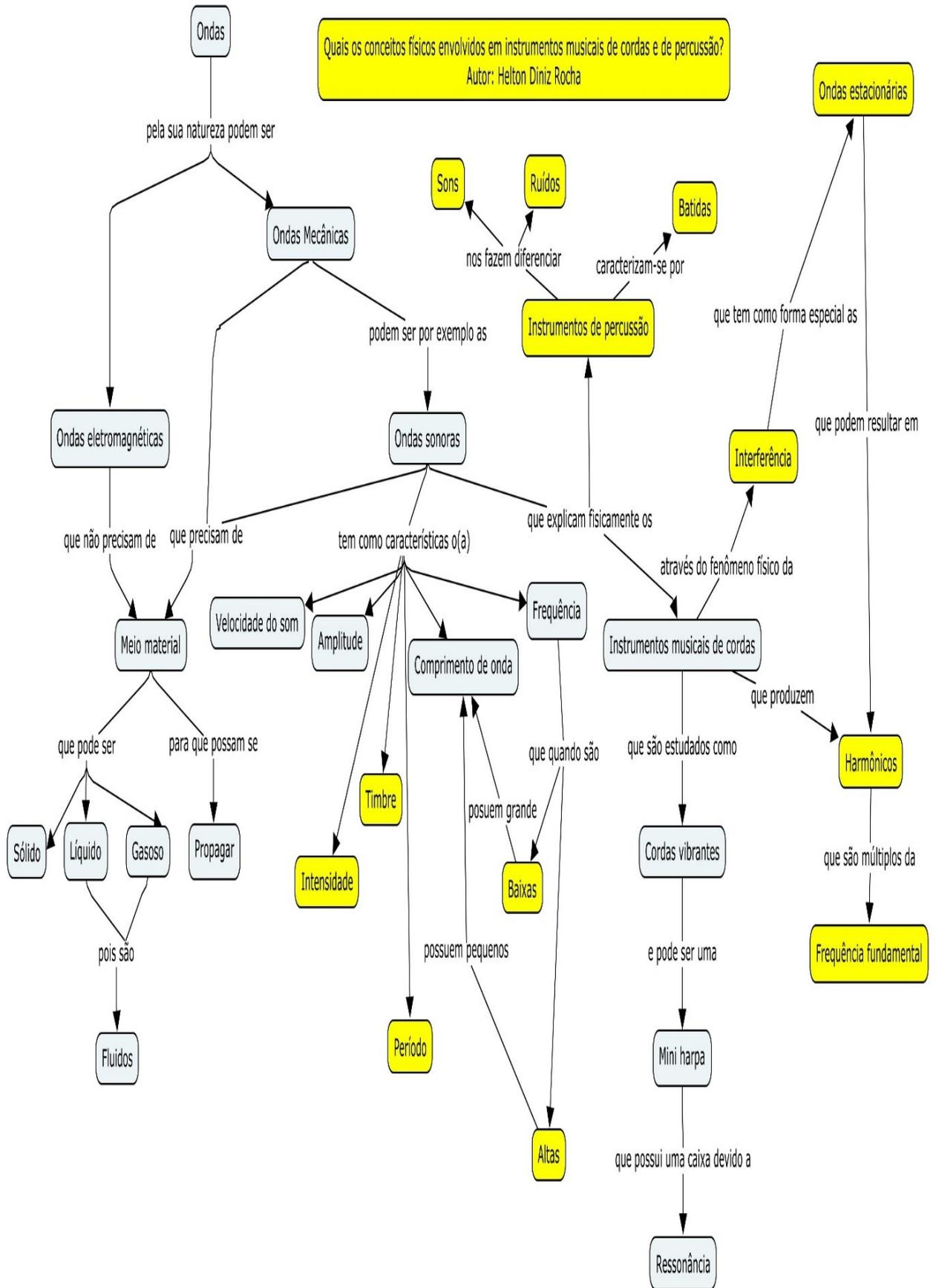
Esperava-se que o MC, construído coletivamente, apresentasse elementos como o exemplo da figura 2.8.

Note que os conceitos agregados neste momento, foram destacados em amarelo e que se acrescentaram a ele, conceitos trabalhados no primeiro encontro o que nos faz compreender a importância de se rever os MCs construídos para avaliarmos a evolução do conhecimento. Esta dinâmica está de acordo com a aprendizagem significativa de Ausubel , uma vez que propicia a diferenciação progressiva e a reconciliação integrativa.

Caso o MC fique muito grande, pode-se optar por construir mapas complementares e anexar os mesmos a um mapa principal. O programa *Cmaptools* permite esse recurso, o qual inevitavelmente poderia se fazer uso após o próximo encontro.

Com isso, finaliza-se a segunda semana de aplicação do PE.

Figura 2.8: Esboço do mapa conceitual que pode ser construído ao final da segunda oficina



Fonte: o autor, 2021.

3ª Semana – (4 aulas)

Na terceira e última semana de aplicação do PE, inicia-se com um texto sobre a história da música e dos instrumentos musicais, o qual o professor disponibilizou um tempo para que os alunos fizessem a leitura e, após este momento, o docente discutiu o teor do texto com os alunos e encerrou com um quiz envolvendo 10 questões sobre a história da música e dos instrumentos musicais.

3.1 Texto, elaborado pelo autor, a partir das referências bibliográficas apontadas abaixo.

MARCHAND, P. *A música dos instrumentos: das flautas de osso da pré-história às guitarras elétricas*. 6ª edição, Melhoramentos, 1997.

Música - origem - Sons e instrumentos Valéria Peixoto de Alencar*, Especial para a Página 3 Pedagogia & Comunicação

<https://educacao.uol.com.br/disciplinas/artes/musica---origem-sons-e-instrumentos.htm>

acesso em 01/06/2021 às 09:25 horas

A música no contexto da Psicopedagogia e a utilização de instrumentos musicais como ferramentas de aprendizagem Francisco Lindoval de Oliveira

<https://educacaopublica.cecierj.edu.br/artigos/20/10/a-musica-no-contexto-da-psicopedagogia-e-a-utilizacao-de-instrumentos-musicais-como-ferramentas-de-aprendizagem>

acesso em 01/06/2021 às 09:34 horas

Instrumento musical <https://escola.britannica.com.br/artigo/instrumento-musical/481992>

Acesso em 01/06/2021 às 08:20 horas

A história dos instrumentos Antônio Rodrigues 14 de setembro de 2011

<https://movimento.com/a-historia-dos-instrumentos> acesso em 01/06/2021 às 08:15 horas

Breve história da música e dos instrumentos musicais

A palavra música deriva do grego musiké téchne e quer dizer “arte das musas”. A música é a combinação de ritmo, harmonia e melodia de maneira agradável ao

ouvido (ALMEIDA, 1993). Música é uma manifestação artística e cultural de um povo em determinada época ou região e também serve para expressar sentimentos (OLIVEIRA, 2019), no entanto, a música é uma forma de expressão que tem como matéria-prima o som.

De acordo com Almeida, a música é composta por três elementos: melodia, harmonia e ritmo, sendo a melodia um\ sucessão de sons musicais combinados, a harmonia a combinação de sons simultâneos e o ritmo a duração ea acentuação dos sons e das pausas. Se faltar um destes elementos, não tem como produzir música.

No dicionário Houaiss (apud Bréscia, 2003, p. 25) a música é definida com “combinação harmoniosa e expressiva de sons e como a arte de se exprimir por meio de sons, seguindo regras variáveis conforme a época, a civilização, etc”.

A música expandiu-se ao longo dos anos, e atualmente tem diversas utilidades não apenas como arte, mas também no contexto militar, educacional ou terapêutico. Além disso, tem presença central em diversas atividades coletivas, como os rituais religiosos, festas e funerais.

Antes de pensarmos em música, no começo dos tempos, o homem ouvia os sons da natureza, como por exemplo o vento assobiando nos bambus. Não há povo da Antiguidade que não tenha feito uso de instrumentos musicais mais ou menos rudimentares, já que a música é uma linguagem espontânea e inerente ao próprio homem, sendo provável que tenha aparecido antes da linguagem verbal.

O certo a se dizer é que os primeiros sons o homem da pré-história, provavelmente produziu usando seu corpo todo como um instrumento musical: batia os pés no chão, com cadência, batia palmas, sacudia colares e braceletes de ossos, de sementes ou de conchas, envolvendo-se completamente em sons, para falar com os deuses. Desde a pré-história o homem tirou sons de madeira, de ossos, das rochas e outros materiais naturais e, a partir daí, começou a evoluir a construção de novos meios de emitir sons, que evoluiu até a música, a qual é um dos principais elementos de nossa cultura, pois o uso da música como entretenimento puro e simples é uma conquista recente, que remonta à Idade Moderna.

Podemos dizer que a música tem sua origem consequente da observação dos sons da natureza, sendo o primeiro instrumento musical uma flauta feita de osso de animal, conforme a figura abaixo:

Figura 3.1: Flauta de ossos



Fonte: <https://www.dicasecuriosidades.net/2021/03/conheca-o-primeiro-instrumento-musical-da-historia.html>

As culturas primitivas atribuíam a criação dos instrumentos aos deuses, pois acreditavam que a música tinha origem divina. Assim, de acordo com a mitologia grega, a flauta tinha sido inventada por Pan, a cítara por Apolo, a harpa por Narada, o alaúde por Pólux e a lira por Mercúrio.

Os antigos chineses, por sua vez, acreditavam que a gênese dos instrumentos musicais estava na tentativa de imitar os sons da natureza. Quando se trata de uma explicação racional, porém, chega-se à conclusão de que a origem dos instrumentos deve estar intimamente relacionada com a dança, o trabalho e as atividades guerreiras ou os ritos mágico-religiosos. A música seria um importante meio de reforço no desempenho dessas atividades básicas do homem antigo.

Nessas situações, o emprego de material com potencial sonoro, como armas, ferramentas, joias e adornos levou provavelmente à necessidade de “musicá-los”, isto é, desenvolver esse potencial. Essa tese nos fornece as bases para reconstruir sua evolução. A princípio, lançou-se mão de materiais da natureza ou objetos usados para outros fins. Posteriormente, as conquistas da técnica foram sendo gradualmente utilizadas na exploração de novos corpos sonoros.

É muito provável que os instrumentos rítmicos, chamados de percussão, tenham precedido, no tempo, os tonais e melódicos. Embora isso não possa ser comprovado, por falta de documentos dos povos antigos, pode-se chegar facilmente a essa conclusão, observando-se a música das sociedades primitivas atuais da Oceania e África Central. Nelas, os instrumentos são basicamente rítmicos.

Pesquisas arqueológicas revelaram que, no período Paleolítico, instrumentos de pedra ou osso já eram utilizados como formas rudimentares de chocalhos, apitos, matracas ou mesmo trompas. No Neolítico, surgiram os primeiros tambores e

flautas de osso e de bambu, bem como um primitivo instrumento, constituído de uma corda presa a um arco, em cuja extremidade se colocava a boca e, mais tarde, se fixava um objeto côncavo (um pote, por exemplo), que servia como caixa de ressonância. Este foi, sem dúvida, o precursor dos instrumentos de cordas. No 3º milênio antes de Cristo, apareceram as liras, na Suméria e sabe-se também da existência de harpas e alaúdes no Egito.

A criação de instrumentos musicais entre as civilizações da Antiguidade parece ter sido mais significativa na Ásia e no norte da África. Devemos nos lembrar, no entanto, de que não é fácil afirmar com certeza se um instrumento é originário de uma determinada região ou país, na medida em que eles podem ter sido transportados para as mais diferentes áreas, levados pelo homem em suas conquistas e invasões.

Numa visão de conjunto da música dos povos da Antiguidade, sabe-se, através do testemunho deixado por documentos – arte ou escrita –, que os egípcios, assírios, babilônios, hebreus, chineses, gregos e romanos conheceram muitas espécies de instrumentos musicais, como harpa, lira, alaúde, flauta, cítara, trompa, trompete, gaita, órgão, xilofone, além de inúmeros instrumentos de percussão: tambores, pandeiros, sistros, címbalos, castanholas e campainhas. Embora se encontrem, desde a Antiguidade, formas rudimentares de instrumentos de palheta, foi só na Idade Moderna que seu fabrico passou a ser aprimorado.

O crescimento da arte instrumental durante o século XVI, estimulado pela invenção dos tipos móveis de Gutemberg, que tornou possível a divulgação das partituras, provocou grande desenvolvimento na música e, conseqüentemente, o aparecimento de novos instrumentos e o aperfeiçoamento dos já existentes.

Nessa época, começaram a surgir os primeiros fabricantes, como os Andrea Amati, construtor de violinos em Cremona; Hans Ruckers, fabricante de cravos na Antuérpia; Hans Neuschel e sua manufatura de trombones em Nuremberg; e Jean Hottetere, especialista no fabrico de flautas e oboés. Dois séculos mais tarde, com a Revolução Industrial, a mecanização tornou possível a construção, em larga escala, de todos os tipos de instrumentos, o que barateou os custos e popularizou os instrumentos e a própria execução musical.

A evolução dos instrumentos se processou lenta e gradualmente através dos séculos. Foi na primeira metade do século XIX, com o grande desenvolvimento da música orquestral, sobretudo entre 1810 e 1850, que os instrumentos musicais adquiriram, em sua essência, as formas que ainda hoje apresentam.

Colocada a serviço da música, a tecnologia permitiu o aperfeiçoamento dos instrumentos, possibilitando a execução de qualquer som sugerido pelo compositor. A partir de então, os instrumentos passaram a existir em função da música e não mais o contrário. Não é exagero, portanto, afirmar que os modelos criados por volta de 1850 equiparam a orquestra para a execução da música do século XX, exceção feita aos instrumentos eletroacústicos e aos geradores de frequência.

Existem vários critérios de classificação. Em geral, os instrumentos são ordenados de acordo com o material empregado, o modo de produção do som, de execução, formato, mecanismo, etc. Todos são válidos, mas o que nos parece mais satisfatório é o que considera a maneira de produção do som, em essência, a finalidade da música.

Este critério foi proposto inicialmente pelo filósofo e matemático francês Marin Mersenne, em seu ensaio “Harmonia Universal” (1636/37). De acordo com essa classificação, os instrumentos se agrupam, grosso modo, em 3 grandes categorias: cordas, sopros e percussão.

Instrumentos de percussão

Os instrumentos de percussão geralmente são usados para dar ritmo à música. Eles produzem som quando são golpeados, agitados, arranhados, dedilhados ou friccionados. Essa classe de instrumentos abrange sinos, pratos, castanholas, gongos, chocalhos, xilofones e tambores. Estes últimos têm uma membrana esticada que vibra quando é golpeada ou friccionada. Eles podem ser tocados com as mãos ou com outros objetos, como baquetas.

Figura 3.2: Instrumentos de percussão



Fonte: <https://br.pinterest.com/pin/317855686200561894/>

Instrumentos de corda

Os instrumentos de corda possuem cordas esticadas que vibram quando são dedilhadas, golpeadas ou friccionadas com um arco. Eles se dividem em categorias, baseadas no modo como as cordas são presas ao corpo do instrumento. As principais categorias são harpas, alaúdes, cítaras e liras.

As harpas têm muitas cordas, e cada uma delas produz uma nota diferente. O comprimento da corda determina o som que ela produz. As notas mais agudas saem das cordas mais curtas. As harpas modernas têm o formato aproximado de um triângulo. Para tocá-las, o músico dedilha as cordas.

Nos alaúdes, as cordas ficam presas ao corpo do instrumento e se estendem ao longo de um braço que se projeta do corpo. O corpo constitui a caixa de ressonância, que amplifica o som. Alguns exemplos de alaúdes são o violino, a viola, o violoncelo, o contrabaixo, o violão, o cavaquinho, o banjo, o bandolim e a guitarra. Diferentemente das harpas, esses instrumentos geralmente possuem apenas quatro ou cinco cordas. Para produzir som, o músico pressiona as cordas com uma mão; com a outra, ele pode dedilhá-las, friccioná-las com um arco ou tangê-las com um pequeno acessório chamado palheta.

Nas cítaras, as cordas ficam dispostas ao longo do corpo do instrumento. As cordas têm o mesmo comprimento que o corpo. As cítaras podem ter vários formatos, desde um tubo longo e estreito até uma caixa achatada e larga. O número de cordas também varia, desde uma até dúzias delas. As cordas são dedilhadas ou tocadas com um arco. Em algumas versões do instrumento, um pequeno martelo é usado para golpeá-las.

A família das liras teve grande importância na Antiguidade, porém hoje em dia é encontrada apenas em certas áreas do leste da África. As liras consistem de um corpo (cujo formato pode ser oval, redondo ou retangular), do qual se projetam dois braços. Esses braços são unidos no alto por uma barra. As cordas se esticam da barra até o corpo do instrumento. Para tocar a lira, o músico dedilha as cordas.

Figura 3.3: harpa



Fonte: <https://br.pinterest.com/pin/307792955768850967/>

Figura 3.4: Alaúde



Fonte: <http://www.todosinstrumentosmusicais.com.br/imagens-do-instrumento-alaude.html>

Figura 3.5: Cítara



Instrumentos de sopro

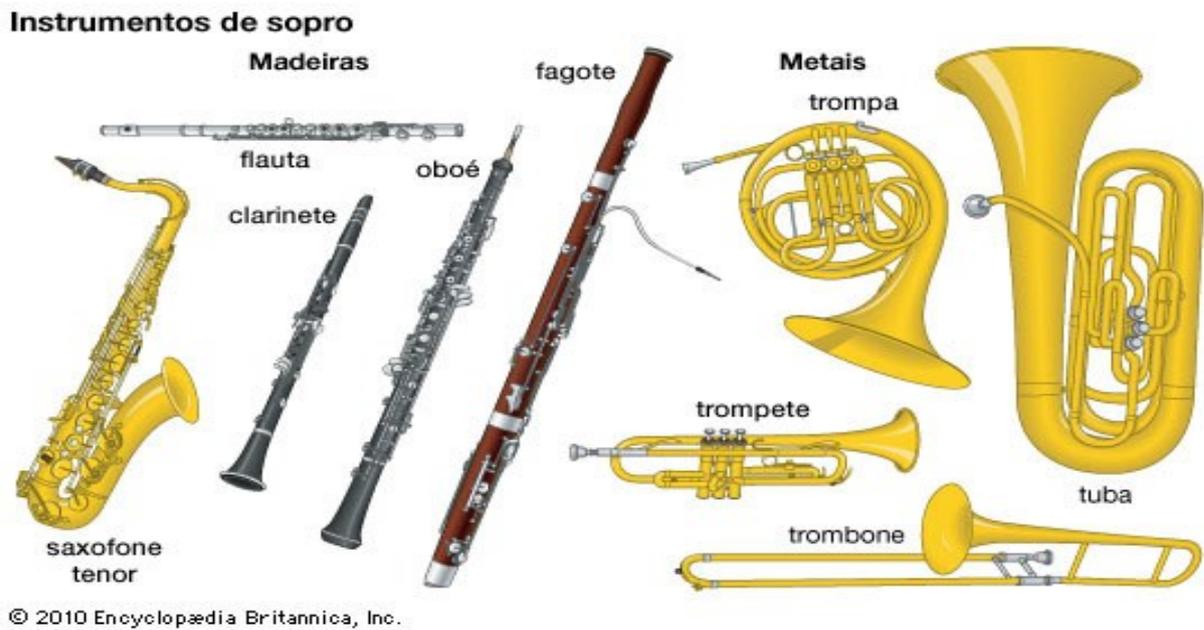
Nos instrumentos de sopro, o som é gerado por um fluxo de ar que percorre o corpo do instrumento ou flui em volta dele. Na maioria dos casos, o ar vem da boca do instrumentista. Nas orquestras ocidentais modernas, os instrumentos de sopro se dividem em metais e madeiras. Os metais são feitos de latão ou de outro metal; as madeiras, apesar do nome, também podem ser feitas de metal. Os instrumentos do grupo dos metais incluem o trombone, o trompete, a trompa e a tuba. Dentre as madeiras estão o clarinete, o saxofone, a flauta e o oboé.

Outro sistema de classificação divide os instrumentos de sopro em instrumentos de aresta, de palheta e de bocal. Nos instrumentos de aresta, o músico sopra o ar junto à borda dura do instrumento. Um exemplo conhecido é a flauta de Pã, comum na América Latina, na Ásia e nas ilhas do Pacífico. Essas flautas são formadas por diversos tubos de diferentes comprimentos, unidos uns aos outros. O som é produzido quando o músico sopra na parte superior dos tubos, enviando o ar para dentro deles.

Os instrumentos de palheta possuem pelo menos uma lâmina fina feita de cana-do-reino ou de metal. O som é produzido quando o ar provoca a vibração dessa peça. O clarinete e o saxofone possuem uma palheta cada, enquanto o oboé e o fagote têm duas palhetas. Nesses casos, a palheta fica presa junto à embocadura (a parte do instrumento onde o músico coloca a boca para soprar). No caso da gaita de fole, as lâminas ficam posicionadas em diversas partes do instrumento. Esse tipo de gaita é formado por vários tubos e por uma bolsa (o fole). Quando o ar é forçado para fora do fole, as palhetas vibram e o som é produzido.

Nos instrumentos de bocal, é a vibração dos lábios comprimidos do músico que põe o ar em movimento. Essa classe inclui o trompete, a tuba e o trombone, porém existem vários outros em diversas partes do mundo. O didjeridu, por exemplo, é um instrumento de bocal típico dos aborígenes da Austrália.

Figura 3.6: Instrumentos de sopro



A evolução dos instrumentos musicais

Os instrumentos musicais possuem grande poder de despertar e expressar emoções humanas e já foram empregados para muitas finalidades. Em alguns lugares se pensava que tivessem poderes mágicos. Em muitas culturas, tambores eram usados para afastar maus espíritos. Religiões de todo o mundo usam instrumentos em cerimônias de culto e para festejar datas sagradas. Instrumentos musicais eram usados para anunciar a chegada de reis e para instigar soldados à batalha. Além disso tudo, eles são tocados por prazer e para entretenimento.

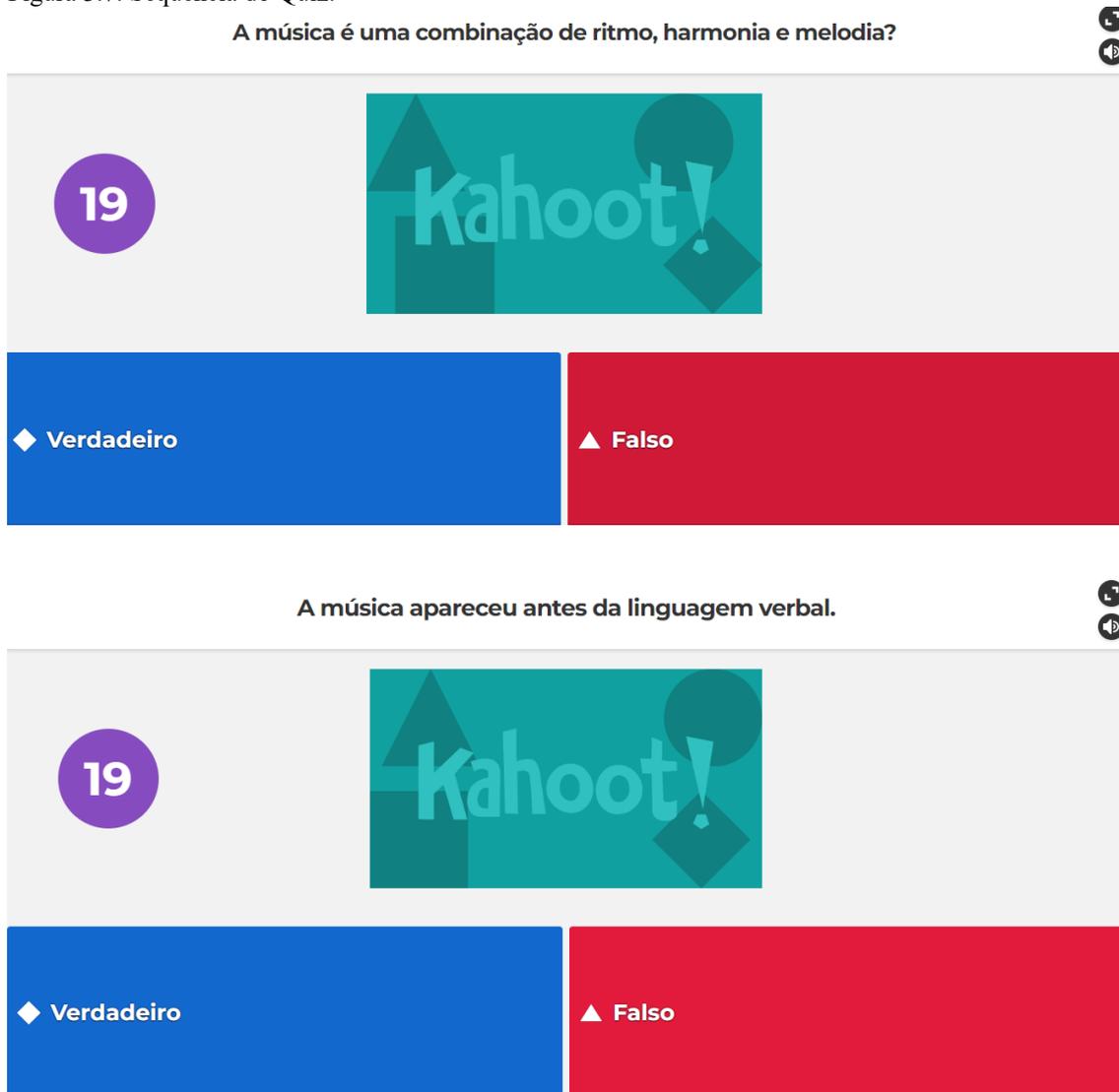
Os instrumentos podem ser tocados individualmente ou em grupo. Um grupo de músicos que tocam juntos é conhecido como banda. Na música erudita ocidental, as composições tocadas por um grupo pequeno de músicos são conhecidas como música de câmara (pequeno grupo de instrumentos ou vozes que tradicionalmente podiam acomodar-se nas câmaras de um palácio). Um grupo maior de instrumentistas é chamado de orquestra.

3.1.2 Quiz sobre o texto: Breve história da música e dos instrumentos musicais

Após a leitura e uma breve conversa com os alunos sobre o texto, lançou-se um quiz nos mesmos moldes do realizado anteriormente sobre conceitos físicos, mas esse contou com 10 perguntas e os alunos tiveram 20 segundos para responder cada uma delas. O objetivo é levar o aluno a refletir sobre a relação da humanidade com a música.

A sequência do Quiz está exibida na figura 3.7 e disponível no link <https://kahoot.it/challenge/?quiz-id=1ede304e-fc35-417e-af04-46fc798e011a&single-player=true> onde os interessados podem acessá-lo.

Figura 3.7. Sequência do Quiz.



A música existe como entretenimento desde a idade média?



19



◆ Verdadeiro

▲ Falso

A quem as culturas primitivas atribuíam a criação dos instrumentos musicais?



17



▲ Ao Sol

◆ A Lua

● Aos Deuses

■ A Terra

Qual destas não é uma categoria de instrumentos musicais?



19



▲ Sopro

◆ Cordas

● Percussão

■ Ressonantes

A palavra música deriva do grego e significa?



19



Harmonia

Paz

Sons da natureza

Arte das musas

Qual dos instrumentos abaixo é de percussão?



19



Triângulo

Harpa

Flauta pan

Alaúde

Qual dos instrumentos abaixo é de sopro?



18



Surdo de marcação

Chocalho

Clarinete

Pratos

Nos instrumentos de cordas, o comprimento e a espessura da corda determinam o som que ela produz?



19



◆ Verdadeiro

▲ Falso

Como chamamos um grande grupo musical de instrumentistas?



19



▲ Fanfara

◆ Orquestra

● Banda

■ Músicos de câmara

Fonte: o autor.

3.2 Construção da Flauta Pan

A construção do instrumento serve de motivação para o estudo do som em tubos sonoros e, a partir dos mesmos, aprofunda-se a discussão de conceitos físicos importantes para ondas sonoras, dando maior destaque ao conceito de harmônico, mostrando que as frequências obtidas podem ser visualizadas e também calculadas matematicamente.

A flauta pan, é normalmente, construída com bambu. A origem do seu nome ‘pã’ se deu devido a homenagem ao deus grego Pã. Em nossa região a mais comum mostrada na Figura 3.8 (a).

Figura 3.8 Fotos de flautas pan: (a) peruana e (b) romenas



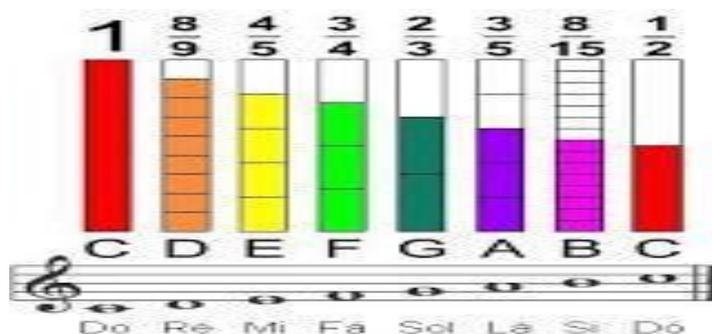
e)

b)

Fonte: https://pt.wikipedia.org/wiki/Flauta_de_p%C3%A3

É possível construir uma flauta pan com cano de PVC, e essa deve seguir a seguinte “fórmula” (Figura 3.9):

Figura 3.9: Especificação para construção de uma flauta pan.



Fonte: Luciano silva ita - https://pt.wikipedia.org/wiki/Flauta_de_p%C3%A3

Observação: para aplicação deste roteiro o professor pode se utilizar de qualquer outro instrumento de sopro, desde que conheça as medidas dos tubos e que eles sejam fechados.

3.2.1. Materiais Utilizados:

- 1,20 metro de cano de PVC 20 mm

- 4 rolhas de cortiça
- Cola quente (refil e pistola), pode ser substituída por cola de cano
- Serra de cano
- Estilete
- Lixa de madeira 150
- Fita métrica
- Caneta
- Fita dupla face
- Dois pedaços de madeira de 16 x 2 cm

3.2.2 Tabela de materiais utilizados e estimativa de preços

Tabela 3.1: Materiais utilizados e estimativa de preços para construção do tambor

Material	Valor Unitário	Quantidade	Valor total
Cano de PVC 20 mm	R\$ 15,00 (barra 6 m)	1	R\$ 15,00
Rolha de cortiça	R\$ 0,90	4	R\$ 3,60
Cola de cano 75 g	R\$ 13,50	1	R\$ 13,50
Serra de cano	R\$ 20,00	1	R\$ 20,00
Estilete	R\$ 7,00	1	R\$ 7,00
Lixa de madeira 150	R\$ 1,50	1	R\$ 1,50
Fita métrica de costureira de 1,5 m	R\$ 4,00	1	R\$ 4,00
Caneta	R\$ 1,00	1	R\$ 1,00
Fita dupla face 5 mm x 3 m	R\$ 7,00	1	R\$ 7,00
Madeira de 16 x 2 cm	-	2	Custo zero (doação)
Total das despesas			RS 72,60

Fonte: o autor, 2021

3.2.3 Montagem Experimental

Com os materiais em mãos, corte os canos nas medidas indicadas abaixo. No pedaço de aproximadamente 20 cm, lixe bem uma das bocas por dentro, corte uma rolha de cortiça no meio e insira nesta boca, você vai precisar forçar.

Figura 3.10: Esquema de como fica a rolha colocada no cano



Fonte: o Autor

Após inserir a rolha no cano, meça o comprimento do cano que restou. Na verdade, este procedimento é para descobrir o tamanho da rolha que entrou dentro do cano porque é preciso descontar este valor. As medidas para o comprimento do cano, como apresentadas na tabela 3.2, devem ser livres da rolha.

Observação: você poderá fazer isto, introduzindo um objeto no interior do cano até o final e medi-lo.

Tabela 3.2 – comprimento livre do cano

Nota musical	Comprimento do cano
Dó	17cm
Ré	O segundo cano cortamos com $\frac{8}{9}$ do primeiro = 15,11 cm
Mi	O terceiro cano cortamos com $\frac{4}{5}$ do primeiro = 13,60 cm
Fá	O quarto cano cortamos com $\frac{3}{4}$ do primeiro = 12,75 cm
Sol	O quinto cano cortamos com $\frac{2}{3}$ do primeiro = 11,33 cm
Lá	O sexto cano cortamos com $\frac{3}{5}$ do primeiro = 10,20 cm
Si	O sétimo cano cortamos com $\frac{8}{15}$ do primeiro = 9,06 cm
Dó	O oitavo cano cortamos com $\frac{1}{2}$ do primeiro = 8,50 cm

7. Cortado cada cano na medida acima acrescida do valor relativo à rolha, inserimos a rolha em cada cano.
2. Juntamos os canos, do maior para o menor, ou seja, da esquerda para a direita, lixamos cada um deles e colamos um no outro, um por um, com a cola de cano.

Figura 3.11: Esquema para colar os canos



Fonte: o Autor

8. Após colar todos os canos, deixamos secar por um tempo e lixamos levemente para tirar o excesso de cola;
9. Colados os canos, precisamos firmá-los. Para isto, colamos dois pedaços de madeira de 16×2 cm e passamos fita dupla face em um dos lados;
10. Passada a fita dupla face, descolamos o outro lado e colamos nos canos, um de cada lado, e assim está pronta a flauta pan. Veja figura 3.12.

Figura 3.12: Flauta pan



Fonte: o Autor

11. Para finalizar, pode-se pintar a flauta pan com tinta spray e decorá-la com uma fita.

3.2.4 Roteiro de atividades após a construção da Flauta Pan

- 1 – Utilizando o instrumento de sopro construído (flauta pan), abra o *software Audacity* e grave o som ao realizar o sopro em um dos tubos.

2 – Após gravar o som, siga os mesmos procedimentos descritos anteriormente para limpar o som.

3 - Após limpar o som, vá em ‘zoom’ e selecione a área onde o som foi emitido, amplie até conseguir visualizar nitidamente os comprimentos de onda.

4 – Visualizado o comprimento de onda, selecione uma única onda da sequência obtida e na parte inferior do *layout* do *software Audacity*, selecione a opção “início e tamanho da área selecionada”, obtendo assim o valor do período da onda sonora.

5 – Com o valor obtido você terá o período, substitua-o na equação (3) $f = \frac{1}{T}$, que relaciona o período com a frequência para obter a frequência do som obtido, observe se o valor obtido está de acordo com o que é esperado.

6 – Após encontrar o valor da frequência do som, substitua o valor obtido na equação (7) $v = \lambda \cdot f$ considerando $v = 340$ m/s, encontrando assim o valor do comprimento de onda.

7 – Após a resolução da sequência acima, repita os procedimentos para os outros tubos da flauta pan, após isso, responda os seguintes questionamentos:

- a) Houve diferença no som e no valor da frequência obtidos nos diferentes tubos? Se sim, explique com suas palavras as diferenças observadas.
- b) A que conclusão você chegou ao realizar o sopro em outros tubos? Tente estabelecer uma relação entre as frequências obtidas e o tamanho do tubo.
- c) Com a medida de frequência obtida, calcule a velocidade de propagação do som em cada tubo. (Utilize $f = \frac{NV}{4L}$ (equação 2.9) e considere N um número ímpar)
- d) Conforme os estudos no texto de apoio, é possível encontrarmos matematicamente o valor do harmônico? (Dica: relacione $v = \lambda \cdot f$ (equação 2.2) com $f = \frac{NV}{4L}$ (equação 2.9))
- e) Os valores de velocidade de propagação são próximos ao valor da velocidade de propagação no ar? Calcule o erro.
- f) Descreva, com suas palavras, a comparação dos tubos sonoros com o ouvido humano.

Realizada as atividades após a construção da flauta pan, espera-se que o estudante possa compreender que a frequência obtida é diferente conforme o comprimento de cada tubo e que utilizando as equações 2.2 e 2.9 pode-se calcular matematicamente o harmônico, comparando com o valor obtido experimentalmente. Neste sentido, para que a prática seja exitosa, é fundamental que os tubos estejam afinados.

3.2.5 Perspectiva para o esboço de um MC

Para finalizarmos nosso último encontro sobre o estudo do som, vamos fazer uma versão final de um MC envolvendo os conceitos físicos trabalhados.

Um MC nunca poderá ser considerado acabado e definitivo, pois os alunos no decorrer de seus estudos, certamente acrescentarão novos conceitos em seus mapas.

Utilizando o programa *Cmaptools*, inicia-se a revisão do MC, construído no segundo encontro. Para isto, houve uma discussão coletiva e modificou-se a pergunta focal para abranger os conceitos físicos envolvidos no estudo dos instrumentos musicais de cordas, percussão e sopro, acrescentou-se também novos conceitos, novos termos de ligação e ao final da revisão da segunda versão do MC, recorreu-se a TCP através do aplicativo utilizado, verificando assim, se o MC possui clareza semântica e está conceitualmente correto.

O MC coletivo foi construído após análise dos MCs individuais com toda a turma, sendo que para a construção do MC final, o professor manuseou o aplicativo conforme contribuições dos estudantes e o resultado está exibido na figura (3.12).

Para finalizar e promover uma revisão de todos conceitos discutidos, foi elaborado um questionário final, como apresentado abaixo:

Questionário final:

1 – Sobre instrumentos de corda, de sopro e de percussão, assinale as alternativas corretas:

() Instrumentos de percussão são utilizados para dar ritmo às músicas, tendo como exemplos o tambor, o pandeiro e o surdo.

() Nos instrumentos de cordas, o comprimento das cordas determina o som que o instrumento produz.

() Nos instrumentos de sopro, quanto maior for o comprimento do tubo, mais grave será o som.

() Nos instrumentos de sopro, em tubos menores obtemos sons mais graves, ou seja, sons com frequências mais baixas.

() Nos instrumentos de cordas, o som obtido independe do comprimento e de quanto as cordas estão esticadas

2 – Sobre a propagação do som, é correto afirmar?

e) O som se propaga somente no vácuo.

f) O som se propaga em qualquer meio, inclusive no vácuo.

g) O som depende de um meio material para se propagar.

h) O som se propaga apenas no ar.

3 - Qual das alternativas abaixo é a definição de onda?

e) Onda é um pulso que se propaga de um ponto a outro transportando energia sem transportar matéria. As ondas podem ser classificadas com relação à sua natureza de vibração como mecânicas e eletromagnéticas.

f) Onda é um pulso que se propaga de um ponto a outro transportando energia e matéria. As ondas podem ser classificadas com relação à sua natureza de vibração como transversais e longitudinais.

g) Onda é uma propagação de um lugar para outro que depende sempre de um meio material para que essa propagação aconteça. As ondas podem ser classificadas com relação à sua natureza de vibração como sonoras e eletromagnéticas.

h) Onda é um pulso que se propaga de um ponto a outro sem transportar energia e matéria.
As ondas podem ser classificadas com relação à sua natureza de vibração como mecânicas e sonoras.

5 – Segundo a natureza das ondas, elas podem ser classificadas como:

- e) Transversais e longitudinais.
- f) Mecânicas e sonoras.
- g) Sonoras e eletromagnéticas.
- h) Mecânicas e eletromagnéticas.

5 – Quais palavras completam a frase: “O som é classificado como uma onda _____, _____ e _____ porque _____ de um meio material para se propagar.

- e) Mecânica, longitudinal, tridimensional, precisa.
- f) Eletromagnética, transversal, adimensional, não precisa.
- g) Sonora, longitudinal, tridimensional, precisa.
- h) Mecânica, transversal, tridimensional, não precisa.

6 – Qual é a definição de volume?

- e) É a altura do som.
- f) Está relacionado a intensidade sonora, que é a quantidade de energia emitida por uma fonte sonora por unidade de tempo em relação a certa área.
- g) São todos os sons ouvidos pelos seres humanos.
- h) É a intensidade com que uma nota é executada.

7 – Qual qualidade fisiológica do som faz com que possamos diferenciar a voz de uma pessoa ou o som de diferentes instrumentos musicais?

- f) Altura.
- g) Timbre.
- h) Intensidade.
- i) Frequência.
- j) Comprimento da onda sonora.

8 – Um dos conceitos importantes no estudo do som é o de “frequência”, fisicamente, qual a definição deste conceito?

- e) É o número de oscilações de ondas por minuto, e sua unidade de medida é o segundo.
- f) É o número de oscilações de ondas por segundo, e sua unidade de medida é Hertz (Hz).
- g) É o número de ondas que passa em um determinado ponto.
- h) Está relacionado a quantidade de ondas que são emitidas.

9 - Considerando um instrumento de cordas, é correto afirmar que:

- e) A espessura da corda não interfere na nota musical a ser emitida.
- f) Todos os instrumentos de cordas emitem sons idênticos para uma mesma nota.
- g) Existe uma relação entre o tamanho da corda e a nota musical a ser emitida.
- h) Pode-se tocar e segurar em qualquer lugar de uma corda que ela emitirá sempre o mesmo som.

10 – Sobre instrumentos de sopro, é correto afirmar que:

- e) Ao soprar um tubo, o som emitido independe do comprimento do tubo.
- f) O som só pode ser emitido em tubos com uma das pontas fechadas.
- g) Um tubo curto produz um som mais grave.
- h) Um tubo curto produz um som mais agudo.

11 - Se um homem vê um raio e após 10 segundos, ouve o som emitido por ele, qual é a distância que este homem está do ponto onde caiu o raio? (Considere a velocidade do som 340 m/s)

- e) 34.000 m.
- f) 34 m.
- g) 3.400 m.
- h) 340.000 m.

12 - Em um tubo sonoro fechado de comprimento igual a 0,5 m, forma-se um harmônico de frequência igual a 850 Hz. Sendo a velocidade do som no interior do tubo igual a 340 m/s, o harmônico formado nesse tubo é igual a:

- e) Sexto harmônico.

- f) Primeiro.
- g) Quinto.
- h) Sétimo.

13 - Uma onda estacionária cujo comprimento de onda mede 50 cm é formada em uma corda vibrante de 4,0 m de comprimento. A ordem do harmônico formado é igual a:

- e) 8.
- f) 12.
- g) 16.
- h) 4.

Respostas do Questionário inicial

1- Sobre instrumentos de corda, de sopro e de percussão, assinale as alternativas corretas:
(X) Instrumentos de percussão são utilizados para dar ritmo as músicas, tendo como exemplos tambor, pandeiro e surdo.

(X) Nos instrumentos de cordas, o comprimento das cordas determina o som que o instrumento produz.

(X) Nos instrumentos de sopro, quanto maior for o comprimento do tubo, mais grave será o som.

() Nos instrumentos de sopro, em tubos menores obtemos sons mais graves, ou seja, sons com frequências mais baixas.

() Nos instrumentos de cordas, o som obtido independe do comprimento e de quanto as cordas estão esticadas.

2 – Sobre a propagação do som, é correto afirmar?

- a) som se propaga somente no vácuo.
- b) O som se propaga em qualquer meio, inclusive no vácuo.
- c) **O som depende de um meio material para se propagar.**
- d) O som se propaga apenas no ar.

3 – Qual das alternativas abaixo é a definição de onda?

- a) **Onda é um pulso que se propaga de um ponto a outro transportando energia sem transportar matéria. As ondas podem ser classificadas com relação à sua natureza de vibração como mecânicas e eletromagnéticas.**
- b) Onda é um pulso que se propaga de um ponto a outro transportando energia e matéria. As ondas podem ser classificadas com relação à sua natureza de vibração como transversais e longitudinais.
- c) Onda é uma propagação de um lugar para outro que depende sempre de um meio material para que essa propagação aconteça. As ondas podem ser classificadas com relação à sua natureza de vibração como sonoras e eletromagnéticas.
- d) Onda é um pulso que se propaga de um ponto a outro sem transportar energia e matéria. As ondas podem ser classificadas com relação à sua natureza de vibração como mecânicas e sonoras.

4 – Segundo a natureza das ondas, elas podem ser classificadas como:

- a) Transversais e longitudinais.
- b) Mecânicas e sonoras.
- c) Sonoras e eletromagnéticas.
- d) **Mecânicas e eletromagnéticas.**

5 – Quais palavras completam a frase: “O som é classificado como uma onda _____, _____ e _____ porque _____ de um meio material para se propagar.

- a) **Mecânica, longitudinal, tridimensional, precisa.**
- b) Eletromagnética, transversal, adimensional, não precisa.
- c) Sonora, longitudinal, tridimensional, precisa
- d) Mecânica, transversal, tridimensional, não precisa.

6 – Qual é a definição de volume?

- a) É a altura do som.
- b) **Está relacionado a intensidade sonora, que é a quantidade de energia emitida por uma fonte sonora por unidade de tempo em relação a certa área.**
- c) São todos os sons ouvidos pelos seres humanos.

d) É a intensidade com que uma nota é executada.

7 – Qual qualidade fisiológica do som faz com que possamos diferenciar a voz de uma pessoa ou o som de diferentes instrumentos musicais?

a) Altura.

b) Timbre.

c) Intensidade.

d) Frequência.

e) Comprimento da onda sonora.

8 – Um dos conceitos importantes no estudo do som é o de “frequência”, fisicamente, qual a definição deste conceito?

a) É o número de oscilações de ondas por minuto, e sua unidade de medida é o segundo.

b) É o número de oscilações de ondas por segundo, e sua unidade de medida é Hertz (Hz).

c) É o número de ondas que passa em um determinado ponto.

d) Está relacionado a quantidade de ondas que são emitidas.

9 – Considerando um instrumento de cordas, é correto afirmar que:

a) A espessura da corda não interfere na nota musical a ser emitida.

b) Todos os instrumentos de cordas emitem sons idênticos para uma mesma nota.

c) Existe uma relação entre o tamanho da corda e a nota musical a ser emitida.

d) Pode-se tocar e segurar em qualquer lugar de uma corda que ela emitirá sempre o mesmo som.

10 – Sobre instrumentos de sopro, é correto afirmar que:

a) Ao soprar um tubo, o som emitido independe do comprimento do tubo.

b) O som só pode ser emitido em tubos com uma das pontas fechadas.

c) Um tubo curto produz um som mais grave.

d) Um tubo curto produz um som mais agudo.

Respostas do questionário final:

O questionário final, as questões 1 a 10 são as mesmas do questionário inicial, portanto não se repetirá o mesmo gabarito destas questões, neste questionário final acrescentamos três questões, a seguir:

1 - Se um homem vê um raio e após 10 segundos ouve o som emitido por ele, qual é a distância que este homem está do ponto onde caiu o raio? (Considere a velocidade do som 340 m/s)

- a) 34.000 m.
- b) 34 m.
- c) 3.400 m.**
- d) 340.000 m.

2 - Em um tubo sonoro fechado de comprimento igual a 0,5 m, forma-se um harmônico de frequência igual a 850 Hz. Sendo a velocidade do som no interior do tubo igual a 340 m/s, o harmônico formado nesse tubo é igual a:

- a) Sexto harmônico.
- b) Primeiro.
- c) Quinto.**
- d) Sétimo.

3 - Uma onda estacionária cujo comprimento de onda mede 50 cm é formada em uma corda vibrante de 4,0 m de comprimento. A ordem do harmônico formado é igual a:

- a) 8.
- b) 12.
- c) 16.**
- d) 4.

Respostas do quiz sobre conceitos de Física

1 - Quiz

O som é uma onda?



30 sec



Mecânica



Eletromagnética



Material



Gravitacional



2 - Quiz

A luz é uma onda?



30 sec



Mecânica



Eletromagnética



Gravitacional



De matéria



3 - Quiz

Quais são as formas de vibração de uma onda?



30 sec



Bidimensional e tridimensional



Mecânica e eletromagnética



Transversal e longitudinal



Transversal e eletromagnética



4 - Quiz

Qual destas é uma informação quanto a direção de propagação de ondas?



30 sec

- Eletromagnética ✗
- Bidimensionais ✓
- Transversal ✗
- Mecânicas ✗

5 - Quiz

Qual destes não é uma parte de uma onda?



30 sec

- Crista ✗
- Vale ✗
- Ventre ou antinó ✗
- Timbre ✓

6 - Quiz

Qual a unidade da grandeza física frequência?



30 sec

- metros por segundo (m/s) ✗
- Metros (m) ✗
- Hertz (Hz) ✓
- Segundos (s) ✗

7 - Quiz

Qual das alternativas NÃO é uma característica do som?

30 sec

- | | | |
|----------------------------------|-------------|---|
| <input type="radio"/> | Timbre | ✗ |
| <input checked="" type="radio"/> | Tempo | ✓ |
| <input type="radio"/> | Altura | ✗ |
| <input type="radio"/> | Intensidade | ✗ |

Respostas do quiz sobre história da música e dos instrumentos

1 - True or false

A música é uma combinação de ritmo, harmonia e melodia?

20 sec

- | | | |
|----------------------------------|-------|---|
| <input checked="" type="radio"/> | True | ✓ |
| <input type="radio"/> | False | ✗ |

2 - True or false

A música apareceu antes da linguagem verbal.

20 sec

- | | | |
|----------------------------------|-------|---|
| <input checked="" type="radio"/> | True | ✓ |
| <input type="radio"/> | False | ✗ |

3 - True or false

A música existe como entretenimento desde a idade média?

20 sec

- | | | |
|----------------------------------|-------|---|
| <input type="radio"/> | True | ✗ |
| <input checked="" type="radio"/> | False | ✓ |

4 - Quiz

A quem as culturas primitivas atribuíam a criação dos instrumentos musicais?



20 sec

- Ao Sol ✗
- A Lua ✗
- Aos Deuses ✓
- A Terra ✗

5 - Quiz

Qual destas não é uma categoria de instrumentos musicais?



20 sec

- Sopro ✗
- Cordas ✗
- Percussão ✗
- Ressonantes ✓

6 - Quiz

A palavra música deriva do grego e significa?



20 sec

- Harmonia ✗
- Paz ✗
- Sons da natureza ✗
- Arte das musas ✓

7 - Quiz

Qual dos instrumentos abaixo é de percussão?



20 sec

- Triângulo ✓
- Harpa ✗
- Flauta pan ✗
- Alaúde ✗

8 - Quiz

Qual dos instrumentos abaixo é de sopro?



20 sec

- Surdo de marcação ✗
- Chocalho ✗
- Clarinete ✓
- Pratos ✗

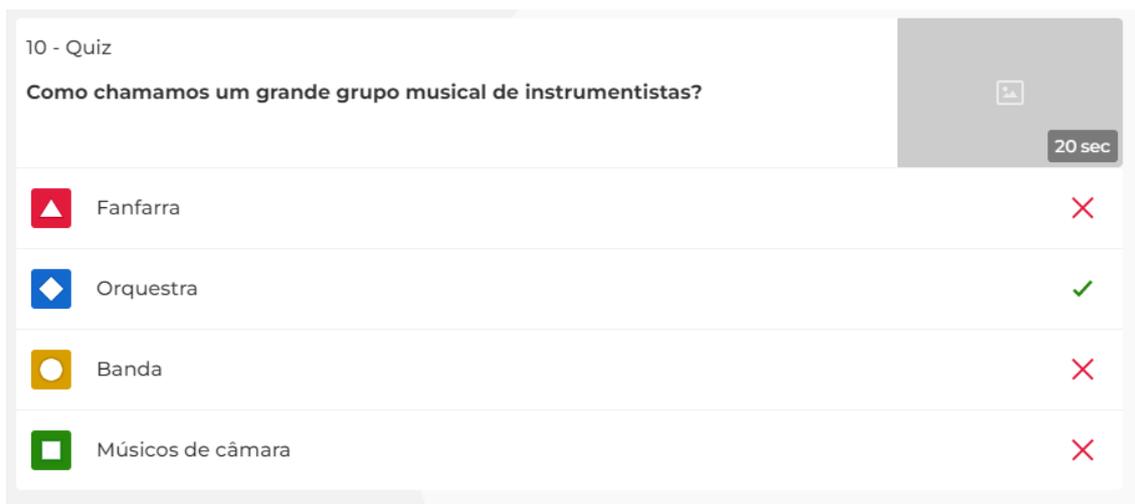
9 - True or false

Nos instrumentos de cordas, o comprimento e a espessura da corda determinam o som que ela produz?



20 sec

- True ✓
- False ✗



Considerações finais

A aplicação do produto educacional sobre ondas mecânicas, mais especificamente sobre som, contou com a teoria de aprendizagem significativa de Ausubel, a construção de mapas conceituais e uma unidade de ensino potencialmente significativa, pois contou com diversos recursos, tais como simuladores, proposta de construção de instrumentos sonoros e a utilização de software livre, como o *Audacity*. Por si só, a aplicação já faria a utilização de diversos recursos para efetivar uma aprendizagem significativa, porém com a impossibilidade de encontros presenciais devido a pandemia do SARS-COV-2, a aplicação se deu via *meet* e precisou-se adaptar muito da ideia inicial de construção, pois essa parte foi suprida com simuladores computacionais disponibilizados gratuitamente e vídeos demonstrando os experimentos e arquivos apresentando os dados coletados para que os alunos fizessem as análises e resolução de problemas.

Diante de todas as dificuldades, percebe-se que há recursos e formas de se fazer uma aprendizagem significativa, mas para que isso possa acontecer, o professor precisa adotar uma adaptação disciplinada, fazer uso de novas ferramentas, usar de toda sua criatividade, sair da zona de conforto e buscar conhecimentos e trabalhos científicos já realizados sobre o tema para que de tal forma, o aprendizado de fato, seja significativo.

Neste sentido, a metodologia utilizada e as dificuldades causadas pela pandemia levaram a busca por mais recursos que culminaram em crescimento profissional e uma aprendizagem significativa por parte do docente, pois a aprendizagem

de manuseio de um software de edição de som, o *Audacity*, para o ensino de Física só foi possível após pesquisas em artigos científicos e a busca por realizar a determinação da velocidade do som a partir de um programa que até então, se fazia desconhecido por muitos professores de Física.

Também se fez importante a proposta de construção de instrumentos musicais, pois a mesma evidencia ao professor que é possível realizar atividades experimentais a partir da construção de equipamentos com materiais de fácil acesso e baixo custo, que tais ações envolvem e motivam os alunos para a construção da aprendizagem significativa e progressiva.

Já a construção de mapas conceituais, pode acontecer a partir de análise de textos e em qualquer área para o processo de ensino-aprendizagem, uma vez que se trata de um recurso que faz com que os estudantes relacionem conceitos para que assim aconteça a integração e significação daquilo que apreendem. Levando em consideração que é uma ferramenta que oportuniza ir além da aprendizagem mecânica e que certamente os estudantes jamais esquecerão do que realizaram.

Durante o percurso e para a aplicação do PE, o autor sentiu a necessidade de participar de cursos sobre recursos tecnológicos, aprender a gravar e editar vídeos, fazer pesquisas sobre como utilizar o *Audacity*, visualização de muitos tutoriais de uso de simuladores e de construção dos instrumentos, além de cursos sobre mapas conceituais e aprendizagem colaborativa, sendo que toda essa trajetória enriqueceu e o preparou para a aplicação do PE, além de proporcionar muita segurança nas ações pensadas, inclusive nas improvisações que tiveram de ser feitas devido a pandemia SARS-COV-2. No entanto, toda essa formação não foi útil apenas para aplicar o PE, mas transformou a visão do autor sobre o papel do professor, apresentando novas possibilidades.

Pensando na educação do século XXI e os avanços tecnológicos que vemos dia após dia, o professor precisa buscar ferramentas de linguagem computacional para demonstrar e apresentar conceitos para seus alunos. O docente necessita cada vez mais, dominar técnicas de gravação e edição e, segundo Aguiar e Correia (2013), o uso de MC's podem fazer com que os alunos externalizem seus conhecimentos e, quando propor-se a construção de um MC coletivo como produto final, o professor pode estimular a colaboração e o trabalho em grupo e o processo de negociação na busca por consenso entre os envolvidos pode se tornar um meio profícuo de socialização e de aprendizagem entre pares.

Uma vez que quando os estudantes possuem os mesmos anseios e ainda tem a facilidade de se comunicarem na mesma linguagem, essa é uma prática que precisa ser cada vez mais levada em consideração em sala de aula, pois ninguém constrói conhecimento e não produz nada sem contar com apoio e colaboração de outras pessoas. Podemos ver isso nos dias atuais, pois os recursos tecnológicos que surgem e as novas abordagens e conclusões de pesquisas não são produtos de uma mente brilhante, mas sim, fruto de muita colaboração e de muitas pessoas envolvidas em grupos. E este modelo educacional precisa ser pensado para nossos estudantes.

Neste sentido, estão à disposição as propostas de Novo Ensino Médio e Educação Integral, as quais só darão certo se o professor tiver conhecimento, as escolas possuírem recursos e, principalmente, se houver a consciência para que o produto fruto do conhecimento seja do todo, feito coletivamente.

Portanto, o presente trabalho apresenta que é possível repensar e construir UEPS sobre qualquer assunto e que o uso de simuladores, *quizzes*, vídeos, mapas conceituais e outros recursos, tratam-se de ferramentas imprescindíveis para que a aprendizagem seja realmente significativa.

Referências

ALMEIDA, Antônio Vitorino de. *O que é música*. Lisboa: Difusão Cultural, 1993.

AGUIAR, Joana Guilaes de & CORREIA, P. R. M. “*Como Fazer Bons Mapas Conceituais? Estabelecendo Parâmetros de Referência e Propondo Atividades de Treinamento*”. Revista Brasileira de Pesquisa em Educação Científica, vol. 13, n. 2, 2013, pp. 141-157.

CORREIA, P. R. M., AGUIAR, J. G., Viana, A. D., & Cabral, G. C. P. (2016). *Por Que Vale a Pena Usar Mapas Conceituais no Ensino Superior?*. Revista De Graduação USP, 1(1), 41-51. <<https://doi.org/10.11606/issn.2525-376X.v1i1p41-51>>. Acessado em 25/04/2021.

CUSTÓDIO, Euclides. *Tambor de sucata*. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=a0CJ8DYlnEE>>. Acessado em 29/09/2019.

DA SILVA, Luiz Vitor. Construindo uma flauta pan. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=5T0wuLIGIBw>> acessado em 29/09/2019.

GRILLO, Maria Lúcia. PEREZ, Luiz Roberto. Organizadores. *Física e música*. São Paulo. Editora Livraria da Física, 2016.

HALLIDAY, D. RESNICK, R. WALKER, J. *Fundamentos de Física: Gravitação, Ondas e Termodinâmica*. Volume 2. 6ª edição. Editora LTC. Rio de Janeiro, 2002.

HELERBROCK, Rafael. “*Ressonância*”; Brasil Escola. Disponível em: <<https://brasilecola.uol.com.br/fisica/ressonancia.htm>> acesso em 04 de maio de 2021 às 21:45 horas.

JÚNIOR, Joab Silas da Silva. “*O que é som?*”; Brasil Escola. Disponível em: <<https://brasilecola.uol.com.br/o-que-e/fisica/o-que-e-som.htm>> acesso em 03 de maio de 2021 às 22:40 horas.

MARCHAND, P. *A música dos instrumentos: das flautas de osso da pré-história às guitarras elétricas*. 6ª edição, Melhoramentos, 1997.

MAZETI, Lucas Jesus Bettiol . *Sequência didática: uma alternativa para o ensino de acústica para o ensino médio*. 2017. 145 f.: 30 cm.

MENDES, Mariane. “Ondas”; Brasil Escola. Disponível em: <<https://brasilecola.uol.com.br/fisica/ondas.htm>> acesso em 03/05/2021 às 21:30 horas.

MOURA. Daniel de Andrade. NETO. Pedro Bernardes. *O ensino de acústica no Ensino Médio por meio de instrumentos musicais de baixo custo*. In: Física na Escola, v. 12, n. 1, 2011. Disponível em: <<http://www.sbfisica.org.br/fne/Vol12/Num1/acustica.pdf>>. Acessado em 29/09/2019.

MOREIRA. M. A. *Teorias de aprendizagem*. Editora EPU, 2011.

MOREIRA, M. A. *Aprendizagem significativa*. Brasília: Editora da UnB, 1998.

MOREIRA, M. A. *A Teoria da aprendizagem significativa e sua implementação em sala de aula*. Brasília: UnB, 2006.

NUSSENZVEIG, Herch Moysés. *Curso de Física básica – Volume 2*. 4ª edição. Editora Blucher. Rio de Janeiro, 2002.

OLIVEIRA, Francisco Lindoval de. *A música no contexto da Psicopedagogia e a utilização de instrumentos musicais como ferramentas de aprendizagem*. Revista Educação Pública, v. 20, nº 10, 17 de março de 2019. Disponível em: <<https://educacaopublica.cecierj.edu.br/artigos/20/10/a-musica-no-contexto-da-psicopedagogia-e-a-utilizacao-de-instrumentos-musicais-como-ferramentas-de-aprendizagem>>

PELEGRINI, Márcio. *Minimanual compacto de Física: teoria e prática* / Márcio Pelegrini. São Paulo: Rideel, 1999.

TREFIL, James. HAZEN, Robert. *Física Viva: Uma Introdução à Física Conceitual*, vol. 2, Editora LTC, Rio de Janeiro (2006).

RIBEIRO, Tiago Garcia. SENRA, Clarice Parreira. RESENDE, Mateus Antônio. *Utilização do software Audacity como recurso didático no ensino de ondas*. In: Física na Escola, v.16, n.1, 2018. Disponível em: <<http://www1.fisica.org.br/fne/phocadownload/Vol16-Num1/a10.pdf>>, Acesso 29/09/2019.

Como construir um tambor. Disponível em: <<https://pt.wikihow.com/Fazer-um-Tambor-Caseiro>>. Acessado em 15/11/2019 às 19:30 horas.

LUTHIERIA DE POBRE, Cítara, *Zither, Mini-Harpa, Saltério, etc! Como construir?* Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=EdQk2VI-1w4>> Acessado e, 29/09/2022.