

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE FÍSICA

SALVIO FERREIRA DA GAMA

**ONDAS SONORAS NO ENSINO MÉDIO: CONSTRUÇÃO DE UMA SEQUÊNCIA
DIDÁTICA E ANÁLISE CONCEITUAL DOS ALUNOS**

VITÓRIA - ES

2021

SALVIO FERREIRA DA GAMA

**ONDAS SONORAS NO ENSINO MÉDIO: CONSTRUÇÃO DE UMA SEQUÊNCIA
DIDÁTICA E ANÁLISE CONCEITUAL DOS ALUNOS**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física (PPGEnFis) do Centro de Ciências Exatas, da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador: Prof. Dr. Breno Rodrigues Segatto

VITÓRIA - ES

2021

Ficha catalográfica disponibilizada pelo Sistema Integrado de Bibliotecas - SIBI/UFES e elaborada pelo autor

G184o Gama, Salvio Ferreira da, 1977-
Ondas sonoras no ensino médio : construção de uma sequência didática e análise conceitual dos alunos / Salvio Ferreira da Gama. - 2021.
166 f. : il.

Orientador: Breno Rodrigues Segatto.
Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Física) - Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Exatas.

1. Física (Ensino médio). 2. Ondas sonoras. I. Segatto, Breno Rodrigues. II. Universidade Federal do Espírito Santo. Centro de Ciências Exatas. III. Título.

CDU: 53



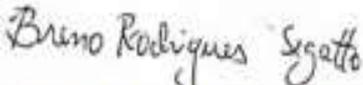
"ONDAS SONORAS NO ENSINO MÉDIO: CONSTRUÇÃO DE UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA E ANÁLISE CONCEITUAL DOS ALUNOS"

Sálvio Ferreira da Gama

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física - Mestrado Profissional em Ensino de Física, ofertado pela Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Aprovada em 05 de fevereiro de 2021.

Comissão Examinadora



Prof. Dr. Breno Rodrigues Segatto
(Orientador PPGEnFis/UFES)



Prof. Dr. Cleiton Kenup Piumbini
(Membro Externo/UFES)



Prof. Dr. Rodrigo Dias Pereira
(Membro Interno PPGEnFis/UFES)

DEDICATÓRIA

A Herineide, esposa e parceira em todos os momentos dessa jornada.

Aos meus filhos Heitor e Maria Júlia, razões de inúmeros momentos de felicidade e conforto durante o período do mestrado, ainda que fosse a partir de uma simples mensagem ou foto enviada.

A Júlia, minha mãe, meu exemplo maior e incentivadora de sempre.

A Augustinho (*in memoriam*), meu pai, que deixou imensa saudade ainda no início do mestrado.

A Otto, meu irmão, cujo apoio logístico que facilitou meu transporte de São Mateus a Vitória nos meses iniciais do mestrado, além de outros eventos, foi fundamental.

A Maria, minha irmã, companheira e exemplo de perseverança por toda vida.

A Durval, sobrinho querido que sempre honrou a todos nós familiares com sua amizade contagiante.

Aos meus sogros, Henock e Maria Neide, pela parceria de sempre.

AGRADECIMENTOS

Tenho que lembrar que esse trabalho teve muitas parcerias às quais sou profundamente grato, sem eles tudo teria sido mais difícil ou até mesmo inviável.

Primeiramente a Deus, força infinita que me renovava o ânimo diante do cansaço físico e mental da jornada.

A Timóteo Ricardo, pela imensa presteza e maestria quando necessitei de apoio no ambiente de trabalho para sair 11h de São Mateus e tentar chegar às 14h em Vitória; seu auxílio é impagável.

À diretora Ângela, pela readequação da carga horária conforme previa o edital do Pró-Docência, o que me permitiu prosseguir na caminhada, por vários meses de difícil conciliação de horários.

A Shirley José Maria, Técnica Pedagógica da SEDU/ES e interlocutora do CEFOPE, pela disponibilidade e esforço em informar e orientar sempre que a consultei.

Em especial ao meu orientador, professor Breno, pela paciência diante de minhas limitações e pela oportunidade de uma jornada na qual agreguei muito à minha forma de ensinar enquanto aprendia significativamente tantas outras lições pelo simples convívio. No fim de tudo, obrigado mesmo professor Breno.

Ao colega Natiel pelas frutíferas discussões acerca do ensino de Física, da Universidade, dos trabalhos que algumas vezes fizemos juntos, da própria dissertação e das divagações da própria vida.

A Heriedna, a quem acionei muitas vezes mesmo estando no RJ e tendo pouco tempo disponível, seu auxílio foi valioso e imensurável para este trabalho. Gratidão.

A todos os professores do PPGEnFis (Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física), por suas contribuições e sugestões diretas e indiretas para chegar até aqui.

À Biblioteca Central e seus funcionários, local onde debrucei muitas vezes sobre as obras que fundamentaram o elo teórico com a Teoria da Aprendizagem Significativa.

À SEDU-ES (Secretaria da Educação do Espírito Santo) pela oportunidade através do Pró-Docência.

À CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pelo suporte financeiro por meio da concessão da bolsa de estudos.

*“Quero assistir ao sol nascer
Ver as águas dos rios correr
Ouvir os pássaros cantar
Eu quero nascer, quero viver”*

Antônio Candeia Filho (1935-1978)

RESUMO

Tendo como propósito inicial construir uma sequência didática voltada ao estudo das ondas sonoras e seus conceitos básicos, este trabalho foi concebido e construído a partir da sistematização de 5 encontros formais dirigidos a duas turmas de alunos da 2ª série do ensino médio de uma escola estadual, localizada no município de São Mateus, Espírito Santo, no ano letivo de 2019. Após as aulas foi aplicado um teste envolvendo ondas sonoras com o fim de verificar o aprendizado obtido e, caso necessário, reavaliar e/ou promover alterações que tornem exequível a aplicação da sequência didática proposta, no todo ou em parte, pelos demais professores de Física do ensino médio. Buscamos seguir, na estruturação teórica da sequência didática, as linhas gerais do que preconiza a Teoria da Aprendizagem Significativa de David Ausubel. Na perspectiva de Ausubel, em síntese, o que mais importa são os conhecimentos que os alunos já trazem consigo sobre o que vai ser ensinado; esses conhecimentos seriam o marco inicial para o planejamento do professor. Percorremos o caminho alternativo na busca desses conhecimentos através da literatura que registra as concepções espontâneas dos alunos envolvendo ondas sonoras, sempre atentos às disparidades e semelhanças dos alunos avaliados nesses trabalhos com o nosso público alvo. A sequência didática possui atividades que envolvem conteúdos mais gerais inicialmente, incluindo a utilização de alguns simuladores virtuais e experimentos simples, passando daí às especificidades conceituais sobre ondas sonoras. Na fase de análise das respostas dadas ao teste, com o auxílio de elementos da análise de conteúdo proposta por Bardin, verificamos traços de evolução conceitual, apesar da presença de uma certa resistência a mudanças conceituais em alguns pontos. Tal análise também nos permitiu consolidar como viável a aplicabilidade da sequência didática, denominada nesse texto como produto educacional, apesar de algumas dificuldades e especificidades e nela fazer algumas novas adaptações.

Palavras-chave: Ensino de Física. Aprendizagem Significativa. Concepções Espontâneas.

ABSTRACT

This work was conceived and built based on the systematization of 5 lessons directed to two classes of students of the 2nd grade of the high school of the public school, located in the city of São Mateus, Espírito Santo state, Brazil, in the year 2019. After the classes we applied a test involving sound waves in order to verify knowledge and, if necessary, promote changes that would make the use of the material possible by other physics teachers in high school. We seek to follow, in the theoretical structuring of the didactic sequence, as general lines of what the Ausubel's Learning Theory advocates. In Ausubel's perspective, in synthesis, the most important is the knowledge that students already bring with them about what will be taught; this prior knowledge would be the starting point for teacher planning. We followed the alternative path in the search for this knowledge through the literature that records the spontaneous conceptions (Common Reasoning or Alternative Conceptions) of students involving sound waves. The didactic sequence has activities that involve more general content, including the use of some virtual simulators and simple experiments, passing to the conceptual specificities about sound waves. In the analysis phase of the answers given to the test, with the help of elements of the content analysis proposed by Bardin, we verified traces of conceptual evolution, despite the presence of a certain resistance to conceptual changes in some points. Such analysis also allowed us to consolidate the applicability of the didactic sequence, named in this text as an educational product, as feasible, despite some difficulties and specificities and make some new adaptations in it.

Keywords: Physics Education. Meaningful Learning. Alternative conceptions on Physics.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Representação esquemática da TAS.....	22
Figura 2 - Representação do sinal senoidal por Oppenheimer.....	26
Figura 3 - Atributos físicos de uma onda senoidal: comprimento de onda e amplitude, com cristas e ondas.....	27
Figura 4 – Representação de uma onda propagativa em uma corda.....	29
Figura 5 – Formação de ondas estacionárias em corda presa.....	30
Figura 6 – Formação de uma onda estacionária.....	32
Figura 7 – Propagação sonora a partir de um diapásão.....	34
Figura 8 – Representação de pulsos com amplitudes diferentes	34
Figura 9 – Representação de frentes de onda por um aluno.....	37
Figura 10 – Representação senoidal de onda por um aluno.....	38
Figura 11 – Representação de propagação de onda sonora por um aluno	38
Figura 12 – Magma como causa de um terremoto, na representação de um aluno.....	39
Figura 13 – Ondas sísmicas como causa do terremoto, representado por aluno.....	40
Figura 14 – Produção de ondas em uma corda por alunos.....	57
Figura 15– Uso do simulador virtual.....	58
Figura 16 – Representação esquemática do experimento <i>telefone de barbante</i>	60
Figura 17 – Montagem pelos alunos do experimento <i>telefone de barbante</i>	60
Figura 18 – Hipótese das velocidades do som em vários meios	61
Figura 18.1 – Esquema ilustrativo das ideias dos alunos	62
Figura 19 – Categorias das respostas à questão Q1 do turno noturno.....	65
Figura 20 – Categorias das respostas à questão Q1 do turno diurno.....	65
Figura 21– Respostas de alunos à questão Q2	68
Figura 22 – Respostas de alunos à questão Q2	69
Figura 23 – Respostas de aluno representando uma frente de ondas.....	70
Figura 24-25 – Padrão gráfico das respostas dadas à questão Q2.....	71
Figura 26 – Representação senoidal de aluno.....	72
Figura 27-28 – Padrão gráfico das respostas dadas à questão Q3.....	73
Figura 29 – Representação de aluno de uma propagação do som no ar.....	73
Figura 30 – Representação de aluno de uma propagação por modelo misto.....	75
Figura 31-32 – Padrão gráfico das respostas dadas à questão Q4.....	76

Figura 33-35 – Representação de alunos de onda sonora no vácuo.....	77
Figura 36-37 – Padrão gráfico das respostas dadas à questão Q5.....	79
Figura 38-39 – Padrão gráfico das respostas dadas à questão Q6.....	81
Figura 40-41 – Padrão gráfico das respostas dadas à questão Q7.....	83

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Percentual de escolas com biblioteca/sala de leitura, segundo Região	17
Tabela 2 – Sugestões para elaboração de aula no modelo da TAS	23
Tabela 3 – Níveis de intensidade sonora de alguns ambientes	35
Tabela 4 - Mapeamento das respostas da questão 2	37
Tabela 5 – Os encontros formais previstos	43
Tabela 6 – Síntese da Sequência Didática a ser implementada em sala	45
Tabela 7 – Diferenciação Progressiva e Reconciliação Integrativa e suas ocorrências na prática	48
Tabela 8 – Questões suscitadas pelos alunos do noturno e diurno (dados condensados) durante a 1ª aula sobre ondas, com explicações e debates postergados em função do planejamento	51
Tabela 9– Questões suscitadas pelos alunos durante a 2ª aula sobre ondas, com explicações e debates postergados conforme combinado com os alunos	55
Tabela 10 – Resultados da atividade dos alunos antes e depois do simulador virtual	58
Tabela 11 - Questões levantadas pelos alunos durante a 3ª aula sobre ondas, com explicações e debates postergados em função do planejamento	59
Tabela 12 – Padrão de respostas antes da realização do experimento	60
Tabela 13 – Categorias da questão Q1	65
Tabela 14 – Ocorrências no turno da noite (Q 1)	67
Tabela 15 – Ocorrências no turno da manhã (Q 1)	67
Tabela 16 – Categorias para a questão Q2	67
Tabela 17 – Ocorrências no turno da noite (Q2)	70
Tabela 18 – Ocorrências no turno da manhã (Q2)	70
Tabela 19– Como uma onda sonora se propagaria no ar? Represente num desenho (Q3)	72
Tabela 20 – Ocorrências no turno da noite (Q3)	73
Tabela 21 – Ocorrências no turno da manhã (Q3)	73
Tabela 22 - Como uma onda sonora se propagaria no vácuo? Represente num desenho (Q4)	75
Tabela 23 – Ocorrências no turno da noite (Q4)	75
Tabela 24 – Ocorrências no turno da manhã (Q4)	76
Tabela 25 - Qual a diferença de um som agudo para um som mais grave, ambos de um mesmo piano?	78

Tabela 26 – Ocorrências no turno da noite (Q5)	79
Tabela 27 – Ocorrências no turno da manhã (Q5)	79
Tabela 28 - Represente com um desenho genérico a diferença entre esses sons se propagando no ar (Q6)	81
Tabela 29 – Ocorrências no turno da noite (Q6)	82
Tabela 30 – Ocorrências no turno da manhã (Q6)	82

LISTA DE ABREVIATURAS

BNCC – Base Nacional Comum Curricular
CBC – Currículo Básico Comum do Estado do Espírito Santo
EEEM – Escola Estadual de Ensino Médio
ES – Estado do Espírito Santo
FCI – Force Concept Inventory
FM – Frequência Modulada
PAEBES - Programa de Avaliação da Educação Básica do Espírito Santo
Q1 – Questão 1
Qn – Questão n
SD – Sequência Didática
SEDU – Secretaria Estadual de Educação
SI – Sistema Internacional de Unidades
TAS – Teoria da Aprendizagem Significativa
UFES – Universidade Federal do Espírito Santo

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

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	16
1.2 Objetivos	19
1.2.1 Objetivo Geral	19
1.2.2 Objetivos Específicos.....	19
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	20
2.1 Aprendizagem Significativa.....	20
2.2 Estudo de Ondulatória.....	24
2.2.1 Ondas, oscilações e vibrações.....	24
2.2.2 Função de onda de onda senoidal.....	28
2.2.3 Ondas sonoras estacionárias em uma corda.....	30
2.2.4 Fenômenos sonoros: conceitos básicos.....	34
2.3 Concepções alternativas.....	35
2.3.1 A pesquisa sobre a concepção dos estudantes e alguns resultados sobre ondas.....	36
3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	42
3.1 Construção e Aplicação da Sequência Didática	48
3.2 Os encontros	50
4. RESULTADOS E ANÁLISE.....	63
5. CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES.....	84
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	89
ANEXOS.....	92
ANEXO 1- Competências Específicas de Ciências da Natureza e suas Tecnologias para o ensino médio no formato proposto pela BNCC.....	93
ANEXO 2 – Currículo Básico Comum (CBC) no Estado do Espírito Santo para a 2ª série do ensino médio na disciplina de Física, com o conteúdo proposto de Ondas Sonoras.....	94
APÊNDICES.....	95
APÊNDICE A.....	96
APÊNDICE B	99
APÊNDICE C.....	100
APÊNDICE D.....	101
APÊNDICE E.....	102

APÊNDICE F.....	104
APÊNDICE G.....	105
APÊNDICE H.....	108
APÊNDICE I – Produto Educacional	121
APÊNDICE J – Algumas soluções debatidas com os alunos	162

1. INTRODUÇÃO

Tendo a sala de aula da escola pública como ‘palco’ de constantes desafios ao ensinar física para o ensino médio, desafios estes que surgem da multiplicidade de elementos particulares de uma turma para outra, de uma unidade escolar para outra, de um município para outro ou mesmo de uma cultura escolar para outra, aqui não incluindo a rede privada de ensino, consideramos necessária uma reflexão que traga à luz, pelo menos em parte, a realidade da escola com a qual lidamos.

No que se refere ao acesso, a Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (LDB) de 1996¹, publicada como Lei n. 9.394, resolveu um aspecto do problema histórico que desde a 1ª Constituição da República não encontrava consenso ou permanência ignorado: não só garantiu a legalidade do acesso a todos os brasileiros em idade escolar bem como também assegurou a universalização progressiva do acesso à escola até o ensino médio; essa universalização se consolidou pela evolução da LDB/1996, passando pelas alterações no seu texto base, destacadamente nos artigos 4º e 5º, através da Lei n. 12.796², publicada em 4 de abril de 2013. Interessante observar que as alterações mostraram a literalidade da abrangência pretendida pelo legislador da Lei 9.394/96, complementando ou regulamentando-a: reafirma, por exemplo, o papel do Estado frente à garantia do acesso gratuito à escola dos quatro aos dezessete anos, qualifica e torna mais abrangente a educação básica ao incluir nela o ensino médio como dentre outros.

No entanto, tal solução fez surgir outro entrave deveras importante, impactando na questão do ensino e da aprendizagem – a escola que outrora abrigava um número pequeno de aprendizes viu-se diante de salas lotadas, desestruturada para um número cada vez maior e das mais diversas origens sociais de alunos; alunos estes cujos ascendentes, em grande parte, jamais tinham frequentado a escola pela dificuldade, ou mesmo inexistência, do acesso a ela.

As legislações anteriores deixaram um vácuo social em relação ao (des)vínculo da sociedade com a escola. Como afirma Alves (2009), o tema não se esgota simplesmente pelo fato de as

¹ Fundamentada na Carta Maior de 1988, que em seu artigo 205 define a educação como um direito de todos, citando o pleno desenvolvimento da pessoa, o exercício da cidadania, a qualificação para o trabalho, a igualdade de condições de acesso e permanência na escola como princípios norteadores. <[² Dispositivo legal que altera a versão original da LDB/96, esta publicada como Lei n. 9.394, de 20 de dezembro de 1996, que passou então a vigorar com as referidas alterações em sua redação. <<https://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/2013/lei-12796-4-abril-2013-775628-publicacaooriginal-139375-pl.html>>, acesso em 10 dezembro 2019.](https://www.senado.leg.br/atividade/const/con1988/CON1988_05.10.1988/art_205_.asp#:~:text=C%20ONSTITUI%C3%87%C3%83O%20DA%20REP%C3%9ABLICA%20FEDERATIVA%20DO%20BRASIL&text=Da%20Educa%C3%A7%C3%A3o-,Art.,sua%20qualifica%C3%A7%C3%A3o%20para%20o%20trabalho.> acesso em 10 dezembro 2019</p>
</div>
<div data-bbox=)

virtualidades e perspectivas de consolidação democrática no Brasil se expressarem em conquistas legais, pois implica, mais do que isso, na superação das desigualdades sociais, da marginalização da maioria do povo brasileiro, da exclusão, da dominação, dos privilégios e da opressão. Implica no direito a uma vida digna, entendendo por vida digna, o direito ao trabalho, à moradia, ao transporte, à saúde, à educação e cultura, ao lazer (ALVES, 2009, p. 3).

Nesse contexto nos encontramos imersos na escola pública onde transbordam questões de ordem socioeconômicas que não podem ser simplesmente ignoradas tal como se fossem só detalhes da construção da vida escolar, quando na verdade são parte robusta do processo curricular, currículo aqui utilizado na acepção do montante das experiências pedagógicas construídas pelos estudantes e pelos professores, e que tenha necessariamente o conhecimento como sua matéria prima (MOREIRA, 2001). Isto é, todo o processo de ensino-aprendizagem tradicional ocorre nesse ambiente, nem sempre restrito à sala de aula, que pulsa diariamente na construção e reconstrução do currículo.

Quando trazemos o foco para o ensino de ciências, temos realidades distintas quando se trata das escolas federais, melhor estruturadas no seu campo de laboratórios e recursos audiovisuais, acesso à internet e suas tecnologias, por exemplo, além do fato de selecionar os alunos ingressantes por meio de avaliação, ou seja, tais instituições lidam somente com uma reduzida parcela da população discente que vem a fruir do ensino médio no Brasil. Como exemplos de tais diferenças notemos, na tabela 1, que o laboratório de ciências está presente em apenas 37,5% das unidades estaduais, contraposto aos 57,2% e 83,4% das redes privada e federal, respectivamente como mostra o Censo Escolar (2018).

Tabela 1 - Percentual de escolas com biblioteca/sala de leitura, segundo Região

Recurso	DEPENDÊNCIA ADMINISTRATIVA					
	Total	Pública	Federal	Estadual	Municipal	Privada
Bib./sala de leitura	87,5%	85,7%	98,1%	85,4%	82,7%	91,9%
Banheiro (dentro/fora)	97,1%	96,4%	99,8%	96,3%	99,5%	98,8%
Banheiro PNE	62,5%	60,0%	93,8%	59,1%	57,6%	68,7%
Dependências PNE	46,8%	44,3%	79,5%	43,4%	37,7%	52,7%
Lab. de ciências	44,1%	38,8%	83,4%	37,5%	28,8%	57,2%
Lab. de informática	78,1%	82,1%	98,8%	81,8%	64,4%	68,4%
Internet	95,1%	93,6%	99,3%	93,5%	85,9%	98,7%
Banda larga	84,9%	81,1%	95,1%	80,8%	70,2%	94,1%
Pátio (cob./desc.)	79,2%	74,8%	89,9%	74,2%	88,0%	90,1%
Quad. esp. (cob./desc.)	75,9%	72,8%	70,0%	72,8%	73,3%	83,6%

Fonte: Brasil, 2019

Observemos também, na mesma tabela, que as redes estaduais, destacadas aqui por ser o *locus* de desenvolvimento desta proposta de trabalho, apesar da maioria numérica, carecem mais

intensamente da completude da estrutura necessária para uma organização didático-pedagógica minimamente razoável, quando comparadas às redes federal e privada de ensino.

Como a LDB/96 previu, os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCNs) decorreram da compreensão inferida do sentido do Ensino Médio como etapa derradeira da educação básica que, mesmo não profissionalizante,

[...] efetivamente propicie um aprendizado útil à vida e ao trabalho, no qual as informações, o conhecimento, as competências, as habilidades e os valores desenvolvidos sejam instrumentos reais de percepção, satisfação, interpretação, julgamento, atuação, desenvolvimento pessoal ou de aprendizado permanente, evitando tópicos cujos sentidos só possam ser compreendidos em outra etapa de escolaridade (BRASIL, 1998, p. 5).

Daí ocorreu novas modificações nos PCNs, surgindo os PCN+ e a mais recente, de 2016, que na prática são consoantes uns aos outros no que tange ao fortalecimento das áreas de conhecimento, em nosso caso específico da área de Ciências da Natureza, que engloba a Física, a Biologia e a Química, junto com a área isolada de Matemática e suas Tecnologias.

Escolhemos o tema ondas, mormente as sonoras, por estar isolado, em geral não selecionado no conteúdo do ensino médio e quase nunca trabalhado em física, sendo o fator tempo talvez o maior impeditivo de cumprir a grade anual proposta. Outro fator que nos fez lançar ao desafio é a experiência do autor, no passado, como estudante de música e atual apaixonado pelo tema em seus elementos constitutivos, tais como ritmo, melodia e harmonia, por exemplo.

Pretendemos realizar uma abordagem quanti-qualitativa no nosso trabalho, no sentido de construir categorias das respostas qualitativas e, desse retorno, analisar os índices de aproveitamento da Sequência Didática aplicada e, caso necessário, remoldar o produto educacional que advirá do trabalho final e de seu contexto construtivo.

O trabalho envolve 2 turmas de 2ª série do ensino médio, sendo uma do matutino e outra do noturno - todas na modalidade regular, na mesma escola estadual situada na região central de São Mateus. Não citamos aqui, de propósito, as turmas de 1ª séries porque o assunto não lhes é, no momento, pertinente, ainda que como proposta não vemos elementos prévios (ou ausência deles) como eventual impeditivo; caberá ao professor analisar sua utilidade nas turmas de 1ª série do ensino médio.

Optamos por nos basear na Teoria da Aprendizagem Significativa – TAS, de David Ausubel; esta teoria tem uma rica estrutura radicular oriunda da sala de aula, que a torna complexa pela qualidade do enredo que a define, cercada por alguns elementos coadjuvantes, mas não menos importante, como os materiais chamados de significativos, por exemplo.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 OBJETIVO GERAL

Esperamos contribuir com uma proposta de sequência didática do estudo dos sons, abordando os principais elementos de física ondulatória, com foco no aprendiz e na sua estrutura cognitiva, segundo a TAS.

Tal sequência poderá, a qualquer momento, dado seu caráter público, ser compartilhada, editada, complementada e readequada ao contexto do professor de física que queira replicar suas ideias e elementos nela constantes. A sequência proposta será trabalhada em sala de aula, aplicada e analisada, sendo um material de trabalho a ser denominado *produto* resultante deste mestrado profissional.

1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Elaborar uma sequência didática com suas bases ligadas à Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel (TAS), voltada para o ensino de ondulatória, utilizando experimentos e elementos musicais que levem a uma busca e diálogo com as concepções espontâneas trazidas pelos alunos e que se encontram registrados na literatura do ensino de física;
- Na construção da sequência didática deseja-se abordar as ideias centrais da ondulatória destacando os seguintes assuntos: frequência, período, comprimento de onda, frentes de onda, propagação de ondas, representação de ondas e timbre;
- Verificar, na medida das possibilidades, os eventuais indícios de aprendizagem significativa e os casos de maior resistência às mudanças cognitivas referentes aos conceitos contemplados no escopo da sequência.

Delimitados nossos objetivos, passemos às considerações dos autores que nos precederam, em diferentes épocas, acerca dos fundamentos teóricos da discussão pretendida; o capítulo 2 a seguir se encarrega desta tarefa, no que se refere ao referencial teórico.

Após o referencial teórico faremos em capítulo próprio a apresentação da análise dos resultados obtidos - capítulo 3, já considerados os procedimentos adotados e suas metodologias.

Feito isso teceremos as considerações finais no capítulo 4, que consistirá em um balanço do trabalho desenvolvido e eventuais ponderações acerca das estruturas institucional e pessoal que nos trouxeram até aqui.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA

O que é dito sobre Aprendizagem Significativa neste trabalho decorre das ideias de David Ausubel. Em tese, aquilo que é ensinado deveria ser no mínimo útil para o cotidiano daquele que aprende, o que não necessariamente pode acontecer. Isso nos exige, enquanto professores, reflexão de nossa práxis. Para Ausubel (2003), a aprendizagem se dá através da assimilação de conceitos novos que ocorre na estrutura cognitiva do aprendiz, e isso se dá pela iniciativa de ensino que tem como ponto de partida naquilo que o aluno já sabe sobre o conteúdo, isto é, nos seus conhecimentos prévios.

No que concerne ao papel da linguagem sobre o cognitivo nas diversas faixas etárias do aluno, Ausubel admite as funções pré-verbais nas mais tenras idades mas que elas não são decisivas à retenção de conhecimentos. Apenas mais tarde, com a assimilação dos símbolos e a maturidade da aprendizagem verbal, é que a linguagem passa a ser indissociável e imprescindível às mudanças do padrão cognitivo. Em outras palavras, o aspecto cognitivo e suas evoluções para novos modelos dependem da aquisição da linguagem pois, do contrário, uma série de conceitos e princípios poderiam ficar insuficientemente alcançáveis por toda uma existência. Na versão original de sua obra, consta que

Embora a função cognitiva pré-verbal exista e caracterize, de facto, o comportamento e o 'pensamento' de organismos infra-humanos e de crianças jovens, desempenha um papel relativamente insignificante na aprendizagem escolar. Para todos os efeitos, a aquisição de ideias e de conhecimentos de matérias depende da aprendizagem verbal e de outras formas de aprendizagem simbólica. De facto, é, em grande parte, devido à linguagem e ao simbolismo que a maioria das formas complexas de funcionamento cognitivo se torna possível. (AUSUBEL, 2003, p. 97).

Para Masini (2011) um ponto chave na TAS que remete a ideia de originalidade é o foco na relação, por exemplo, do homem com o mundo que o cerca, de quem ensina com aquele que aprende, do compreender de quem ensina com o compreender de quem aprende, do conteúdo a ser ensinado com o que aquele que aprende já conhece.

Baseado no esquema de construção de uma aula que satisfaça as linhas metodológicas de Ausubel, sintetizamos a seguir, como são definidos os elementos mais importantes dessa teoria, formulados a partir dos trabalhos de Ausubel (2003), Moreira (2013) e outros:

Aprendizagem: a estrutura cognitiva do indivíduo recrudescer através da internalização de novos conceitos. Esta estrutura já contém conceitos e ideias inicialmente. Como se dá o relacionamento que ocorre entre as ideias pré-existentes e as ideias novas que são internalizadas

determinará o tipo de aprendizado que surgirá que, por seu tempo, oscila entre o aprendizado mecânico e o aprendizado significativo;

Aprendizagem mecânica: é a aprendizagem que ocorre quando uma ideia não se relaciona de forma lógica e clara com nenhuma ideia pré-existente na estrutura cognitiva do indivíduo, sendo assimilada de forma isolada. Implica numa apropriação conceitual arbitrária, resulta em inflexibilidade no uso do conceito assimilado, tornando-o restrito a um certo contexto e a uma certa linguagem; o tempo o qual perdura as novas ideias caracteriza-se por ser curto. Em suma, nota-se que o indivíduo que recebeu a nova ideia aprendeu o seu significado de modo arbitrário, limitando-se ao seu uso extremamente restrito, em geral no contexto único da aprendizagem;

Aprendizagem significativa: é a aprendizagem que provoca mudanças significativas no momento em que uma nova informação ancora em conceitos relevantes preexistentes, de forma não arbitrária (plausível, sensível e não aleatória) e substantiva, na estrutura cognitiva do indivíduo que aprende. A aprendizagem significativa permite a guarda de novas informações por um maior período temporal e de forma mais estável, além de que o emprego do novo conceito se dê de forma independente do contexto em que esse conteúdo foi aprendido.

Ainda que a grande maioria dos materiais concebidos nas escolas é relacional, de forma não arbitrária e não literal, aos conteúdos significativos anteriores que os alunos trazem consigo, principalmente quando são materiais para aprendizagem por memorização e por isso mesmo são como entidades isoladas, não permitem o estabelecimento de relações tais como se espera deles. Por outro lado, no caso da aprendizagem significativa, os resultados da aprendizagem e da retenção são

[...] os resultados da aprendizagem e da retenção são influenciados, essencialmente, pelas propriedades daqueles sistemas ideários relevantes e estabelecidos de forma cumulativa na estrutura cognitiva, com os quais a tarefa de aprendizagem original interage e os quais determinam a força de dissociabilidade desta [...] (AUSUBEL, 2003, p. 128).

Aprendizagem significativa por descoberta: é o tipo de aprendizagem significativa que ocorre quando quem aprende o faz ‘sozinho’ e a ideia a ser aprendida possui relação com as ideias pré-existentes na sua estrutura cognitiva do aprendiz. Os conteúdos são recebidos de modo inacabado para serem definidos ou ‘descobertos’ antes de assimilados;

Aprendizagem significativa por recepção: é o tipo de aprendizagem significativa que ocorre quando a informação é passada de forma acabada. O indivíduo atua ativamente no material que lhe é repassado para relacionar com as ideias relevantes existentes em sua estrutura cognitiva;

Avaliação: na concepção de Ausubel, a avaliação tem basicamente duas funções essenciais ao processo de ensino-aprendizagem: avaliar os pré-requisitos para a aprendizagem significativa de um novo saber por parte dos alunos, o que é condição essencial para a aprendizagem e, depois, avaliar se um novo conteúdo ensinado durante o curso foi internalizado a contento; ela pode, eventualmente, servir de motivação para os alunos;

Diferenciação progressiva: trabalha-se em ordem crescente em especificidade, do geral para o específico. Pressupõe-se que as ideias mais gerais servem para a contextualização das ideias menos amplas, que lhes servirão na ancoragem.

Figura 1 – Diagrama esquemático da Teoria da Aprendizagem Significativa



Fonte: adaptado de Moreira (2013)

Fatores externos: são elementos que o professor utiliza para adequar condições ao aprendizado significativo dos alunos. São elementos externos (aula, material instrucional e outras) do ambiente onde o aluno está inserido;

Fatores internos: são fatores particulares de cada indivíduo. Na teoria ausubeliana, para que o aluno tenha condições de aprender significativamente, é necessário que ele possua disposição para aprender e tenha ideias de esteio na estrutura cognitiva nas quais as novas ideias ensinadas podem se ligar de forma não arbitrária e substantiva. Os fatores internos são divididos em duas classes: fatores cognitivos e afetivo-sociais;

Fatores substantivos na facilitação pedagógica: os fatores substantivos têm relação com a seleção daquilo que é efetivamente relevante para ser trabalhado com os alunos. A seleção é determinada pelas ideias básicas que compõem o currículo de uma disciplina;

Não arbitrariedade: é a relação lógica e explícita entre a ideia que está sendo incorporada e algumas outras pré-existentes na estrutura cognitiva do indivíduo;

Organizadores prévios: material introdutório que serve de ponte cognitiva entre aquilo que já é sabido e algo que está se aprendendo. O indivíduo pode não ter familiaridade ainda com esse material (organizador expositivo) ou se utilizar de ideias pré-existentes na estrutura cognitiva,

de maneira que o novo conteúdo é trabalhado, tendo como ponto de partida as diferenças e semelhanças existentes em relação àquilo que já se sabe;

Reconciliação integrativa: a reconciliação integrativa acontece com a explicitação das relações entre ideias, com a distinção de semelhanças e diferenças relevantes entre elas, e de reconciliação de inconsistências reais ou aparentes. Dentro do trabalho pedagógico, a reconciliação integrativa acontece em dois contextos distintos: na preparação do material instrucional e no relacionamento das ideias contidas nesse material com a estrutura cognitiva do aluno;

Subsunçor: é uma ideia que serve de âncora para uma nova ideia, que, além de se ligar à primeira de forma significativa, é feita por subordinação.

Esquemáticamente, ilustramos essas definições que permeiam a teoria de Ausubel na Figura 1. Por ser uma teoria nascida da e para a sala de aula, entendemos como ímpar a oportunidade de sua implementação no ensino de ondas no contexto escolar ao qual se destina.

Para tal implementação ocorrer na prática, há um conjunto de sugestões de Kiefer e Pilatti (2014) visando elaborar uma aula baseada na TAS, às quais nos atemos neste trabalho. Observe na tabela 2 sugestões que poderão servir de fomento material ao preparar aulas de acordo com a Teoria da Aprendizagem Significativa.

No capítulo 3 faremos a apresentação da sequência didática, com princípios tomados em parte da TAS, alinhada com os preceitos do currículo estadual e com foco no lócus e público de seu desenvolvimento, isto é, no contexto da nossa escola, que é instituição pública.

Tabela 2 – Sugestões para elaboração de aula no modelo da TAS

ETAPA	ATIVIDADES
Definição do conteúdo da aula.	<ul style="list-style-type: none"> - Selecionar na ementa e/ou no programa do curso ministrado o conteúdo da aula; - Identificar no currículo ou em pré-testes a existência dos pré-requisitos necessários; - Definir os resultados de aprendizagem que se pretende alcançar, vinculados aos conceitos mais inclusivos; - Selecionar os conceitos mais específicos relacionados com os conceitos mais inclusivos. <p style="text-align: right;"><i>(continua)</i></p>

<i>(continuação)</i> Determinação dos aspectos mais relevantes do conteúdo e dos organizadores prévios.	- Determinar os aspectos mais relevantes do conteúdo a ser trabalhado; - Identificar os organizadores prévios.
Sequenciação do conteúdo curricular.	- Sequenciar os organizadores prévios para a parte introdutória da aula; - Sequenciar os aspectos relevantes do conteúdo de forma decrescente em sua amplitude; - Explicitar eventuais relações entre os diversos conceitos que serão trabalhados.
Avaliação da aprendizagem.	- Verificar a retenção/aprendizagem dos alunos, considerando os diversos conteúdos trabalhados.
Estratégia e recursos instrucionais.	- Definir as estratégias e os recursos instrucionais utilizados para que ocorra uma aprendizagem significativa.
Montagem do plano de aula.	- Elaborar o plano de aula.

Fonte: Kiefer e Pilatti, 2014.

2.2 ESTUDO DE ONDULATÓRIA

Faremos uma revisão conceitual que consideramos ser, ao mesmo tempo, necessária e oportuna, dentro de uma proposta didática sobre ondas direcionada aos alunos da 2ª série do ensino médio; necessária, para expor e justificar ao leitor os fundamentos físicos de certos conceitos centrais e, oportuna, por tê-la como um convite ao aprofundamento do tema através das literaturas consultadas.

2.2.1 Ondas, oscilações e vibrações

Na visão de Hewitt (2011), tudo que tem um movimento repetitivo para frente e para trás, ou oscila para um lado e para outro, ou para cima e para baixo, está executando uma oscilação. Uma vibração ou oscilação é, em suas palavras, “um movimento bamboleante com o transcorrer do tempo”, enquanto afirma que uma onda é constituída por um movimento que ocorre simultaneamente no espaço e no tempo. Desse modo, uma onda sempre se propaga de um lugar

a outro caracterizada por essas oscilações periódicas. Feynman (2008) sintetiza essa relação onda-oscilação no espaço e no tempo ao dizer que as ondas

[...] estão relacionadas aos sistemas oscilantes, exceto que as oscilações de onda aparecem não apenas como oscilações do tempo em um lugar, mas se propagam no espaço também. (FEYNMAN, 2008, p. 47)

Como exemplos imediatos, o som e a luz são dessas vibrações que se propagam como ondas, embora de naturezas e comportamentos bastante distintos. O som, como toda onda de natureza mecânica, se propaga somente se percorrer algum meio material – pode ser sólido, líquido ou gasoso. Não havendo esse meio de propagação, não existirá o que chamamos de som. Ao seu tempo, a luz se propaga mesmo no vazio, ainda que percorra outros meios materiais também. Como onda eletromagnética, ela é uma vibração de um campo elétrico associado a um campo magnético, que também vibra! Estão correlacionadas.

Outros exemplos, lembra Feynman, de ondas ocorrem nos materiais: são ondas elásticas:

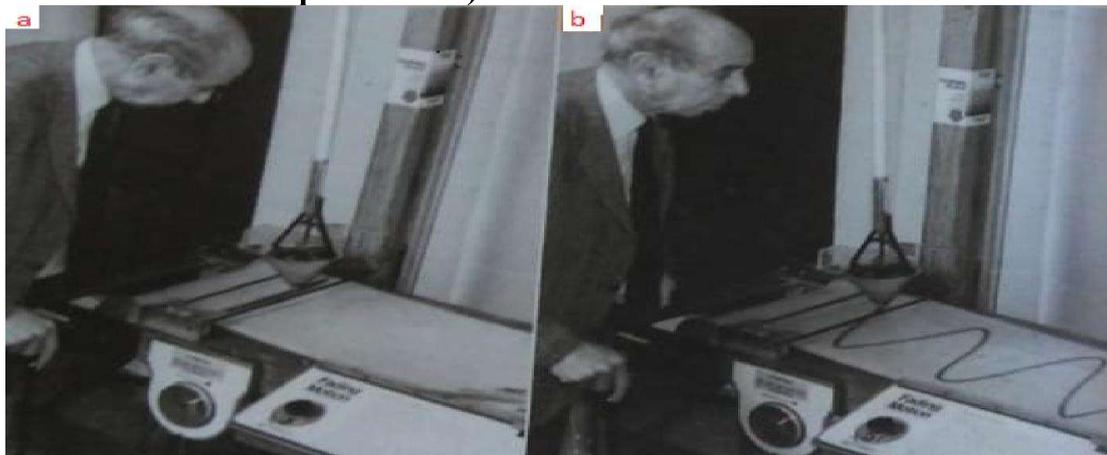
1º) *longitudinais* (*compressionais*), onde as partículas do sólido oscilam para frente e para trás ao longo da direção de propagação – citemos as ondas de som em um gás como as que possuem esse comportamento;

2º) *transversais*, nas quais as partículas do sólido oscilam perpendicularmente à direção de propagação. Em um terremoto as ondas elásticas trazem ambos os comportamentos longitudinal e transversal, geradas por um movimento em algum ponto da crosta da Terra.

Na concepção da presente pesquisa nos contentamos em discorrer sobre as especificidades das ondas mecânicas, e de maneira especial das ondas sonoras. Para tanto, iniciaremos reforçando a ideia de oscilação a partir de um pêndulo simples, que é constituído por um barbante com um pequeno objeto fixo em uma de suas extremidades, enquanto a outra extremidade está fixa no teto. Numa demonstração experimental clássica, Frank Oppenheimer³ substitui o pêndulo simples por um recipiente cheio de areia, suspenso por uma haste vertical; o conjunto recipiente-haste oscila de um lado para o outro, enquanto a areia cai, num ritmo aproximadamente regular sobre uma esteira que inicialmente está em repouso posicionada abaixo do conjunto (Figura 2, p. 338, Hewitt).

³ Frank Oppenheimer, irmão mais novo do mais famoso J. Robert Oppenheimer, foi físico e fundador do Exploratorium de San Francisco, EUA.

Figura 2 -Na foto a) Oppenheimer mantém a esteira parada, o que gera uma linha vertical de areia apenas. Em b) vemos a curva senoidal formada na esteira.

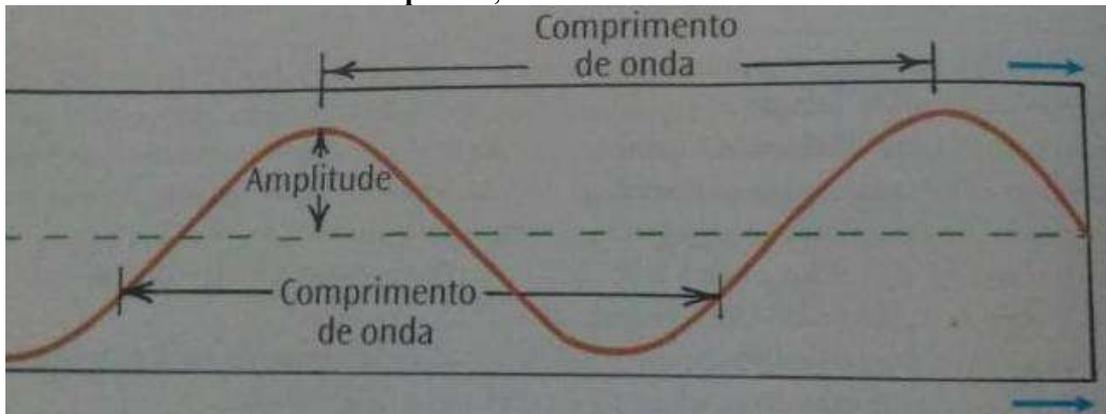


Fonte Hewitt, 2011.

Nessa situação da esteira, a figura de areia que se forma é uma reta alinhada com a direção de oscilação do conjunto. No entanto, ao acionar a esteira, fazendo-a se mover com velocidade constante, surge um padrão interessante formado pelos grãos de areia, conhecido como curva senoidal (Hewitt, 2011).

Esse padrão de curva é uma “representação pictórica de uma onda produzida por um movimento harmônico simples” (HEWITT, 2011, p. 339). Por ser uma representação gráfica de uma oscilação, terá imensa contribuição no estudo dos movimentos oscilatórios. Trazendo essa representação para o contexto de análise (Figura 3), temos que os pontos mais altos de uma onda senoidal denominamos *crista*, enquanto os pontos mais baixos chamamos de *ventre*. Imaginando dividir com uma reta tracejada o centro do sinal senoidal, teríamos o ponto médio da vibração (ou *posição zero*). Já a *amplitude* é o intervalo entre a posição zero e a crista – ou o vale, isto é, equivale à máxima distância do ponto de médio da onda.

Figura 3 - Atributos físicos de uma onda senoidal: comprimento de onda e amplitude, com cristas e ondas



Fonte: adaptado de Hewitt, 2011

O comprimento de onda é o intervalo entre duas cristas consecutivas (ou entre dois vales). Pela constância da onda, notamos que é equivalente dizer que o comprimento de onda é medido entre quaisquer dois pontos idênticos e sucessivos de uma onda.

No estudo do pêndulo, notamos que sua regularidade ao oscilar foi responsável pelo modo como operavam os relógios antigos (por exemplo, os *cucos* das gerações passadas). Galileu descobriu que o tempo que demora para um pêndulo de comprimento L oscilar num sentido e noutro, sendo os percursos iguais, depende apenas do comprimento do pêndulo (Hewitt, 2011), sendo que a expressão para esse tempo, doravante denominado especialmente de *período* (T), é dada por

$$T = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{L}{g}} \quad (1)$$

onde g é a aceleração da gravidade local. Da expressão conclui-se que pêndulos maiores têm um período maior do que pêndulos mais curtos; outra observação é que a massa não interfere no padrão de oscilação do pêndulo. Notável lembrar que a Equação 1 não depende da amplitude se, e somente se, o módulo das amplitudes das oscilações se restringem a pequenos valores; Galileu fez experimentalmente esta observação, que ficou conhecida como *isocronismo do pêndulo*.

Um outro conceito sobre o pêndulo é que há um padrão de repetição da oscilação, ou seja, quantas vezes ela ocorre: denominamos essa taxa de repetição das vibrações de um sistema de *frequência* (f). A relação matemática entre a frequência e o período é:

$$frequência = \frac{1}{período} \quad \text{ou} \quad f = \frac{1}{T} \quad (2)$$

ou vice-versa

$$\text{período} = \frac{1}{\text{frequência}} \quad \text{ou} \quad T = \frac{1}{f} \quad (3)$$

As unidades de frequência e período no S.I. (Sistema Internacional de Unidades) são, respectivamente, 1/segundo e segundo. Especialmente a unidade de frequência no S.I. é denominada hertz (Hz) em homenagem a Heinrich Hertz, que demonstrou a existência das ondas de rádio, em 1886. Assim, 2 vibrações por segundo são 2 hertz, 10 vibrações por segundo são 10 hertz, e assim sucessivamente.

2.2.2 Função de onda de onda senoidal

Examinando uma corda esticada, a posição de equilíbrio é uma linha reta, desprezando possível distorção curva devido ao próprio peso da corda. Ao usarmos o eixo Ox coincidente com a corda, as ondas ao longo da corda são transversais, de modo que, no mover da onda, uma partícula da corda na posição x é deslocada até uma distância y em relação ao eixo Ox . Assim, podemos afirmar que a posição y depende de x e é função do tempo também. Isto é, $y = y(x, t)$ é a função de onda que descreve a onda. Conhecida a função de onda para uma certa onda, podemos encontrar o deslocamento a partir do ponto de equilíbrio de qualquer partícula em qualquer instante (Young e Freedman, 2008).

Quando uma onda é do tipo senoidal, como determinar sua função de onda? Seja uma onda senoidal se propagando no sentido positivo de x ao longo da corda, como indicado na Figura 4. Verificamos que cada ponto da corda, individualmente, está executando um *movimento harmônico simples* tendo ele a mesma frequência e a mesma amplitude. No entanto, falta sincronização com os demais pontos da corda; para A, B e C podemos observar que:

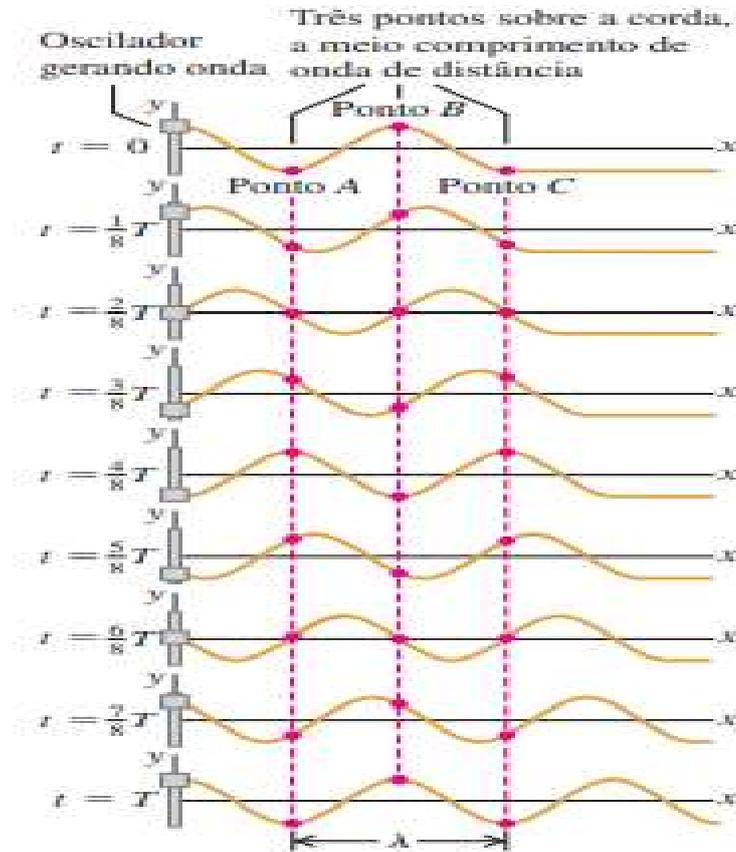
- a) A partícula associada ao ponto B (Figura 4) está no máximo de y para $t = 0$ e retorna para o valor mínimo $y = 0$ para $t = 2/8T$;
- b) A partícula associada aos pontos A e C (Figura 4) retorna para o valor mínimo $y = 0$ para $t = \frac{4}{8}T$ e $t = \frac{6}{8}T$.

Podemos afirmar então que, para quaisquer duas partículas da corda, o movimento da partícula da direita tem um atraso em relação ao movimento da partícula à esquerda numa proporção associada à distância entre elas. Em outros termos, há diferenças de sincronia entre os diversos pontos oscilantes da corda correspondentes a várias frações do ciclo durante seus movimentos cíclicos. A essas diferenças damos o nome de *sincronia de diferenças de fase* e notamos que cada ponto possui uma *fase* própria durante o movimento.

Considere o deslocamento de uma partícula na extremidade esquerda da corda ($x = 0$), onde a onda começa, seja dado por

$$y(x = 0, t) = A \cos \omega t = A \cos 2\pi f t \quad (4)$$

Figura 4 – Representação de uma onda propagativa em uma corda - Pontos A, B e C da corda vibrante



Fonte: reprodução de Young e Freedman (2008).

A partícula executa um *movimento harmônico simples* com amplitude A , frequência f e frequência angular $\omega = 2\pi f$. Se $t = 0$, a partícula no ponto $x = 0$ está em seu deslocamento positivo máximo ($y = A$) e instantaneamente em repouso (y é máximo).

Para um ponto qualquer à direita de $x = 0$, tendo a velocidade v da onda um comportamento constante, o intervalo de tempo t será $t - \frac{x}{v}$ que, substituindo na equação 4 fica:

$$y(x = 0, t - \frac{x}{v}) = A \cos \omega t = A \cos \omega [t - \frac{x}{v}] \quad (5)$$

ou como $\cos(-\theta) = \cos(\theta)$, a expressão da Equação 5 pode ser reescrita:

$$y(x, t) = A \cos \left[\omega \left(\frac{x}{v} - t \right) \right] \quad (6)$$

sendo A a amplitude da onda, v a velocidade com a qual a onda se propaga, ω a frequência angular da onda.

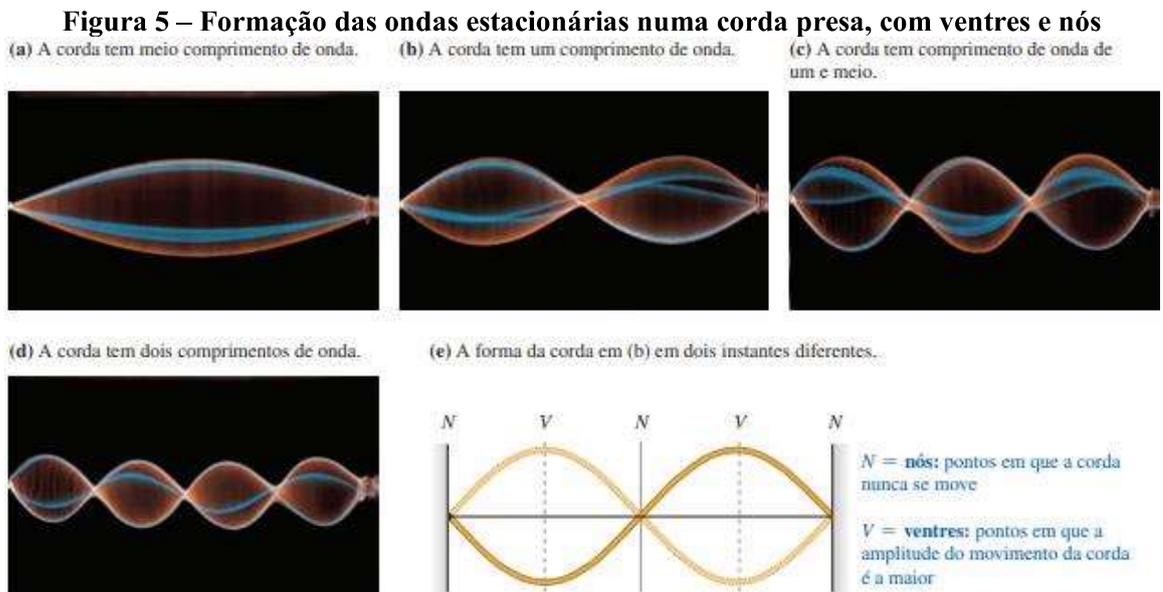
Se definirmos $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ como o *número de onda*, a Equação 6 pode ainda ganhar a forma a seguir; note que qual das formas da função de onda é mais conveniente utilizar depende de cada problema em si.

$$y(x, t) = A \cos(kx - \omega t) \quad (7)$$

A unidade de k no Sistema Internacional de Unidades (S.I) é o $rad.m^{-1}$.

2.2.3 Ondas sonoras estacionárias em uma corda

O que ocorre quando uma onda senoidal é refletida pela extremidade fixa de uma corda? Consideremos a superposição das ondas incidente e refletida na extremidade fixa conforme a Figura 5.



Fonte: reprodução de Young e Freedman (2008).

A Figura 5 mostra uma corda estática na extremidade esquerda, enquanto a extremidade direita oscila de cima para baixo em *movimento harmônico simples* e produz uma onda que se propaga para a esquerda; assim, a onda é refletida pela extremidade fixa, deslocando-se para a direita, coexistindo na corda então duas ondas se propagando em direções opostas.

Isso gera o movimento ondulatório resultante, que é a superposição dessas duas ondas.

Na superposição a corda parece estar subdividida em partes diferentes, isto é, há pontos chamados de *nós* que não se movem (N). Entre dois nós consecutivos temos um ponto de máxima amplitude ao qual denominamos *ventre* (V). Já que o padrão da onda parece não se mover ao longo da corda, ela é chamada *onda estacionária*, o oposto de uma onda que visivelmente move-se pela corda, a qual chamamos de *onda progressiva*.

Para entender melhor essa onda estacionária, o *princípio da superposição* é invocado neste momento. Para simplificar a ideia deste princípio, uma breve e interessante analogia com o campo elétrico:

“Há a possibilidade adicional da existência de mais de uma onda no espaço ao mesmo tempo e, portanto, o campo elétrico é a soma dos dois campos, cada um se propagando independentemente. Esse comportamento de campos elétricos pode ser descrito dizendo que se $f_1(x - ct)$ for uma onda, e se $f_2(x - ct)$ for outra onda, então a sua soma é também uma onda. Isto é chamado o princípio da superposição. O mesmo princípio é válido para o som.” (Feynmann, 2008, seção 47-2)

As curvas vermelhas da Figura 6 mostram ondas progressivas se deslocando da direita para a esquerda, enquanto as curvas azuis mostram ondas progressivas se deslocando da esquerda para a direita, sendo elas iguais em amplitude (A), na velocidade (v) e no comprimento de onda (λ). Temos nove instantes consecutivos, distantes em $1/16$ de um período. Somamos os deslocamentos (em y) de ambas as ondas, para cada ponto ao longo da corda; a curva dourada surge da superposição das duas ondas progressivas.

Observe que em $t = \frac{1}{4} T$ ocorre de as duas ondas estarem exatamente superpostas porque estão em fase, e a forma da onda é uma curva senoidal com amplitude igual ao dobro da amplitude de cada uma das duas ondas individuais componentes. Por outro lado, em $t = \frac{1}{2} T$, por exemplo, há total defasagem das duas ondas que teremos no final uma onda resultante nula. Observe que nos *nós* a superposição das duas ondas resulta amplitude nula, porque trata-se de duas ondas iguais e opostas: chamamos a isso *interferência destrutiva*. Já nos ventres ocorre uma amplitude máxima, dado que os deslocamentos das duas curvas são iguais e de mesmo sinal: chama-se a isso de *interferência construtiva*.

A onda estacionária pode ter sua função de onda deduzida a partir da soma das duas funções de onda que se propagam em direções diferentes. Da Figura 6 deduzimos:

$$y_1(x, t) = -A \cos(kx + \omega t): \text{onda incidente} \quad (8)$$

$$y_2(x, t) = A \cos(kx - \omega t): \text{onda refletida} \quad (9)$$

Logo, a soma das duas funções de ondas individuais nos fornece a função de onda da onda estacionária. Somando

$$y(x, t) = y_1(x, t) + y_2(x, t) = -A \cos(kx + \omega t) + A \cos(kx - \omega t) \quad (10)$$

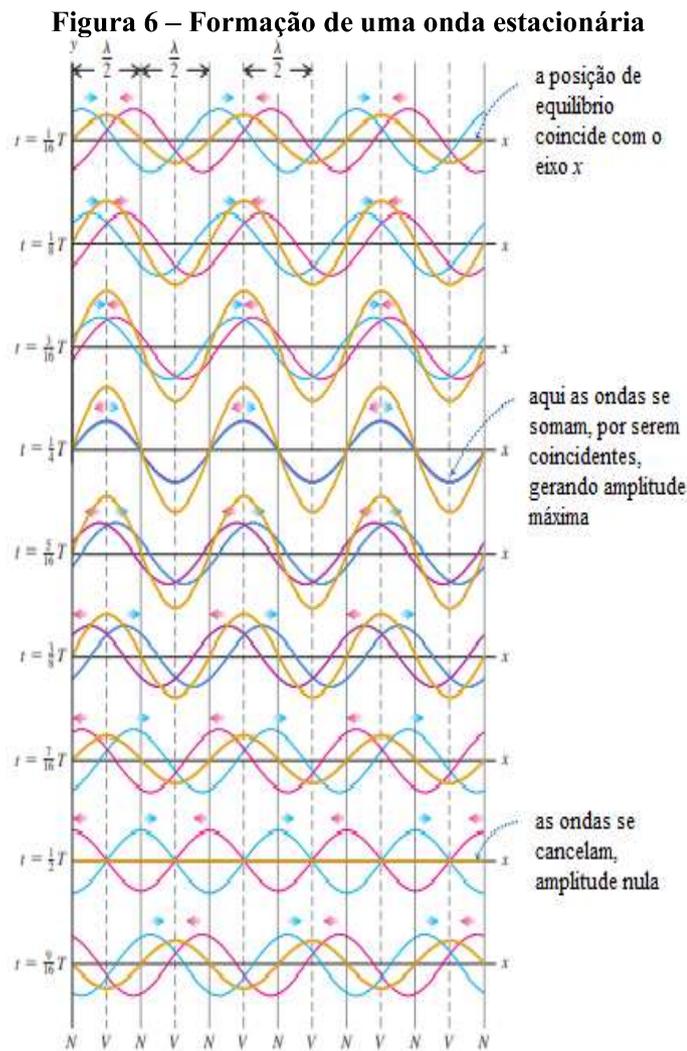
$$y(x, t) = A [-\cos(kx + \omega t) + \cos(kx - \omega t)] \quad (11)$$

Utilizando propriedades trigonométricas, podemos reescrever este resultado como

$$y(x, t) = (2A \sen kx) \sen \omega t \quad (12)$$

Podemos fazer as seguintes observações:

- Na Equação 12, o termo $2A \text{ sen } kx$ nos permite inferir que a onda é uma senóide. No entanto, diferentemente de uma onda progressiva que se propaga ao longo de uma corda, a forma da onda permanece na mesma posição, oscilando verticalmente conforme descrito pelo fator $\text{sen } \omega t$.
- Cada ponto da corda ainda executa um *movimento harmônico simples*, mas cabe lembrar que os pontos localizados entre dois *nós* consecutivos oscilam *em fase*.



Fonte: adaptado de Young e Freedman (2008).

Se fizermos $\text{sen } kx = 0$, de modo que o deslocamento desses pontos é igual a zero, podemos localizar os *nós* em $kx = 0, \pi, 2\pi, 3\pi, \dots$

$$x = 0, \pi/k, 2\pi/k, 3\pi/k, \dots \quad (13)$$

ou ainda

$$x = 0, \lambda/2, 2\lambda/2, 3\lambda/2 \quad (14)$$

2.2.4 Fenômenos sonoros: conceitos básicos de física

Utilizaremos aqui o estudo sistemático dos fenômenos sonoros partindo da *acústica física*. Da realidade observada diariamente nos ambientes, quer sejam formais para o ensino de música ou simplesmente em um automóvel, as pessoas são, em geral, muito receptivas a alguns tipos de sons que lhes trazem alguma sensação positiva; opostamente as pessoas também não tem receptividade a determinados tipos de sons por motivos culturais ou mesmo experienciais, por nunca ter ouvido determinada qualidade sonora ou pelo fato daquele som ter sido arquitetado para provocar sensações (caso da *música concreta*⁴, por exemplo).

Partindo então da ideia de que os sons, mormente os musicais, conseguem lugar de destaque no cotidiano das pessoas, consideramos oportuno, no mínimo, e meritório, pelas considerações a seguir, uma abordagem dos elementos sonoros no ensino de física.

Assinale que aqui nos limitamos a tratar de entidades da *acústica* que, segundo Mazeti (2014) é uma área da ondulatória que estuda as ondas mais importantes para os seres humanos, o som. Os limites deste trabalho não contemplam, faz-se necessário saber, as estruturas da teoria musical, suas representações gráficas ou mesmo instruções sobre instrumentos musicais; isto é, examinaremos fisicamente tão somente o elemento fundamental de toda essa gama de subáreas: o som como onda a partir de uma vibração em um meio.

Em ondulatória, base para o entendimento elementar da acústica, encontramos os conceitos gerais que devem ser explorados junto aos alunos. A saber, frequência, período, comprimento de onda, propagação do som, velocidade de propagação, ondas estacionárias, para citar os mais imediatos. Como o trabalho pretende uma coligação junto ao cenário da acústica, faz-se necessário elencar conceitos como altura, tom, harmônicos, nota musical, e outros.

O som é definido como uma perturbação que se propaga em um meio material no sentido longitudinal e em todas as direções.

Na Figura 7 podemos observar a produção sonora em diapasão que sofre vibração de suas duas seções mais extremas. A vibração dessas partes faz o ar vibrar de maneira a criar as áreas de compressão e rarefação representadas pelas faixas vazias (rarefação) e preenchidas (compressão). O diapasão é a fonte sonora neste caso e qualquer pessoa posta dentro do campo de compressão e rarefação será o receptor das ondas sonoras.

⁴ Um dos alicerces da música eletroacústica desenvolvido por Pierre Henry e Pierre Schaeffer na década de 1940 e criava peças musicais a partir de sons “existentes” como apitos de trem, batidas em objetos metálicos ou sons humanos. Os resultados, por não serem muito convencionais, podem não ser agradáveis aos ouvidos desavisados. Disponível em: https://www.ufjf.br/anais_eimas/files/2012/02/Corr%C3%AaAa.pdf. Acesso em 20/11/19.

e 1 W/m^2 como limiar doloroso (intensidade sonora que passa a causar dor física sensível). Através de estudos pode-se perceber que a sensação sonora não é sentida de maneira linear pelo nosso corpo, ou seja, se dobramos a intensidade sonora distingue-se um som mais forte, porém não duas vezes mais intenso. Para sanar esse problema foi desenvolvida uma escala logarítmica para medir a intensidade física sonora. E essa escala é constituída através dessa equação:

$$B = \log(I/I_0) \quad (17)$$

A unidade dessa escala é o Bel, em homenagem a Graham Bell, inventor do telefone. Na prática se usa um submúltiplo, o decibel, que é 1/10 Bel.

Alguns níveis de intensidades sonoras para atividades humanas são sinalizados na Tabela 3.

Tabela 3 – Níveis de intensidade sonora de alguns ambientes

Níveis de Ruído em Decibels					
Conforto Acústico	Muito baixo	0 dB		Limiar do som	
		5 dB	Passarinho		
		10 dB	Cochicho		
		15 dB	Torneira		
		20 dB	Conversa		
	Baixo	25 dB	Relógio		
		30 dB	Biblioteca	Limite para o sono	
		35 dB	Enfermaria		
	Moderado	40 dB			
		45 dB			
Riscos de Danos à Saúde	Moderado	50 dB	Aspirador de pó		
		55 dB	Bebê chorando	Irritação	
	Moderado Alto	60 dB		Irritação aumenta consideravelmente	
		65 dB	Cachorro latindo		
	Moderado Alto	70 dB			
		75 dB	Sala de aula		
		80 dB	Piano		
		85 dB	Telefone tocando		
	Alto	90 dB	Secador de cabelos	Tolerâncias diárias de exposição	8 h
		95 dB	Moto		4 h
100 dB		Cortador de grama	2 h		
Muito alto	105 dB	Caminhão	1 h		
	110 dB	Pátio no intervalo das aulas	30 min		
	115 dB	Banda tocando	15 min		
	120 dB	Tiro	7 min		
	125 dB	Auto-falante			
	130 dB	Britadeira			
	135 dB	Avião			
	140 dB				

Fonte: <http://www.gentequeeduca.org.br/sites/default/files/importadas/img/geral/niveis-ruídos.jpg>. Acessado em 06/2019.

2.3 CONCEPÇÕES ESPONTÂNEAS

Discorreremos aqui sobre as concepções alternativas – ou espontâneas, que consideramos de importância capital contextualizar, com o fito de endossar nossa escolha. Há algumas décadas vários especialistas vem se dedicando ao estudo do que chamamos de concepções espontâneas. Os estudantes diante da formação escolar, ou mesmo antes de iniciar o processo de escolarização, têm suas próprias ideias a respeito dos saberes já sistematizados como científicos. De alguma maneira essas ideias prévias parecem se repetir revelando certos padrões.

2.3.1 A pesquisa sobre a concepção dos estudantes e alguns resultados sobre ondas

A pesquisa sistemática começou nos idos do final da década de 1960 e início da década de 1970, tendo como um dos expoentes George I. Za'Rour. Em um de seus trabalhos, Za'Rour (1976) mostra como os questionamentos sobre as diferentes explicações dadas para os fenômenos naturais por crianças de Beirute e seus arredores que, divididas em diferentes idades escolares, sexo e religião, podem ter contribuído para as mudanças curriculares das escolas libanesas de então.

A pesquisa não ocorreu apenas sobre concepções espontâneas em ciências naturais, ou em Física, mas também em outras áreas do conhecimento. Na visão de Zylbersztajn (1983), os problemas relacionados ao aprendizado de Física eram mais associados à insuficiência matemática do aluno que à questão conceitual, fazendo com que existisse uma lacuna no campo do ensino de Física, por muito tempo despercebida pelo professor. Assim, não se sabia quais eram as ideias que os estudantes traziam consigo:

Tradicionalmente, professores e pesquisadores devotaram pouca atenção à existência de tais noções, considerando-as pura e simplesmente como erros que seriam facilmente corrigíveis. Em decorrência, problemas relativos ao ensino de física têm sido mais comumente ligados ao uso de técnicas matemáticas e menos às dificuldades de nível conceitual (ZYLBERSZTAJN, 1983, p. 1).

Para detectar essas ideias eram comumente utilizados testes⁵ com questões estimuladoras.

Linder e Erickson (1989), ao catalogar a compreensão dos alunos sobre a estrutura das ondas sonoras identificam duas perspectivas diferentes para explicar o som: primeiro, na visão microscópica, os alunos vêem o som como uma entidade transportada ou transferida por moléculas no ar; depois, macroscopicamente, o som era visto como uma substância que, de alguma maneira, tinha uma força inerente própria.

O interessante na sua metodologia foi o uso de entrevistas clínicas aos quais foram submetidos alunos de graduação em física, matriculados em um curso de formação de professores no Canadá, isto é, em tese os conceitos buscados em sua pesquisa estavam presentes em alunos que já tinham tido contato com o conceito físico de ondas. O público é um tanto diferenciado do público alvo deste trabalho, porém é importante ressaltar que as concepções alternativas podem, em alguns casos, se sobrepor ao conhecimento científico e permanecer arraigadas à estrutura de conhecimento do aluno (Zylbersztajn, 1983).

⁵ O FCI e o Baseline Test são alguns desses célebres testes.

Em uma outra pesquisa, Linder (1993) investigou as concepções de 14 alunos do Canadá e África do Sul, que cursavam a graduação em Física, sobre fatores que influenciam na velocidade e propagação do som. Três diferentes concepções sobre a velocidade do som foram identificadas:

- 1) relacionada à obstrução física que as moléculas do meio oferecem a sua passagem;
- 2) a dependência com a separação entre as moléculas e
- 3) a dependência com a compressibilidade do meio. (GOBARA et al., 2007)

Em outro momento, Gobara et al. (2007) traz os resultados de um trabalho feito utilizando-se um questionário com sete questões, em três escolas públicas do ensino médio no Estado do Mato Grosso do Sul. Como exemplo, na questão 2 (Tabela 4), nota-se que as expressões *uma onda de calor ou frio* ou expressões do tipo *na altura das ondas no mar* também foram utilizadas nas respostas de alguns alunos na segunda questão. A ideia de onda está associada com o uso comum da palavra e não ao conceito físico de onda.

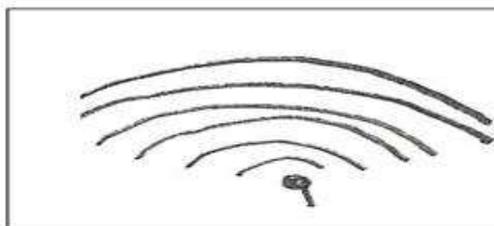
Tabela 4 - Mapeamento das respostas da questão 2

Questão 2 – Você já sentiu uma onda? Se você sentiu dê exemplos.					
Tipos de respostas	Tipologia da escola				Exemplos
	A	C	E	Total	
Sem resposta	0	1	1	2	
Não	5	6	4	15	
Sim	1	0	0	1	Choque elétrico
	2	4	1	7	Som
	5	0	6	11	Mar
	2	1	0	3	Calor (quente ou frio)
	0	0	5	5	outros

Fonte: Gobara et al. (2007)

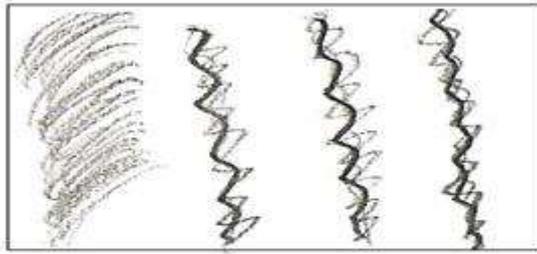
Na parte gráfica, há alguns esquemas a serem analisados como primeira concepção sobre ondas. Quando solicitados para desenhar frentes de onda, com sugestões dos termos *onda senoidal* e *frente de onda* 16% deles exibiram os desenhos das Figuras 9 e 10.

Figura 9 – Representação de frente de ondas de uma fonte



Fonte: Gobara et al. (2007)

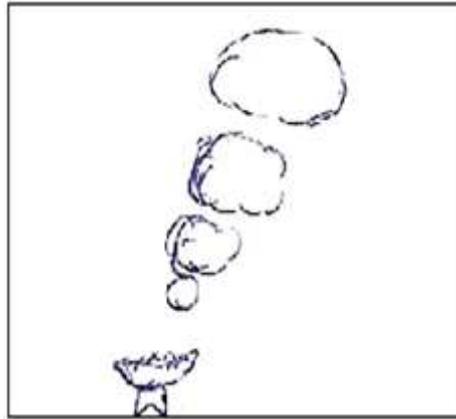
Figura 10 – Representação de frente de ondas de forma senoidal



Fonte: Gobara et al. (2007)

Os autores também catalogam como desvios de sua avaliação quando alguns alunos respondem de forma incomum quando são pedidos para representar a propagação do som no ar (Figura 11).

Figura 11 – Propagação de ondas sonoras, modelo demonstrado pelos alunos



Fonte: Gobara et al. (2007)

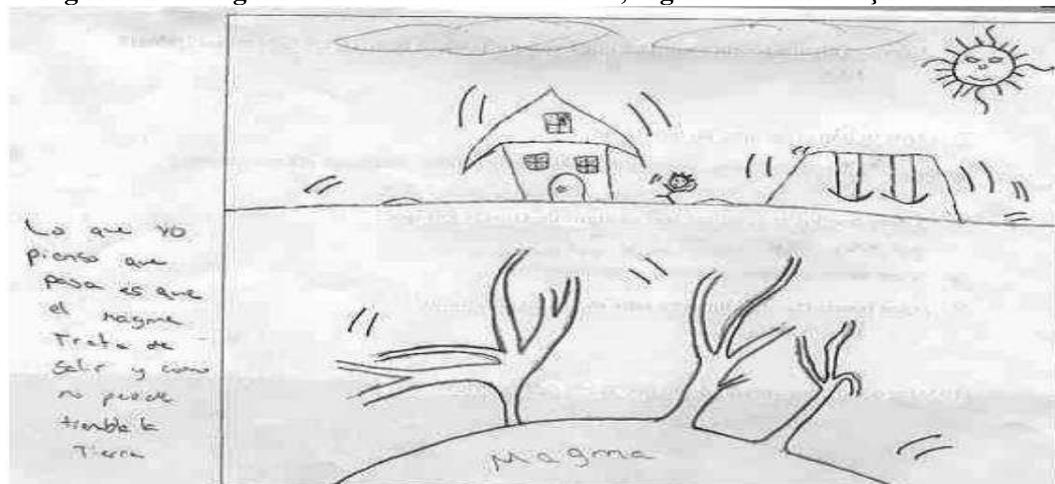
Os modelos mentais são representações analógicas formadas a partir das percepções do cotidiano, guardando significados influenciados pelo meio e pelas relações que os estudantes fazem através deste. Essas relações ficaram mais claras nas imagens construídas para explicar as ondas que os alunos conheciam.

Cumpra assim dizer que a identificação destas representações apresentadas pelos estudantes, ao elaborarem explicações relacionadas com o conceito de onda, é fundamental para entender as dificuldades manifestadas nas respostas dos estudantes e estão sendo utilizadas para modelar propostas de intervenções para o ensino e a aprendizagem desse conceito, principalmente nas situações de interações em salas de aula (Gobara et al., 2013).

De modo muito semelhante, Tirado e Morcillo (2006) desenvolveram um estudo que expõe as concepções de 104 alunos adolescentes de Porto Rico (em idade escolar equivalente ao 9º ano, quando então têm uma disciplina específica envolvendo a geologia terrestre) acerca da origem dos terremotos, frequentes no país pela localização geográfica. Assim, detectaram explicações com viés científico ou próximo daquele modelo, mas também explicações apoiadas em crenças populares e mitos. Na Figura 12, por exemplo, a representação sugere o magma como causa

dos sismos, o que também indica que as aulas formais de geologia tiveram um alcance interessante.

Figura 12 – Magma como causa de terremotos, segundo a transcrição do aluno.

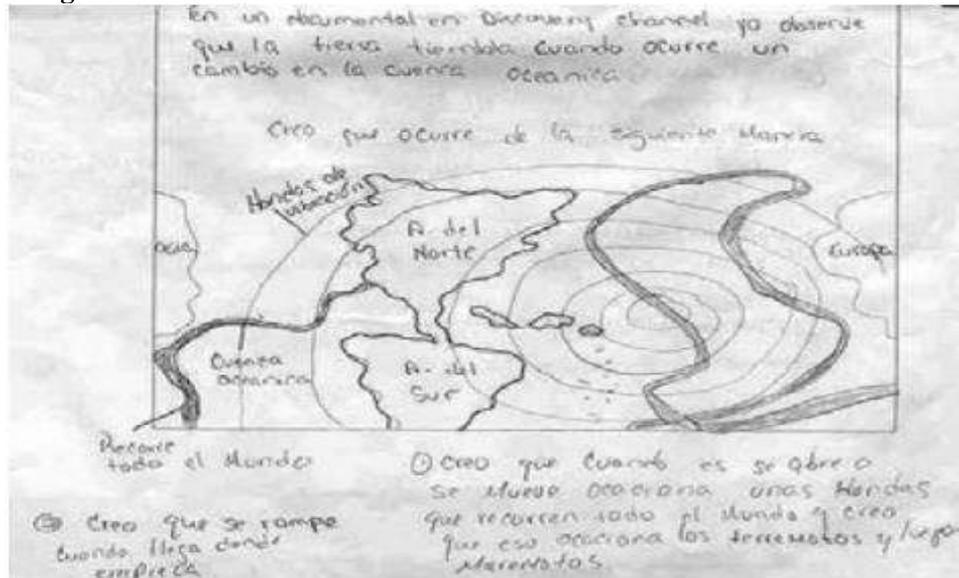


Fonte: Tirado e Morcillo (2006)

Um outro aluno faz um apontamento que traz elementos formais da teoria tectônica, mas que, no entanto, mostra que ele confunde a sequência cronológica dos eventos, isto é, no desenho há a presença de ondas sísmicas que para ele são as causas do terremoto, quando o processo inverso, ou seja, o terremoto (ou maremoto) gerando as ondas sísmicas é o correto (Figura 13). Nesse sentido, os autores observam que

[...] isto nos leva a destacar o problema da construção de conceitos nestas faixas etárias que estão em processo de desenvolvimento e amadurecimento e como as imagens, às vezes, são fonte de erros (TIRADO E MORCILLO, 2006, p. 131, tradução nossa).

Figura 13 – Ondas sísmicas como causa do terremoto na visão do aluno.



Fonte: Tirado e Morcillo (2006)

Destacam ainda que mais de 10% dos alunos dissociam os eventos sísmicos do modelo geotectônico global, que inclui a deriva continental das placas tectônicas, a convergência das placas tectônicas e outros fenômenos próprios; pelo contrário, associam os terremotos às ações incorretas do homem no trato com a natureza ou à vingança divina pelo mau comportamento humano.

As pesquisas anteriormente citadas corroboram a ideia de Damasio e Stefani (2008) em torno dos desafios que se apresentam ao ensino de ciências e que se estendem ao ensino de física, de modo que “um dos maiores desafios do ensino de ciências é o de promover a mudança das concepções alternativas para as cientificamente aceitas. Esta troca é dita mudança conceitual” (DAMASIO; STEFANI, 2008, p. 2).

Para que o aluno, sujeito do processo de ensino-aprendizagem, alcance a evolução conceitual é importante encorajar o mesmo na explicitação de suas concepções espontâneas, e estas podem servir de base na construção do modelo científico ao longo das aulas. Para tanto, essas concepções são colocadas frente a situações que podem gerar o conflito cognitivo. A observação representativa do fenômeno estudado e as suas explicações cotidianas se conflitam, criando uma ruptura, desestruturando o seu conhecimento que, até então era, o correto, assim, torna-se possível a (re)construção do conhecimento.

Nessa etapa o ato de ensinar é compreendido como aquele que inicialmente provoca desequilíbrio nos conhecimentos errôneos ou não dos alunos e, em seguida, como o que auxilia na consolidação de novos conhecimentos – evolução conceitual. Nesse processo a mediação do

professor e o uso adequado de recursos didáticos, é fundamental, no sentido de estimular, através das discussões professor-alunos-alunos-professor que objetivam a evolução para a explicação científica, sendo também fundamental que o primeiro contato com o conhecimento seja atrativo para o aluno, já que ele não compreende o porquê estudar ou realizar atividades educacionais que tratam de um dado tema científico, seja porque aquele tema não faz parte de seu cotidiano, ou porque não é interessante à sua existência (GUIMARÃES, 2011). Entretanto,

Para superar o senso comum e as concepções alternativas dos alunos, é necessário um corpo de conhecimentos mais robusto por parte dos professores e o desenvolvimento de diferentes formas de lidar com os problemas que surgem, algo que eles também irão construindo. Consequentemente, cabe ao aluno (aquele que investiga) e ao professor (aquele que orienta a investigação) lidarem com as situações de desequilíbrio e com as capacidades cognitivas, buscando a construção de conhecimentos coerentes com as evidências (empíricas ou não) que vão surgindo nas atividades investigativas. (ZANON; FREITAS, 2007, p. 101)

Considerados os levantamentos sobre as concepções espontâneas em ondas, no próximo capítulo apresentaremos a sequência didática construída com fulcro nas contribuições teóricas apresentadas neste capítulo que se encerra. Valioso também apontar que é compreensível a não exatidão referente às apropriações teóricas dispostas no referido capítulo, uma vez que as teorias são orientadoras e não caminhos fechados para a construção de elementos didáticos que são destinados às dinâmicas sociais como a sala de aula.

3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Construímos uma sequência didática objetivando tratar de ondas tendo como pano de fundo os elementos de acústica, isto é, desejamos que nosso plano de aula, constituído por seis momentos formais em sala de aula, seja frutífero dentro do contexto da Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS).

Estes seis momentos são mostrados no esquema da Tabela 6, sendo 5 aulas de aulas formais e 1 aula de avaliação. A primeira opção, em tese, seria uma avaliação diagnóstica para o levantamento do que pensam os alunos sobre ondas sonoras; no entanto, considerando as contribuições apresentadas no capítulo anterior sobre o tema, optamos nesse trabalho por não realizar de forma sistemática o levantamento das concepções espontâneas dos nossos alunos sobre ondas, e também não dedicamos espaço específico para a apresentação das concepções espontâneas que emergiram ao longo das aulas. Tal opção se justifica junto a contribuições da literatura que discutem as concepções espontâneas sobre o tema citado, uma vez que essas revelam uma parte considerável dessas estruturas de pensamento e em contextos muito próximos no que diz respeito ao nosso público alvo.

A opção por não apresentar as concepções espontâneas dos alunos também se apoia na percepção de que estas não exclusivas de metodologias inspiradas na TAS, mas fazem parte de uma percepção mais ampla do processo de ensino-aprendizagem, assumindo assim diferentes sentidos e apropriações nas mais diversas teorias de ensino. As concepções espontâneas, envoltas pela ruptura com a perspectiva de aluno com tábula rasa, é importante, porém não condição básica para que a sequência didática que propomos a seguir possa ser analisada como inspirada nas proposições da Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS).

Ratificamos a escolha desse caminho, aparentemente mais breve, ao considerar:

- a) a relevância da literatura sobre as concepções espontâneas dos alunos quando o assunto envolvido são ondas nas formas geral e específica, isto é, investigando o tema de modo aleatório ou relacionando-o ao mar, às ondas de comunicação ou a ondas sísmicas, por exemplo. Para Schuhmacher e Brum (2014), o professor deve compreender que essas concepções decorrem dos esforços imaginativos dos alunos ao descrever o mundo físico que eles são capazes de enxergar, portanto uma construção pessoal, além do dever profissional de valorizá-las como um importante elemento que orientará o seu modo de ensinar;
- b) a teoria de Ausubel prevê os conhecimentos que o aluno carrega consigo como o elemento mais importante para a aprendizagem significativa: eles podem ancorar os novos

conhecimentos apresentados à estrutura cognitiva do aluno; no entanto, a teoria não estipula uma regra geral de como obtê-los, pelo que optamos prescindir aqui do pré-teste levando em conta serem suficiente os textos que mapeiam o que o aluno já sabe sobre ondas, que aqui guiarão nosso trabalho. Ao fim, portanto, aplicaremos um teste para averiguação dos indícios de aprendizagem.

Qualquer que seja o caminho para obtê-los, esses conhecimentos denominados de prévios na teoria ausubeliana, podem, segundo Moreira (2013), se constituir em obstáculo epistemológico, isto é, o modelo de partículas elementares (elétrons, prótons, quarks, etc.) associado a bolinhas invisíveis pode prejudicar a significação conceitual de partículas elementares, por exemplo; o modelo de bolinhas constituiria assim um exemplo desse *obstáculo*.

Uma outra razão, ainda que desprezível se tratada isoladamente, que agrega segurança para a escolha está no fato de que os resultados obtidos pelos alunos, no trabalho de Gobara et al. (2013), sobre ondas não variaram perceptivelmente quando os testes foram aplicados em ambientes escolares diferentes, mantidos evidentemente as mesmas condições de faixa etária e série cursada, como vislumbram os autores:

[...] que a diferença de tipologia e localidade das escolas, na qual os sujeitos estudavam, não refletiu nas representações e modelos construídos pelos estudantes para responderem e interpretar as questões sobre onda. (GOBARA, 2013, p. 455)

Assim, para cumprir nossos objetivos, nossa pesquisa explorará o aspecto qualitativo das respostas dos alunos, focando as bases das concepções alternativas sobre ondas; tais concepções estão mapeadas em vários trabalhos, entre os quais citaremos as ideias alternativas elencadas pelos autores do nosso referencial teórico. Mapearemos a construção sistemática e o grau de dificuldade das questões trabalhadas em testes aplicadas pelos autores, descrevendo qualitativamente os resultados da sequência de ensino ora proposta.

Tabela 5 – Os encontros formais previstos

	1ª aula	2ª aula	3ª aula	4ª aula	5ª aula	teste
Objetivos	<i>Ratificação dos conhecimentos prévios e instrução formal</i>	<i>Instrução formal</i>	<i>Instrução formal</i>	<i>Instrução formal</i>	<i>Instrução formal</i>	<i>Teste</i>
Finalidad e teórica	<i>Diferenciação progressiva</i>	<i>Diferenciação progressiva</i>	<i>Diferenciação progressiva</i>	<i>Reconciliação integrativa de conceitos</i>	<i>Reconciliação integrativa de conceitos</i>	<i>Verificação</i>

Após esse ciclo, passamos à concepção da sequência didática sobre ondulatória com auxílio de outros elementos que fossem, necessariamente, aqueles que de alguma forma evocassem a atenção e a motivação do partícipe para o aprendizado. Nesse ponto incluímos os elementos musicais, tais como o processo de construção e nomeação das notas musicais, a reprodução da voz humana em diferentes frequências e a combinação das notas individuais para formar a base da entidade chamada música, passando ainda pela discussão da escala do violão e seus sons em diferentes frequências. Passamos também a compreender a necessidade de atividades experimentais para o retorno aos conceitos físicos de Ondas. Na TAS identificamos essa necessidade como reconciliação integrativa, que advém do esforço de estabelecer relações entre conceitos já presentes na estrutura cognitiva do aluno, resultando em uma reorganização destes (MOREIRA, 2013).

Para a aplicação, entendemos que fosse necessário reorganizar o currículo de Física para as turmas do 2º ano em questão, no calendário vingueiro, visto que a previsão do conteúdo Ondas seria somente para o 3º trimestre, o que decorreu sem problemas e sem prejuízo da exequibilidade dos demais conteúdos; isso na prática traduziu-se em antecipar o conteúdo ao 2º trimestre.

Na sequência do desenvolvimento das ações em sala de aula, passamos à fase de avaliação e correspondente preparação da análise desses resultados.

Dispomos nosso trabalho a duas turmas das 2ªs séries, sendo que uma é do noturno e a outra do matutino. Aplicaremos a seguir o teste de verificação da Sequência Didática, conforme previsão (Tabela 6).

A realidade do noturno diferencia-se porque eles não têm acesso ao livro didático fora da escola – os turnos matutino e vespertino dispõem livros a cada aluno distribuídos no início do ano letivo, de modo que os levam para casa os e trazem para as aulas como rotina; outro fato é que na maioria são alunos que já experimentaram reprovação na mesma escola e estão em situação de distorção idade-série, trabalham durante o dia e na maioria das vezes alegam indisponibilidade para tarefas de casa.

Essas observações se tornam relevantes à medida que o aluno do noturno teria condições mais difíceis para assumir a devida responsabilidade pela própria aprendizagem, na perspectiva de Ausubel (2003), quando comparado ao aluno do turno diurno; nessa perspectiva, essencialmente, o aluno busca novas aprendizagens difíceis sem exigir que o professor ‘lhe faça a papa toda’, além de fazer as perguntas necessárias sobre o que não entende ainda (AUSUBEL,

2003, p. 36). Isto é o mesmo que, como afirma Ausubel em outro momento, dar à motivação importância suficiente como fator condicionante para o aprendizado duradouro.

Acrescente-se que as turmas contêm em média 30 alunos, cada uma, sendo organizadas por um sistema aleatório baseado no rol de matrículas no início do ano e que podem, no decorrer dos trimestres, possibilitar remanejamentos de alunos entre turmas do mesmo turno - ou de outros turnos, a pedido do responsável legal, ou de ofício se assim for conveniente no entendimento da instituição (estes casos são excepcionais e ocorrem com o devido entendimento entre o responsável legal e a escola, após embasamento regimental devidamente esclarecido).

As referidas turmas tiveram no ano de 2019 duas aulas de Física por semana, totalizando a média de 27 aulas/trimestre e 81 aulas anuais. Há, em curso na rede estadual espírito-santense de ensino público, projeção de 3 aulas de Física para as turmas de 2º ano do turno diurno, a partir de 2020.

Para a construção da sequência didática seguimos o proposto na tabela 2 e na tabela 6. Observamos também que os materiais e procedimentos como recursos devem ser construídos dos graus mais gerais para os mais específicos.

Tabela 6 – Síntese da Sequência Didática a ser implementada em sala

1ª aula	Objetivos	-Conceituar natureza das ondas, fontes, frentes de onda, frequência e período.
	Descrição	Discussão sobre a técnica dos mapas conceituais (turma noturno); uso dialógico das informações do texto “ <i>Fenômenos periódicos: você já ouviu falar deles?</i> ” do Apêndice H (turma diurno) e utilização do aplicativo “ <i>Som</i> ” versão 2.19 do Phet Colorado
2ª aula	Objetivos	-Reforçar o conceito de frequência ligando-o ao conceito de altura e às notas musicais por meio de recursos sonoros; -Conceituar comprimento de onda, velocidade da onda e timbre; -Resolver exercícios com os principais conceitos de ondulatória abordados.
	Descrição	Aula de interação com uso dos arquivos de vídeo “ <i>20 Hz to 20k Hz Human Audio Spectrum</i> ” e “ <i>A 440 Hz piano for tuning</i> ”, além

(continua)

3 ^a aula	(continuação)	da utilização de instrumento musical melódico ou harmônico, régua grande.
	Objetivo	-Estudar a propagação de onda em uma corda; diferenciar propagação transversal da propagação longitudinal; -Demonstrar relação entre frequência e comprimento de uma corda; -Resolver exercícios com os principais conceitos de ondulatória abordados.
	Descrição	Aula expositiva e interativa com uso de simulador virtual “ <i>Wave on a string</i> ”, régua, corda grossa de nylon, violão.
4 ^a aula	Objetivo	-Rever os conceitos comprimento de onda, ventres e nós de uma onda; -Experimento de propagação do som em uma corda (telefone de barbante); -Resolver exercícios com os principais conceitos de ondulatória abordados.
	Descrição	Aula expositiva e experimental com uso de materiais de alto acesso (barbante de algodão, copo descartável, cola) para demonstrar que o som se propaga no barbante.
5 ^a aula	Objetivo	-Aplicar o conceito de ondas com destaque às diferentes situações do cotidiano; -Responder às perguntas elencadas das aulas anteriores; -Resolver exercícios com os principais conceitos de ondulatória abordados.
	Descrição	Discussão das aplicações dos conceitos de ondas mais amplos do dia a dia, com discussão e resposta às perguntas de aulas anteriores; resolução de exercícios
	Objetivo	-Aplicar o teste de verificação da Sequência Didática (continua)

6 ^a aula	<i>(continuação)</i> Descrição	Teste objetivo e discursivo, conceitual, com 7 questões sobre o som e sua propagação e modelos
------------------------	---------------------------------------	--

Fonte: o autor

Uma breve atenção à apresentação da Sequência Didática proposta na tabela acima, além do Tabela 5 e do Anexo 2, nos permite verificar alguns aspectos sugeridos e que buscamos que fossem consoantes ao referencial teórico proposto:

a) organizamos os conteúdos a serem trabalhados, conforme previsão do Currículo da rede estadual de ensino do Estado do ES. Dentro do conteúdo central – ondas sonoras, estipulamos a sequência dos conteúdos mais inclusivos para os mais específicos. No turno noturno iniciamos com o texto do Apêndice G enquanto na turma do matutino trabalhamos o texto do Apêndice H. A essa abordagem dos conteúdos em ordem dos conteúdos do mais geral para o mais específico, na visão de Ausubel (2003), constitui-se o processo de diferenciação progressiva. Isso pressupõe que as concepções mais gerais servem para a contextualização das ideias mais específicas, que lhes servirão na ancoragem. O propósito inicial dessa diferenciação cognitiva na nossa Sequência Didática foi tê-la ‘atuando’ até nossa 3^a aula; no entanto, percebemos que o processo de ressignificação dos conteúdos é contínuo, não tem um lapso de tempo em que ele estanca. Pelo contrário, enquanto houver troca de informações novas na estrutura cognitiva do aprendiz que dialogam com as informações preexistentes (ancoragem), o processo de diferenciação progressiva passa por um refinamento sempre em evolução, isto é, a diferenciação progressiva é onde ocorre a atribuição de novos significados a um dado subsunçor (um conceito) resultante da sucessiva utilização desse subsunçor para dar significado a novos conhecimentos (Moreira, 2012).

Tabela 7 – Diferenciação Progressiva e Reconciliação Integrativa e suas ocorrências na prática

	1 ^a aula	2 ^a aula	3 ^a aula	4 ^a aula	5 ^a aula	teste
Objetivos	<i>Ratificação dos conhecimentos prévios e instrução formal</i>	<i>Instrução formal</i>	<i>Instrução formal</i>	<i>Instrução formal</i>	<i>Instrução formal</i>	<i>Teste (continua)</i>

Finalidade teórica	<i>(continuação) Diferenciação progressiva/ Reconciliação integrativa de conceitos</i>	<i>Diferenciação progressiva/ Reconciliação integrativa de conceitos</i>	<i>Verificação</i>			
---------------------------	--	--	--	--	--	--------------------

Fonte: o autor.

b) a seguir, pensando na reconciliação integrativa (ou integradora), percebemos na prática que ela se processa simultaneamente à diferenciação progressiva: as perguntas elaboradas pelos alunos e o seu papel ativo sobre o novo conhecimento, que favorecem as trocas de informações e conceitos na sua estrutura cognitiva, se dão em tempo real, isto é, o tempo todo. Para Moreira (2012), no fim das contas, planejando a partir do material instrucional, teremos um processo na dinâmica cognitiva do aluno onde as diferenças entre conceitos aparentemente semelhantes, as dúvidas e inconsistências são eliminadas, além da integração de significados e ideias ocorrer num nível mais elevado que o anterior. Portanto, diferente do que planejamos, esse processo esteve presente em todas as aulas, apesar de mais atenuado nos primeiros contatos com os novos conceitos, e não apenas nas últimas aulas. De modo que o Tabela 5 como previsão é razoável, ocorrendo na prática algo mais próximo da Tabela 7.

3.1 Construção e Aplicação da Sequência Didática

Apresentamos a seguir as aulas transcorridas cuja síntese está na tabela 3, isto é, estas aulas em forma de narrativa constituem, de per si, a sequência didática. Ela é constituída de 5 encontros em sala de aula onde, ao final, no 6º momento, aplicaremos o Teste de Verificação da Sequência Didática (Apêndice F). Para fins de otimização de informações sobre a Sequência Didática, de modo que não tenhamos excesso de dados em tela, inserimos a estrutura da Sequência Didática, seus recursos materiais e objetivos no Apêndice A.

O público alvo são as turmas 2M01 e 2N01 de uma escola da rede estadual localizada no município de São Mateus-ES, respectivamente do matutino e do noturno no ano letivo de 2019. Desejamos destacar que o material concebido como facilitador introdutório ao conteúdo de ondas, disponível no Apêndice H, dirigida à turma do matutino, se configurou como um pseudo-organizador prévio dentro da teoria de Ausubel. Tornou-se necessário sua utilização para contextualização do assunto a ser estudado, visto que a estrutura cognitiva do aluno traz conceitos de onda de forma difusa em alguns casos, como mostra nosso referencial teórico no tópico das concepções espontâneas. Nesse material coube ao aluno não apenas ler passivamente, mas interagir com o material e resolver seus exercícios. Isto se deu na prática, precisamente 1 semana antes do Encontro I, sendo o material salvo em formato pdf e

compartilhado em aplicativo de rede social da turma do matutino. Dois casos de alunos que, por não utilizarem tal rede social e/ou não fazer uso sistemático por não dispor de aparelho smartphone, tiveram acesso ao material impresso.

Paralelamente a isso, tínhamos uma concepção de material introdutório diferente para o turno noturno. A turma do 2N01 em seu estudo inicial recebeu 1 semana antes do início das aulas o material em formato .pdf, constante do Apêndice G. Nele o aluno tem a noção básica de ondas sonoras: o raciocínio inicial exprimido por cada aluno traria à luz as concepções alternativas nos moldes daqueles obtidos por Gobara et al. e outros.

Carece lembrar que os recursos audiovisuais utilizados, tais como aplicativos do tipo simuladores ou vídeos, estão elencados nas informações suplementares da Sequência Didática proposta no Apêndice A. Além disso, sugere-se que o professor faça todos os downloads dos recursos digitais selecionados, bem como seus devidos testes, com a devida antecedência para evitar fortuitos, como incompatibilidades ou sobrecarga de memória ou disco, ou outros. Cada minuto ‘desperdiçado’ com aparelhos ou programas que não funcionam pode trazer uma sensação de que o tempo não será suficiente para a discussão ou atividade didática proposta; pode-se delegar a um(a) aluno(a) da sala a tarefa de ligar as conexões por cabo do notebook aos demais aparelhos. Normalmente o ambiente de colaboração melhora com essas pequenas interações com os alunos.

Privilegiamos por ora a narrativa dos 5 encontros em sala de aula.

3.2 Os encontros

Cada encontro equivale a 1 aula de 55 minutos, e neles cumprimos o roteiro das aulas planejadas. Para efeito de simplificação, seguem aqui os registros de apenas uma das turmas, e não ambas, tendo em vista que os objetivos e o padrão das aulas foram os mais próximos possíveis para as duas turmas, com exceção da 1ª aula, onde aplicamos exclusivamente no turno noturno uma atividade baseada no texto do Apêndice G enquanto no turno diurno os alunos partiram do material que designamos como pseudo-organizador prévio (Apêndice H); foram estratégias iniciais diferentes apenas. Convém lembrar também que ambas as turmas são da modalidade regular, apesar do turno noturno contar também com turmas da modalidade EJA (Educação de Jovens e Adultos). Outro ponto importante: reiteramos que em nenhum ponto da narrativa pretendemos comparar as duas turmas, principalmente no quesito desempenho das atividades e no teste que será aplicado na 6ª aula. Os objetivos de cada encontro, os materiais e

arquivos utilizados nas aulas estão todos listados em detalhes no Apêndice A para efeito de organização.

1ª Aula– NARRATIVA DO ENCONTRO I – turno aplicado: diurno

Os primeiros 15 minutos da aula foram voltados às explicações e discussões do texto, incluindo-se aí exemplos, critérios do fazer até a efetiva construção de um mapa conceitual sobre ondas. Com essas informações, passamos ao tópico seguinte do nosso plano, que é a abordagem da natureza das ondas, fontes, propagação, frequência e período.

Iniciamos a exposição dialógica partindo da definição clássica que diz que a onda não transporta matéria. Ao que a aluna Flor indagou por que motivo, diante dessa definição, somos levados pelas ondas quando estamos na praia? Isto acabou suscitando um breve debate, como se os outros quisessem afirmar que também tinham esse questionamento a levantar. Um dos alunos (Wesley), chegou a mencionar que foi arrastado de súbito pelas ondas da praia, em certa ocasião, e acreditava que por pouco conseguira escapar tendo, este fato, gerado um temor sobre-estimado ao voltar à praia.

Após ouvir os diferentes argumentos, precisei interromper esclarecendo que iria entrar em detalhes sobre as ondulações da praia mais adiante, por estarmos na fase inicial da conceituação e o fenômeno ser um pouco mais complexo do que os modelos didáticos mais usuais.

Então finalizamos a exposição do modelo ideal onde as ondas transportam exclusivamente energia através de um meio como a água ou uma corda, no caso das ondas mecânicas. Abordamos oportunamente as naturezas eletromagnética e mecânica das ondas, com mais ênfase nesta última, e seus meios de propagação, dispensáveis no caso da onda eletromagnética. Passamos a ouvir os alunos sobre as fontes de ondas por meio da chuva de ideias no tabela quando foi possível notar que não foi, como a princípio poderia se supor, tão natural associar uma onda com uma fonte; algo como que se associasse a fonte ao próprio meio, tal como pudemos anotar: “-a água!”, “- a corda!”, “-o vento!”, e não pronunciaram muito além destas possibilidades, a não ser quando estimulados a pensar em de onde, quem produz ou o que produz uma onda. Daí até a naturalidade de elencar a caixa de som ou a garganta ou o aparelho de micro-ondas como fontes necessitou do estímulo da menção de que o som é um exemplo de onda mecânica.

Reforçamos nesta aula ainda a modelagem da propagação do som por meio do aplicativo *Som*, versão 2.19⁶, previamente baixado no notebook. Exploramos nesse momento as abas “Ouvir uma única fonte”, “Interferência entre duas fontes” e “Ouvir com pressão do ar variável”, onde demos ênfase:

- às fontes de ondas,
- ao modelo de formação e propagação das ondas em frentes que são faixas de compressão e faixas de rarefação do ar,
- à amplitude do som que associamos intuitivamente (de propósito) à “potência” e ao volume do som, inclusive sendo possível ajustar essa amplitude,
- à frequência do som, que associamos intuitivamente à “altura” do som – que não equivalia a volume, conforme frisamos, mas que estava ligada diretamente às vozes e notas graves e agudas.
- ao período e sua definição para uma frente de onda sonora.

Com o fim do encontro fizemos anotação das questões levantadas que, de forma combinada com a turma, seriam respondidas até o final das aulas sobre ondas. As questões, basicamente, foram:

Tabela 8 – Questões suscitadas pelos alunos do noturno e diurno (dados condensados) durante a 1ª aula sobre ondas.

QUESTÕES LEVANTADAS DURANTE A 1º AULA
“-Uma onda não é assim [aluno gesticula uma figura senoidal [sic]]?”, durante apresentação do aplicativo virtual que mostra frentes de onda a partir de uma caixa de som (aluno Ryan)
É possível quebrar uma taça com a voz?
Da representação das frentes de onda, as partículas do ar são movimentadas para frente e para trás, conforme o modelo explicativo do aplicativo <i>Som</i> utilizado. Por que então afirmamos que as ondas não transportam matéria?
Por que um paredão de som (carro aparelhado com potentes caixas de som muito comum nos litorais norte do ES e sul da BA) aciona os alarmes dos demais veículos, quando ligado em alta intensidade?
No caso da caixa de som ligada em um ambiente vazio (vácuo), teria algum meio forçado de fazer a onda sonora chegar aos ouvidos do receptor?

Fonte: o autor

Em breves considerações sobre este 1º encontro, há que se considerar que:

⁶ Disponível em https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/sound. Acesso em 30 janeiro 2019.

- o planejamento foi intenso e necessário, já que o professor deve ter um “plano B” para ação imediata em caso de inviabilidade principalmente no uso das tecnologias educacionais (no turno da manhã, o aplicativo *Som* não funcionou no modo *off-line*, de modo que fomos exigidos a usar a internet pessoal para reproduzir online o conteúdo pretendido; há que se considerar que boa parte da rede pública de ensino carece, ainda hoje, desses recursos tecnológicos na sala de aula);

- que o material prévio de leitura sobre fenômenos periódicos mostrou-se promissor ante ao material sobre mapas conceituais, e fez certa diferença na receptividade da aula – manifestada na forma de motivação, sendo que no caso do matutino era como se já houvesse certa habitualidade com os termos. Isso propiciou não só espaço para tirar dúvidas em função da linguagem aparentemente apropriada pelo aluno, durante a aula, como também permitiu abordar em um nível mais abstrato os conceitos.

Vale lembrar que, ainda que o material como elemento isolado possa manifestar papel motivador, há ainda os diferentes contextos de vida das turmas que podem, eventualmente, sugerir que o material não tenha essa propriedade diferenciada. Caberá ao professor leitor verificar o que lhe é mais conveniente e próximo da sua própria realidade de convivência escolar.

2ª Aula– NARRATIVA DO ENCONTRO II – turno: diurno

Neste segundo momento, reforçamos o conceito de frequência ligando-o às notas musicais, onde o mesmo conceito recebe o nome de altura. Para tanto, iniciamos definindo que o som audível aos humanos está situado num limite de frequências tal que $20 \text{ Hz} < f < 20000 \text{ Hz}$. Isto significa que absolutamente tudo que somos capazes de ouvir está dentro desse limite de frequência. Na prática demonstramos que dificilmente antes dos 60 Hz detectaremos algum som, principalmente pela limitada captação de baixas frequências das caixas de som.

Fizemos isso através da audição, em sala de aula, dos sons em frequências crescentes, utilizando o arquivo 1 de extensão mp4 de 2 min e 20 segundos, dos quais escutamos cerca de 1 min e 30 segundos, previamente baixado. A questão norteadora do diálogo na sala era: o que esses sons têm a ver com os sons que ouvimos?

Nesse momento o aluno Júnior afirmou que “cada som tem uma frequência!”, o que foi suficiente para confirmar isso à turma e endossar que os instrumentos musicais reproduzem apenas uma parte destas frequências e que certa combinação delas produz uma sonoridade agradável, ou não, aos ouvidos.

No entanto, o aluno Richard completou categoricamente que “só certos instrumentos emitem certas notas, porque um violino emite as mesmas notas que uma guitarra, mas não emite as mesmas notas que um contrabaixo”. Ao recitar e fazer a turma abstrair esse raciocínio, pareceu haver uma concordância silenciosa com este pensamento e quando questionados, quase unanimidade, a justificativa foi: “como se dividissem os instrumentos em duas classes – agudos e graves – porque o violino e a guitarra emitem sons de maior altura (mais agudos), enquanto um contrabaixo emite as notas mais baixas (mais graves)”.

Esse foi um momento propício para inserir o instrumento musical a fim de mostrar que instrumentos muito diferentes podem tocar as “mesmas notas”, dado que as notas musicais têm uma dinâmica circular à medida que, partindo da nota dó (130 Hz) e avançando na escala musical diatônica⁷, ao final retornamos à mesma nota dó, com o dobro de sua frequência (260 Hz); ambas tem a mesma sonoridade, o ouvido as reconhece como iguais, apenas uma é mais aguda (260 Hz) e a outra mais grave (130 Hz).

Para isso convidamos um aluno a “cantar” a nota dó grave e sustentá-la enquanto que simultaneamente uma aluna faria o mesmo com a nota dó agudo! Detalhe que havíamos combinado nos bastidores com os alunos David e Evelyn para “cantar” caso nenhum voluntário se apresentasse para fazê-lo, o que de fato ocorreu, alegadamente por conta da timidez para cantar para os colegas.

Para tanto, utilizamos um violão de seis cordas sendo que a sexta delas era uma corda improvisada e tomada da 7ª corda do violão de 7 cordas (muito grave), e que propicia um conjunto harmônico⁸ muito diferente para os alunos que já conhecem a sonoridade típica do violão.

Tão atípico que a aluna Michelli reconheceu de pronto que o violão estava desafinado. No entanto, mostramos que no instrumento temperado⁹, como é o caso do violão, para ser “tocável” basta que as relações entre cada corda prevista na construção estejam em perfeita combinação, e que de fato estávamos numa configuração de cordas não tradicional, por isso a sonoridade estranha aos ouvidos, mas que poderíamos identificar sem problemas as duas notas: dó grave e

⁷ Escala diatônica “é a sucessão de 8 sons conjuntos guardando de um para outro intervalo de tom ou de semitom” (Priolli, p. 29). É uma sequência que se inicia numa nota chamada de tônica, que pode ser qualquer uma das sete notas musicais, e retorna a ela mesma após esses intervalos.

⁸ Originado de *harmonia*, que é a execução de vários sons simultaneamente, guardadas as leis que regem os agrupamentos desses sons (Priolli, 2006). Trata-se da execução de vários sons ao mesmo tempo, em contraposição à melodia, que entende-se pela execução de uma nota por vez.

⁹ Para Cardoso e Mascarenhas (1973), *temperado* é o instrumento que tem som fixo, tal como o piano, o órgão, isto é, cuja menor divisão sonora é o semitom.

dó agudo, o que fizemos sem dificuldade. Identificamos previamente que no violão a 1ª corda nominalmente é a de baixo (quando solta emite nota mi, de frequência 330 Hz), e que progredindo para cima teríamos a segunda, terceira, etc., até a 6ª (82 Hz) que é a corda superior, ao contrário do que poderiam supor que fosse a sequência.

No procedimento, enquanto o aluno David sustentava vocalmente o dó grave (260 Hz), logo entrou a voz mais aguda de Evely do segundo dó (130 Hz): o que ouvimos foi um reconhecimento dos alunos de que de fato eram as mesmas notas, cantadas por vozes diferentes, o que nós endossamos que uma era o dobro exato da frequência da outra nota, tendo, portanto, o mesmo nome. Reforçamos, então a associação:

voz masculina ► nota mais baixa ► menor frequência

voz feminina ► nota mais alta ► maior frequência

Cantamos juntos com esses dois alunos a escala diatônica de dó, primeiro utilizando a escala de dó maior¹⁰ iniciando no dó mais grave (5ª corda combinada com o 3º traste) finalizando na 3ª corda com o 5º traste e demonstramos na repetição que, mantido o mesmo padrão, as notas seriam as mesmas se começássemos na 3ª corda e 5º traste e terminássemos na 1ª corda e 8º traste, mas numa relação do dobro da frequência, isto é, lá (440 Hz) →lá (880 Hz), o que configura uma relação de oitava, ou seja, o lá (880 Hz) é uma oitava acima do primeiro. Na recapitulação do nosso ofício, reforçamos que cada nota expressa uma frequência única aos nossos ouvidos, sempre tocando notas isoladas propositalmente. Mostramos que a música contém uma sequência de notas que soam mais ou menos agradavelmente aos nossos ouvidos e que, portanto, a relação entre essas frequências era importante na construção de uma música. Perguntamos então: “qual a diferença no som do lá (440 Hz) emitido pelo violão e o mesmo lá (440 Hz) emitido por um acordeão?”

As respostas foram quase unânimes: “nenhuma!”. Outro aluno ponderou que tinham as mesmas frequências, portanto, eram as mesmas notas.

Então perguntamos aos alunos: “Se eu tocar o lá no acordeão, algum de vocês, com os olhos fechados, poderia correr o risco de dizer que foi tocado no violão, ao invés do acordeão? Alguém iria se confundir?”

Ao que as respostas soaram quase imediatamente:

¹⁰ A escala de dó maior é a sequência de notas preservando o intervalo de tom-tom-semitom-tom-tom-tom-semitom.

“Claro que não”, “não”, “todos sabem que foi tocado no acordeon, sem dúvida”. Foram unânimes nas colocações.

Esse foi o ponto de partida para conceituar o timbre como uma propriedade que permite distinguir dois sons de mesmas frequências, mas emitidos por fontes diferentes, o que os faz serem prontamente reconhecidos ou, na hipótese de a fonte não ser íntima aos ouvidos, descartados. Providenciamos o arquivo 2 baixado e o reproduzimos, escutando a nota lá (440Hz) percutida por piano enquanto tocávamos no violão a mesma nota lá (440 Hz).

Enfatizamos aí, que ambos os sons tinham a mesma frequência, porém timbres diferentes, justamente por serem fontes (instrumentos) diferentes. Interagimos para verificar e validar a definição de timbre nas palavras dos alunos, permitindo que eles se expressassem sobre o conceito. E assim terminou-se nosso tempo regulamentar.

Tabela 9– Questões suscitadas pelos alunos durante a 2ª aula sobre ondas.

QUESTÕES LEVANTADAS DURANTE A 2ª AULA
- <i>Professor, o que é ruído?</i> (aluna Fla)
- <i>Como a gente ouve um harmônico?</i> (aluno Jordan)
- <i>Como descobrir o comprimento de onda do som?</i>

Fonte: o autor

Balanço deste 2º encontro: em breves palavras, consideramos positiva a interação com os alunos, a exposição dialógica, a introdução gradativa dos conceitos, as questões levantadas e o potencial do planejamento quando pré-elaborado.

Ao introduzir o violão na dialógica sobre ondas, percebi que os alunos de antemão já criavam expectativa do professor tocar e cantar, ao que fomos francos em dizer que a perspectiva e a razão do violão no contexto eram puramente didáticas. Como elemento motivador numa sala de aula, parece muito interessante se a aula for minuciosamente planejada, com poucas concessões como, por exemplo, quando os alunos pedem o violão para tocar, já que é um instrumento extremamente popular por ser portátil; pode ocorrer mudança brusca de foco quando um aluno toca e outro quer cantar, um aluno quer ensinar a outro novos acordes, nova música, etc. Os que pediam estavam ansiosos para dedilhar o instrumento, mas pacientemente esclarecemos que o tempo da aula era limitado e tínhamos bastante para dialogar. O potencial que um instrumento pode trazer para a sala de aula é grande, visto que nós poderíamos envolver toda a turma dividindo-a em dois grupos e cantássemos junto com eles quaisquer notas, como

em um pequeno coral para solfejar¹¹ as notas necessárias. Observamos que em grupo eles se desinibem mais do que individualmente.

Foi preciso ser cuidadoso para tocar apenas as notas necessárias à demonstração do assunto, no que sendo diferente a atenção do aluno pode ser rapidamente absorvida e o foco desviado.

Outro ponto que havia observado em situação onde precisava de um cantor(a) em turma da 1ª série, era que raramente um aluno, mesmo sendo bom cantor, aceita o desafio de cantar e ser acompanhado pela turma, sem nenhuma prévia ou ensaio; então procurei duas alunas da sala, boas cantoras, porém não aceitaram por simplesmente ter ‘medo de errar’ ou ‘vergonha de cantar para os colegas’, mas indicaram outros colegas até o acordo final. É preciso que o professor esteja atento a esse detalhe.

Na definição de timbre, preferimos propositalmente não trazer à luz o conceito dos harmônicos e, assim, manter uma definição macro, mais geral, onde apenas as diferenças de sonoridade de dois sons aparentemente iguais seriam suficientes para definir fontes diferentes em questão, isto é, de timbres diferentes. O fator tempo foi determinante para isso. Mesmo assim, num certo momento, houve perguntas sobre os harmônicos, que deixamos para a próxima aula.

Para encerrar resolvemos em sala as atividades relativas à 2ª aula (Apêndice B).

3ª Aula– NARRATIVA DO ENCONTRO III – turno aplicado: diurno

Para o terceiro encontro em sala de aula, iniciamos com o tema que debateríamos (onda em uma corda com uma extremidade presa) através de um experimento prático combinado com uma atividade constituída de perguntas dirigidas acerca do experimento que, logo depois, seria revisto conceitualmente com auxílio do simulador virtual *Phet*. Combinamos com os alunos que:

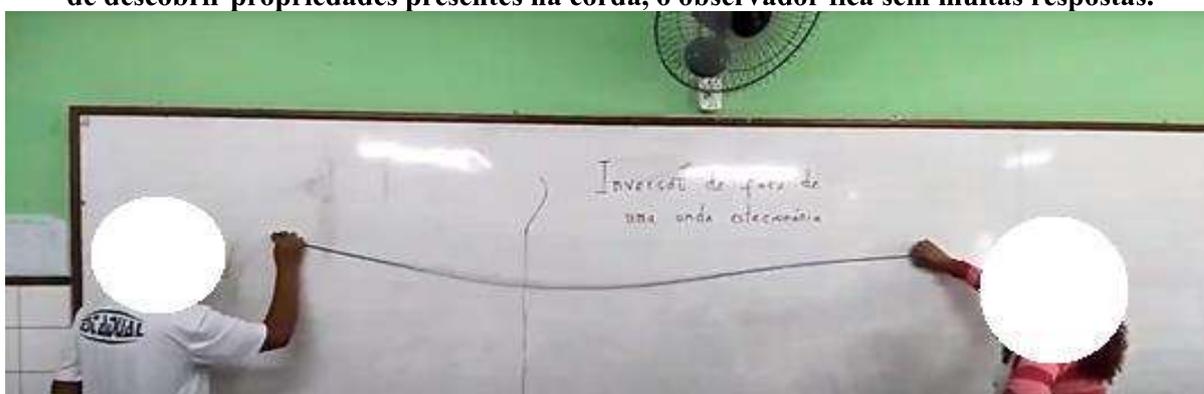
- deveriam observar atentamente a demonstração da propagação de onda por uma corda, a ser executada por dois colegas, tendo gentilmente se comprometido a fazer os alunos David e Mary, sendo orientados a manter uma extremidade da corda imóvel enquanto a outra passa a sofrer oscilações na vertical a fim de gerar pulsos visíveis na corda (Figura 14);
- junto com a observação, deveriam ser o mais fidedignos com o que tinham presenciado, ao responder à atividade proposta “Onda em uma corda” (Apêndice C), sendo feito necessariamente a lápis e devolvido;

¹¹ Solfejar é o mesmo que cantar as notas, variando conforme a altura (frequência) de cada uma delas.

- permanecessem atentos à simulação virtual que seria feita e, após, refizessem as mesmas questões à caneta, agora com a solução definitiva, conforme o que pudessem abstrair da demonstração, condicionando que não apagassem as respostas anteriores feitas a lápis.

Assim, passamos a orientar o experimento onde a aluna Mary (nome fictício) está com a mão em repouso, enquanto o aluno David (nome fictício) gera um pulso na outra extremidade da corda. Contudo, a dificuldade dos demais alunos em enxergar as grandezas físicas esperadas se torna um problema já previsto por nós.

Figura 14 – Os alunos tentam gerar uma ondulação controlada na corda. No entanto, para efeito de descobrir propriedades presentes na corda, o observador fica sem muitas respostas.



Fonte: o autor

Diante das dúvidas que combinamos ainda não responder durante as aulas, apresentamos uma alternativa, com uma corda e a fonte de ondas minimamente controladas. Foi aí que abrimos o simulador virtual e o expusemos com o retroprojektor.

Mostramos a funcionalidade e potencialidade do simulador e como usufruí-lo didaticamente. A partir daí os alunos queriam usá-lo, pelo que designamos um aluno, o Lionel, para atender a demanda dos colegas da sala que queriam responder com mais segurança às questões propostas.

Figura 15– Uso de simulador virtual como auxílio em sala de aula

Fonte: o autor

Devolvidas as atividades, após posterior análise, observamos que tivemos uma margem positiva da ordem de 83% de respostas corretas nas duas turmas – matutino e noturno juntas, o que propiciou observar que o uso orientado do simulador virtual, cuja situação carece que o aluno entenda os pormenores de um fenômeno, tem a potencialidade de ser um suporte razoável a se considerar quando utilizado em momentos onde o fenômeno tem a dificuldade natural de ser reproduzido. Na tabela 10, elencamos os dados reunindo os resultados para as duas turmas juntas, a do matutino e do noturno.

Tabela 10 – Resultados da atividade dos alunos antes e depois do simulador virtual

Número alunos avaliados	Número de questões do teste	Aproveitamento geral “antes”	Aproveitamento geral “depois”
52	5	48 %	83%

Fonte: o autor

Transcorremos cada conteúdo presente no nosso objetivo, de forma dialógica e com o auxílio do violão:

- 1º) endossamos que a onda em uma corda é transversal porque cada ponto da corda não se propaga junto com a onda, mas oscila apenas na vertical, enquanto que a onda sonora é longitudinal porque as frentes de onda pulsam na mesma direção de propagação da onda;
- 2º) aproveitamos para reafirmar que um gráfico senoidal tem seus pulsos propagados transversalmente, mesmo representando uma onda sonora que é longitudinal, o que pode confundir as pessoas; isto é, um pulso senoidal exprime muito bem o modelo da maioria dos fenômenos periódicos sem, no entanto, ser o próprio fenômeno;
- 3º) mostramos, com uso do violão, que existe uma relação entre a frequência emitida pela vibração de qualquer uma das cordas e o comprimento da corda. Nessa demonstração, medimos

o comprimento da 1ª corda (mi agudo) do violão, que deu como resultado 65,0 cm; a seguir, marcamos o ponto onde seria a metade exata da corda: 32,5 cm (12º traste), pressionando a seguir. O som emitido pelas duas metades da corda soou, igualmente, 1 oitava acima, isto é, comparando com o som original (com a corda solta), obtemos o mesmo som 1 oitava acima (dobro da frequência original). Daí relacionamos as informações: “se a primeira corda solta emite vibra na frequência de 330 Hz (nota mi agudo), então podemos concluir a frequência de vibração da metade da corda, quando pressionada em seu ponto médio, seria o dobro, isto é, 660 Hz!”

Nesse ponto, apresentamos a relação da frequência de ressonância da onda sonora emitida pela parte da corda em vibração com o comprimento desta porção vibrante:

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

Após isto, fizemos alguns exemplos teóricos, utilizando a equação acima. Desta aula, anotamos as dúvidas dos alunos presentes, que seguem na tabela abaixo.

Tabela 11 -Questões levantadas pelos alunos durante a 3ª aula sobre ondas

QUESTÕES LEVANTADAS DURANTE A 3ª AULA
- <i>Professor, e no violino é a mesma coisa?</i> , (aluno David), se referindo à corda presa na sua metade exata, emitindo a mesma nota
- <i>Como descobriram isso?</i> (aluna Mary, referindo-se à descoberta que as duas metades de uma corda presa pelo seu ponto médio vibram com à mesma altura)

Fonte: o autor

4ª Aula– NARRATIVA DO ENCONTRO IV - turno aplicado: diurno

No quarto momento em sala de aula iniciamos com o experimento “Telefone de barbante”, solicitado que as alunas da sala, definido por sorteio, trouxessem e fizessem a montagem em sala de aula. Com a simplicidade do experimento conforme Figura 16, indagamos da possibilidade do som “sair” do outro lado, no outro copo – “Você acha que o som chegará no copo da esquerda? Se sim, qual das opções é mais próxima da realidade?”. Para tanto, separamos na tabela duas configurações diferentes e as opções de resposta instantânea:

1º) com o barbante não esticado;

2º) com o barbante totalmente esticado.

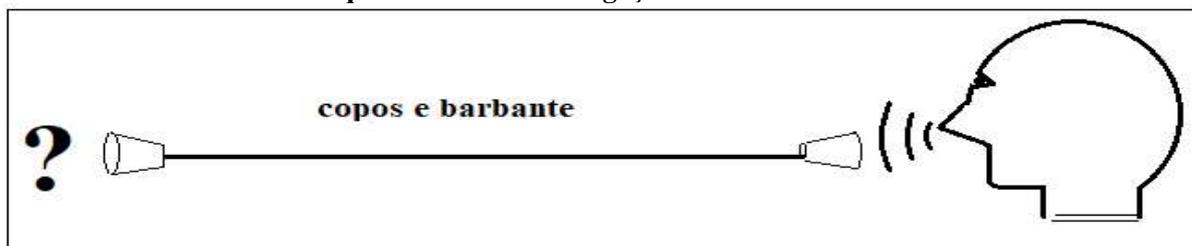
() Sim, com o barbante esticado.

() Sim, com o barbante não esticado.

() Sim, em ambos os casos, indiferente à situação do barbante.

() Não.

Figura 16– Representação esquemática da montagem do telefone de barbante. A partir deste esquema nasceu a indagação inicial da 4ª aula.



Fonte: o autor

Posterior análise das respostas nos trouxe à seguinte situação, reunidas as duas turmas, matutino e noturno na tabela 12:

Tabela 12 – Padrão de respostas antes da realização do experimento

<i>– “Você acha que o som chegará no copo da esquerda? Se sim, qual das opções é mais próxima da realidade?”</i>	
<u>Alternativa</u>	<u>Porcentagem</u>
a)	34%
b)	13%
c)	32%
d)	21%
Total	100%

Fonte: o autor

Passamos então à prática do experimento, onde os alunos comparavam as duas situações do barbante, se tornando um momento mais descontraído da aula.

Figura 17 – Montagem e experimentação do telefone de barbante pelo grupo das alunas da sala.



Fonte: o autor

Discutimos sobre a propagação do som no vácuo, e nos meios densos, chegando ao diagrama qualitativo em ordem crescente de velocidade como o meio interfere na velocidade do som,

conforme sua densidade aumenta. Considerando que apesar dos dados serem reais, a ideia é só mostrá-los como premissas de um processo indutivo:

Figura 18–Hipóteses da relação da velocidade do som com a elasticidade e a densidade do meio.



Fonte: o autor

A seguir apresentamos a relação matemática da velocidade do som em uma corda, conhecidas a tensão sobre a corda (muito presa ou com certa folga) e a densidade linear da corda (isto é, a corda mais espessa é mais densa comparada às mais finas):

$$V = \sqrt{F/\mu}$$

Onde surge uma aparente contradição com a ideia que induzimos inicialmente, isto é, de que quanto maior a densidade maior seria a velocidade; acontece que estávamos falando de meios tidos como idealmente homogêneos, enquanto que a equação vale para cordas que ora estão muito esticadas (tensão F alta) ora pouco esticadas (baixa tensão F) conhecida a densidade linear μ da própria corda.

Para maior clareza, fizemos um exercício numérico e depois utilizamos juntos o vídeo *Ondas estacionárias em uma cuerda*¹²; o trecho utilizado 6:52-7:42s para abordar novamente as propriedades das ondas em uma corda pulsante. Mostramos as razões de cada uma das equações que apareceram no transcorrer do vídeo.

Para encerrar resolvemos em sala as atividades relativas à 4ª aula (Apêndice D).

5ª Aula– NARRATIVA DO ENCONTRO V - turno aplicado: diurno

Iniciamos a aula com uma chuva de ideias para saber o que os alunos diziam a respeito das aplicações dos conteúdos das aulas passadas, a saber, comprimento de onda, propagação de onda, frequência, frentes de onda, etc. A quais ideias remetiam esses termos, mesmo que de maneira não sistematicamente hierárquica. Os respectivos resultados tomados foram relativamente poucos:

¹² Disponível em <https://www.youtube.com/watch?v=iUNIoGvvh0> . Acesso em 01/12/18.

Figura 18.1 – Esquema ilustrativo das ideias dos alunos



Fonte: autor

Não é de surpreender que não tenha ocorrido menção à luz, microondas, raios-X ou quaisquer ondas do espectro eletromagnético. A razão é que não generalizamos até este momento.

Então abrimos o leque dessas opções para falar que a luz é uma onda eletromagnética, sendo o oposto das ondas mecânicas que dependem de um meio de propagação: a luz viaja no vácuo sem nenhum empecilho; e citamos, a radiação do aparelho celular, o controle remoto com seu infravermelho, a tecnologia *Bluetooth*, mostrando que o espectro é amplo diferenciando, a princípio, apenas pela faixa de frequência.

Exemplificamos uma rádio FM local, cuja frequência foi lembrada pelos alunos em 105,1 MHz. Dialogando chegamos no valor 105 milhões e 100 mil hertz, e considerando que a velocidade da luz no vácuo é de 3×10^8 m/s, era possível calcular o comprimento de onda correspondente, com o desenvolvimento e solução na lousa.

Nesse ínterim coube tempo para tirar as dúvidas anotadas das aulas anteriores.

Para encerrar resolvemos em sala as atividades relativas à 5ª aula (Apêndice E).

Uma vez apresentadas, de forma sucinta, as narrativas das aulas passamos no próximo capítulo para análise das respostas dos alunos, de modo a refletir acerca dos possíveis indícios de aprendizagem significativa dos alunos ao longo do desenvolvimento da sequência e os possíveis alcances da sequência proposta neste texto.

4 RESULTADOS E ANÁLISE

Consolidando as fases de desenvolvimento da sequência didática apresentada no capítulo anterior e considerando o teste aplicado na 6ª aula (Apêndice F) nas duas turmas da 2ª série do ensino médio regular, sendo uma turma da manhã e outra do período noturno de uma escola da rede estadual localizada na cidade de São Mateus - ES, não esquecendo as suas especificidades seguimos para o alcance de um dos objetivos específicos, sinalizados no capítulo introdutório desta dissertação, que consiste em *verificar, na medida das possibilidades, os possíveis indícios de aprendizagem significativa conceituais e os casos de maior resistência às mudanças cognitivas referentes aos conceitos contemplados no escopo da sequência didática.*

A sexta aula de nossa sequência didática foi dedicada a aplicação do questionário (Apêndice F) cujo objetivo era verificar se houve rastro de aprendizagem significativa por parte dos alunos após o desenvolvimento das cinco aulas propostas no escopo da sequência didática que apresentamos no capítulo anterior. Os alunos foram convidados a responder com gentileza as questões, esclarecemos os propósitos da atividade e, excepcionalmente, os alunos do noturno estavam preocupados com os resultados advindos. Ao que asseguramos a preservação de seu desempenho individual, discutindo *a posteriori* os resultados gerais com a turma. Nesse contexto, optamos por utilizar pseudônimos escolhidos livremente por cada aluno e estendemos o mesmo expediente para o matutino. Tomamos o cuidado de solicitar que respondessem a todas as questões e, casualmente, ao fazer uma representação esquemática que julgasse pouco compreensível – ou que porventura suscitasse dúvidas para os interlocutores, buscasse esclarecer por escrito as motivações ou explicações da resposta dada. Com isso demos a liberdade devidamente ponderada para as soluções às questões envolvendo representações ou esquemas, favorecendo assim o processo de análise ao, no mínimo, atenuar as variações inconvenientes de interpretação.

A saber, tomamos como base o padrão daquelas respostas atribuídas, notadamente motivados pelas semelhanças, quando ocorreram, das soluções entre os dois turnos; essas semelhanças nos ensinaram a construção das categorias objetivando mapear o raciocínio sobre ondas. Assim, tendo feito previamente a categorização das respostas obtidas para os respectivos estímulos propostos nas questões do Teste de Verificação da Sequência Didática (Apêndice F), utilizamos a análise de conteúdo de Bardin.

Segundo o prefácio da própria autora na edição em versão para língua portuguesa, que aqui reproduzimos *ipsis litteris* para efeitos de constatação da relevância do assunto desde a remota

década de 1910 com os trabalhos iniciais de análise de propaganda e de imprensa de Lasswell passando pela investigação política suscitada pela Segunda Guerra (Bardin, 1977), a análise de conteúdo traduzia-se à sua época em

[...] um conjunto de instrumentos metodológicos cada vez mais subtis em constante aperfeiçoamento, que se aplicam a «discursos» (conteúdos e continentes) extremamente diversificados. O factor comum destas técnicas múltiplas e multiplicadas - desde o cálculo de frequências que fornece dados cifrados, até à extracção de estruturas traduzíveis em modelos- é uma hermenêutica controlada, baseada na dedução: a inferência. (BARDIN, 1977, p. 9)

Para Bardin (1977), na porção metodológica da análise de conteúdo há duas abordagens de praxe - *quantitativa* e *qualitativa* - sendo que aqui utilizaremos a via qualitativa de análise, onde será a *presença* ou a *ausência* de uma dada característica de conteúdo ou de um conjunto de características num determinado fragmento de mensagem que será tomado como o mais importante. Tomado o padrão de respostas dadas pelos alunos, nos perguntamos inicialmente qual essência da comunicação é-nos permitido descrever com nossas ferramentas de auscultação? Qual o padrão – ou quais – estariam na construção epistemológica do discurso do aluno em torno de ondas, mormente as ondas mecânicas?

Valioso lembrar que não usamos o comparativo das respostas entre os turnos analisados para efeito de hierarquização cognitiva ou mesmo de qualquer tipo de mensuração do aproveitamento obtido entre elas, o que respeita suas especificidades; ao contrário, consideramos que os *feedbacks* permitem trazer à luz a essência do que pensam sobre ondas e, na medida do possível, como pensam.

Uma forte motivação para deixar de comparar os diferentes aprendizados entre as turmas controle é exatamente o padrão que apresentam na maioria das respostas aos enunciados apresentados, com convergência em maior ou menor escala; como dito antes, isso facilitou o processo previsto da categorização. Outro ponto importante é não estarmos partindo de um pré-teste comum a ambas as turmas, o que é bastante recorrente ao analisar o aprendizado do ponto de vista das TAS proposta por David Ausubel (2003).

Numa possível e descartada comparação das duas turmas avaliadas, veríamos que os índices alcançados pelos alunos do noturno se mantêm, no geral, na retaguarda daqueles obtidos pelos alunos do diurno, por diversas razões que vão além do escopo do nosso trabalho.

Na questão 1 (Q1) a questão aberta “*o que você entende por onda em Física?*”, encontramos como categorias dos turnos noturno e matutino, respectivamente (figuras 19 e 20). Para melhor

compreensão das respostas dadas na questão 1 (Q1), verifiquemos a seguir, no Tabela 10, as possibilidades dadas em suas categorias.

Figura 19 – Categorias das respostas à questão Q1 do noturno

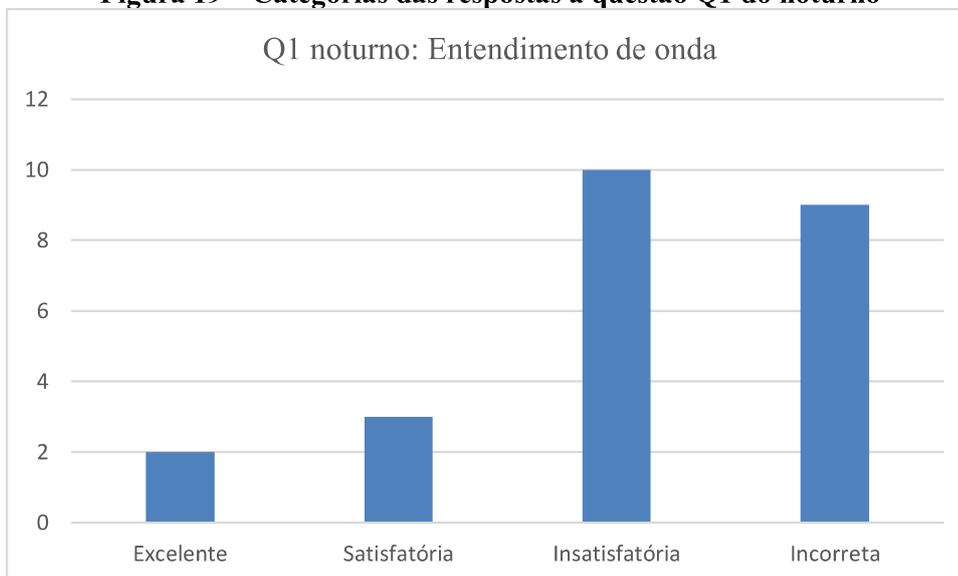


Figura 20 – Categorias das respostas à questão Q1 do diurno

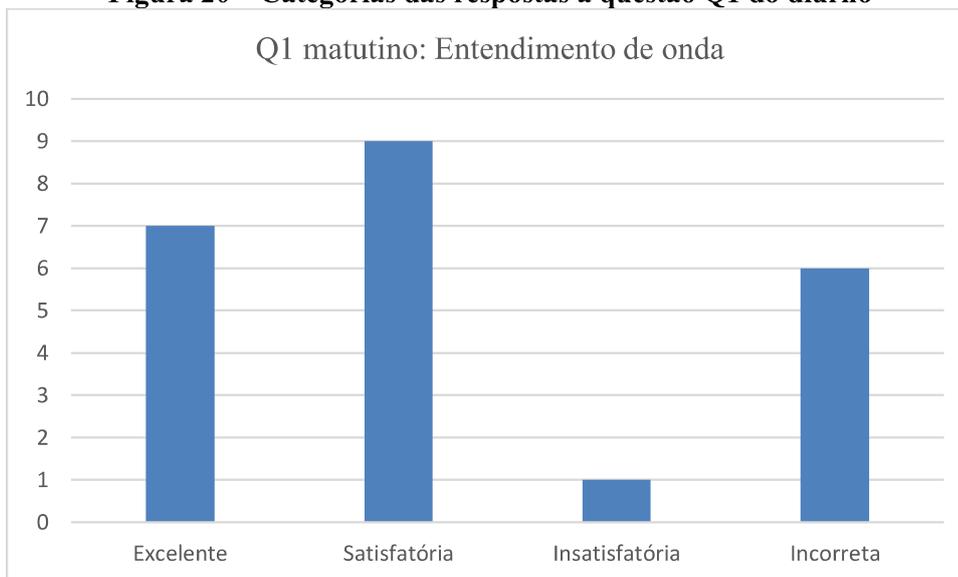


Tabela 13 – Categorias da questão Q1

<i>EXCELENTE</i>	<i>conceitos físicos presentes</i>
<i>SATISFATÓRIA</i>	<i>não usou integralmente os conceitos físicos, mas reconheceu os princípios gerais</i>
<i>INSATISFATÓRIA</i>	<i>não articulou corretamente os conceitos físicos, relaciona parcialmente ao conteúdo</i>
<i>INCORRETA</i>	<i>conceitos difusos ou incorretos, não relacionando a resposta à questão, ou não respondeu</i>

Deveras importante observar que não obstante a instrução dos conteúdos sobre ondas, conforme nosso plano de aula, há um percentual de 37,5% dos alunos do noturno que expuseram conceitos bastante difusos que não remetiam ao conceito formal, ou que não responderam; no turno diurno essa categoria que denominamos *incorreta* (vide Tabela 10) foi representada por 26% dos alunos.

O exemplo da aluna Camila¹³ ao responder que onda é uma “*grandeza física*” (sic), remete a estruturas cognitivas não modificadas segundo a perspectiva da Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS), visto que os conceitos de *grandeza física* e *onda* são integralmente dissociados, o que reforça que o conceito de *grandeza física*, além de não servir como subsunção para o novo conceito, tem sua compreensão aquém do esperado para a 2ª série.

Essas ponderações chamam nossa atenção às propriedades intrínsecas ao ensino de física, as concepções espontâneas dos alunos e suas conexões sociais; tais ponderações aqui nos permitem inferir que ocorrem situações onde as concepções espontâneas sobre ondas fogem a um nível de difícil de categorização quando confrontados com o conceito formal. Gobara et al. (2007) detectou essas divergências quando da detecção dos conhecimentos de alunos do ensino médio em três escolas públicas do Estado do Mato Grosso do Sul, envolvendo a propagação de ondas sonoras no ar, o que sublevo no processo de categorização das soluções ao surgimento da classe ‘*outros*’.

No entanto, é pertinente recordar que, na prática, alguns alunos questionavam a abstração das atividades abertas ou das que envolviam esquemas ou algum tipo de desenho, não obstante terem produzido mapas conceituais sobre ondas em aulas anteriores. Em suma, houve uma certa resistência cognitiva dos alunos no que tange a questões que demandavam soluções não discursivas ou que exigiam um prospecto pessoal de sua parte.

Por essa ampla abertura, tínhamos expectativas que a questão Q1 nos trouxesse, após o desenvolvimento das aulas, respostas que apresentassem os conceitos físicos trabalhados. Isto é, consideramos que o aluno associasse ondas a vibrações e eventos periódicos, se possível dentro do escopo mais citado que foi onda sonora. Recorrências a outros eventos físicos ondulatórios não devem e nem foram descartados na fase de pré-análise e categorização do material, na perspectiva de Bardin (1977). A análise percentual de cada categoria para as turmas do noturno e matutino, respectivamente, está resumida nas Tabelas 14 e 15 a seguir.

¹³ Nome fictício de aluna do matutino

Tabela 14 – Ocorrências no turno da noite (Q 1)

Categorias	Frequência (número absoluto de respostas)	Percentual (%)
EXCELENTE	2	8,3
INCORRETA	9	37,5
INSATISFATÓRIA	10,	41,7
SATISFATÓRIA	3	12,5
Total Geral	24	100,0

Tabela 15 – Ocorrências no turno da manhã (Q 1)

Categorias	Frequência (número absoluto de respostas)	Percentual (%)
EXCELENTE	7	30,4
INCORRETA	6	26,1
INSATISFATÓRIA	1	4,3
SATISFATÓRIA	9	39,1
Total Geral	23	100,0

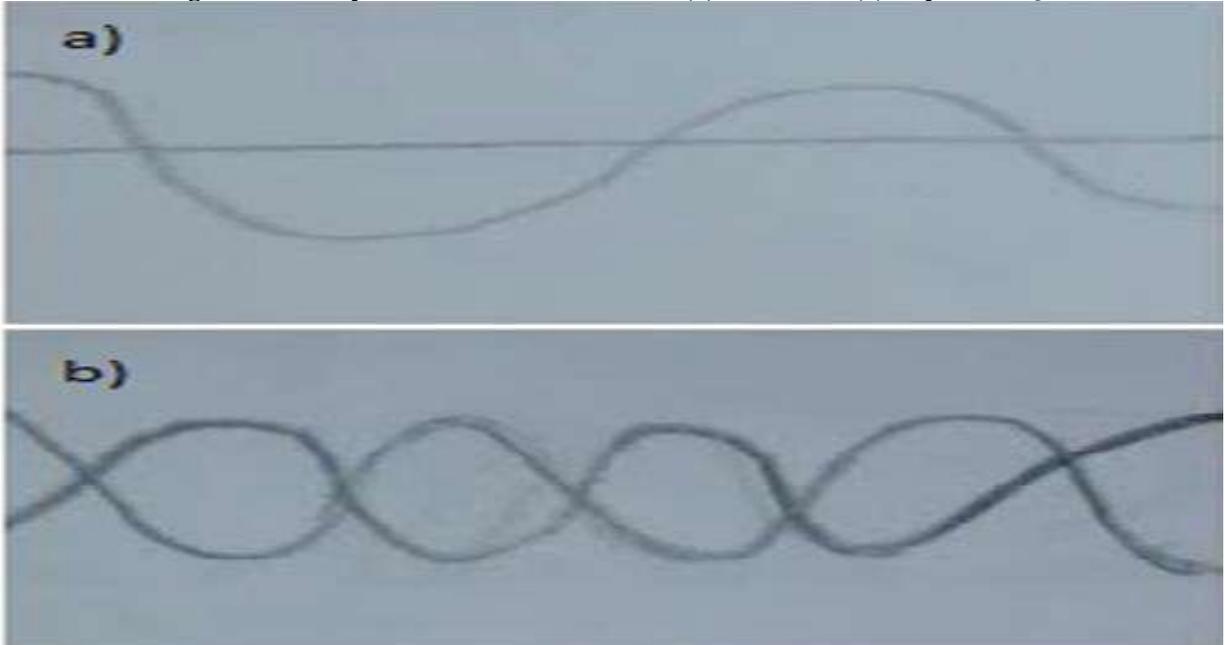
Na questão 2 (Q2), perguntamos: *como você representaria num desenho uma onda, conforme aprendeu em Física?* Observe as categorias nas quais distribuimos o padrão das respostas no Tabela 16.

Tabela 16 – Categorias para a questão Q2	
<i>EXCELENTE</i>	<i>utilizou conceito de onda estacionária em uma corda ou frente de ondas, elencando grandezas importantes na onda</i>
<i>SATISFATÓRIA</i>	<i>não utilizou conceitos físicos, mas expressou o que se aproxima de algo que oscila periodicamente, ou sinais periódicos tipo registros de um eletrocardiograma, por exemplo</i>
<i>INSATISFATÓRIA</i>	<i>não articulou corretamente os conceitos físicos, não traz uma periodicidade no fenômeno</i>
<i>INCORRETA</i>	<i>conceitos difusos ou incorretos, não relacionando a resposta à questão, ou não respondeu</i>

Em observação aos dados, nota-se que ambas as turmas dão respostas satisfatórias. Como exemplo os alunos *Pretinha* e *Marcus*¹⁴, do turno noturno, responderam, cada um, com um fragmento (figura 21) que traz uma representatividade do que foi trabalhado em sala de aula, mormente as ondas estacionárias em uma corda presa, constante do plano de aula; isso nos permitiu enquadrar essa e outras soluções com objetiva similitude entre si na categoria *satisfatória*, visto que elas expõem o padrão de compreensão e uma concepção coesa de uma onda típica.

Notemos que a questão 2 solicita ao aluno a construção de um desenho que represente uma onda, não apenas uma noção de onda, mas uma representação esquemática do que havíamos explorado em cordas ou modelos de ondas sonoras. Na análise de Gobara et al. (2007), em se tratando das representações espontâneas dos alunos sobre ondas em sua pesquisa, a referência a ondas se propagando na superfície da água é maioria, aparecendo em 45,2% dos exemplos analisados; consideremos, contudo, que aquele contexto geográfico específico em que se dá a análise é rico em bacias hidrográficas, elemento este que pode estar na origem daquelas concepções iniciais detectadas.

Figura 21 – resposta dos alunos Pretinha (b) e Marcus⁶(a) à questão Q2



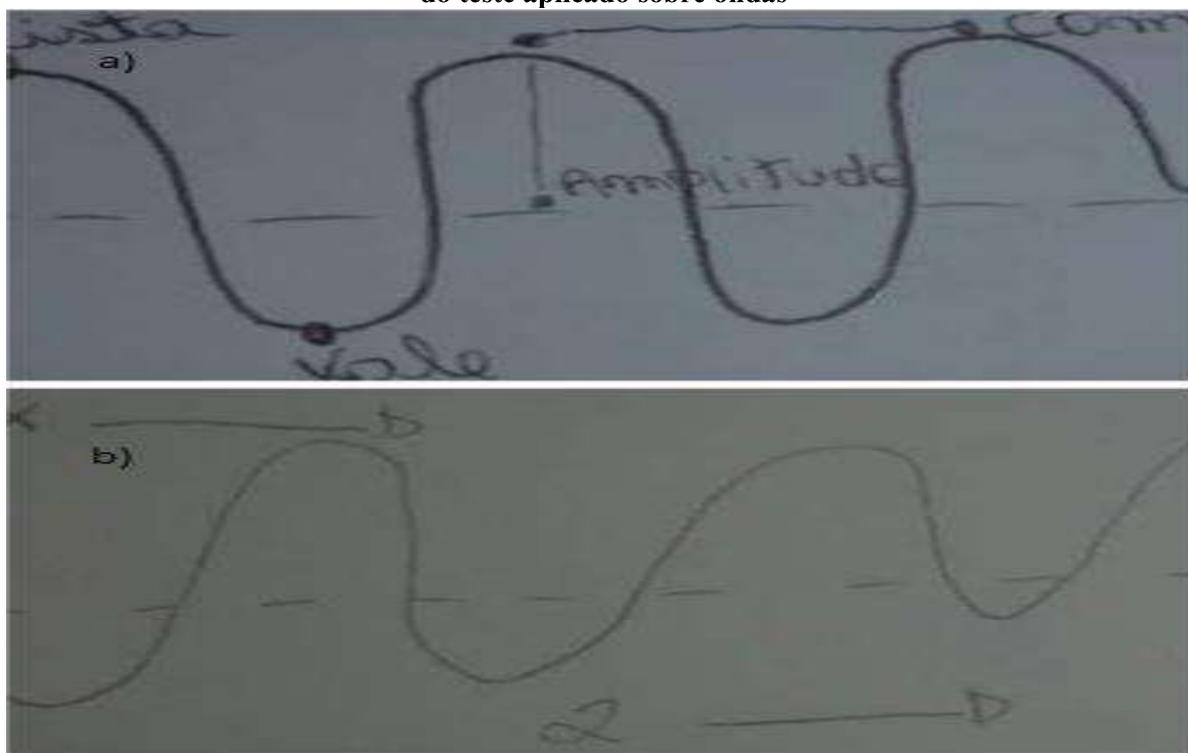
Fonte: o autor

Como em nosso momento os alunos já tiveram acesso ao conteúdo formal, tratamos sob a ótica da aprendizagem significativa; desse modo, não incluímos na categoria *excelente* um esquema

¹⁴ Nomes fictícios, deliberadamente escolhidos pelos próprios alunos do noturno.

que não denotasse, por exemplo, a intenção de representar uma frente de onda ou não apresentasse as grandezas usualmente presentes em uma onda, como amplitude, comprimento de onda, etc. Observe que as representações (Figura 22) dos alunos *Ângelo* e *Douglas*¹⁵, dos turnos noturno e matutino, respectivamente, trazem esses modelos um tanto mais coesos sobre ondas. Já extrapolam os conhecimentos espontâneos mesmo que tendam a uma representação de um sinal senoidal como significado de uma onda. O aluno autodenominado *Trem Bala*¹⁶ fez um dos esboços (Figura 23) que se aproximam de uma frente de onda sonora, o que pode ser uma demonstração de uma aprendizagem relevante.

Figura 22 – sequência das representações dos alunos Douglas(a) e Ângelo (b) dadas à questão 2 do teste aplicado sobre ondas



¹⁵ Nomes fictícios.

¹⁶ Nomes fictícios.

Figura 23 – representação de uma frente de onda pelo aluno Trem Bala



Fonte: o autor

Na sequência da análise nos servimos dos comportamentos de cada turma para a questão 2 (Q2) dispostos na tabela 17 e tabela 18.

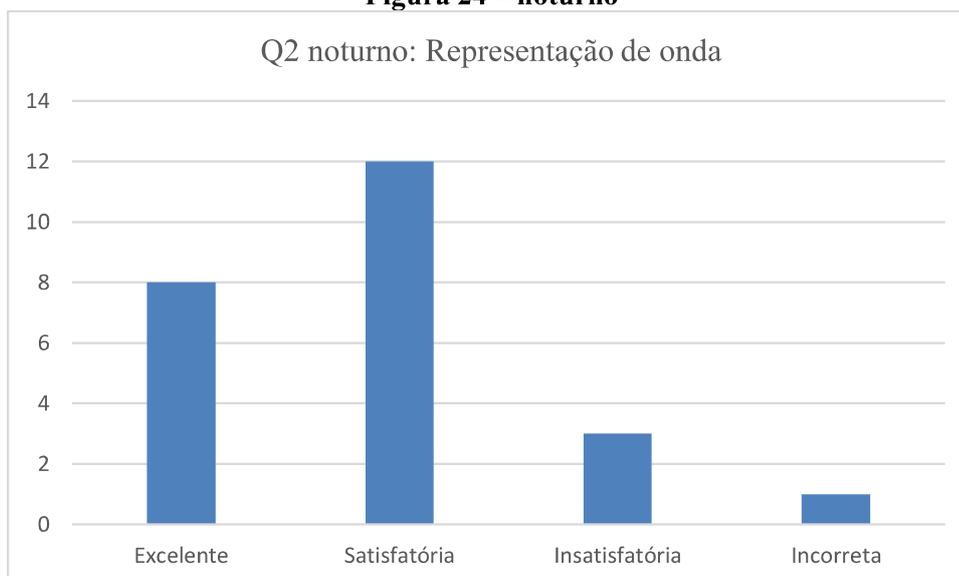
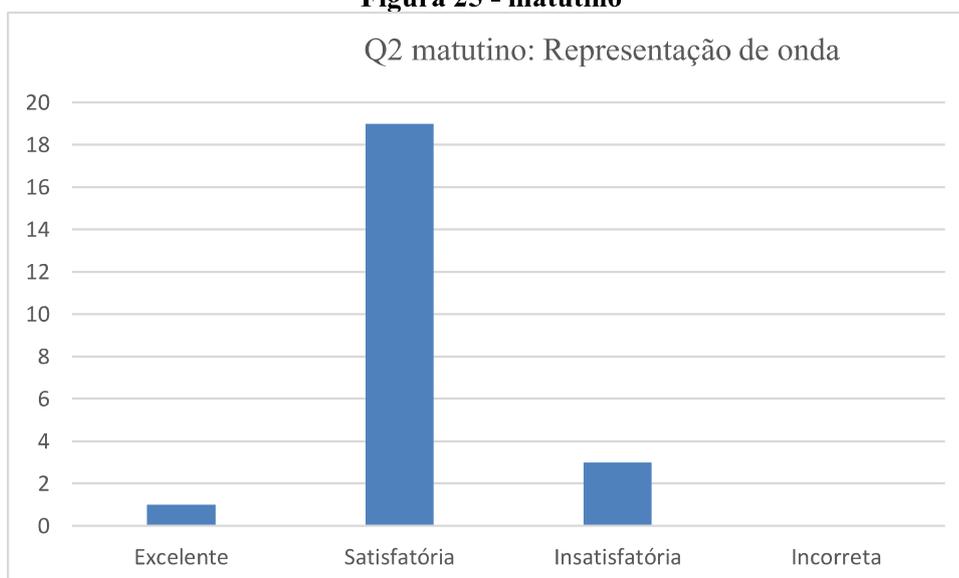
Tabela 17 – Ocorrências no turno da noite (Q2)

Categorias	Frequência (número absoluto de respostas)	Percentual (%)
EXCELENTE	8	33,33
SATISFATÓRIA	12	50,00
INSATISFATÓRIA	3	12,50
INCORRETA	1	4,17
Total Geral	24	100,0

Tabela 18 – Ocorrências no turno da manhã (Q2)

Categorias	Frequência (número absoluto de respostas)	Percentual (%)
EXCELENTE	1	4,35
SATISFATÓRIA	19	82,61
INSATISFATÓRIA	3	13,04
INCORRETA	0	0,00
Total Geral	23	100,0

Na sequência temos o padrão gráfico de respostas que a questão Q2 recebeu (Figuras 24 e 25)

Figura 24 – noturno**Figura 25 - matutino**

Podemos concluir que, com os dados das tabelas 16 e 17, a representação de uma onda numa boa percentagem com uma concepção *satisfatória* (82% para o turno da manhã e 50% para o turno noturno, ou ainda, 57% de todos os alunos avaliados), mostra que até um ponto razoável, houve consistência conceitual que podemos qualificar como possibilidade de aprendizagem significativa.

Na questão 3, perguntamos: como uma onda sonora se propagaria no ar? Represente num desenho. Observe as categorias para as soluções dadas na tabela 12 a seguir.

Tabela 19– Como uma onda sonora se propagaria no ar? Represente num desenho (Q3)

EXCELENTE	representou frentes de onda se propagando no meio material proposto
SATISFATÓRIA	não esboçou as frentes de onda, mas expressou alguma espécie de vibração no ar
INSATISFATÓRIA	usou representações como uma pulsação em corda, ou sinal senoidal
INCORRETA	conceitos difusos ou incorretos, não relacionando a resposta à questão, ou não respondeu

A questão 3 esperava detectar no aluno indícios dos saberes acerca da especificidade do modo de propagação do som no ar, representando suas frentes de onda. O que normalmente ocorre, segundo Gobara et al. (2007), é uma associação dessa propagação com a forma senoidal ou com uma pulsação de uma corda. O padrão mais lembrado em sua pesquisa foi aquele de ondas propagando-se na água – acima de 45%, novamente com influência razoável da porção geográfica.

Emanuel, nome fictício do aluno do turno da noite, deixou sobressair um modelo conceitual do som se propagando no ar tal como em uma corda presa nas duas extremidades (fig. 26), o que nós incluímos na categoria *insatisfatória* que respondeu por 33,3% das soluções, conforme tabela 9. Em termos totais teríamos uma classificação *insatisfatória* para praticamente a metade de todas as soluções apresentadas (49%), incluindo os dois turnos.

Isso nos permite a reflexão acerca da confusão gerada na propagação das frentes de onda sonora no ar com a representação matemática e gráfica de um impulso senoidal.

Figura 26 - Representação exposta pelo aluno Emanuel do noturno, denotando um padrão senoidal de propagação do som no ar ou, ainda, a possibilidade de pulsação em corda.



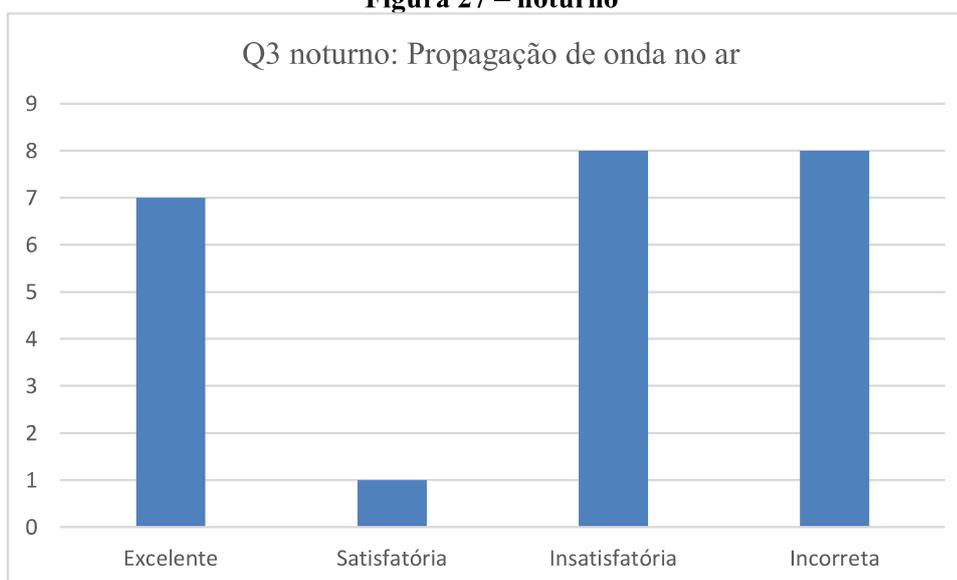
Tabela 20 – Ocorrências no turno da noite (Q3)

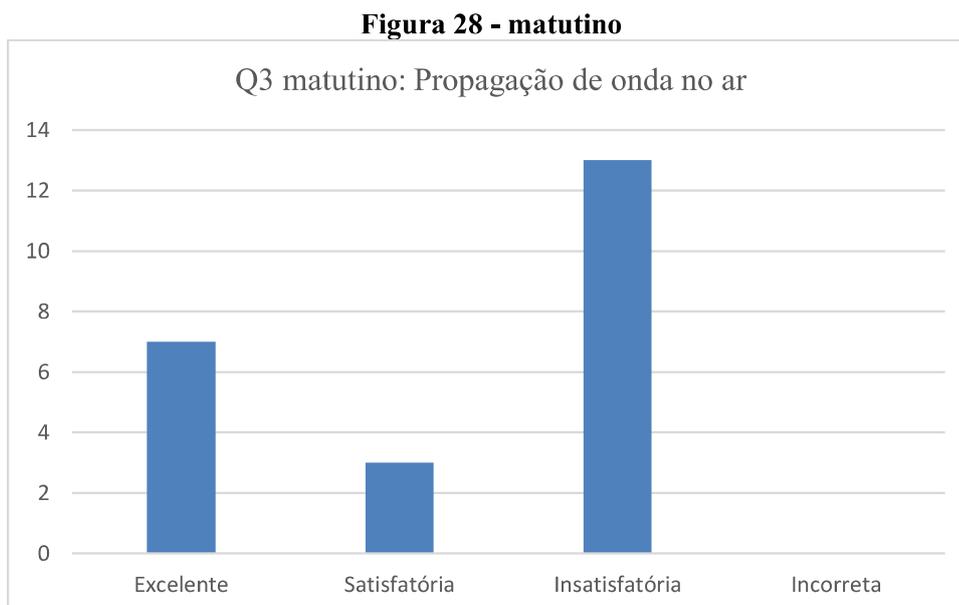
Categorias	Frequência (número absoluto de respostas)	Percentual (%)
EXCELENTE	7	29,2
SATISFATÓRIA	1	4,2
INSATISFATÓRIA	8	33,3
INCORRETA	8	33,3
Total	24	100,0

Tabela 21 – Ocorrências no turno da manhã (Q3)

Categorias	Frequência (número absoluto de respostas)	Percentual (%)
EXCELENTE	7	30,4
SATISFATÓRIA	3	13,0
INSATISFATÓRIA	13	56,5
INCORRETA	0	0,0
Total	23	100,0

Observemos as devolutivas na forma gráfica dos alunos nas figuras 27 e 28, apresentadas a seguir.

Figura 27 – noturno



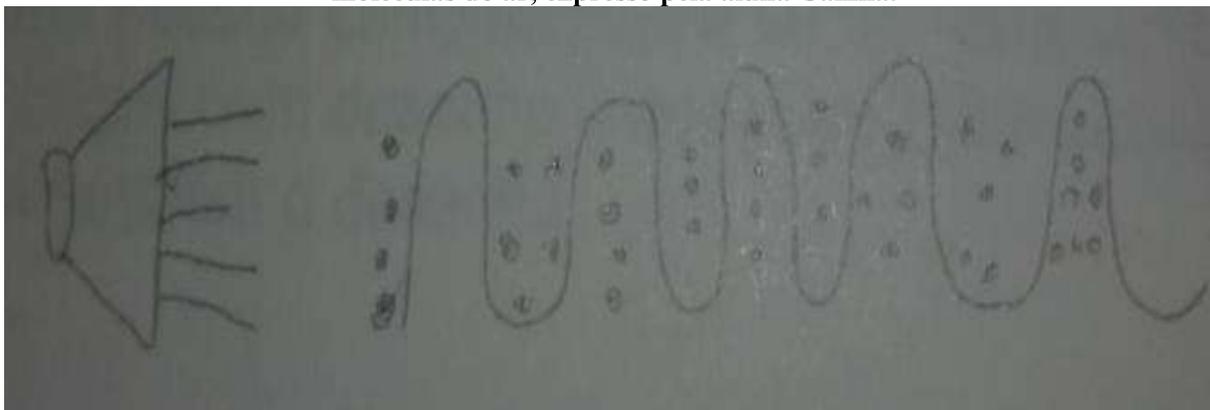
Ainda na questão Q3, os alunos do matutino *John* e *Camila*, deram exemplos de respostas com padrão mais próximos do conceito das frentes de ondas em propagação no ar; ambos incluíram uma fonte, sendo que a aluna *Camila* usou um modelo misto que inclui o papel das moléculas do ar formando as frentes de onda mais uma representação senoidal (Figura 30). Na categoria, *excelente*, foi expressa um terço das soluções de cada turma (tabelas 20 e 21).

Figura 29 – Representação da propagação do som no ar, pelo aluno John, relativa à questão 3.



A resposta a seguir carrega bastante de uma entidade transportada ou transferida por moléculas no ar (Linder e Erickson, 1989).

Figura 30 – modelo misto que envolve uma propagação senoidal com papel importante das moléculas do ar, expresso pela aluna Camila.



Na questão 4 indagamos: *como uma onda sonora se propagaria no vácuo? Represente num desenho.* Vamos às categorias no Tabela 22, a seguir.

Tabela 22 - Como uma onda sonora se propagaria no vácuo? Represente num desenho (Q4)	
EXCELENTE	<i>representou fonte sonora sem propagação, ou com impedimento na propagação do som ou justificou que não há propagação</i>
INCORRETA	<i>esboçou quaisquer modos de propagação no vácuo ou tenha justificativa que mencione alguma possibilidade de propagação</i>
INSATISFATÓRIA	<i>não respondeu</i>

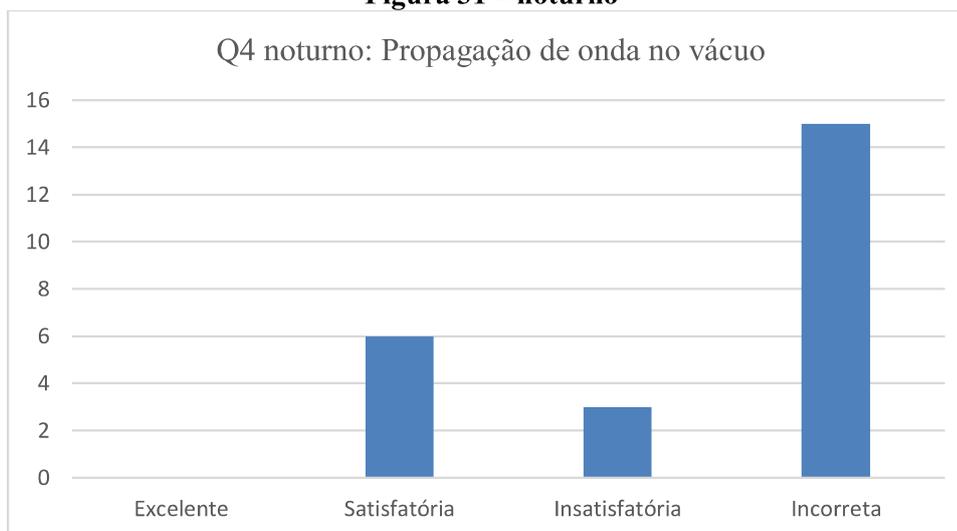
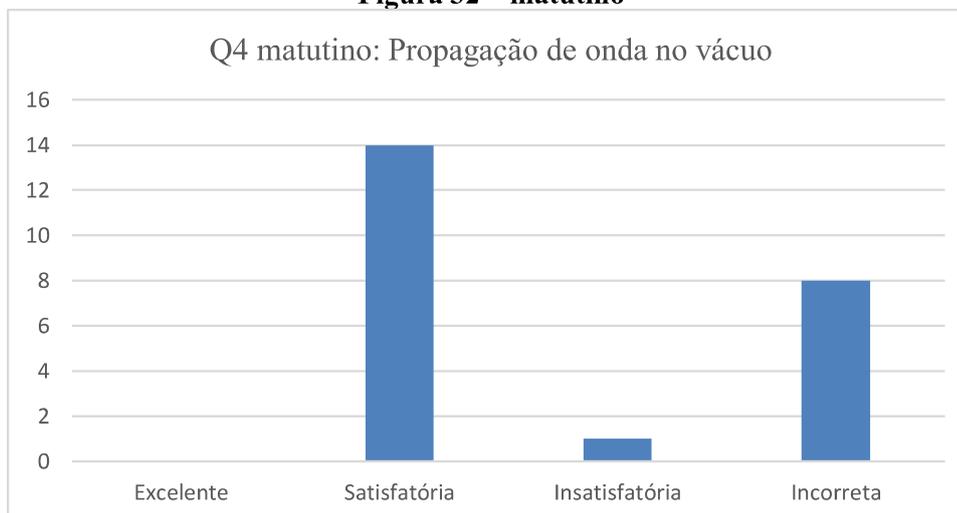
Na análise da questão 4 observamos que tivemos que categorizar as respostas de maneira que abarcássemos os alunos que não responderam, porque há uma clara possibilidade de que os mesmos abstiveram por simplesmente não terem compreendido o conceito da não propagação de ondas mecânicas no vácuo. Essa abstenção de respostas também pode estar associada à não compreensão do conceito de vácuo na física, haja vista que este conceito requer uma atividade psíquica interna em torno da abstração.

Eis abaixo as devolutivas da questão 4, onde nota-se uma parcela menor, apesar de relativamente expressiva, para esta concepção sobre ondas mecânicas.

Tabela 23 – Ocorrências no turno da noite (Q4)		
Categorias	Frequência (número absoluto de respostas)	Percentual (%)
CORRETA	6	25,00
INCORRETA	15	62,50
INSATISFATÓRIA	3	12,50
Total	24	100

Tabela 24 – Ocorrências no turno da manhã (Q4)

Categorias	Frequência (número absoluto de respostas)	Percentual (%)
CORRETA	14	60,9
INCORRETA	8	34,8
INSATISFATÓRIA	1	4,3
Total	23	100

Figura 31 – noturno**Figura 32 – matutino**

Atentando para as observações de Gobara et al. (2007), em cujo trabalho o vácuo não foi mencionado diretamente nas soluções apresentadas pelos alunos em relação à propagação do som, nem tampouco descartado também como uma possibilidade, aqui o problema já o especifica como meio de propagação.

Na figura 33, o aluno do noturno autodenominado Zig, expõe uma representação que suscitaria dúvidas quanto ao seu modelo de representação; no entanto, descreveu pertinentemente que a onda “*não se propaga no vácuo*”. A mesma ideia de representação mental da não propagação do som no vácuo ocorre com o aluno de codinome *Arcan Cosmic* (figura 34), demonstrando consciência do fato físico afirmado.

Figura 33– representação e justificativa do aluno Zig sobre a propagação de uma onda sonora no vácuo.

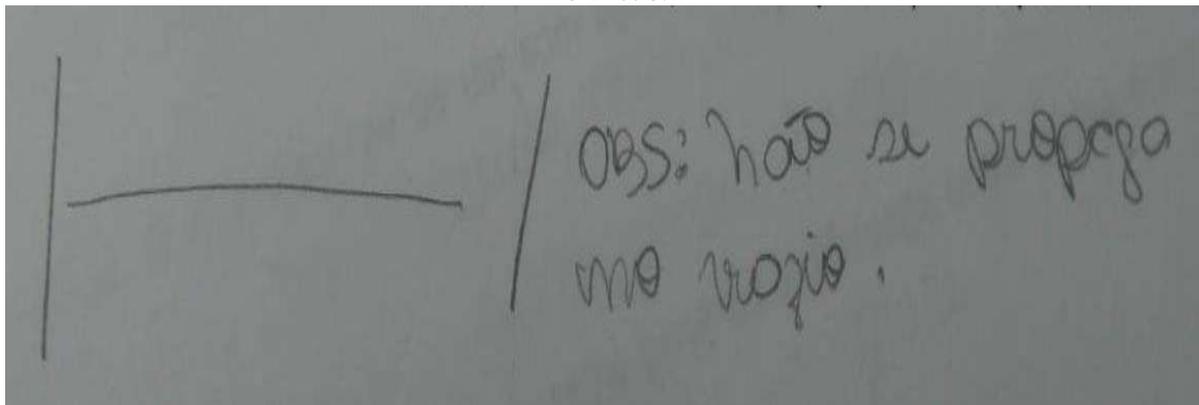
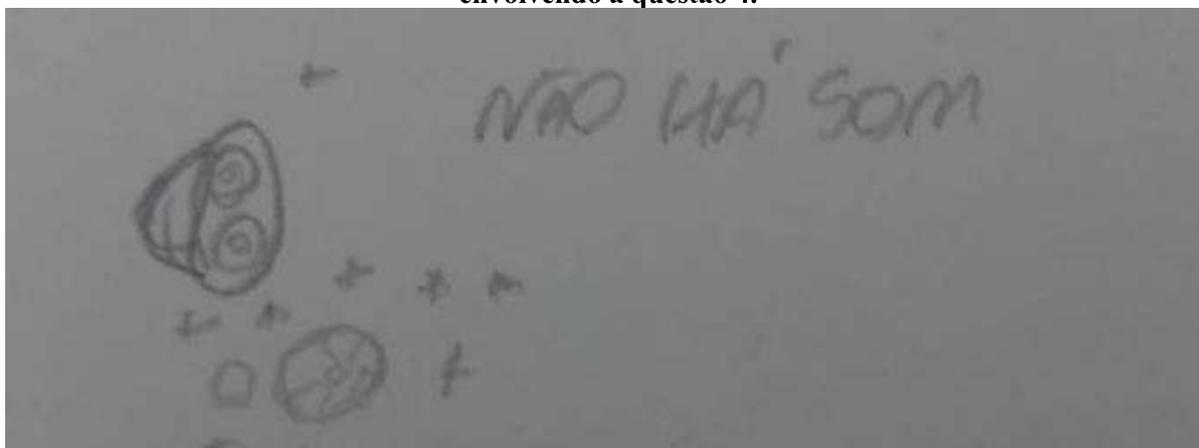
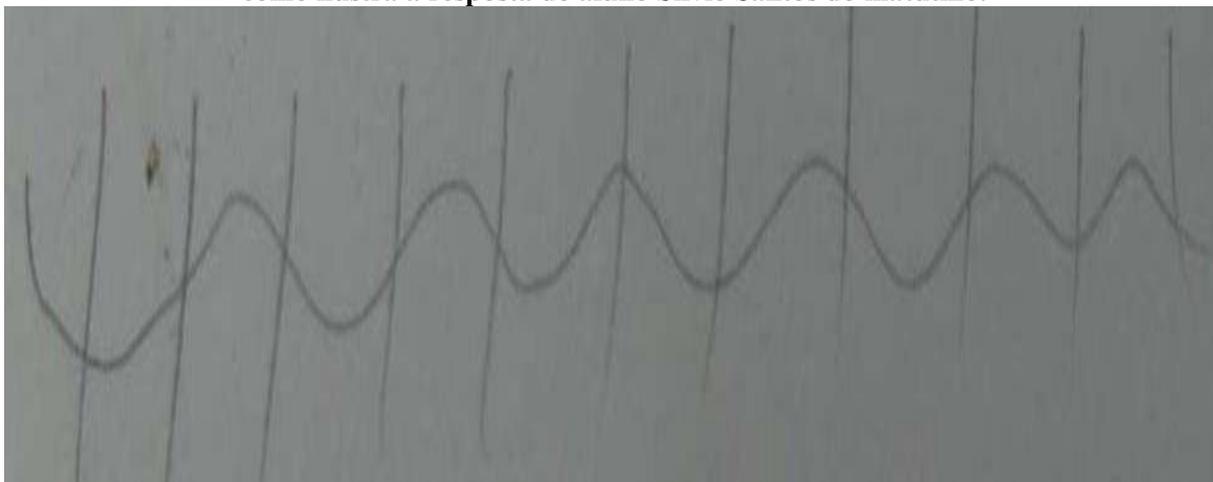


Figura 34 – representação do aluno Arcan, do matutino, sobre a propagação do som no vácuo, envolvendo a questão 4.



No entanto, as ocorrências categorizadas como incorretas no turno noturno (62,5%), chamam a atenção para uma tendência cognitiva com propensão a crer numa propagação do som no vácuo. Vide o aluno *Silvio Santos*, nome fictício, do turno da manhã que representou uma onda com essa possibilidade (figura 35).

Figura 35– a representação sobre a possibilidade de propagação do som no vácuo foi recorrente, como ilustra a resposta do aluno Silvio Santos do matutino.



O que demonstra de fato ser uma provável persistência das concepções espontâneas sobre ondas é o grau elevado de respostas categorizadas como incorretas (57,5% considerando o universo de todos os alunos). Como já observamos, parece que na concepção do aluno a propagação se dará através de um meio e ele não abstraiu a diferença entre esse ‘novo’ meio e o meio ordinário que é o ar.

A seguir a questão 5 aborda “qual a diferença de um som agudo para um som mais grave, ambos de um mesmo piano? ”, onde esperávamos que associassem os sons graves e agudos às suas respectivas frequências. Vejamos as categorias possibilitadas (Tabela 25):

CORRETA	<i>associou os sons a frequências diferentes ou os relacionou a alturas diferentes</i>
SATISFATÓRIA	<i>relacionou os sons às teclas do piano, denotando saber diferenciar grave do agudo, ou usa os termos ‘fino’ e ‘grosso’ na associação com os sons, ou menciona o comprimento de onda na diferenciação</i>
INSATISFATÓRIA	<i>não relaciona os conceitos físicos, ou associa que o som grave e o agudo à intensidade</i>
INCORRETA	<i>conceitos incorretos, confusos, ou não respondeu</i>

As respostas dos alunos se deram conforme os dados das Tabelas 26 e 27 apresentadas a seguir.

Tabela 26 – Ocorrências no turno da noite (Q5)

Categorias	Frequência (número absoluto de respostas)	Percentual (%)
EXCELENTE	2	8,3
SATISFATÓRIA	6	25,0
INSATISFATÓRIA	5	20,8
INCORRETA	11	45,8
Total Geral	24	100,0

Tabela 27 – Ocorrências no turno da manhã (Q5)

Categorias	Frequência (número absoluto de respostas)	Percentual (%)
EXCELENTE	14	60,9
SATISFATÓRIA	8	34,8
INSATISFATÓRIA	1	4,3
Total Geral	23	100,0

Os gráficos a seguir (fig. 36 e 37) mostram as soluções apresentadas pelos alunos.

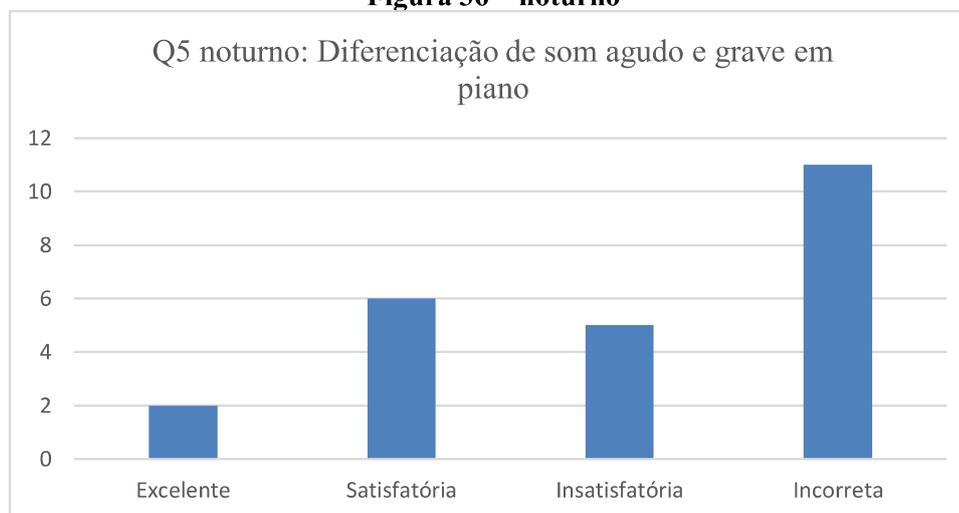
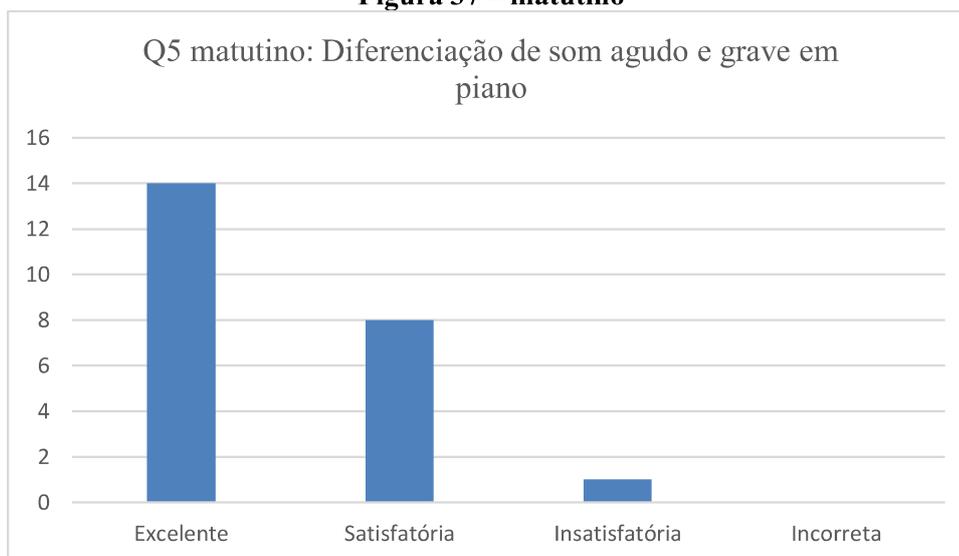
Figura 36 – noturno

Figura 37 – matutino

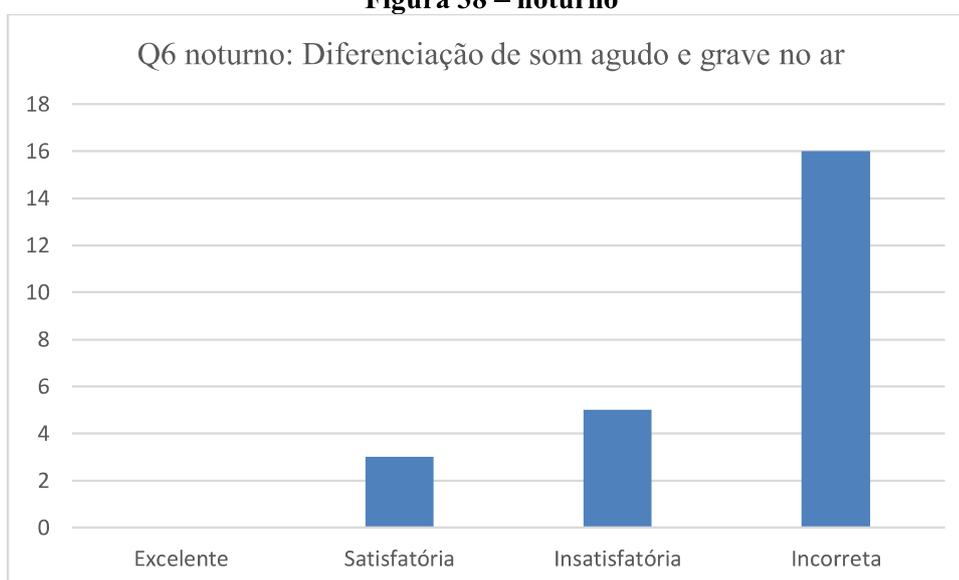
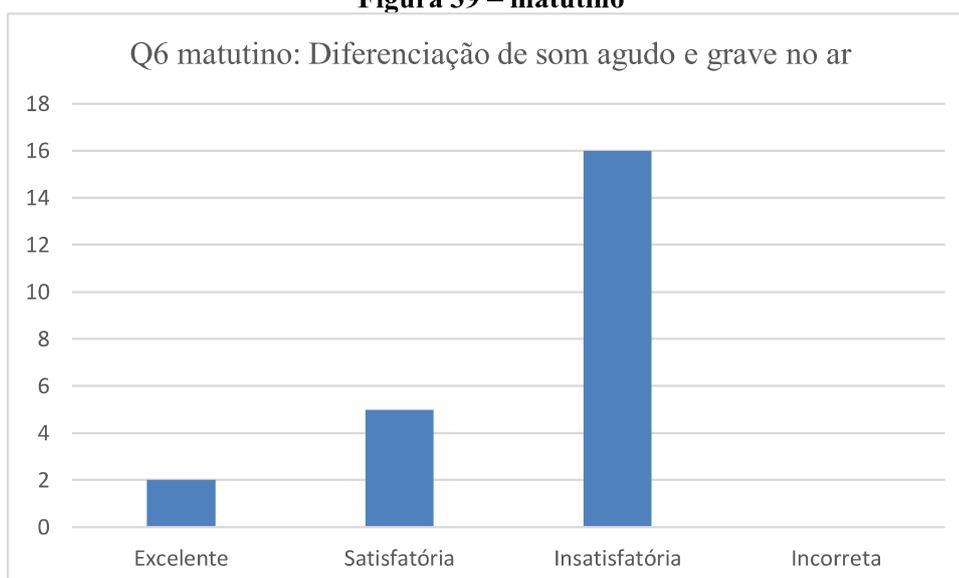
Podemos notar que os alunos usaram os termos ‘alto’ e ‘baixo’ para significar volume (ligado à intensidade do som), o que nos parece confirmar que, sobre a linguagem e leitura/interpretação da linguagem associada ao conceito físico, os alunos não conseguiram associar satisfatoriamente a representação matemática (amplitude, frequência, comprimento de onda, velocidade de propagação e a influência do meio) à onda em si.

É como se a onda fosse algo abstrato que se propaga indefinidamente, uma ideia de senso comum que prevalece mesmo após as aulas, isto é, a sequência didática auxilia o aluno satisfatoriamente na aproximação entre a concepção de senso comum e o modelo físico, porém, no que se refere ao abandono, por parte do aluno, da concepção de senso comum e a adoção do modelo científico fica a desejar; nesse sentido, é possível sinalizar que a sequência didática, na forma como se apresenta, não possibilita o alcance da transição completa, que seria, a identificação de concepção do senso comum, a transição para o modelo científico e este como parte da linguagem do aluno ao falar do fenômeno estudado.

A questão 6 prossegue à abordagem dos sons agudos e graves, solicitando ao aluno mostrá-los em propagação no ar (“represente com um desenho genérico a diferença entre esses sons se propagando no ar”).

As categorizações dos padrões encontrados nas respostas dos alunos estão no Tabela 28 abaixo. Nas figuras seguintes (38 e 39) estão as respostas à 6ª questão (Q6).

Tabela 28 - Represente com um desenho genérico a diferença entre esses sons se propagando no ar (Q6)	
<i>CORRETA</i>	<i>representou fonte sonora sem propagação, ou com impedimento na propagação do som ou justificou que não há propagação</i>
<i>SATISFATÓRIA</i>	<i>representou frentes de onda comparativas, comparando-as a grandezas diversas, como a intensidade da fonte, por exemplo</i>
<i>INSATISFATÓRIA</i>	<i>representa uma única frente de onda sonora se propagando no ar, ou ainda que duas representações associadas a uma onda senoidal com diferentes frequências</i>
<i>INCORRETA</i>	<i>representação confusa, senoidal sem maiores informações, ou não respondeu</i>

Figura 38 – noturno**Figura 39 – matutino****Tabela 29 – Ocorrências no turno da noite (Q6)**

Categorias	Frequência (número absoluto de respostas)	Percentual (%)
EXCELENTE	0	0,00
SATISFATÓRIA	3	12,50
INSATISFATÓRIA	5	20,83
INCORRETA	16	66,67
Total Geral	24	100,00

Tabela 30 – Ocorrências no turno da manhã (Q6)

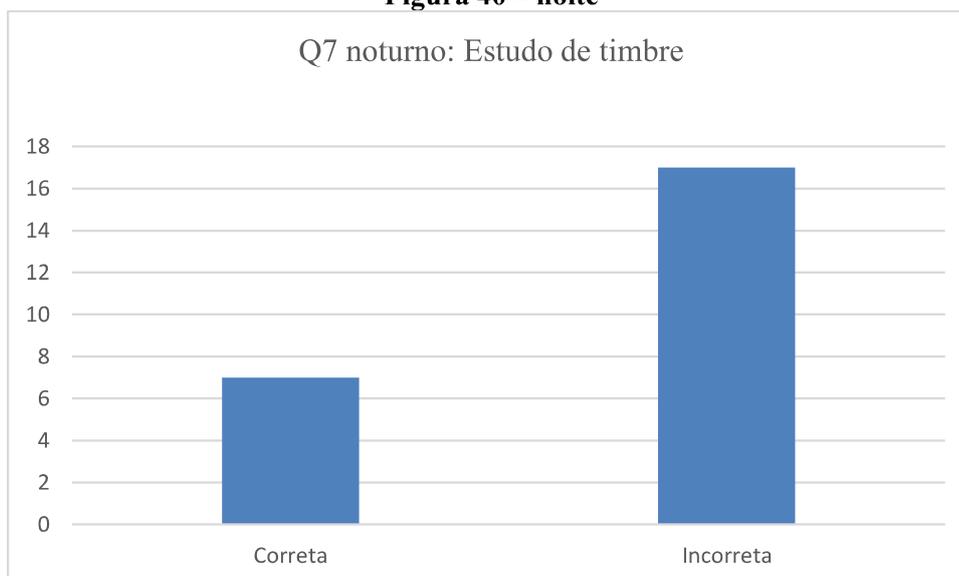
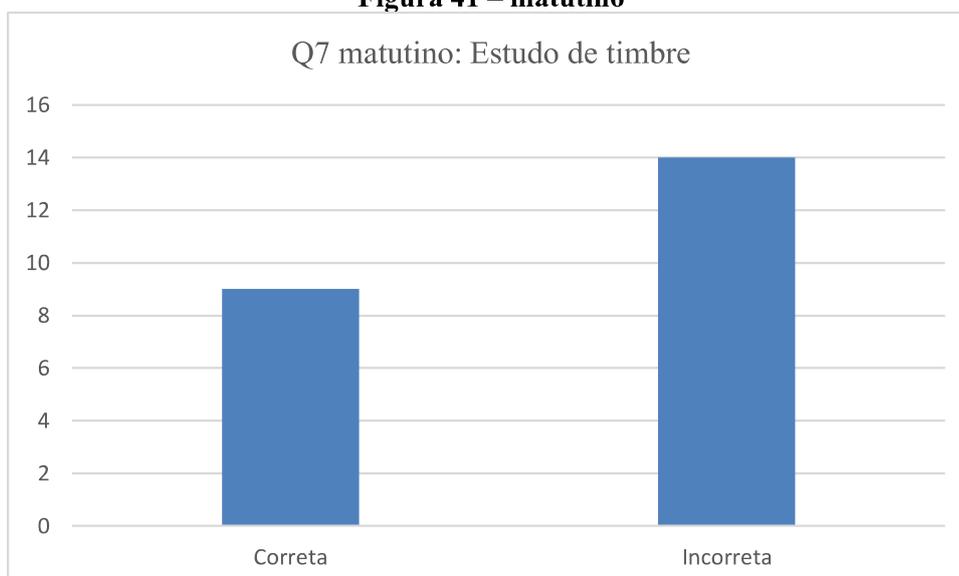
Categorias	Frequência (número absoluto de respostas)	Percentual (%)
EXCELENTE	2	8,7
SATISFATÓRIA	5	21,7
INSATISFATÓRIA	16	69,6
INCORRETA	0	0,0
Total Geral	23	100,0

A questão 6 traz, paralelo à questão 3, um problema de representação de uma onda se propagando no ar, porém no que tange aos sons agudos (maior frequência) e graves (menor frequência). Nota-se que um número significativo de estudantes respondeu adequadamente à questão 3, expondo desse modo uma fragilidade conceitual ao representar uma onda sonora como uma pulsação senoidal; depreende-se, assim, que o aluno fez aqui uma associação com as primeiras discussões sobre frequência em uma corda. O termo ‘genérico’ no enunciado foi previamente combinado para ser algo livre, ainda que dentro do contexto estudado, para não induzir o aluno a uma única ideia possível.

Passando à questão 7, cujo enunciado é: um violoncelo e uma guitarra emitem a mesma nota Si bemol. A diferença entre essas notas vai ser percebida porque os instrumentos têm ondas com:

- Frequências diferentes
- Comprimentos de onda diferentes
- Velocidades diferentes
- Timbres diferentes
- Escalas diferentes

Assim, colhemos os seguintes gráficos das respostas dos alunos (Figuras 40 e 41):

Figura 40 – noite**Figura 41 – matutino**

Temos aqui uma questão de abordagem direta ao conceito de timbre e as soluções registradas deixam transparecer uma insuficiente apropriação por parte do estudante. Tais resultados nos remetem à necessidade de reflexão sobre nossa metodologia adotada, com imediata mudança de estratégia no Produto Educacional.

No próximo capítulo nos dedicamos a fazer um balanço institucional, algumas ponderações sobre nosso trabalho de pesquisa, recomendações quanto ao alcance da nossa Sequência Didática e as perspectivas para novas pesquisas na área.

5. CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

Nesta caminhada, espinhosa e prazerosa em vários momentos distintos, torna-se necessário ponderar as razões iniciais, os objetivos que foram se remoldando, a paisagem que tem nuances singulares em cada instante, a recepção dos alunos e um balanço institucional. Tomo aqui a licença de fazer a narrativa e/ou considerações em primeira pessoa na maior parte deste capítulo.

Expostos os resultados e discussões no capítulo anterior, procuramos agora nos deter em responder à problemática dos objetivos, geral e específicos, para concluir a dissertação.

Para efeito de conclusão, o que se pode afirmar acerca do alcance da Sequência Didática proposta?

Há que se observar que não busquei comparar as duas turmas em seus aspectos cognitivos. Ocorreram leituras e interpretação conceitual de tais turmas associadas às aulas aplicadas, visto que consideramos seus conhecimentos prévios como sendo aqueles catalogados na literatura. Em outras palavras, ocorreu sim, uma busca do aspecto conceitual depreendido sobre ondas a partir da aplicação da Sequência Didática e verificamos como ela, ou sua possível adaptação, possa ter contribuído na métrica da aprendizagem da Física Ondulatória. Por essa razão nos obrigamos, na análise, ao diálogo com nosso referencial teórico à medida que surgem padrões de respostas que distam, um tanto mais ou um tanto menos, daqueles conceitos reconhecidos como representações mentais ou suas concepções espontâneas e, uma vez que se afastem destas concepções, estaria caminhando linearmente na direção do raciocínio nos moldes científicos. Devemos considerar, porém, que os resultados apurados das atividades feitas pelo turno noturno, principalmente, nos fez elaborar um texto introdutório com linguagem mais direta e portador de um único tema sobre ondas, sendo na linguagem da TAS referenciado como organizador prévio. No turno diurno, alguns alunos relataram que o texto introdutório dado a eles era muito extenso, e que leram parcialmente ao longo de uma semana antes das aulas formais, pelo que foram feitas algumas adaptações sem perder o foco de ser um material introdutório potencialmente significativo de espectro mais amplo, denominado pseudo-organizador prévio.

Diante do objetivo geral, “*contribuir com uma proposta de sequência didática do estudo dos sons, abordando os principais elementos de física ondulatória, com foco no aprendiz e na sua estrutura cognitiva, segundo a TAS*”, reavaliando as particularidades das turmas do diurno e do matutino e também as suas discrepâncias de ordem social, geográfica e cultural, considero

razoável afirmar que a Sequência Didática alcançou parcialmente suas finalidades de transpor a barreira conceitual do senso comum no estudo de ondulatória. Parece-me que a linguagem ofertada para o turno noturno, justamente onde fica evidente maiores fragilidades conceituais, não tenha sido adequada na medida em que replicamos as aulas do matutino quase que como uma vera - efigie; ou também, como um *reforço* pedagógico, talvez o ideal seria que se lhes desse, aos alunos do noturno, um organizador prévio mais *forte*, condizente com a estrutura cognitiva do aluno nessa fase/condições da vida escolar. Como antes dito, preferimos elaborar novo material introdutório com linguagem mais acessível ao público noturno.

A respeito do primeiro objetivo específico, ou seja, “*elaborar uma sequência didática com suas bases ligadas à Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel (TAS), voltada para o ensino de ondulatória*”, como recurso didático, acredito que a Sequência Didática foi muito funcional na medida em que os alunos participaram, houve interesse através das perguntas com graus diferentes de curiosidade; o momento em que se introduz um instrumento musical na aula, desde que seja de forma planejada e que ele seja portátil, demonstrou ser de grande expectativa: é possível explorar uma ampla gama de possibilidades que trabalhe a motivação. Além de que o elemento música, extraída dos sons, é universal, ultrapassa as fronteiras da sala de aula. Nossos alunos têm um conhecimento amplo dos instrumentos musicais, alguns já estudaram na instituição local de ensino de música denominada *Lira Mateense*, outros tocam e cantam em suas respectivas igrejas, outros vão com os pais em *forrós* nos fins de semana onde o formato é o costumeiro *teclado + voz*, mas, enfim, podemos afirmar que a grande maioria aprecia música de alguma forma, em diferentes estilos; isto é, nosso aluno é conectado, escuta músicas. O que permitiu usar o exemplo do violão e do piano em sala de aula sem receio de estar em terreno linguístico fora da realidade do aluno.

No entanto, é importante se questionar acerca dos possíveis avanços da Sequência Didática em relação à ideia tradicional de ensino. Se tivermos o cuidado de não conflitar com algumas das *inadequações do ensino expositivo*, elencadas por Ausubel (2003) onde ele questiona o *modus agendi* do processo tendenciosamente expositivo, terá sido uma boa reflexão. São elas:

→ *Uso prematuro de técnicas verbais puras com alunos imaturos em termos cognitivos*: adequar a linguagem é um ponto chave, o que nos remete à mesma linguagem utilizada na Sequência Didática com ambas as turmas do diurno e noturno, sendo um ponto de observação negativa. Em nome da autocrítica reconhecemos um item fundamental na acessibilidade que se

faz por meio da linguagem, e que no presente caso carece adaptá-la a cada grupo/classe de aprendizes;

→ *Apresentação randômica de fatos não relacionados sem quaisquer princípios de organização*: é preciso planejamento prévio sobre os conteúdos, no nosso caso temos fontes como os descritores do Programa de Avaliação da Educação Básica do Espírito Santo (PAEBES), o próprio Currículo Básico Comum (CBC) – Anexo 2, além da proposta do Anexo 1, envolvendo as sugestões dos conteúdos sobre ondas a partir do 9º ano do ensino fundamental até chegar à proposição do conteúdo Ondas sonoras para a 2ª série do ensino médio. A partir daí cabe ao professor fazer a seleção dos conteúdos que, para Ausubel (2003), não pode ser delegado ao aluno sob o argumento pressuposto de que ele tem que buscar a autonomia no processo de aprendizagem, ou ainda de que ele deve escolher o que estudar. A nossa organização intentou, na prática, a seleção dos conteúdos do sentido mais geral para o específico;

→ *Não integração de novas tarefas de aprendizagem com materiais anteriormente apresentados*: isso é oportuno para chamar nossa atenção, pois deveras nossa Sequência Didática inicialmente não preenchia satisfatoriamente esse quesito, isto é, carecia de exercícios que liguem a conteúdos anteriores de forma mais sistemática e frequente. Isso nos fez empreender adaptações direcionando ao produto final.

→ *Utilização de procedimentos de avaliação que meçam somente a capacidade de reconhecimento de fatos discretos ou de se reproduzir ideias pelas mesmas palavras ou no contexto idêntico ao encontrado originalmente*: no presente caso, nosso teste, vide Apêndice F, mescla elementos mais gerais com os específicos, num nível razoável de objetividade, mas que permitia ao aluno dar resposta pelos mais variados meios e signos próprios do conteúdo, sendo válidas respostas via representações ou via descrição linguística.

E quanto ao segundo objetivo específico, “*abordar as ideias centrais da ondulatória*” no geral os alunos não usaram integralmente os conceitos físicos, mas reconheceram os princípios gerais da temática trabalhada que foi ondulatória. É necessário repensar os materiais sugestivos ao uso nas escolas brasileiras, sendo central nesse texto as aulas de física, que sempre é possível adaptar as sugestões didáticas às pluralidades escolares e portanto, o presente trabalho não é percebido como uma proposta estanque, mas aberta ao professor-leitor, sendo este o motivo que justifica a coexistência da narrativa dos encontros, a percepção do professor para as etapas e os elementos que compõem o produto educacional concebido no Apêndice I.

Se na visão de Ausubel (2003), a motivação é algo intrínseco do aluno e deve partir dele, na mesma linha ele aborda os *fatores internos*, que são inerentes de cada indivíduo. Para que o aluno tenha condições de aprender significativamente, duas coisas são indispensáveis: disposição para aprender (motivação própria) e pontos de apoio na sua estrutura cognitiva nas quais as novas ideias ensinadas podem se ligar de forma não arbitrária e substantiva (Moreira, 1985). Como os fatores internos se dividem em cognitivos e afetivo-sociais, há que se destacar a preocupação paralela de Ausubel com as condições adequadas à aprendizagem significativa: preparando um material potencialmente significativo, requisito fundamental no planejamento do professor, não há necessariamente garantia que ele o será também potencialmente significativo para o aluno (Moreira, 2012); isso porque nem os alunos nem os fatores cognitivos são homogêneos no tocante às condições necessárias ao aprendizado.

Acerca do terceiro objetivo específico, “*verificar, na medida das possibilidades, os eventuais indícios de aprendizagem significativa*”, não é trivial a busca por tal ligação de sua atividade planejada a uma proposta teórica, quaisquer das que tive o privilégio de conhecer nesses últimos dois anos da pós graduação, sendo que aqui me refiro à Teoria da Aprendizagem Significativa; isto é, não significa que eu tenha conseguido ser fidedigno à teoria em seus variados aspectos, sejam daqueles um tanto mais elementares sejam os mais profundos de sua concepção.

David Ausubel (2003) tece críticas ao sistema educacional de sua época, que erroneamente subvalorizou suas ideias acerca dos papéis a serem assumidos pelo estudante e pela escola, ideias aquelas que projetaram quatro condições nas quais, conjuntamente, o estudante, a seu ver, assume a devida responsabilidade pela própria aprendizagem, condições que elencamos a seguir:

- ao aceitar a missão de aprender ativamente
- ao tentar integrar os novos conhecimentos àqueles que já possui;
- ao se esforçar energicamente por novas aprendizagens em níveis mais altos;
- ao formular as perguntas necessárias sobre o que não compreendeu.

Vi-me, diante disso, imerso na perspectiva do aluno que aprende o novo conteúdo. Assim, certamente há uma faceta experiencial que teve fértil germinação já no percurso do fazer, do buscar, do aprender, do registrar, que carrega um sentido de crescente satisfação e gratificação pessoal em tudo que foi desenvolvido e aos poucos sendo registrado. E isso tudo se pretende que seja significativo no Produto Educacional que resultará ao final.

Do ponto de vista de pesquisa futura, é importante conceber a ideia de realizar um pré-teste ou outros meios para averiguar os reais avanços dos alunos com a aplicação de um pós teste e sua

comparação. Ainda que aqui conseguimos dispor de um produto educacional construído e reconstruído no âmbito dessas dificuldades, torna-se necessário refletir se uma pesquisa utilizando os conhecimentos espontâneos dos alunos pode aferir os indícios deles, do ponto de vista conceitual.

Como expectativa do meu trabalho, desejo que outros professores de Física busquem aplicar o Produto e/ou adaptá-lo às suas realidades, sendo que pretendo continuar utilizando-o e modificando-o na prática sempre que necessário. Considero que no tema ondas sonoras carecemos de variedade de materiais ainda, o que pode ser um material de apoio ao professor. Observe-se que o professor que atua nas salas de aulas da educação básica possui tempo restrito para dedicar-se a leitura, haja vista suas condições de trabalho (extensa carga horária, condições de trabalho precário via contratos anuais, baixos salários), além de ser um sujeito que opta por retomar a experiência de estudante, após decorridos anos de conclusão de seus cursos de formação inicial. Tais especificidades, entre outras, inerentes aos alunos do curso de mestrado profissional em física, têm a oportunidade de ser problematizadas por fazerem parte de um contexto maior no qual o agora neófito busca aprender, reaprender, des(construir), re(construir) e tem a possibilidade propiciar uma aula diferenciada a seus alunos, muitas vezes tomando contato com linhas teóricas de ensino-aprendizagem totalmente novas que não seriam possíveis sem o contexto do mestrado.

Nesse sentido, o mestrado profissional me reservou em muitos momentos, oportunidades de aprendizagem ímpar, principalmente no incentivo à pesquisa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, Lucia da Cruz de. Sugestão de abordagem metodológica para o ensino fundamental. In: _____; GUIMARÃES, Heriédna Cardoso. *Oficina ensino de ciências – 1º segmento do ensino fundamental: mudanças de estado físico*. CD-ROM. Niterói-RJ: IF UFF, 2010.

ALVES, M. L. *A escola como uma instituição socializadora de cultura*. CAMINE: Caminhos da Educação, volume 1, n. 1, 2009

AUSUBEL, D. P. *Aquisição e retenção de conhecimentos: uma perspectiva cognitiva*. Lisboa: Plátano Edições Técnicas, 2003.

BRASIL. *Parâmetros Curriculares Nacionais (Ensino Médio)*, Parte III, 1998. Disponível em: <<http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/ciencian.pdf>>. Acesso em fevereiro de 2019

CARDOSO, B., MASCARENHAS, M. *Curso completo de teoria musical e solfejo*. São Paulo, Irmãos Vitale S.A. Ind. e Com., 1º vol. 8ª ed., 1973.

DAMASIO, Felipe. STEFFANI, Maria Helena. A física nas séries iniciais (2ª a 5ª) do ensino fundamental: desenvolvimento e aplicação de um programa visando à qualificação de professores. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, Rio de Janeiro, p.4503-1-4503-9, v. 4, n. 30, 2008. Disponível em: < <http://www.scielo.br/pdf/rbef/v30n4/v30n4a12.pdf>>. Acesso em: 03 maio 2011.

ESPÍRITO SANTO. *Censo Escolar*. Secretaria da Educação. Currículo Básico Escola Estadual - Ensino médio: área de Ciências da Natureza. 2. SEDU, 2009. Disponível em: <http://download.inep.gov.br/educacao_basica/censo_escolar/notas_estatisticas/2018/notas_e_statisticas_censo_escolar_2018.pdf>. Acesso em março de 2019

FEYNMAN, R. P. *Lições de física de Feynman*, volume I. Porto Alegre: Bookman, 2008.

GOBARA, S. T., VINHOLI JUNIOR, A. J. *Modelos concretos e mapeamento conceitual: avaliando a compreensão de estudantes sobre célula*. In: Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, 6., 2007, Florianópolis. *Atas*. Belo Horizonte: ABRAPEC, 2007

GOBARA, S. T. et al. *Modelos mentais e representações utilizadas por estudantes do ensino médio para explicar ondas*. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, v. 12, n. 3, p. 440-457, 2013.

GUIMARÃES, H. C. Processo de alfabetização científica na escola e a formação continuada de professores: um exemplo abordando mudanças de estado físico da água. Niterói. CD-ROM - Universidade Federal Fluminense, Instituto de Física, 2011. Disponível em: <<https://app.uff.br/riuff/handle/1/11552>>. Acesso em 18/12/2020

HENRIQUE, L. L. *Acústica musical*. Lisboa, Fundação Calouste Gulbenkian, 2002

HEWITT, P. G. *Física Conceitual*, Porto Alegre: Artmed Editora S.A., 11 ed., 2011.

- KIEFER, N. I. S, PILATTI, L. A. *Roteiro para a elaboração de uma aula significativa*. Revista Brasileira de Ensino ciência e Tecnologia, v. 7, n. 1, 2014.
- LINDER, C.J., ERICKSON, G.L., *A study of tertiary physics students' conceptualizations of sound*. International Journal of Science Education 11, 491–501, 1989
- LINDER, C.J., (1992). *Understanding sound: so what is the problem* Physics Education 27, 258–264
- LDB : *Lei de diretrizes e bases da educação nacional*. – Brasília : Senado Federal, Coordenação de Edições Técnicas, 2017
- MAURINES, L. *Os alunos e a propagação dos sinais sonoros*. IIème, Séminaire de Recherche em Didactique, p.18-20, out, 1992.
- MAURINES, L., MAYRARGUE, A. *How the investigations of the students' reasoning on waves and the history of physics can help us to develop research-based innovative units for secondary students on the velocity of light?* Proceedings of the eight IHPST conference, Leeds, 2005. Disponível em <http://www.ihpst2005.leeds.ac.uk/>.
- MASINI, E. F. S. *Aprendizagem Significativa: condições para ocorrência e lacunas que levam a comprometimentos*. Aprendizagem Significativa em Revista/Meaningful Learning Review. v1(1), p.16-24, 2011
- MAZETI, L. J. B. *Sequência didática: uma alternativa para o ensino de acústica no ensino médio*, 2014. Disponível em <<http://www.mnpefsorocaba.ufscar.br/produtos/artigos-publicados>>. Acesso em abril de 2019.
- MOREIRA, A. F. B. *Currículo, cultura e formação de professores*. Educar: Editora da UFPR. Curitiba, n. 17, p. 39-52. 2001.
- MOREIRA, M. A. *Aprendizagem significativa em mapas conceituais*. Textos ao Professor de Física. PPGEnFis/IF-UFRGS, v. 24, n. 6, 2013.
- MOREIRA, M. A. *Ensino e aprendizagem: enfoques teóricos*. São Paulo, Editora Moraes, p. 61-73, 1985
- MOREIRA, M. A. *O que é afinal aprendizagem significativa?* Aula Inaugural do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências Naturais, Instituto de Física, Universidade Federal do Mato Grosso, Cuiabá, MT, 23 de abril de 2010. Qurriculum, Espanha, 2012.
- MOREIRA, M. A. *Organizadores prévios e aprendizagem significativa*. Revista Chilena de Educación Científica, v. 7, n. 2, p. 23-30, 2008.
- NUSSENZVEIG, M. H. *Curso de física básica*, volume 2, 4 ed. São Paulo: Edgar Blücher, 2006.
- PRIOLLI, M. L. M. *Princípios básicos da música para a juventude*. Rio de Janeiro: Editora Casa Oliveira de Músicas Ltda, 1 v., 48 ed., 2006.

TIRADO, N. E. M., MORCILLO, J. G. *Concepciones sobre el origen de los terremotos y estudio de un grupo de alumnos de 14 años de Puerto Rico*. Enseñanza de las Ciencias de la Tierra, 24 (2); p.125-138, 2006

YOUNG, H., FREEDMAN, R. Física II. Termodinâmica e Ondas. 12ª Edição. Pearson, 2008

ZA'ROUR G. J. *Interpretation of natural phenomena by Lebanese school children*, Sci. Educ., 60(2), 277-287, 1976.

ZANON, Dulcimeire A. V. e FREITAS, Denise de. A aula de ciências nas séries iniciais do ensino fundamental: ações que favorecem a sua aprendizagem. *Revista Ciências & Cognição*, São Paulo, v. 10, p. 93-103, 2007. Disponível em:
< <http://www.cienciasecognicao.org/pdf/v10/m317150.pdf> >. Acesso em: 03 maio 2019.

ZYLBERSTAJN, A. *Concepções espontâneas em Física: exemplos em dinâmica e implicações para o ensino*. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 5, n. 2, p. 3, 1983.

ANEXOS

ANEXO 1 –Competências Específicas de Ciências da Natureza e suas Tecnologias para o ensino médio no formato proposto pela BNCC



COMPETÊNCIAS ESPECÍFICAS DE CIÊNCIAS DA NATUREZA E SUAS TECNOLOGIAS PARA O ENSINO MÉDIO

1. Analisar fenômenos naturais e processos tecnológicos, com base nas relações entre matéria e energia, para propor ações individuais e coletivas que aperfeiçoem processos produtivos, minimizem impactos socioambientais e melhorem as condições de vida em âmbito local, regional e/ou global.
2. Construir e utilizar interpretações sobre a dinâmica da Vida, da Terra e do Cosmos para elaborar argumentos, realizar previsões sobre o funcionamento e a evolução dos seres vivos e do Universo, e fundamentar decisões éticas e responsáveis.
3. Analisar situações-problema e avaliar aplicações do conhecimento científico e tecnológico e suas implicações no mundo, utilizando procedimentos e linguagens próprios das Ciências da Natureza, para propor soluções que considerem demandas locais, regionais e/ou globais, e comunicar suas descobertas e conclusões a públicos variados, em diversos contextos e por meio de diferentes mídias e tecnologias digitais de informação e comunicação (TDIC).

ANEXO 2 – Currículo Básico Comum (CBC) no Estado do Espírito Santo para a 2ª série do ensino médio na disciplina de Física, com o conteúdo proposto de Ondas Sonoras

COMPETÊNCIAS	HABILIDADES	CONTEÚDOS
<ul style="list-style-type: none"> Entender métodos e procedimentos próprios da Física e aplicá-los a diferentes contextos. Associar alterações ambientais a processos produtivos e sociais, e instrumentos ou ações científico-tecnológicos à degradação e preservação do ambiente. 	<ul style="list-style-type: none"> Reconhecer grandezas significativas, etapas e propriedades térmicas dos materiais relevantes para analisar e compreender os processos de trocas de calor presentes nos sistemas naturais e tecnológicos. Analisar diversas possibilidades de geração de energia térmica para uso social, identificando e comparando as diferentes opções em termos de seus impactos ambiental, social e econômico. Relacionar as características da luz aos processos de formação de imagens. Identificar e descrever processos de obtenção, utilização e reciclagem de recursos naturais e matérias-primas. Analisar perturbações ambientais, identificando fontes, transporte e destinos dos poluentes e prevendo efeitos nos sistemas naturais, produtivos e sociais. Comparar exemplos de utilização de tecnologia em diferentes situações culturais, avaliando o papel da tecnologia no processo social e explicando transformações de matéria, energia e vida. 	<ul style="list-style-type: none"> A temperatura e suas escalas. Conceitos de calor: sensível, latente e trocas de calor. Propagação de calor e aplicações. Dilatação térmica. Máquinas térmicas e aplicações. Introdução ao estudo das ondas: conceito, características e classificação. Ondas sonoras (acústica) Dualidade onda-partícula. Conceitos fundamentais da ótica, definição de refração e leis da reflexão. Formação de imagens em espelhos e lentes. Ótica da visão. Instrumentos óticos e aplicações. Efeito fotoelétrico.

APÊNDICES

APÊNDICE A – Propostas e Objetivos da Sequência Didática de 5 aulas

1ª Aula– Encontro I

Nome do(a) docente responsável: Salvio Ferreira da Gama

Data prevista para a aula: 28/05/2019

Duração prevista para a aula: 55 min.

Público alvo: 2ª série do Ensino Médio

Materiais e equipamentos para a execução: notebook, caixa de som, retroprojeter e aplicativo “Som” versão 2.19 do Phet Colorado, texto para leitura prévia¹⁷

OBJETIVO GERAL

Estudo de ondulatória na perspectiva da Teoria da Aprendizagem Significativa, sob oferta de momentos potencialmente significativos para exploração do tema, e avaliação da aprendizagem.

Objetivo Específico:

-Conceituar natureza das ondas, fontes, frentes de onda, frequência e período.

2ª Aula– Encontro II

Nome do(a) docente responsável: Salvio Ferreira da Gama

Data prevista para a aula: 03/06/2019

Duração prevista para a aula: 55 min.

Público alvo: 2ª série do Ensino Médio

¹⁷ Na narrativa, tomamos a liberdade dos registros e notas de aula alternados das turmas, em virtude das estruturas dos planos de aula, objetivos e critérios de avaliação de ambas as turmas serem exatamente os mesmos. Porém, antecipadamente no período de 1 semana solicitamos às turmas que lessem, cada uma, um material diferente de preparação para as aulas, dado que os conhecimentos prévios como elementos principais foram tomados como que à altura do antevisto na literatura sobre o que sabem preliminarmente os alunos sobre ondas; cautelosamente concebemos material que na nomenclatura de Ausubel seria o organizador prévio, material que lhes foi compartilhado em grupo de rede social das turmas com o objetivo de propiciar *subsunçores* para que o aprendizado dos conceitos de ondulatória tivesse textura significativa. Assim foi ofertado ao noturno o texto de apoio “*O que é o som?*” (Apêndice G), o turno da manhã recebeu diferente material que na concepção de Ausubel seria um pseudo-organizador prévio (Apêndice H) por ser mais abrangente e abordar vários tópicos, porém com a mesma finalidade de excitar pontos de ancoragem na estrutura cognitiva do aluno antes de estar em contato com o novo conhecimento. No entanto, na releitura de nossa prática, consideramos mais vantajoso para o aluno e para o desenvolvimento da Sequência Didática o pseudo-organizador prévio que desenvolvemos no Apêndice H, dado que a gama de informações necessárias tornam-na substantivamente mais útil ao conjunto de novas informações que ser-lhe-ão ancoradas na perspectiva da TAS. Ressalte-se no entanto que o material do Apêndice G tem sua utilidade pela sua brevidade na abordagem das ondas sonoras, principalmente nas turmas com mais defasagem de leitura.

Materiais e equipamentos para a execução: notebook, caixa de som, retroprojektor e arquivos¹⁸.mp4 (Arquivo 1 e Arquivo 2), instrumento musical melódico ou harmônico¹⁹, régua grande.

Objetivos Específicos:

- Reforçar o conceito de frequência ligando-o ao conceito de altura e às notas musicais por meio de recursos sonoros;
- Conceituar comprimento de onda, velocidade da onda e timbre.

3ª Aula– Encontro III

Nome do(a) docente responsável: Salvio Ferreira da Gama

Data prevista para a aula: 04/06/2019

Duração prevista para a aula: 55 min.

Público alvo: 2ª série do Ensino Médio

Materiais e equipamentos para a execução: notebook, retroprojektor, simulador virtual *Wave on a string*²⁰, régua, corda grossa de nylon, violão.

Objetivos Específicos:

- Estudar a propagação de onda em uma corda; diferenciar propagação transversal da propagação longitudinal;
- Demonstrar relação entre frequência e comprimento de uma corda.

4ª Aula– Encontro IV

Nome do(a) docente responsável: Salvio Ferreira da Gama

Data prevista para a aula: 10/06/2019

Duração prevista para a aula: 55 min.

Público alvo: 2ª série do Ensino Médio

Materiais e equipamentos para a execução: barbante, 2 copos descartáveis, cola, retroprojektor, notebook, recorte de vídeo²¹.

¹⁸ Arquivo intitulado “20Hz to 20kHz Human Audio Spectrum”, chamado de arquivo 1, download em <https://www.youtube.com/watch?v=qNf9nzvnd1k><acesso em 07/01/19> e arquivo intitulado “A 440 Hz piano for tuning”, chamado aqui de arquivo 2, download em <https://www.youtube.com/watch?v=TXZyJqad-BA><acesso em 18 dezembro 2018>.

¹⁹ *Melódico* é o instrumento voltado predominantemente para solo, isto é, emitindo na maior parte do tempo uma nota por vez, a melodia da música: violino, flauta, escaleta, etc, *enquanto* harmônico é o instrumento voltado para o ‘acompanhamento’, isto é, toca mais de uma nota na maior parte do tempo: violão, banjo, piano, etc.

²⁰ Disponível em https://phet.colorado.edu/sims/html/wave-on-a-string/latest/wave-on-a-string_en.html Acesso em 03 fevereiro 2019.

Objetivos

Específicos:

- Rever os conceitos comprimento de onda, ventres e nós de uma onda;
- Experimento de propagação do som em uma corda (telefone de barbante).

5ª Aula– Encontro V

Nome do(a) docente responsável: Salvio Ferreira da Gama

Data prevista para a aula: 11/06/2019

Duração prevista para a aula: 55 min.

Público alvo: 2ª série do Ensino Médio

Materiais e equipamentos para a execução: tabela e pincel.

Objetivos Específicos:

- Aplicar o conceito de ondas com destaque às diferentes situações do cotidiano;
- Responder às perguntas elencadas das aulas anteriores;
- Resolver exercícios com os principais conceitos de ondulatória abordados.

6ª Aula– Encontro VI

Nome do(a) docente responsável: Salvio Ferreira da Gama

Data prevista para a aula: 18/06/2019²²

Duração prevista para a aula: 55 min.

Público alvo: 2^{as} séries do Ensino Médio

Materiais e equipamentos para a execução: tabela, pincel e laudas de provas.

Objetivo Específico:

- Aplicar o teste de verificação da Sequência Didática.

²² No dia 17/06/19, precisamente 1 dia antes da aplicação do Teste que encerra a Sequência Didática, foi um momento de resolução de exercícios propostos solicitado anteriormente pela turma do 2M01, o que foi estendido também a turma do noturno 2N01. Assim, não se configurou uma aula formalmente prevista na Sequência Didática, mas um atendimento incidental à demanda das turmas ao saber que seriam avaliadas na 6ª aula, motivo pelo qual não registramos como mais uma aula da proposta. No entanto, caberá a cada professor o endosso de nova atividade, de revisão de conteúdos ou de readaptação da Sequência Didática originalmente apresentada à sua realidade curricular.

APÊNDICE B – Atividades²³ da Sequência Didática – Encontro II



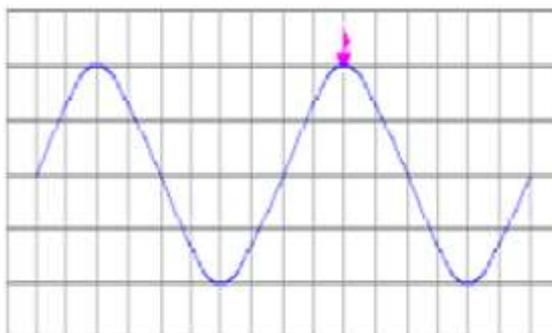
E.E.E.F.M “Ceciliano Abel de Almeida”

Prof.: Salvio – Física

Atividade sobre Ondas – ref.: “Aula 2”

Nome:	Série: 2 ^a	Turma:
Data: / /	Valor: -	Média: -
		Nota:

Problema: A figura abaixo representa uma onda periódica propagando-se na água (a onda está representada de perfil). A velocidade de propagação desta onda é de 40 m/s, e cada quadradinho possui 1 m de lado.



Determine:

- O comprimento de onda desta onda.
- A amplitude desta onda.
- A frequência da onda.
- O período de oscilação do barquinho sobre a onda.

²³ Nos Encontros I e II não houve na prática tempo hábil para resolução de exercícios ou atividades-fim. Não obstante essa impossibilidade concebemos atividades de consolidação para o Encontro II em diante.

APÊNDICE C – Atividades da Sequência Didática – Encontro III



E.E.E.F.M “Ceciliano Abel de Almeida”

Prof.: Salvio – Física

Ondas em uma corda – ref.: “Aula 3”

Nome:		Série: 2 ^a	Turma:
Data: / /	Valor: -	Média: -	Nota:

Obs: faça a lápis, obrigatoriamente, e devolva imediatamente ao terminar.

Questão 1 Num exercício mental, se observássemos um **único** ponto da corda, como seria seu movimento enquanto a corda vibra? Descreva sucintamente.

Questão 2 Quando a oscilação atinge a extremidade fixa da corda, de que forma ela retorna?

Questão 3 Na sua percepção, se aumentar a amplitude de vibração da corda, o que acontece com a energia de vibração? Descreva resumidamente.

Questão 4 Observando o movimento da corda, se aumentar a frequência, o que ocorre com o comprimento de onda? Descreva.

Questão 5 Na sua opinião, qual a direção do movimento da onda? Em outras palavras, para onde se propaga a onda? _____

APÊNDICE D – Atividades da Sequência Didática – Encontro IV



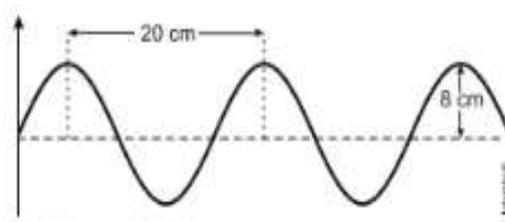
E.E.E.F.M “Ceciliano Abel de Almeida”

Prof.: Salvio – Física

Atividade sobre Ondas – ref.: “Aula 4”

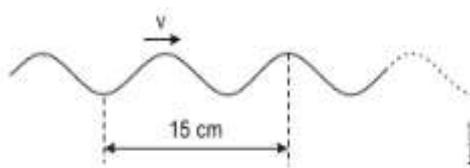
Nome:	Série: 2 ^a	Turma:
Data: / /	Valor: -	Média: -
		Nota:

A figura a seguir representa um trecho de uma onda que se propaga em uma corda, que tem uma das extremidades fixa, comum a velocidade de 320 m/s. A amplitude e a frequência dessa onda são, respectivamente:



- a) 20 cm e 8,0 kHz b) 20 cm e 1,6 kHz c) 8 cm e 4,0 kHz d) 8 cm e 1,6 kHz e) 4 cm e 4,0 kHz e) não tem essa consciência

Na figura abaixo, mostra-se uma onda mecânica se propagando em um elástico submetido a uma certa tensão, na horizontal. A frequência da onda é $f = 740$ Hz. Calcule a velocidade de propagação da onda, em m/s.



Assinale com **X** as alternativas corretas nas proposições sobre ondas:

- a) () O som é uma onda mecânica que vibra em uma frequência de 20 a 20.000 hertz (Hz).
 b) () No espaço sideral é possível ouvir uma música tocada numa caixa de som.
 c) () Num concerto de música clássica, um violino emite a mesma nota que um piano (simultaneamente). Os dois sons são diferentes no seu comprimento de onda.
 d) () Um som mais grave (exemplo do contrabaixo) está associado a uma frequência mais baixa.
 e) () O som refletido em obstáculos distantes (mais de 17m) e que volta à fonte é chamado de reverberação.

APÊNDICE E – Atividades da Sequência Didática – Encontro V



E.E.E.F.M “Ceciliano Abel de Almeida”

Prof.: Salvio – Física

Atividade sobre Ondas – ref.: “Aula 5”

Nome:	Série: 2 ^a	Turma:
Data: / /	Valor: -	Média: -
		Nota:

1. Complete os trechos:

a) As ondas luminosas quanto à sua natureza são _____ pois se propagam no vácuo; quanto à direção de propagação e vibração são _____ e se propagam no vácuo com velocidade igual à _____ da _____.

b) As ondas sonoras quanto à natureza são _____ pois não se propagam no vácuo; quanto à direção de propagação e vibração são _____ nos fluidos.

2. A sirene de uma fábrica produz sons com frequência igual a 2640 Hz. Determine o comprimento de onda do som produzido pela sirene em um dia cuja velocidade de propagação das ondas sonoras no ar seja igual a 1.188 km / h.

3. (UFRJ/2011) Um brinquedo muito divertido é o telefone de latas. Ele é feito com duas latas abertas e um barbante que tem suas extremidades presas às bases das latas. Para utilizá-lo, é necessário que uma pessoa fale na “boca” de uma das latas e uma outra pessoa ponha seu ouvido na “boca” da outra lata, mantendo os fios esticados. Como no caso do telefone comum, também existe um comprimento de onda máximo em que o telefone de latas transmite bem a onda sonora.

Sabendo que para um certo telefone de latas o comprimento de onda máximo é 50cm e que a velocidade do som no ar é igual a 340m/s, calcule a frequência mínima das ondas sonoras que são bem transmitidas pelo telefone.



4. Um estudante, fazendo um experimento no laboratório de sua escola, acoplou um gerador de áudio frequência a um alto-falante. Aumentando, então, a frequência do aparelho de 200Hz para 2800Hz, ele notou que o som produzido pelo sistema ficou:

- a) menos intenso ou mais fraco;
- b) mais alto ou agudo;
- c) mais baixo ou grave;
- d) mais rico em harmônicos;
- e) mais dissonantes.

5. Dois diapasões A e B emitem sons puros de frequências 400Hz e 800Hz, respectivamente. Aponte a alternativa correta:

- a) O som de A é mais agudo que o de B.
- b) O som de A é mais alto que o de B.
- c) O som de A é mais forte que o de B.
- d) O som de A está uma oitava acima do de B.
- e) O som de A está uma oitava abaixo do de B.

APÊNDICE F – Teste aplicado após a sequência de 5 aulas



E.E.E.F.M “Ceciliano Abel de Almeida”

Prof.: Salvio – Física

TESTE DE VERIFICAÇÃO- SEQUÊNCIA DIDÁTICA ONDAS

<i>Componente Curricular:</i> Física		<i>Nome:</i>		
<i>Professor:</i> Salvio Ferreira		<i>Nível:</i> Médio	<i>Valor:</i>	
<i>Instruções:</i>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ <i>Colabore na resolução do teste respondendo com o máximo de clareza possível às perguntas;</i> ▪ <i>Responda a todas as questões, sendo que em algumas delas será necessário representar;</i> ▪ <i>Não precisa se identificar, utilize um nome e sobrenome fictícios.</i> 	<i>Série:</i> 2 ^a	<i>Trimestre:</i> 2 ^o	<i>Média:</i>
		<i>Turma:</i>	<i>Data:</i> ___ / ___ /19	<i>Nota:</i>

Questão 1: O que você entende por onda em física?

Questão 2: Como você desenharia uma onda, conforme aprendeu em física?

Questão 3: Como uma onda sonora se propagaria no ar? Represente num desenho.

Questão 4: Como uma onda sonora se propagaria no espaço vazio (vácuo)? Represente num desenho.

Questão 5: Qual a diferença de um som agudo para um som mais grave, ambos de um mesmo piano?

Questão 6: Represente com um desenho genérico a diferença entre esses sons se propagando no ar.

Questão 7: Um violoncelo e uma guitarra emitem a mesma nota Si bemol. A diferença entre essas notas vai ser percebida porque os instrumentos têm ondas com:

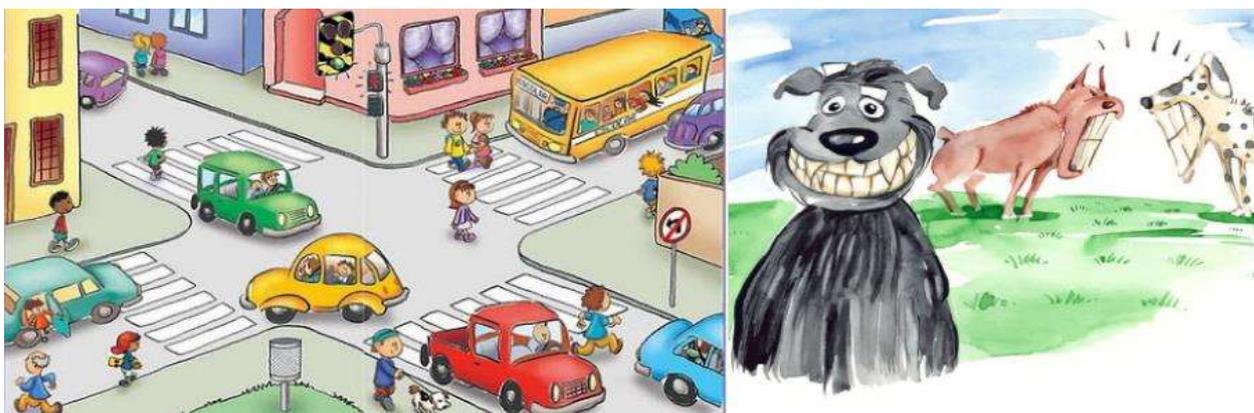
- a) Frequências diferentes
- b) Comprimentos de onda diferentes
- c) Velocidades diferentes
- d) Timbres diferentes
- e) Escalas diferentes

APÊNDICE G – Texto organizador prévio “O que é o som?”, utilizado no 2N01

Texto de apoio ao estudo prévio²⁴

O QUE É O SOM?

O som é o conjunto de ruídos que você ouve todos os dias. Pessoas, animais e objetos produzem sons. Seu gato mia para lhe dizer que está com fome. O alarme do seu relógio para tirá-lo da cama. Sua sala de aula pode lhe proporcionar muitos ruídos com as atividades de seus colegas!



O QUE SOA AO REDOR?

Existem diferentes sons em diferentes lugares. Você pode ouvir o ronco dos motores de carros e ônibus nas cidades ou vacas mugindo nas fazendas. De volta aos jardins, existem pássaros a cantar e crianças brincando com jogos barulhentos.

Identifique outros sons que as pessoas, animais e objetos fazem _____;
 _____; _____; _____.

BOAS VIBRAÇÕES

Todos os sons são feitos de vibrações. Uma vibração é um movimento rápido para frente e para trás. Você poderá compreender melhor uma vibração com o exemplo: ao esticar um elástico de borracha desses de dinheiro entre os dedos, peça a um colega que estique e solte o elástico, que vibrará.



PEQUENAS VIBRAÇÕES

²⁴ A concepção do texto, devido às particularidades da turma do noturno, foi adaptada diretamente da obra *How does sound change?*, de Robin Johnson, pela sua linguagem direta e concisa.

Todas as coisas produzem vibrações, mas nem sempre você conseguirá perceber. Mesmo uma pena produzirá uma pequeníssima vibração no solo quando, em queda, tocar o chão. O movimento para frente e para trás é tão pequeno que você não perceberá a vibração ou ouvir o som produzido na queda.



ONDAS SONORAS

A perturbação de um objeto produz *ondas sonoras*. Uma onda de som transporta a perturbação de um lugar para outro. A onda viaja do objeto que vibra até seu ouvido. Os ouvidos captam as ondas sonoras e as levam para seu cérebro, que as interpretará dizendo a você que sons são aqueles.

ONDAS SONORAS ESPALHANDO

Uma onda sonora passa a existir quando um objeto vibra. Então a onda espalha do objeto em todas as direções, como as ondulações formadas na superfície da água parada em uma bacia quando algum pequeno grão cai nela. Se você estiver próximo de um rádio ligado, poderá ouvir os sons em todas as direções em torno do aparelho.



COMO O SOM VIAJA?

As ondas sonoras viajam através do ar e da água. Elas também se propagam através de materiais sólidos tais como madeira, aço, vidro, etc. Em outras palavras, quando você era criança e sua mãe te chamava para jantar, seria mais difícil ouvi-la se o som não viajasse através das paredes e outros objetos sólidos. As ondas viajam mais rápido em objetos sólidos do que na água, e mais rápido nesta do que no ar.

Da mesma forma, as ondas sonoras não podem viajar no espaço sideral pois elas precisam de um meio de propagação tal como o ar. Por isso dizemos que no espaço não há som.

Encontre uma razão para que o som se propague a diferentes velocidades em objetos sólidos, na água e no ar.

O que diferencia esses meios de propagação?

Bibliografia:

JOHNSON, R. *How does sound change?* Ed. Crabtree Publishing Company, Ontário, 2014

< <https://www.getepic.com/app/read/10645> > acesso em 07/02/21

<http://portaldoprofessor.mec.gov.br/fichaTecnicaAula.html?pagina=espaco%2Fvisualizar_aula&aula=27521&secao=espaco&request_locale=es> acesso em 07/02/21

< <https://br.depositphotos.com/stock-photos/cachorro-bravo-desenho.html> > acesso em 07/02/21

<<https://br.depositphotos.com/stock-photos/penas-caindo.html?offset=100&qview=381520842>> acesso em 08/02/21

<<https://br.depositphotos.com/stock-photos/astronauta-espaco%20.html?qview=95116886>> acesso em 08/02/21

APÊNDICE H – Pseudo-organizador prévio, compartilhado antes da Sequência Didática

Fenômenos periódicos: você já ouviu falar deles?

The collage consists of several overlapping images. On the left is a newspaper page titled 'FOLHA DO DIA' with the headline 'Dias e noites: Por que eles são assim?'. In the center is another newspaper page titled 'JORNAL DALLA' with the headline 'Segredos do pêndulo de Galileu'. On the right is a black and white image of a letter titled 'CARTA PARA VOCÊ' with a translation of a letter from Samson. Below the letter is a diagram of a pendulum with labels 'haste', 'pêndulo', 'regulador', and 'peso'.

Observando as notícias que mencionam dias e noites, tempo, pêndulo, pulsação do coração, é possível notar que as coisas que se repetem e voltam a ocorrer de novo após um tempo aproximadamente igual, isto é, que têm esse comportamento periódico, são bastante comuns? Já pode ir imaginando mais coisas que possui esse comportamento? Estamos falando das coisas e eventos periódicos.

Sobre o assunto, vamos interagir com os dois fragmentos de texto a seguir.

ONDE ESTÁ O COMETA HALLEY?

O cometa que frustrou muita gente em 1986 vai voltar a dar as caras no céu terrestre em 2061. Até lá, seguirá cumprindo sua rota bem longe do nosso planeta. O Halley é um cometa famoso que “visita a Terra” a cada 75 ou 76 anos, quando atinge o ponto mais próximo do Sol – o periélio. De acordo com a ESA (Agência Espacial Européia), ele teria sido observado pela primeira vez ainda em 239 a.C. (...)

Leia mais em: <https://super.abril.com.br/ciencia/onde-esta-o-cometa-halley/>

Já deu pra perceber que temos de novo um evento periódico? O cometa Halley passa na nossa vizinhança, se afasta, mas depois aparece de novo. O tempo entre cada aparição do cometa é chamado de **período**. Qual é, então, *operíodo* do cometa Halley?

R₁

esponda e confira ao final do texto (_____).



Continuando, falaremos sobre o evento biológico feminino do ciclo menstrual.

OS CICLOS MENSTRUAIS SÃO SEMPRE IGUAIS?

O período que passa entre o primeiro dia de uma menstruação e o primeiro da menstruação seguinte é denominado ciclo menstrual. Habitualmente, o nosso ciclo menstrual é de 28 dias, mas considera-se normal que dure entre 21 e 35 dias. Durante o ciclo menstrual, o nosso corpo prepara-se para uma possível gravidez: 5 dias é quanto tempo dura o período.

Para entenderes o que é o ciclo menstrual é importante que saibas que nos dois ou três primeiros anos de período é normal que os ciclos sejam um pouco irregulares. Passado este tempo, os ciclos costumam tornar-se mais regulares e, de um modo geral, após o primeiro parto, os ciclos tendem a estabilizar até chegar aos 40-45 anos. A partir desta idade, os ciclos passarão novamente a ser irregulares, antes de aparecer a fase da menopausa.

Leia mais em: <https://www.ausonia.pt/pt-pt/informa-te/o-periodo/fases-do-ciclo-menstrual>

No texto acima menciona-se que o *período* de tempo entre duas menstruações consecutivas é aproximadamente regular na maior parte da vida da mulher, e chama-o apropriadamente de *ciclo menstrual*. Qual é esse mais provável ciclo?

R₂

esponda à questão acima e confira ao fim da atividade. (_____)



Já deu pra perceber que estamos mencionando movimentos ou coisas que se repetem, isto é, tem um *ciclo* ou são *cíclicas*, certo?

Já notou então que tudo que percorre um circuito fechado (seja em círculo ou não) vai passar várias vezes pelo mesmo lugar? Ou seja, está executando *ciclos*? Enquanto chamamos de **período** “*ao tempo que dura cada ciclo*” e este tempo pode ser dado em segundos, minutos, horas, dias ou semanas, podemos pensar também na “*quantidade de voltas ou ciclos que se dá a cada intervalo de tempo*”

Essa quantidade é uma informação importante sobre o movimento cíclico, e damos o nome a ela de **frequência**, que será dada em uma unidade especial chamada de hertz (Hz), em

homenagem ao físico alemão do século XIX Heinrich Hertz, caso o intervalo de tempo seja um período de 1s. Queremos dizer que:

1 Hz	1 ciclo por segundo
2 Hz	2 ciclos por segundo
3600 rpm=60 Hz	60 ciclos do segundo
2kHz = 2000Hz	2000 ciclos por segundo

Vamos dar vida a estes números?

1 Hz

Se uma gota d'água caísse da torneira, em um dia de vazamento, 1 vez a cada 1s, teríamos a frequência de 1 hertz.



2 Hz

Se um pandeirista golpeia o pandeiro 2 vezes a cada 1s, aí sim, poderemos dizer que a frequência do movimento das batidas da mão no pandeiro é de 2 Hz: isto é, ouviremos duas batidas por segundo!

Nota: Não podemos confundir esses 2Hz com a frequência do *som* emitido pela batida no pandeiro, que significa outra coisa que será abordada em um outro momento.



3600 rpm - Significa 3600 rotações **por** minuto, sabia? Isso também é frequência. Isto é, algo que gira muuuuito rápido, dando 3600 voltas a cada 1 minuto. Você consegue imaginar uma coisa tão rápida? Antes de você responder, vamos só esclarecer porque podemos tornar equivalentes 3600 rotações por minuto e 60 hertz (oscilações por segundo). Se cada 1 volta

corresponde a 1 oscilação (já que um ponto que gira estaria passando no mesmo ponto ao final de 1 volta), então imagine 3600 voltas em 60 segundos (1min)

$$\begin{aligned} 3600 \text{ rotações} & \text{-----} 60 \text{ segundos} \\ X \text{ rotações} & \text{-----} 1 \text{ segundo} \end{aligned}$$

Lembra da famosa regra de três?

$$\begin{aligned} X \cdot 60 &= 3600 \cdot 1 \quad \text{😬} \\ X &= \frac{3600}{60} \end{aligned}$$

X = 60 rotações por segundo, isto é, 60 hertz !!!

A propósito, encontramos isso na placa de um motor elétrico, mas atenção: a frequência de 60 Hz a princípio não diz respeito ao motor, mas sim à frequência da rede elétrica!!! Complicou? Calma. É que esse negócio de coisas periódicas está presente em quase tudo mesmo, observou? Até na Eletricidade.



ser fornecido com capacitor de partida e eixo e flange conforme norma NEMA.

Resumo das características técnicas

Norma	ABNT NBR 17094	Potência	0.167 cv
Frequência	60 Hz	Fixação	Com pés
Tensão	110-127/220-254 V	Flange	Sem
Número de polos	2	Forma construtiva	B3D
Grau de proteção	IP21	Caixa de ligação ¹	Sem caixa de ligação
Rotação síncrona	3600 rpm	Refrigeração	IC01 - ODP

Handwritten annotations: "60 Hz" with an arrow pointing to the frequency row, and "3600 rpm" with an arrow pointing to the synchronous speed row.

O que chamamos de *frequência elétrica* é simplesmente a quantidade de ciclos que a corrente elétrica completa em um segundo. Se ela não for a correta, os equipamentos elétricos *não funcionariam ou funcionam muito mal*. Isso porque, no Brasil todo, a rede de concessionárias de energia fornece uma corrente elétrica padrão de 60 Hz às nossas casas.

Espere: então quer dizer que todo motor elétrico trabalha sempre a 3600 rotações por minuto, já que a rede elétrica oscila sempre 60 vezes por segundo (60 Hz)? A resposta é **não** porque, só por coincidência, este motor é chamado de *motor síncrono* exatamente pelo seu rotor girar de

acordo com a frequência de oscilação da rede, por isso os valores casam perfeitamente: 60 Hz >>3600rpm.

R3

Responda: voltando nos casos da gota d'água que cai 1 vez por segundo e do pandeiro que sofre 2 batidas por segundo, já sabemos que suas frequências são, respectivamente, 1 Hz e 2 Hz. Mas qual é o período de cada um? Escreva sua resposta e confira no final.

Período gotas: (_____)



Período pandeiro: (_____)

Provavelmente, você percebeu que quanto maior o período menor a frequência, e vice-versa.

VERDADE !!! 🎵

A relação matemática entre o período e a frequência é:

$$\text{período} = \frac{1}{\text{frequência}} \quad \text{e} \quad \text{frequência} = \frac{1}{\text{período}}$$

R4

ATIVIDADE DE ASSOCIAÇÃO

Responda usando a relação período-frequência:

- Qual o período de oscilação da rede elétrica na Argentina, sabendo que lá a frequência da rede é 50 Hz? (_____ segundos)
- Qual a frequência da batida das asas de um pássaro cujo período (tempo entre cada batida) é 0,1s? (_____ hertz)

ATIVIDADE DE REFLEXÃO

Até este momento, acreditamos que você já percebeu que os fenômenos periódicos são muitos, e eles estão à nossa volta, fazem parte de nossa vida mesmo que a gente não repare neles. E eles têm características próprias como a **frequência** e o **período** que já exploramos, além de várias definições que vamos explorar em um outro momento na sala de aula. Vai valer a pena, prometemos! A propósito, vale lembrar a canção “*Altos e baixos*”, de Aldir Blanc e Sueli Costa*, que diz em um trecho:

“🎵 Ah, mas há que se louvar entre altos e baixos

O amor quando traz tanta vida

Que até pra morrer leva tempo demais”. 🎵🎵

Percebe que ela busca revelar a oscilação das próprias condições que a vida nos proporciona? A canção nos incentiva, de certo modo, a enxergar que as coisas na vida não são mesmo sempre constantes.

Assim, queremos que você **escreva** abaixo mais coisas que têm **oscilações**, **repetições** ou **periodicidades**. O limite? Quantas você for capaz de lembrar ou associar. Vamos lá?



*Versão cantada por Elis Regina, <https://www.youtube.com/watch?v=SPPV1V9SpTg><acesso 16/11/19>

Precisamos entender como esses eventos periódicos são normalmente representados em várias áreas do conhecimento, tal como na Física, na Economia, na Matemática, etc. Para isso, vamos nos permitir entender um clássico experimento demonstrado pelo físico Frank Oppenheimer há várias décadas atrás:



Utilizando um pêndulo □ suspenso e preso ao teto, de modo que ao oscilar, percorre a direção da reta imaginária □ (veja figura ao lado), Oppenheimer acoplou na extremidade da corda um funil com areia. Com isso, o vai e vem do pêndulo faz com que acumule areia sobre a esteira, formando uma **reta de areia** □ (claro que é de areia 😊).



A foto que vem depois deixa mais claro essa reta. Atenção: a esteira está parada, isso é importante! Importante notar que em dois momentos diferentes o funil estará no meio exato do seu caminho (centro). Como não para ele poderá estar *subindo*, onde percorrerá o trecho superior que podemos convencionar como de fase positiva, ou

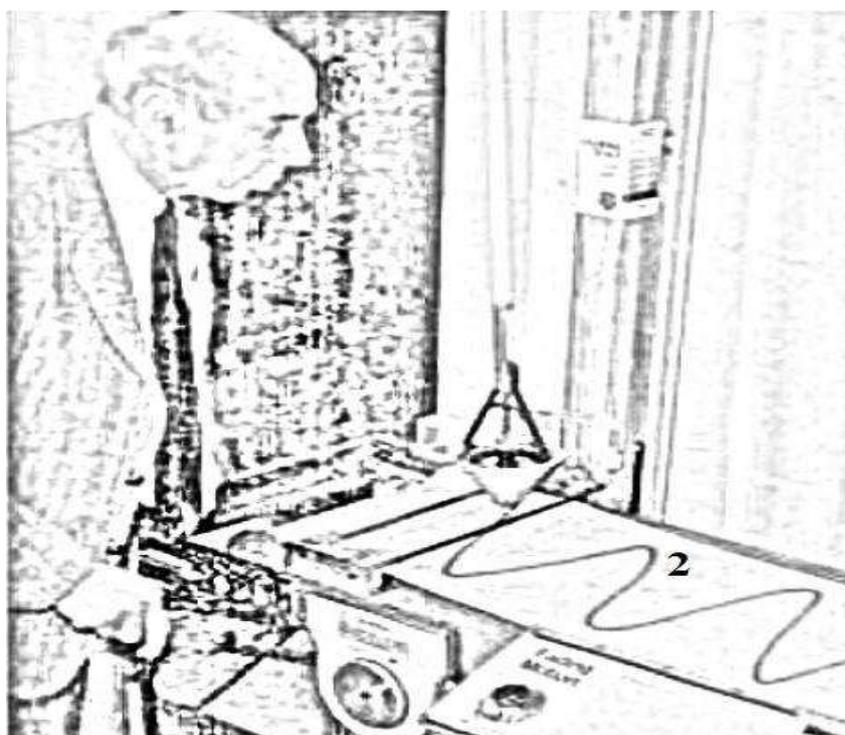
ele poderá estar *descendo*, quando percorrerá o trecho inferior da reta, onde afirmariamos que teria fase negativa. É só uma convenção útil para o momento, sem a preocupação de sermos rigoroso conceitualmente nesta construção.

Agora vem uma coisa interessante: o pêndulo está oscilando, isto é, ele tem movimento periódico que forma uma reta de areia sobre a esteira. Até aqui concordamos. Mas...

E SE A ESTEIRA ENTRASSE EM MOVIMENTO? 😬

Já pode ir imaginando o que ocorreria, mas para facilitar vamos descrever como seria o movimento da esteira: ela se moveria com a velocidade constante e para a direita. Já consegue prever a figura de areia que se desenharia sobre a esteira?

Pois Oppenheimer mostrou pra nós que deixa de ser uma reta de areia. Veja a figura:



Passa a ser uma figura de areia sinuosa ② que precisamos nos familiarizar com ela, pois se observarmos com bastante atenção veremos que essa curva de areia tem seus “ALTOS e BAIXOS” dos quais tanto falamos aqui. Veja a foto em detalhe:

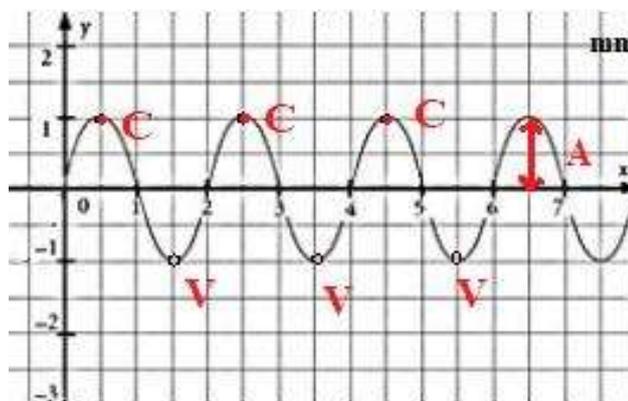


Incrível!!! Essa figura será utilizada na representação gráfica dos fenômenos que se repetem, que se repetem, que se repetem, Ela será chamada por nós de *curva senoidal* daqui por diante. Senoidal vem de seno (lembra de seno, cosseno, tangente?)... Pois bem, é por aí mesmo. Mas não é tão complicado quanto parece.

Seno e Cosseno...uma luz matemática

Acontece que seno e cosseno são funções que são utilizadas no dia a dia da Matemática, da Física, da Economia e outras áreas, justamente para representar eventos periódicos, iguais aos que nós discutimos aqui. Reparou que na figura senoidal de areia nós temos um ponto máximo, pontos intermediários e um ponto mínimo? Viu também que esses pontos se repetem continuamente? Aí é que está o elo entre os fenômenos periódicos e a representação pela figura senoidal. Só queremos mostrar que o gráfico do seno e do cosseno são ideais para representar tais fenômenos, não aprofundaremos o conceito dessas funções trigonométricas.

Vamos conferir brevemente o gráfico da função seno como normalmente será encontrado, acrescido de algumas observações importantes. Para isso, suponha que na esteira de Oppenheimer tivesse um papel *milimetrado* com os eixos x e y que já sabemos como lidar, colocado de modo que, exatamente onde o funil estivesse no centro de sua trajetória, estivesse também o centro dos eixos x e y . O conjunto final seria, então:



Os pontos **C** e **V** representam o ponto máximo e mínimo da curva senoidal, e são chamados respectivamente de *crista* e *vale* da onda; eles delimitam o crescimento da curva, ou seja, marcam o valor máximo ao qual chamamos de *amplitude* da onda (intervalo *vertical* entre o eixo x e o vértice ou crista), aqui representada pelo comprimento **A**.

Da figura, dá pra notar que a amplitude é 1mm? Há dois caminhos de verificar isso:

- Na fase positiva do gráfico (parte superior), subtraímos o limite onde a onda atinge a crista menos a limite onde a onda começou \Rightarrow **amplitude A = [1-0] = 1mm** ou
- No limite onde a fase do gráfico é negativa (parte inferior) \Rightarrow **amplitude A = [0-(-1)] = [0+1] = 1mm**

Acabamos de conhecer a CRISTA, o VALE de uma onda e sua correspondente AMPLITUDE que, basicamente, são medidas obtidas na direção vertical!

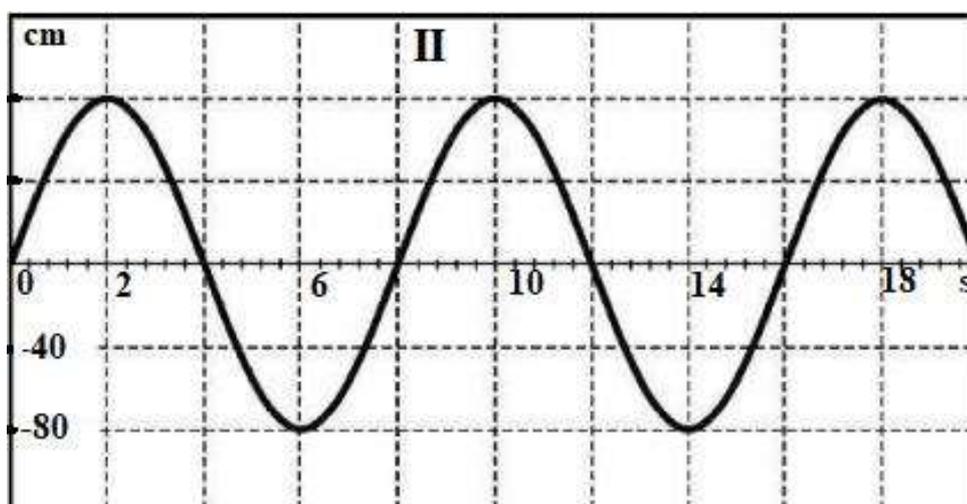
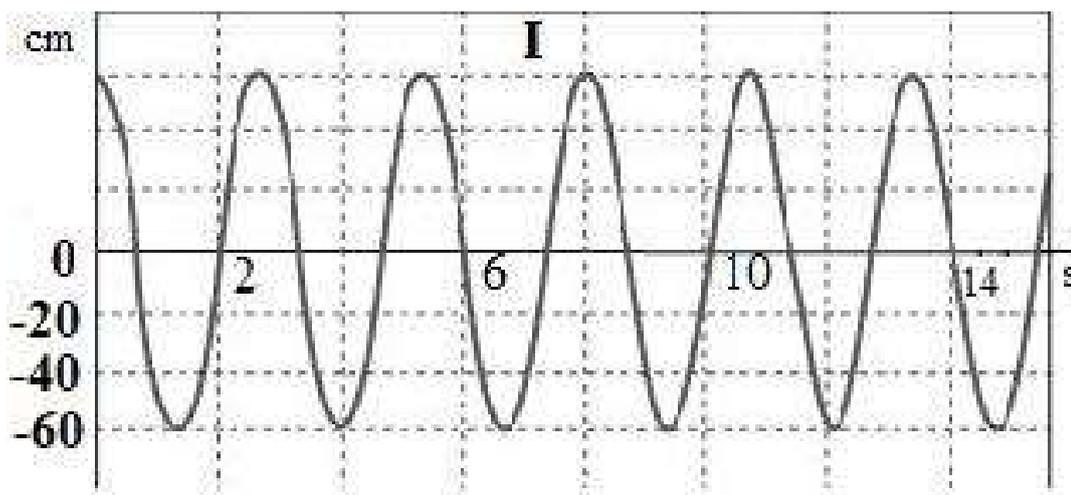
Agora vamos conhecer mais uma característica: o comprimento de onda que, por definição, é a distância *horizontal* entre duas cristas consecutivas ou entre dois vales igualmente consecutivos. Não tem muito sentido dizer que uma onda tem comprimento, portanto é só uma palavra composta que especifica esse intervalo horizontal em uma onda.

Você já notou que na figura o valor do comprimento de onda é 2mm? Tomando-se quaisquer vértices consecutivos (cristas ou vales consecutivos), o intervalo entre será obtido assim:

- Entre as duas primeiras cristas: **comprimento de onda $\lambda = [2,5 - 0,5] = 2\text{mm}$** ; ou
- Entre o segundo e o terceiro vale: **comprimento de onda $\lambda = [5,5 - 3,5] = 2\text{mm}$** ; ou repetindo esse processo para quaisquer cristas ou vales consecutivos.

MAS... E A FREQUÊNCIA? ONDE ELA APARECE NO GRÁFICO?

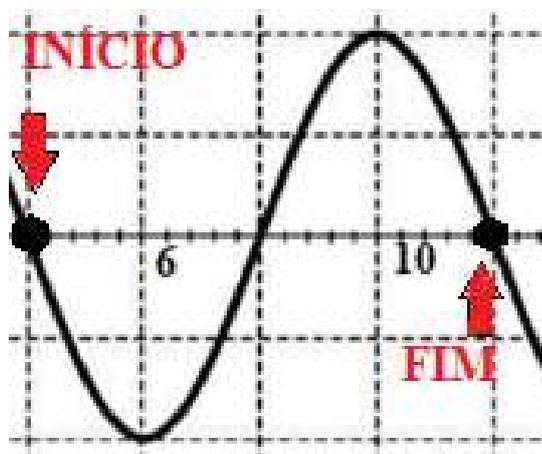
Vamos comparar os gráficos **I** e **II** a seguir. Em qual deles a frequência é maior?



Se baseássemos apenas no olhar, diríamos que o gráfico **I** tem maior frequência, *justamente porque a frequência é o número de oscilações por segundo!* Seria isso verdade? Falando apenas visualmente está correto! Mas como cada gráfico tem sua escala particular, e a Física não pode trabalhar com indícios apenas (eles são peça importante na solução de problemas, isso é verdade), vamos encontrar **resultados** que mostrem a frequência em cada gráfico. Vamos juntos?

1°. Precisamos compreender que uma onda começa e só se completa quando alcançar um mesmo padrão de propagação (como se estivesse *em fase* com o próximo ponto que seria seu final); isso em tese permite que a gente comece a analisar a onda em qualquer ponto, desde que tenham-na por terminada no próximo ponto que siga o mesmo padrão, onde uma nova onda igual “nasce” e dá sequência ao conjunto. Para exemplificar, se tomássemos a onda **II** e estabelecêssemos um “início” no instante 4s, basta observar que nesse ponto o comportamento do gráfico é decrescente e está entrando na parte negativa da curva senoidal. Olhos atentos, e

notamos que esse mesmo comportamento é alcançado de novo só no instante 12s, como mostra a ilustração abaixo.



Uma forma intuitiva de pensar é que uma onda é formada por “*meia onda mais meia onda*”. Compreendido? Se ficou em dúvida, é interessante voltar à leitura e, com mais calma e tempo, se apropriar desses conceitos.

2º. Usando esse procedimento, constatamos que no gráfico II temos 1 onda “formada” no intervalo de tempo que vai de 4s a 12s, isto é, 1 onda para cada 8s. Veja, esses 8s para cada onda é o próprio *período* da onda que vimos recentemente. Matematicamente fica:

$$frequência = \frac{1}{8s}$$

$$frequência = \frac{1}{8s}$$

$$frequência = 0,125 \text{ Hz}$$

Fazendo o mesmo para o gráfico I, obteremos algo próximo de 1 onda para cada 3s, isto é,

$$frequência = 0,33 \text{ Hz}$$

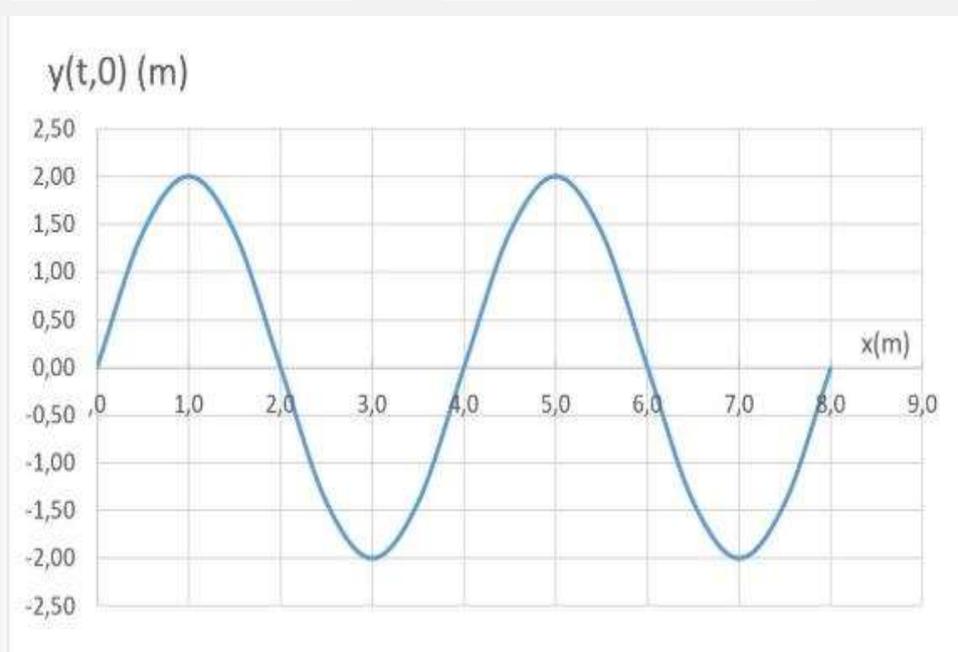
SOLUCIONADO! O que prova que a frequência é maior no gráfico I.

Acabamos de aprender sobre o COMPRIMENTO DE ONDA λ e a FREQUÊNCIA f e o PERÍODO T de uma onda representados por meio de um gráfico senoidal.

R5

Responda:

- a) Qual a amplitude do sinal senoidal expresso em cada um dos gráficos I e II?
(_____ cm; _____ cm)
- b) Dado o gráfico a seguir, dê o valor da amplitude A e o comprimento de onda λ .
(_____ metro; _____ metro)



Estamos chegando ao final de nosso texto, e esperamos que tenham se dedicado e compreendido que os fenômenos oscilatórios fazem parte do enredo da vida e a Física, enquanto ferramenta humana para explicar parte de tais fenômenos, se baseia em leis construídas a partir de observações ou experimentos, e não em especulações. Confira as respostas das questões no rodapé²⁵.

Ao professor:

Este material foi concebido estrategicamente como parte inicial do estudo sobre ondas sonoras, buscando ser consistente como um material preparatório e o próximo passo é o devido reforço e aprofundamento aos conteúdos formais de ondulatória, a serem contemplados em sala de aula

²⁵ Soluções: R₁: 75 a 76 anos; R₂: 28 dias; R₃: Período gotas: 1s / período pandeiro: 0,5s; R₄: a) 0,02 / b) 10; R₅: a) 60; 80 / b) 2; 4.

ou laboratório de física. A partir de sua publicação configurar-se-á como material público, exigindo-se que apenas dêem os créditos à sua fonte*.

*Material concebido dentro do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física – Mestrado Nacional Profissional em Física – MNPEF – UFES – Vitória, ES pelo mestrando Salvio Ferreira da Gama, tendo ingressado como discente no período 2018/1. O material é de uso público e gratuito, solicitando-se citar a fonte em caso de utilização do todo ou de partes dele.

Referências:

HEWITT, P. G. *Física Conceitual*, Porto Alegre: Artmed Editora S.A., 11 ed., 2011.

<http://www.dsce.fee.unicamp.br/~antenor/htmlfile/harmo/fpcap4/cap4.html> acesso em 09/01/20>

https://br.freepik.com/vetores-premium/torneira-de-agua-com-gota-caindo-isolado-no-fundo-branco-valvula-velha-classica_4344915.htm<acesso em 29/01/20>

<https://fisicaevestibular.com.br/novo/mecanica/dinamica/mhs/pendulo-simples/exercicios-de-vestibulares-com-resolucao-comentada-sobre-pendulo-simples/><acesso em 29/01/20>

<https://www.fotoefeitos.com/cat-tratamento-imagem/converter-picture-desenho-a-lapis><acesso em 06/01/20>

<https://www.osestoreletrico.com.br/padroes-brasileiros/><acesso em 05/11/19>

<https://www.weg.net/catalog/weg/BR/pt/Motores-EI%C3%A9tricos/Monof%C3%A1sico/Usos-Gerais/Motor-de-Chapa-Aberto-%28IP21%29/Motor-0-167-cv-2P-56-1F-110-127-220-254-V-60-Hz-IC01---ODP---Comp%C3%A9s/p/14735359><acesso em 29/01/20>

<https://www.weg.net/catalog/weg/BR/pt/Motores-EI%C3%A9tricos/Monof%C3%A1sico/Usos-Gerais/Motor-de-Chapa-Aberto-%28IP21%29/Motor-0-167-cv-2P-56-1F-110-127-220-254-V-60-Hz-IC01---ODP---Comp%C3%A9s/p/14735359><acesso em 20/01/20>

<https://citacoes.in/autores/cher/><acesso em 06/11/19>

<https://brainly.com.br/tarefa/14234422><acesso em 06/01/20>

<https://www.flipsnack.com/><acesso em 06/02/20>

APÊNDICE I – PRODUTO EDUCACIONAL

ONDAS SONORAS

Ondas sonoras no ensino médio: construção de uma Sequência Didática e análise conceitual dos alunos



Pixinguinha em ensaio com seu saxofone. Para as pessoas acostumadas com o instrumento, a imagem dá uma noção do volume do som emitido. Fonte: <https://images.app.goo.gl/4UVcyfru75fwHjqe7> acesso em 10/08/2020



MNPEF
Mestrado Nacional
Profissional em
Ensino de Física

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE FÍSICA
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA

Salvio Ferreira da Gama
Prof. Dr. Breno Segatto - orientador

**ONDAS SONORAS NO ENSINO MÉDIO: CONSTRUÇÃO DE UMA SEQUÊNCIA
DIDÁTICA E ANÁLISE CONCEITUAL DOS ALUNOS**

Vitória – ES
Outubro – 2020

SUMÁRIO

Apresentação.....	122
Encontro nº 1.....	124
Encontro nº 2.....	133
Encontro nº 3	142
Encontro nº 4.....	148
Encontro nº 5.....	151
Referências Bibliográficas.....	156

Apresentação

Este é o Produto da Dissertação de Mestrado de Salvio Ferreira da Gama, orientado pelo Prof. Dr. Breno Segatto, que foi apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física - Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, ofertado pela Sociedade Brasileira de Física em parceria com a Universidade Federal do Espírito Santo.

O objetivo do produto é servir ao professor como material de fomento ou mesmo de suporte ao estudo de ondas sonoras no ensino médio, adequando-o quando necessário à realidade de seu cotidiano escolar ou mesmo fazendo nele o *upgrade* ajustável às necessidades mais avançadas de seus alunos.

Esforçamo-nos para a elaboração de um trabalho que atendesse primordialmente à necessidade dos professores frente às lacunas de seu labor com os alunos; no entanto, sem uma perspectiva teórica não teríamos chegado ao final do trabalho ou, na certa, faltaria sustentação na concatenação das ideias que levaram à sua construção, o que em outras palavras significa não possuir a esperada consciência do caminho percorrido e dos resultados obtidos. Desse modo, recorreremos à Teoria da Aprendizagem Significativa, ou TAS na forma abreviada, de David Ausubel por considerar que ela tem muito a contribuir com o professor no processo de interação com os estudantes ao ensinar; uma de suas ideias célebres é “*a coisa mais importante a considerar é aquilo que o estudante já sabe*”. Assim, a construção do presente Produto buscou seguir alguns critérios sugeridos pela TAS, refletindo nos traços mais gerais do trabalho, ao buscar propositalmente a identificação do grau de conhecimento sobre ondas ao qual o aluno teve acesso para, enfim, encadear as concepções físicas das mais gerais para as mais específicas.

Para efeitos de verificação do processo de produção do conhecimento junto aos alunos, aplicamos um questionário sobre ondas sonoras ao término dos 6 encontros programados. Estes se deram na Escola Estadual de Ensino Fundamental e Médio Ceciliano Abel de Almeida, na cidade de São Mateus – ES, dirigidos a 2 turmas da 2ª série do ensino médio na forma de aulas interativas e expositivas com uso de simuladores virtuais de fenômenos sonoros. Ao analisar o trabalho devolvido pelos alunos, decidimos usar as categorizações advindas do método de Bardin, consistindo em ferramenta que permite inferir as concepções manifestas linguisticamente pelo coletivo dos alunos e os padrões típicos encontrados nessas respostas, o que pode nos auxiliar na elaboração das atividades e desafios da física das ondas sonoras.

O produto nasceu de um longo percurso que se inicia com a narrativa dos encontros formais em sala de aula e, após percepção da necessidade de pseudo organizadores prévios para a estrutura, reorganizamos o trabalho frente as concepções verificadas até termos o formato

final deste Produto. Isto nos impôs a desmedido esforço e tempo investidos, o que deveras valeu a pena e está sendo gratificante durante e depois de editado.

***Encontro nº 1**

** cada encontro foi pensado para uma aula de 55 minutos aproximadamente.*

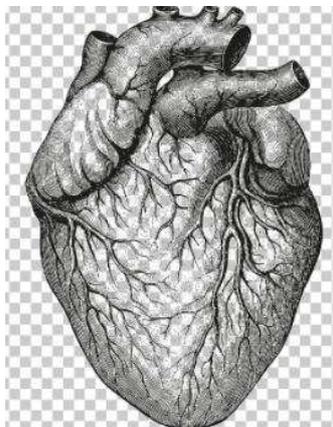
ONDAS – ASPECTOS GERAIS

1.1 O que devo saber ao término dessa aula?

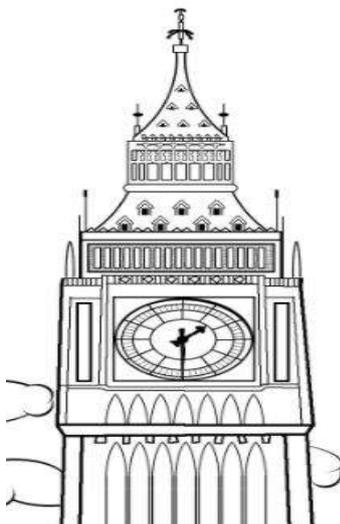
- ✓ Reconhecer os fenômenos periódicos nos eventos ou situações cotidianas;
- ✓ Conceituar natureza das ondas, fontes, frentes de onda;
- ✓ Compreender o significado de frequência, período, comprimento de onda e amplitude de uma onda e resolver problemas envolvendo os conceitos.

1.2 Introdução

Antes de qualquer coisa, você saberia dizer quais das situações envolvem coisas ou fenômenos *periódicos*, isto é, coisas que se repetem com alguma regularidade? Selecione-as e, em seguida, justifique sucintamente suas escolhas.



() sim () não



() sim () não



() sim () não

Justificativa: _____

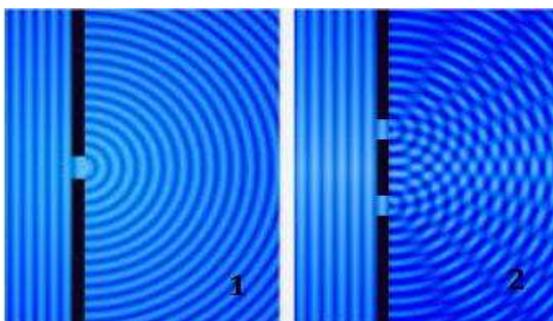
Agora, leia o texto a seguir

1.3 Texto auxiliar

Afinal, o que é uma onda?

Uma onda é uma perturbação que se propaga através do espaço, desde o ponto em que foi produzida, transportando apenas energia ao invés de transportar também matéria. Queremos dizer com isso que uma onda não transporta matéria!

Uma característica notável de uma onda é a periodicidade intrínseca a ela, isto é, a intermitência de padrões diferentes da própria onda a cada ciclo de tempo. Analisemos a figura abaixo para entender melhor esses padrões de comportamento da onda.



O que temos aqui? No início, tínhamos apenas água parada em uma travessa e, como pode ser notado, surgiu uma perturbação da esquerda para a direita de modo que, como sugerem as porções antes dos anteparos das Figuras 1 e 2, a perturbação na superfície da água seguiria comportamento ‘retangular’ até alcançar a borda direita da travessa. Com a colocação dos obstáculos com fendas das situações 1 e 2, surge um novo comportamento das perturbações, agora com propagação circular. Mas independente do formato da perturbação, circular ou retangular, observe que o padrão que se mantém é a alternância das zonas cheias e vazias, altas e baixas, escuras e claras, ou seja, uma onda terá sempre essa manifestação das alternâncias.

Daqui em diante, esse padrão de intermitência, e como ele ocorre, será a informação mais importante sobre qualquer fenômeno periódico, que inclui as ondas de uma forma geral. Por falar em fenômenos periódicos, você sabia que a lâmpada da sua casa pisca 60 vezes por segundo? Nunca notou isso? Totalmente normal que você não tenha percebido, a não ser que seus olhos fossem biônicos. Isso ocorre porque a rede elétrica de todas as casas e indústrias no Brasil fornece uma tensão de 60 hertz (ou 60 oscilações por segundo): na prática, os terminais da lâmpada alternam a polaridade nessa proporção, fazendo com que a cada 1 segundo a lâmpada literalmente acenda e apague 60 vezes. Sabia também que o nosso coração tem um padrão de contração muscular mais ou menos constante, dependendo do esforço físico a que estamos submetidos? O número de contrações cardíacas por minuto (bpm) nos dá a frequência cardíaca e uma noção sobre sua saúde: segundo os cardiologistas, um jovem de 8

a 17 anos deve ter frequência cardíaca entre 80 e 100 bpm, estando em repouso. Sabia que o ponteiro dos minutos de um relógio, por exemplo o Big Ben em Londres, tem frequência de 1/3600 hertz? Da mesma forma, um pêndulo, os dias e as noites, as estações do ano, uma válvula de um pneu de um carro com velocidade constante, todos esses exemplos têm uma frequência, definida logo abaixo.

PESQUISA:

2020 é o ano previsto para a estréia da quinta geração de telefonia celular móvel no Brasil, a tecnologia 5G. Pesquise as vantagens e desvantagens desse novo sistema como impacto na vida das pessoas no início da implantação. Descubra as frequências que a Anatel deve utilizar nas comunicações através da tecnologia denominada 5G no Brasil. Compare-as com as frequências utilizadas nos radio altímetros de navegação dos aviões comerciais no Brasil.

VANTAGENS DO 5G _____

DESVANTAGENS DO 5G _____

5G (FREQUÊNCIAS) _____

RADIO ALTÍMETRO (FREQUÊNCIAS) _____

Já podemos agora definir algumas características de qualquer onda, como a frequência, o período, comprimento de onda e amplitude. Como vimos dos exemplos anteriores, fica fácil definir:

Frequência é o número de oscilações ou ciclos por unidade de tempo!

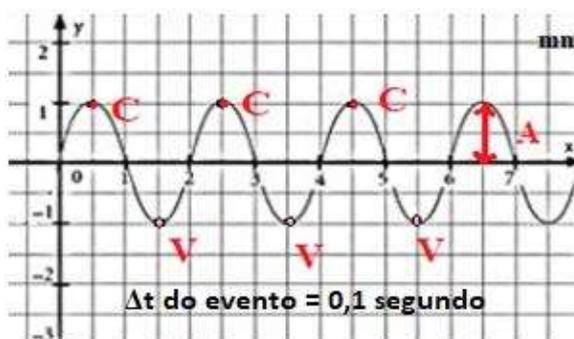
Decorre, então, que se a unidade de tempo for o segundo, a unidade de frequência será o hertz (Hz), o mesmo que s^{-1} . Não sendo o segundo, podemos ter as batidas por minuto (bpm) ou rotações por minuto (rpm). Exemplos de frequência que passam despercebidos no dia a dia:



Repare que a frequência de sintonia da rádio FM é 94 MHz (megahertz), isto é, 94 milhões de ciclos por segundo, um número quase impensável de ciclos. Já a frequência da rede elétrica é 60 Hz (60 oscilações por segundo), enquanto o motor completa 3600 rotações a cada 1 minuto

(3600 rpm). No Sistema Internacional de unidades (S.I), a unidade de frequência é o Hz, que também pode ser escrito como s^{-1} .

Como a ideia de onda é a mais completa dessas coisas que tem periodicidade, ela tem uma representação matemática que é a curva senoidal – em forma de gráfico da função seno, isto é, na representação aparece a ideia da frequência da onda e outras grandezas que veremos. Veja na Figura os pontos C e V, que representam a crista e o vale, respectivamente, sendo os pontos extremos na propagação do sinal.



Podemos calcular a frequência da onda acima, baseado na definição:

$$\text{frequência} = \frac{\text{n}^{\circ} \text{ de ciclos}}{\text{tempo}}$$

$$\text{frequência} = \frac{4 \text{ ciclos}}{0,1\text{s}}$$

$$f = 40 \text{ Hz}$$

Já reparou a distância entre cada duas cristas consecutivas é sempre a mesma? Vale também para dois vales consecutivos. Pois bem, essa medida de vale a vale ou de crista a crista é uma propriedade de toda onda, denominada de comprimento de onda. Em outras palavras, sendo a escala em milímetros, o comprimento de onda equivale a 2mm ou, no S.I., 0,002m. Escrevemos assim: $\lambda = 0,002\text{m}$. Logo,

O comprimento de onda é a distância entre dois vales ou dois vértices consecutivos!

Definamos agora a terceira grandeza que envolve ondas e chamemo-la simplesmente período, definido como a seguir.

O período de uma onda é o tempo que cada onda unitária leva para completar seu ciclo!

Observando a onda representada acima, note que o tempo $\Delta t = 0,1\text{s}$ equivale à propagação de 4 ciclos completos de onda, ou seja, são 4 ondas em 0,1s, o que nos permite a razoável relação:

$$\text{período} = \frac{\text{tempo}}{\text{n}^{\circ} \text{ de ciclos}}$$

$$T = \frac{0,1s}{4 \text{ ciclos}}$$

$$T = 0,025s/\text{onda}$$

Podemos afirmar que cada onda completa ocorre a cada 0,025s. Já observou que o período é precisamente o inverso da frequência? Isso pode ser escrito assim:

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

A seguir, falemos da outra grandeza da onda chamada amplitude. Como definimos amplitude?

A amplitude de uma onda é a altura da onda, isto é, o intervalo vertical entre o ponto de repouso e a crista da onda!

No caso da onda da página anterior, observando o segmento *A* destacado para a amplitude, conclui-se que ela é igual a 1mm ou, no S.I., $A = 0,001m$.

Fixando os conceitos:

- i. Uma onda tem período igual a 2s. Isso significa que ela completa 1 ciclo a cada _____ segundos.
- ii. Se uma onda se propaga na frequência de 20 ciclos por segundo, temos então uma onda de _____ hertz.
- iii. As ondas emitidas por três dispositivos eletrônicos tem frequências iguais a 40 ondas/segundo, 40 kHz e 100MHz. Na mesma ordem, podemos dizer que as frequências no S.I. são: _____ Hz, _____ Hz e _____ Hz.
- iv. Uma onda se propaga transportando _____ apenas.
- v. Se a frequência de uma onda é 400 Hz, então seu período é _____ segundos.
- vi. No Brasil as redes elétricas têm frequência igual a _____ Hz. Isso significa que cada ciclo se completa em aproximadamente _____ segundos.
- vii. O período é _____ proporcional à frequência, isto é, aumentando o período, a frequência _____.

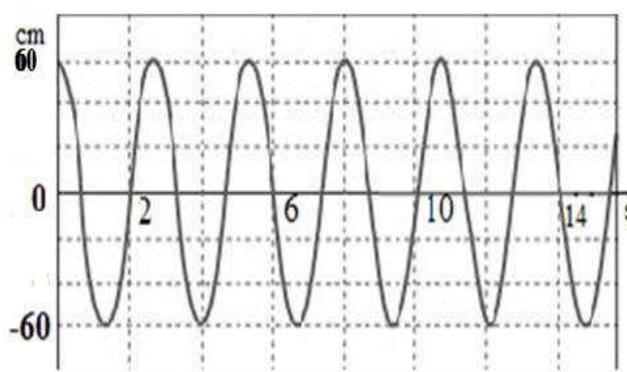
Resp. i) 0,5; ii) 20; iii) 40, 40000 e 100milhões; iv) energia;

v) 0,0025; vi) 60/0,016; vii) inversamente/diminui

HORA DE EXERCITAR OS CONCEITOS ESTUDADOS

Resolva os exercícios com atenção:

1. Na figura a seguir, que representa a propagação de certa grandeza ondulatória, a frequência, a amplitude e o período da onda valem, aproximadamente:

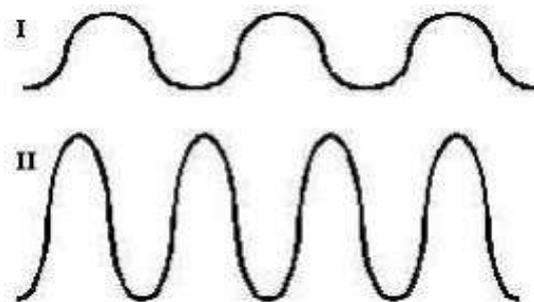


- a) $f = 0,6\text{Hz}$, $A = 60\text{cm}$, $T = 6\text{s}$
- b) $f = 0,3\text{Hz}$, $A = 0,6\text{m}$, $T = 2\text{s}$
- c) $f = 0,3\text{Hz}$, $A = 0,6\text{m}$, $T = 3\text{s}$
- d) $f = 0,6\text{Hz}$, $A = 120\text{cm}$, $T = 14\text{s}$

2. Em um abalo sísmológico registrado no Recôncavo Baiano em 1915, o período da onda gerada e propagada através das rochas foi de $\frac{1}{100}$ segundos. A frequência correspondente da onda foi de:

- a) 0,01 Hz
- b) 1 Hz
- c) 10 Hz
- d) 100 Hz

3. (UFMG-95) Essa figura mostra parte de duas ondas, I e II, que se propagam na superfície da água de dois reservatórios idênticos. Com base nessa figura é correto afirmar que:



- a) A frequência da onda I é menor do que a da onda II, e o comprimento de onda de I é maior do que o de II.
- b) As duas ondas têm a mesma amplitude, mas a frequência da onda I é menor do que a da onda II.
- c) As duas ondas têm a mesma frequência, e o comprimento de onda é maior na onda I do que na onda II.
- d) Os valores da amplitude e do comprimento de onda são maiores na onda I do que na onda II.
- e) Os valores da frequência e do comprimento de onda são maiores na onda I do que na onda II.

1.5 NATUREZA DAS ONDAS

Há dois aspectos fundamentais das ondas que as diferenciam em relação às suas manifestações aparentemente excludentes, isto é, pelas suas essências, às vezes, o que acontece em um modelo de onda parece não ocorrer no outro e vice-versa, demonstrando que são de naturezas diferentes. Estes modelos tipificam as ondas quanto à sua natureza, sendo que toda onda será de natureza *mecânica* ou de natureza *eletromagnética*.

1.5.1 Ondas mecânicas

São ondas somente observadas quando há um meio material de propagação, isto é, essas ondas dependem de um meio físico como o ar ou líquidos ou sólidos nos quais transportam energia cinética e potencial de um ponto a outro. Isso explica porque certas ondas não são detectadas no vácuo. Exemplos de ondas mecânicas: pulsos gerados numa corda pela sua vibração, ondas sísmicas (terremotos), ondas do mar, ondas na superfície da água, o som.

1.5.2 Ondas eletromagnéticas

Define-se como o tipo de ondas que, na sua propagação, percorre os meios materiais e o vácuo. A luz é o exemplo mais imediato, mas devemos lembrar que a luz visível como chamamos é apenas parte da ampla faixa chamada de *espectro eletromagnético*, que inclui os raios X, raios ultravioleta, raios infravermelhos, microondas, ondas de rádio, etc., isto é, todas essas ondas invisíveis que viajam no ar através de antenas, por meio de satélites e smartphones.

Percebeu que um número grande de eventos do dia a dia envolve a utilização, emissão ou recepção de ondas eletromagnéticas? Das situações abaixo, relacione a presença predominante de ondas mecânicas, ondas eletromagnéticas ou ambas em cada uma delas, associando as duas colunas.

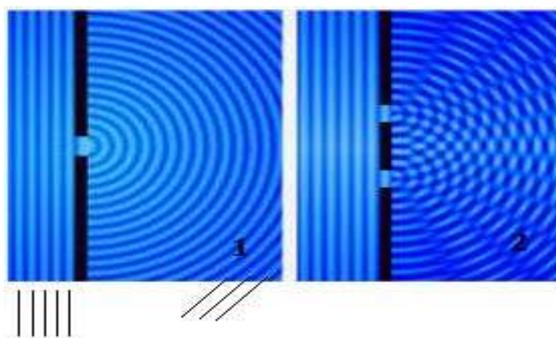
1. ONDAS MECÂNICAS
2. ONDAS ELETROMAGNÉTICAS
3. ONDAS MECÂNICAS E ELETROMAGNÉTICAS

- Controle remoto acionando mudança de canais.
- Tremor de terra na passagem de um caminhão.
- Transmissão de dados via tecnologia Bluetooth®
- Pulsos em uma corda.
- Guitarra em pleno solo de rock.
- Barulho dos motores de um avião na decolagem.
- Ouvir rádio FM.
- Ligação telefônica via smartphone.
- Ondulações na piscina.

1.6 FONTES E FRENTES DE ONDA

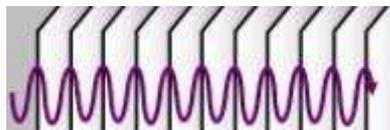
Voltando ao modelo da cuba de ondas, podemos notar que a distância entre cada dois pontos de máximo consecutivos (demarcados por uma reta na seção 1 da figura) equivale ao comprimento de onda λ . E nesse caso, ao menos visualmente, parece que essa distância é uma constante da onda, mesmo após ela ser recriada como se fosse uma nova fonte de onda na fenda do anteparo, porque parece que temos o mesmo intervalo após a fenda. A mesma distância se

aplica para os pontos de mínimo, permanecendo válido para o caso de duas fendas (seção 2 da figura).

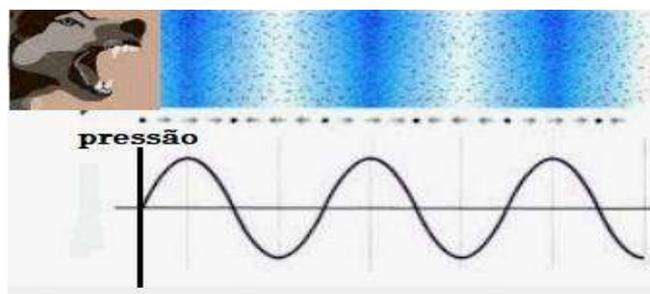


A largura λ entre as linhas de máximo equivale ao comprimento de onda.

Portanto, denominamos frentes de onda ou superfície de onda ao conjunto físico dos pulsos de uma onda que preenchem uma região do espaço, tendo como origem a fonte desses pulsos. Assim, no caso de uma onda através da superfície plana da água, temos uma frente de onda ao longo da própria superfície com a seguinte concepção de perfil, onde agora fica seguramente mais claro o comprimento de onda:



No caso das ondas sonoras ocorre uma interação com as moléculas do ar, que são comprimidas numa porção do espaço ao pressionar as moléculas à sua frente e serem pressionadas pela nova frente de moléculas que ganharam energia, fazendo com que haja um ponto de máxima e um ponto de mínima compressão intercalados espacialmente. A concepção física dessas zonas de máxima e mínima compressão que formam a frente de ondas sonoras é ilustrada a seguir. Atente para a representação gráfica das regiões de maior compressões se repetirem periodicamente, valendo também para as regiões de maior rarefação do ar.



Valem duas observações úteis:

1) Essas frentes de onda com as zonas rarefeita e comprimida se formam em todas as direções, mostrando que a frente de onda do som tem uma simetria esférica a partir da fonte (no caso o nosso cão);

2) Retirando essas moléculas, fica claro que nenhuma frente de onda se formaria, permitindo afirmar que o som não se propaga no vácuo, bem como todas ondas mecânicas.

Como nosso foco é entender melhor as ondas sonoras, daqui por diante estaremos mencionando as ondas eletromagnéticas quando for relevante para comparação e melhor entendimento do som. Veremos algumas características do som em breve.

Encontro nº 2

ONDAS SONORAS – ASPECTOS GERAIS

2.1 O que devo saber ao término dessa aula?

- ✓ Reforçar o conceito de frequência e comprimento de onda ligando-os ao conceito de altura e às notas musicais por meio de recursos sonoros;
- ✓ Conceituar velocidade da onda e timbre.

2.2 Introdução – Você sabia?

Você sabia que algumas coisas acontecem com o som que parece contrariar as expectativas do cientificamente esperado? A questão aqui diz respeito à linguística, já que no cotidiano usamos palavras que nos servem muito bem para entender o que o outro quer dizer, mas essas mesmas palavras estão deslocadas do conceito físico quando se trata de ondas. Vamos a elas.

2.2.1 O volume do som não é a mesma coisa que altura!

Isso mesmo, volume não tem nada a ver com altura. No dia a dia até que utilizamos esses termos como sinônimos, mas na linguagem científica que estamos aperfeiçoando eles significam diferentes conceitos. O volume está associado à intensidade sonora, que por sua vez mede a energia recebida, por área, de uma fonte sonora, por unidade de tempo. Portanto volume alto, medido em decibéis, ameaça seus ouvidos realmente.

Já a altura faz referência à frequência de um som, onde quanto maior a frequência maior será a altura, sendo o contrário também verdade. Nessa escala, aumentando a altura, alcançamos sons cada vez mais agudos.

Do mesmo modo, diminuindo a altura, o resultado serão sons cada vez mais graves, na linguagem popular “mais grosso será o som”.

REFLITA: Busque ouvir os sons emitidos pelos elementos abaixo e, usando a intuição, tente colocá-los em ordem crescente de altura, isto é, do mais grave para o mais agudo.



Sua sequência 1 _____

Sua sequência 2 _____

Justificativa _____

Faça a sequência 2 somente após dialogar com os colegas e se julgar necessário como alternativa à sequência 1.

2.2.2 Não conseguimos ouvir sons muito altos!

É verdade que não ouvimos todos os sons produzidos, ou seja, todas as alturas possíveis. Nossos ouvidos podem detectar apenas sons do intervalo de cerca de 20Hz a 20000Hz (ou 20kHz); abaixo de 20Hz, no infrassom, e acima de 20kHz, na faixa conhecida como ultrassom, não conseguimos ouvir. Sons muito altos, portanto, são sons de alta frequência ou os sons mais agudos, e não tem a ver com o volume do som, como poderia se supor por motivos puramente linguísticos.

Observe o espectro dos sons conforme a altura e a característica da sonoridade:



REFLITA: Em um ensaio musical com instrumentistas, uma cantora interrompe seus músicos durante uma música e diz que “*a tonalidade está muito alta!*”. Nesse caso, ela espera que os músicos adaptem a tonalidade ao conforto de sua voz, providenciando:

() a diminuição da altura do centro tonal.

() a mudança na frequência do centro tonal, situando-o talvez uma oitava abaixo.

Justificativa _____

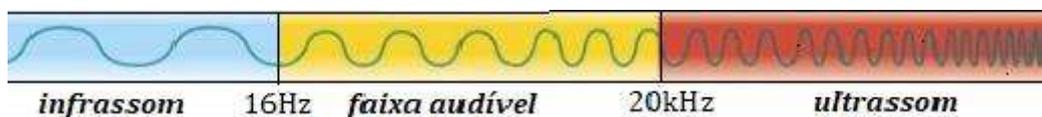
2.2.2.1 Velocidade de uma onda dados sua frequência e seu comprimento de onda

$$\text{velocidade} = \text{comprimento de onda} \times \text{frequência}$$

ou, equivalentemente,

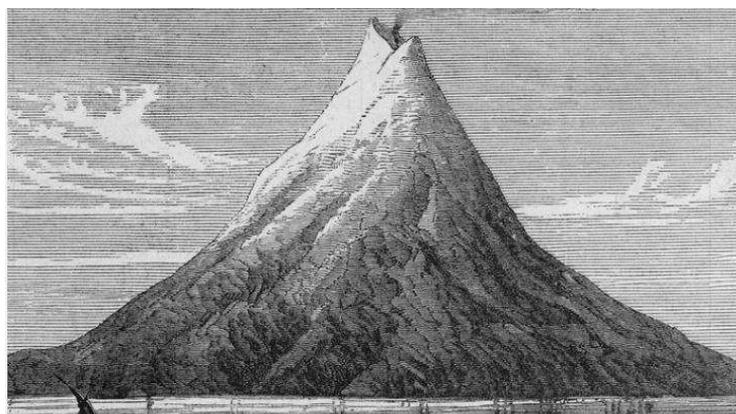
$$v = \lambda \cdot f$$

Observe que a frequência é inversamente proporcional ao comprimento de onda, ou seja, quanto maior a frequência de uma onda tanto menor será seu respectivo comprimento de onda. Nisto reside o fato de que, se a velocidade da onda é constante em um certo meio, então o produto entre ambos é constante. Também podemos afirmar com isso que a frequência é característica da fonte e não do meio. Podemos ilustrar essa relação geral como se segue.



REFLITA: A notícia a seguir traz uma revelação surpreendente. Identifique e justifique o(s) conceito(s) físico(s) utilizado(s) erroneamente na matéria jornalística.

Qual o som mais alto já emitido na Terra?



O som mais alto já ouvido pelo ser humano veio da Indonésia. Lá, em 1883 uma montanha, o Krakatoa, explodiu como se não houvesse amanhã. Dele, uma onda gigante varreu o litoral e o som perfurou o tímpano de quem estava por perto.

Século XIX, mais precisamente em agosto de 1883. O país? A atual Indonésia. Normalmente já castigada por fazer parte do Círculo de Fogo do Pacífico, o país é vulcânico. E muito na verdade. Aquela área do Sudeste Asiático é considerada o berço dos vulcões. Dentro deste grupo, o Krakatoa não parecia ser grandes coisas. Tinha 882 metros o pico da ilha onde se encontrava. Mas o problema era a sua caldeira de magma, com impressionantes 16 km de diâmetro. Naquela época, ninguém estava preparado com sismógrafos e tudo mais. Nem a Indonésia era Indonésia, e sim Índias Orientais Holandesas.

A erupção do Krakatoa foi de grandes proporções. Sua duração foi de vinte e duas horas, com um saldo de 36 mil mortos. O som de sua explosão é considerado o mais forte já visto pela raça humana. Quem estava em um raio de 65 quilômetros teve os tímpanos perfurados. O som viajou pela atmosfera e pessoas se assustaram na Ilha Rodrigues, a 5000 quilômetros. Filipinas, Índia, Austrália e outras nações escutaram a grande explosão também. Para efeitos de comparação, é como se o Krakatoa estourasse no Oiapoque, e fosse ouvido no Arroio Chuí, cruzando todo o Brasil no sentido Norte-Sul.

Conceito(s) identificado(s) _____
Justificativa _____

2.2.3 O som é mais rápido nos sólidos do que no ar!

Verdade, ao percorrer os sólidos o som viaja mais rápido do que nos líquidos e no ar. Isso ocorre porque o som é uma onda mecânica e exatamente por isso depende de um meio material para se propagar. E nos líquidos as moléculas estão mais próximas do que nos gases, tornando mais eficiente a transferência da energia cinética intermolecular. Se pensarmos nos sólidos, as moléculas ou átomos estão mais próximos ainda, tornando essa transferência de energia entre moléculas mais rápida e eficiente. Vide modelo dos três estados físicos a seguir, a partir das disposições de suas moléculas.



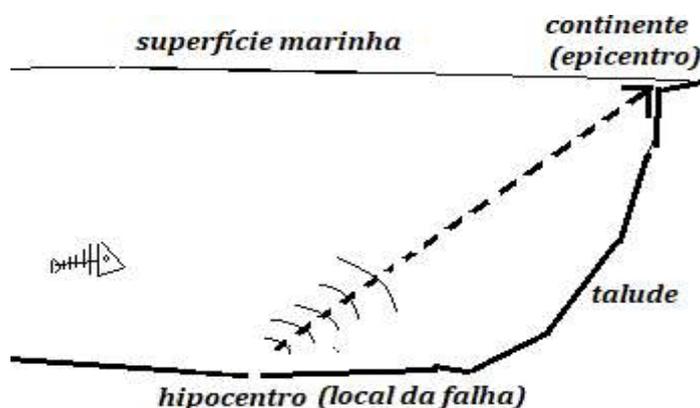
Assim, por ordem, a maior velocidade do som está na propagação nos sólidos, depois nos líquidos e, por último, nos gases.

MATERIAL	VELOCIDADE DO SOM (S.I.)	VELOCIDADE DO SOM (Brasil)
<i>Dióxido de carbono</i>	250 m/s	900 km/h
<i>Ar (20 ° C)</i>	344 m/s	1239 km/h
<i>Água</i>	1480 m/s	5328 km/h
<i>Água do mar</i>	1522 m/s	5479 km/h

<i>Alumínio</i>	4420 m/s	15912 km/h
<i>Aço</i>	6000 m/s	21600 km/h

Com isso, é de se refletir que se o ar também muda suas características diariamente, conforme temperatura e umidade do ar, a velocidade do som no ar pode sofrer variações devido a essas interferências climáticas.

REFLITA: Olhando a tabela acima, considere que no assoalho do oceano, em certa falha geológica, ocorra uma acomodação tectônica a 1000km em linha reta com o continente através da água, gerando ondas mecânicas de frequências infrasônicas que se propagam em todas as direções.



Conforme ilustração, o local da falha é o hipocentro, onde surgem as ondas sísmicas; o epicentro está no continente, local a 1000 km onde o sismo é percebido inicialmente; já o talude é a curvatura ascendente em direção à praia, normalmente sedimentar. Na sua visão, nessas condições, o som chega primeiro ao continente viajando através da lâmina d'água ou das rochas?

Justificativa _____

2.3 VELOCIDADE DE UMA ONDA SONORA

A propagação do som nos meios materiais se dá de uma maneira peculiar: ocorre o movimento das partículas do meio. Suponha a propagação em um certo meio. Diante de uma perturbação originada nesse meio, decorre um certo tempo para a onda atingir pontos adjacentes. A forma e o tempo como se dará essa propagação da onda sonora dependerão basicamente da elasticidade e da densidade do meio, que por sua vez dependem diretamente da temperatura. A forma geral da velocidade de propagação da onda sonora em um meio material qualquer é

$$velocidade\ do\ som = \sqrt{\frac{coeficiente\ de\ elasticidade\ do\ meio}{coeficiente\ de\ inércia\ do\ meio}}$$

Onde a elasticidade faz surgir forças restauradoras e o coeficiente de inércia do meio equivale à sua densidade ρ , dizendo como o meio reage àquelas forças restauradoras.

2.3.1 Velocidade do som no ar

A formulação adaptada para a propagação do som nos gases ideais obedece à equação anterior.

$$v = \sqrt{\frac{Y}{\rho}}$$

$$v = \sqrt{\frac{YRT}{M}}$$

Para o caso do ar seco com temperatura 0°C ou $273,15\text{K}$, o valor de Y é 1,4; R já deve ser conhecido do estudo dos gases ideais $R = 8,314\text{ J}\cdot\text{mol}^{-1}\text{K}^{-1}$ enquanto $M = 2,88\cdot 10^{-2}\text{kg}\cdot\text{mol}^{-1}$.

$$v = \sqrt{\frac{1,4 \times 8,31 \times 273,15}{0,0288}}$$

Justifica lembrar que o fato de no ar os valores de Y, R, M serem constantes, vale deixar tudo em função da temperatura T :

$$v = 20,1\sqrt{T}$$

Isto é, imagine num dia de inverno extremo na região serrana capixaba a 0°C :

$T = 0^{\circ}\text{Celsius} = 273,15\text{K}$, então fica $v = 20,1\sqrt{273,15} = 332,2\text{ m/s}$ ou $1195,9\text{ km/h}$.

Agora, considere uma madrugada de inverno em São Mateus a 20°C . Teríamos, então:

$T = 20^{\circ}\text{Celsius} = 293,15\text{K}$, fica $v = 20,1\sqrt{293,15} = 344,1\text{ m/s}$ ou $1238,8\text{ km/h}$.

O que nos permite pontuar que em locais onde o ar tem temperaturas diferentes as velocidades de propagação do som são também diferentes.

A velocidade do som em local de maior temperatura é maior do que quando a temperatura cai.

2.3.2 Velocidade do som em uma corda

Considerando o princípio geral da velocidade do som em qualquer meio material e que em uma corda a densidade é considerada linear, a velocidade do som em uma corda leva em conta a tração sobre a corda e a densidade linear da corda, como a seguir.

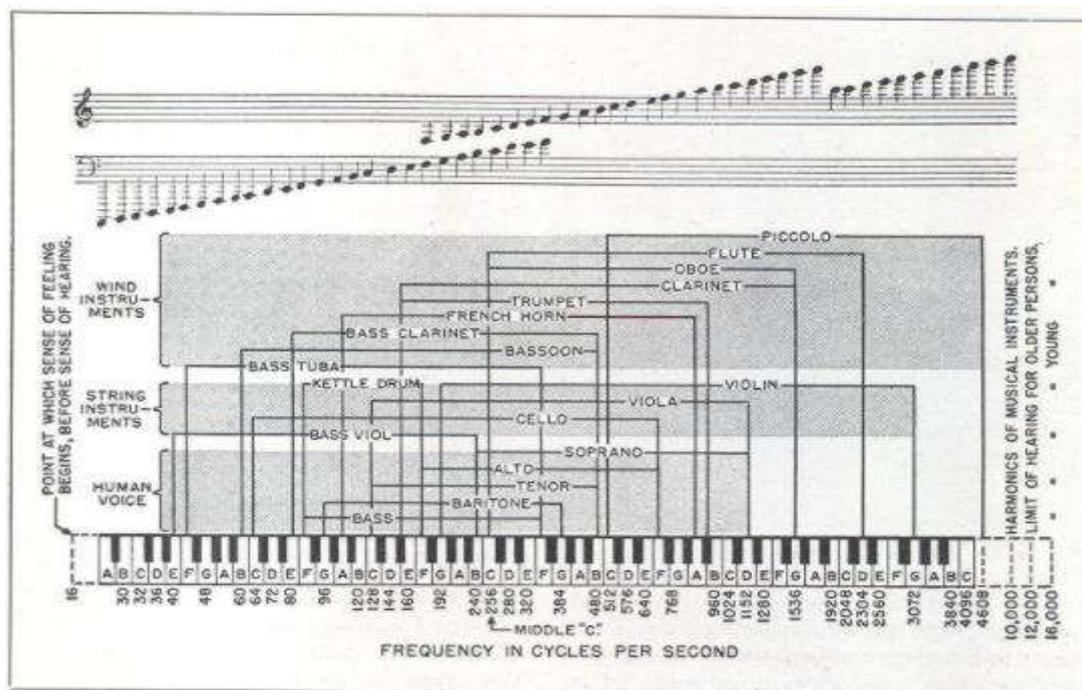
$$v = \sqrt{\frac{T}{\mu}}$$

Sendo que μ é a densidade linear da corda.

2.4 Física e as notas musicais

O conhecimento proporcionado pelas pesquisas em Física trouxe na área musical uma série de avanços nos princípios construtivos e de concepção do funcionamento dos instrumentos musicais. Para citar alguns apenas, Chandrasekhara V. Raman, prêmio Nobel de Física de 1930, estudou a estrutura harmônica dos instrumentos musicais presentes na Índia naquela época, além de trabalhar teorias que explicavam como o arco de um violino gerava as vibrações nas cordas por meio da fricção e qual era o padrão dessas vibrações. Também Frederick Saunders analisou a amplitude e as frequências dos harmônicos produzidos por instrumentos acústicos. O fato é que hoje sabemos que todos os sons emitidos por todos os instrumentos desenvolvidos pelo homem têm uma qualidade física que os identificarão como únicos, e essa qualidade é conhecida como frequência. E na concepção da escala temperada foram sequenciadas 12 notas por oitava, fazendo com que a 13ª nota tenha o dobro da frequência da 1ª, a 14ª nota tenha o dobro da 2ª, e assim sucessivamente, fazendo com que tenhamos ciclos com as mesmas notas, porém uma, duas ou três oitavas acima, ou seja, com o dobro ou o triplo das frequências originais – mais altas, portanto.

Assim, cada nota musical tem uma frequência única associada. Vide na tabela os nomes das notas e alcance dos instrumentos de uma orquestra.



Esses nomes das notas musicais são abreviados por letras do alfabeto, a partir do A até o G; em outros termos, de lá a sol, onde retornaria ao lá, fechando o que classificamos como intervalo de oitava. Assim: A-lá, B-si, C-dó, D-ré, E-mi, F-fá, G-sol são os nomes e simbologias das notas musicais. Além dos intervalos de 8^a, temos intervalos menores: por exemplo, a partir do C central (256 Hz) na figura, a tecla preta a seguir é o dó sustenido (C#) porque subimos meio intervalo (ou meio tom); este seria um intervalo de 2^a denominado menor por ser apenas meio tom; se de dó central subimos um intervalo e chegamos em ré, então o intervalo é chamado 2^a maior porque o intervalo foi completo de dois intervalos, e assim por diante.

2.4 Falando mais sobre o som

De todas as formas de interagir, dos seres humanos ou dos animais, a onda sonora é a base do modo mais completo padrão de comunicação que existe e ela, a onda, se comporta como um fenômeno periódico, isto é, um fenômeno que tem um padrão de repetição, tal como os dias e as noites ou as estações do ano ou, ainda, o ciclo dos cometas que vão e voltam em suas trajetórias. Essa periodicidade do som é como uma 'impressão digital' das vibrações no meio material em que as ondas se propagam; ao curtirmos uma música na sala de casa, o meio em questão é o próprio ar, mas se considerarmos o exemplo de um astronauta tocando sua harpa no espaço sideral, o meio seria o vácuo, onde não teríamos propagação das vibrações produzidas nas cordas da harpa, fazendo com que sua 'música' não seja detectada por outro astronauta presente.

Uma onda não transporta matéria, mas tão somente energia; trocando em miúdos, ao se propagar, as ondas em geral só carregam energia e não empurram os objetos em seu caminho. Ainda não presenciamos pessoas ou mesmo bolinhas de isopor serem ‘varridas’ pelo som de potentes alto-falantes numa casa de espetáculos ou mesmo em frente aos “paredões de som”, muito comum no extremo norte do ES e sul da Bahia.

Para começar a compreender o som e sua maneira de propagar, usemos como exemplo uma única nota produzida ao pressionar uma tecla qualquer de um piano em uma sala. Talvez seja novidade para você, mas o que vibra nesse caso é a corda correspondente do piano, sim o piano é um instrumento de corda! A energia da vibração da corda é então absorvida pelas moléculas de ar que a circundam: o resultado disso é que essas moléculas do ar passam a vibrar também. Logo as moléculas vizinhas a elas vibrarão também, que repetirão o processo às suas respectivas vizinhas, e assim sucessivamente, até que as vibrações cheguem até nossos ouvidos e sejam reconhecidos como a nota produzida pela tecla do piano.

Repare que essas vibrações ocorrerão em todas as direções, homogeneamente, não havendo motivo para ser diferente, a não ser que numa direção tivéssemos moléculas de ar e em outra direção estivesse absolutamente vazio delas. Por isso dizemos que a onda sonora é uma onda esférica.

HORA DE EXERCITAR OS CONCEITOS ESTUDADOS

1. (FURG) As seguintes afirmações estão relacionadas às ondas eletromagnéticas.
 - I. A luz é uma onda transversal.
 - II. A velocidade da luz no vácuo é diferente para cada cor.
 - III. A radiação infravermelha corresponde a um comprimento de onda menor do que o da cor vermelha. Quais estão corretas?
 - a) Apenas I
 - b) Apenas II
 - c) Apenas I e II
 - d) Apenas II e III
 - e) Todas
2. Durante uma apresentação musical, três instrumentos musicais diferentes tocavam a mesma nota. João estava na plateia, sentado na primeira fileira. Mesmo que os instrumentos estivessem tocando a mesma nota, com a mesma intensidade, ele pôde discernir cada um dos três. Qual é a propriedade do som que permitiu com que João fizesse a diferenciação das fontes sonoras?
 - a) Intensidade

- b) Volume
- c) Frequência
- d) Timbre
- e) Altura

3. Sobre uma corda vibrante de 2 m de comprimento é formada uma onda estacionária correspondente ao primeiro harmônico (frequência fundamental). O comprimento de onda dessa oscilação tem módulo igual a:

- a) 4,0 m;
- b) 2,0 m;
- c) 1,0 m;
- d) 0,5 m;
- e) 8,0 m.

Encontro nº 3

ONDAS SONORAS – ASPECTOS GERAIS

1. O que devo saber ao término dessa aula?

- ✓ Compreender a propagação de onda em uma corda; diferenciar propagação transversal da propagação longitudinal;
- ✓ Compreender o conceito de onda estacionária e os harmônicos de uma onda.
- ✓ Conceituar timbre.

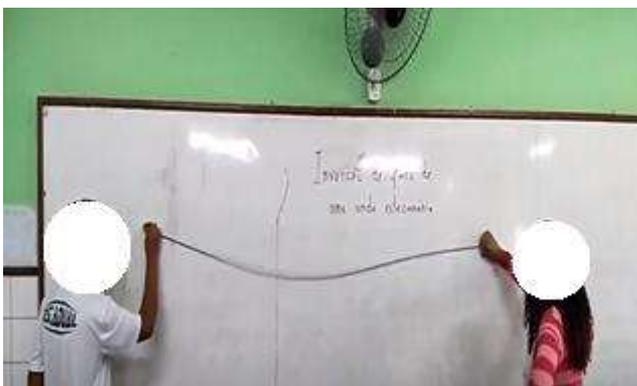
3.1 Introdução – Ondas em uma corda

Todos nós de alguma forma sabemos que os instrumentos de corda estão presentes no nosso cotidiano, seja através das músicas que escutamos ou seja pelo contato direto ou indireto com instrumentos como violão, cavaquinho ou, como já dissemos, o piano, que é um instrumento que tem cordas percutidas para originar seu som. Vamos analisar como se formam as ondas em uma corda neste tópico.

3.1 Observando e questionando os pulsos em uma corda

Como uma onda se comporta ao se propagar numa corda? Vemos abaixo os alunos se dando ao trabalho de gerar pulsos numa corda para compreender os fenômenos físicos presentes. Porém, as dificuldades de controle são enormes e buscamos auxílio em um simulador virtual que relaciona com mais precisão as grandezas frequência e comprimento de onda, por exemplo. Notaremos que apenas uma das extremidades sofre uma oscilação vertical, enquanto a outra se mantém fixa.

Os alunos tentam gerar uma ondulação controlada na corda. No entanto, para efeito de descobrir propriedades presentes na corda, o observador fica sem muitas respostas.



Numa primeira análise das perguntas que se seguem, que pretendem ser respondidas a partir da visualização e verificação prática dos pulsos em uma corda, provocados pelos alunos de forma empírica, é possível notar que não conseguiremos soluções convincentes dadas as dificuldades do

controle experimental. Para tanto, utilizaremos a seguir um simulador virtual.

OBSERVE E RESPONDA: Busque responder aos questionamentos 1 a 5 abaixo, que dependem de observação do experimento realizado com o auxílio de um simulador da plataforma Phet denominada *Wave on a string* (disponível em https://phet.colorado.edu/sims/html/wave-on-a-string/latest/wave-on-a-string_en.html):

Questão 1 Se observássemos um **único** ponto da corda, como seria seu movimento?

- para cima e para baixo
- da esquerda para a direita

Questão 2 Quando a oscilação atinge a extremidade fixa, como ela retorna?

- em fase (volta na mesma “mão” que chegou)
- fora de fase (volta na outra “mão” em relação à qual chegou)

Questão 3 Na sua percepção, se aumentar a amplitude de vibração da corda:

- a frequência da vibração aumenta
- a energia de vibração aumenta

Questão 4 Observando o movimento da corda, se aumentar a frequência:

- a amplitude da vibração aumenta
- o comprimento de onda diminui

Questão 5 Na sua opinião, qual a direção do movimento da onda? Em outras palavras, pra onde se propaga a onda?

- para cima e para baixo
- da esquerda para a direita

PONTO DE DISCUSSÃO: Do experimento visual, onde uma das extremidades da corda estava fixa e a outra foi pulsada na direção vertical, é possível amplificar e qualificar as ondas, conforme o ponto de vista, em *transversais* ou *longitudinais*, e também como *propagativas* ou *estacionárias*.

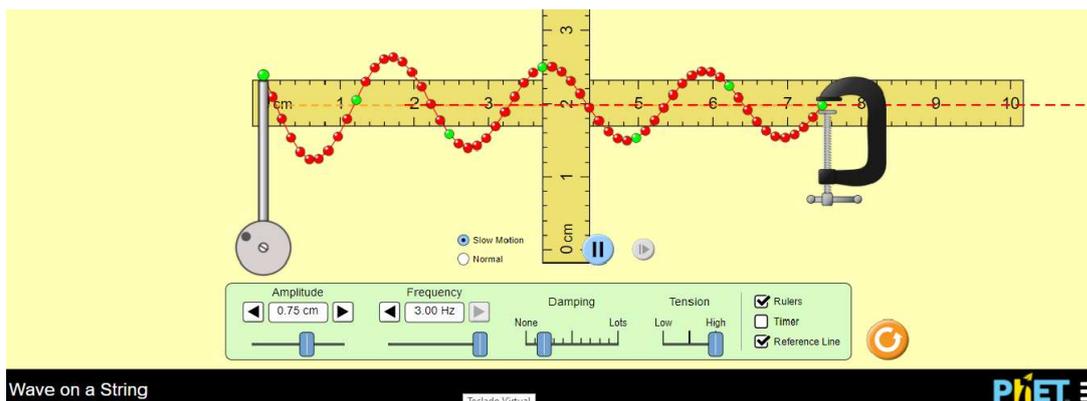
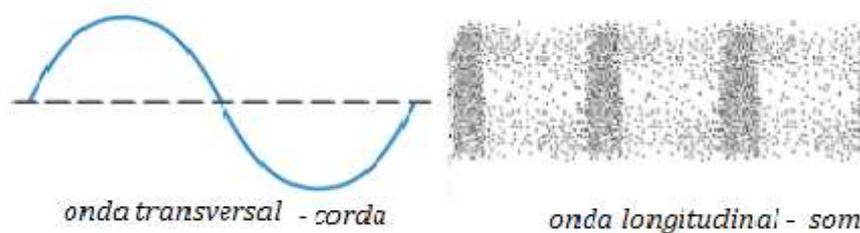


Ilustração - Simulação dos pulsos na corda com uma extremidade presa

3.2 Propagação transversal e propagação longitudinal

Como notado, a corda tem uma característica interessante que fica evidente quando somos instigados a ver: se nos basearmos em um ponto qualquer da corda oscilante, logo perceberemos que ele apenas se move na vertical, mais ou menos intensamente de acordo com a amplitude fornecida pela fonte (aqui é o oscilador em forma de disco). No entanto, os pulsos gerados se propagam na direção horizontal; a isso damos o nome de onda **transversal**. Isso reforça que quaisquer pontos da corda não se movem junto com os pulsos, como inicialmente seria de supor qualquer pessoa, mas eles têm um movimento independente e perpendicular à direção de propagação dos pulsos, direção essa que é horizontalizada no experimento.

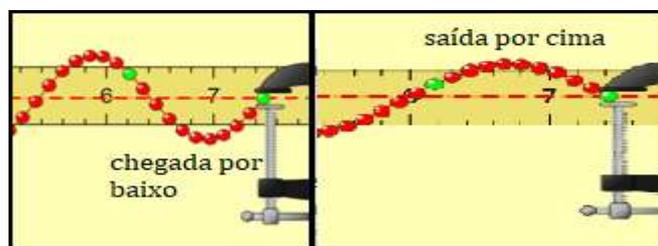
Recorrendo às ondas sonoras, vimos que ela ‘pulsa’ na mesma direção em que se propaga, por isso afirmamos que o som é uma onda **longitudinal**. Veja na ilustração



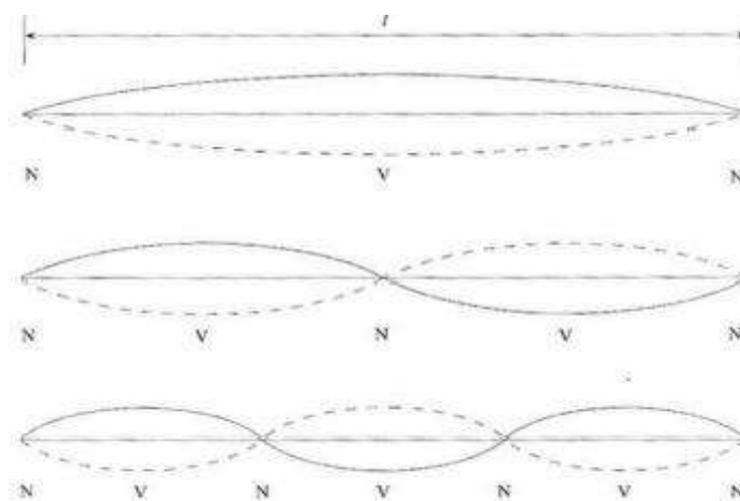
3.3 Ondas estacionárias

Podemos afirmar que todas as ondas são propagativas, isto é, a partir de uma fonte surgem zonas de máximos e mínimos ao longo do tempo e no espaço contíguo à fonte. No entanto, quando temos limitações de tamanho no sistema ondulatório, tais como a corda presa numa extremidade, surgem interferências principalmente devido às reflexões que decorrem da extremidade presa: basta observar que nessa extremidade a onda chega por um caminho e, após

reflexão, volta por outro caminho. Observe um recorte do simulador virtual em dois momentos, com o pulso incidente chegando à extremidade e com o pulso já refletido.



Dizemos que a onda refletida inverteu de fase, mantendo a mesma frequência, e o resultado que apreciamos da onda não é mais simplesmente uma pulsação simples, mas envolve a influência por superposição da onda que avança com a onda refletida. A essa onda complexa damos o nome de **onda estacionária**. Numa guitarra ou violão, por exemplo, que têm ambas as extremidades presas, nós temos a presença das ondas estacionárias. Nesses exemplos de instrumentos de corda, vislumbramos uma corda chamada de *ideal*, imaginada totalmente flexível (rigidez nula) e perfeitamente homogênea. Destacadas as condições propostas para simplificar como enxergamos os modos vibratórios, já que as cordas reais trazem dificuldades maiores de exploração, passemos a relacionar os primeiros modos vibratórios transversais de uma corda ideal ao comprimento da corda e ao comprimento de onda do som produzido.



Legenda: V, N, l são, respectivamente, ventre, nó e comprimento da corda.

De cima para baixo, na figura acima, temos:

1ª) na porção inteira l do comprimento da corda, temos a vibração sonora chamada de som fundamental, formado por apenas um ventre e cujo comprimento de onda é

$$\lambda_1 = 2 \cdot l$$

Se expandirmos o raciocínio e pensar num violão, observaremos que os nós são neste momento as extremidades da corda e que a extensão total da corda comporta apenas a “metade de uma onda” (meio comprimento de onda).

2ª) nota-se que temos uma onda ‘inteira’, formada por 2 ventres e que coincide com o tamanho da corda. Assim, o comprimento de onda para este que é denominado 2º harmônico é

$$\lambda_2 = l$$

3º) observamos que na extensão do comprimento l da corda, há 1,5 comprimento de onda, o que permite afirmar que o comprimento de onda no caso do 3º harmônico é

$$\lambda_3 = \frac{2}{3} \cdot l$$

Decorre que para n ventres, teremos $n + 1$ nós e o comprimento de onda λ será cada vez menor, o que satisfatoriamente corresponde ao fato da frequência aumentar na mesma proporção, em cada situação, restando:

$$\lambda_n = \frac{2}{n} \cdot l$$

Que permite calcular o comprimento de onda para cada harmônico.

3.4 Timbre

O timbre é o que diferencia dois sons de mesma altura, porém emitidos por fontes diferentes. Por exemplo, podemos emitir a nota Dó# (C#), 262 Hz, tanto no piano quanto no cavaquinho. O que diferencia os dois sons?

Se você tem um ouvido que reconhece esses instrumentos é porque eles fazem parte da sua cultura de alguma forma, então saberá na prática dizer “*este é o piano*” ou “*este é o cavaquinho*”, mesmo que não consiga explicar o porquê. No entanto, se trocarmos os dois instrumentos em questão, substituindo-os pela rabeca e pelo violino, respectivamente, emitindo ambos a mesma nota de antes, a não ser que você seja estudante de música e conheça muito bem os dois instrumentos, dificilmente terá sucesso em identificá-los.

Acontece que os sons emitidos não são ‘puros’, eles são uma mistura de várias subfrequências superpostas, às quais chamamos componentes. Ao som de menor frequência damos o nome de *frequência fundamental*, enquanto que os sons com frequências múltiplas e inteiras da fundamental denominamos harmônicos. Enquanto a fundamental determina a altura da nota que

ouvimos, no exemplo C (262 Hz), a variedade de componentes determinará a característica predominante do som de cada instrumento, isto é, o seu timbre.



HORA DE EXERCITAR OS CONCEITOS ESTUDADOS

1. Cada nota musical que compõe uma determinada escala possui uma frequência característica. A primeira nota da escala é chamada de tônica, e toda escala termina com a repetição da tônica, porém com uma frequência maior. Por exemplo, a escala de Dó maior é: dó, ré, mi, fá, sol, lá, si e dó. O segundo dó da escala possui uma frequência maior que o primeiro. Qual é a característica da onda sonora que diferencia a tônica do oitavo grau da escala?

- a) Timbre
- b) Intensidade
- c) Volume
- d) Nível de intensidade sonora
- e) Altura

Encontro nº 4

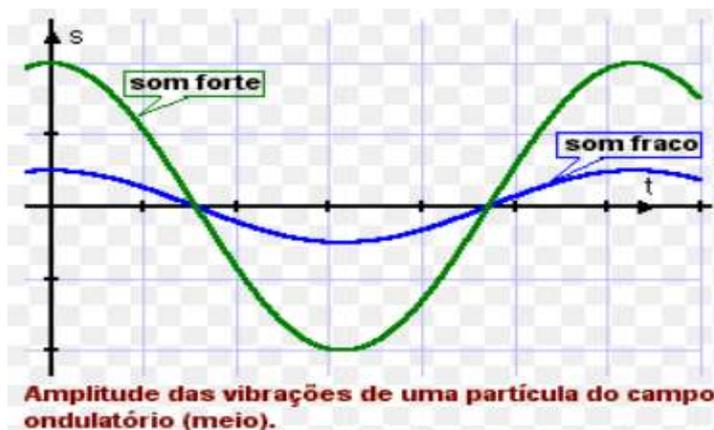
ONDAS SONORAS – ASPECTOS GERAIS

4. O que devo saber ao término dessa aula?

- ✓ Compreender o conceito de volume e intensidade sonora, ligando-os à amplitude da onda;
- ✓ Experimento de propagação do som em uma corda (telefone de barbante).

4.1 Introdução – Intensidade sonora e volume

Quando temos diante de nós uma onda senoidal, já sabemos reconhecer a amplitude, associando a ela a intensidade do sinal representado graficamente. Então chegou a hora de fazer essa associação de um modo mais sistemático, organizando as ideias.



Isto é, amplitude baixa equivale à resposta sonora fraca, enquanto o som forte está associado à amplitude maior.

4.1 Intensidade sonora e volume: dois novos conceitos

Sabemos que seguidas ondas em uma região do espaço transferem energia por unidade de tempo. Logo, fica mais conveniente medir a potência sonora (ou acústica) dessas ondas em Joule por segundo (J/s) ou simplesmente watt (W).

Como nosso ouvido é sensível a baixíssimas potências acústicas ou *watts acústicos*, fica claro que a uma distância de aproximadamente 3m, a potência máxima emitida por um trompete, por exemplo, seja de apenas 0,33 watts acústicos e uma orquestra produzindo um som *fortíssimo* a essa mesma distância não ultrapasse mais do que 70 watts acústicos. Se a menor sensibilidade de um som para o ouvido humano é para a potência emitida de 10^{-12} W, então aquele trompete e a orquestra estão sendo ensurdecedores ao ouvinte.

Daí o interesse em definir o nível de potência sonora L_w como sendo a potência total emitida pela fonte sonora.

$$L_w = 10 \cdot \log P/P_0$$

Sendo $P_0 = 10^{-12}$ W.

Em se tratando do receptor, definimos o nível de intensidade sonora como sendo o fluxo médio da energia por unidade de área perpendicular à direção de propagação. A referência padrão para a menor intensidade sonora audível como $I_0 = 10^{-12}$ W/m². Então,

$$L = 10 \cdot \log I/I_0$$

Sendo L dado em decibel (dB).

Pra ter uma noção do nível de intensidade sonora, um sussurro produz em torno de 20 dB enquanto um show de rock atinge 120 dB. Através do nível de intensidade sonora poderemos realmente considerar se a fonte é danosa ou não aos ouvidos humanos mediante exposição. Isso é objetividade, basta ter um decibelímetro aferido para saber se a poluição sonora está em níveis toleráveis ou não.

Por outra via, temos a palavra volume, bastante utilizada no dia a dia: você sabia que o volume é uma sensação fisiológica? Cada pessoa, em função de idade ou de exposição contínua a sons muito altos, por exemplo, pode ter uma sensação acerca de um ambiente. A frequência de 3500 Hz a 80 dB costuma soar muito mais forte do que a frequência de 120 Hz a 80 dB; há uma sensibilidade da maioria de nós na casa dos 3500 Hz.

Veja abaixo tabela com alguns das intensidades sonoras mais típicas.



PESQUISA:

A poluição sonora ocorre quando se ultrapassa o limite do confortável para o ouvido humano em um ambiente. Sobre os humanos, a poluição sonora tem efeitos negativos quando da exposição constante a ruídos exagerados. Invista na pesquisa sobre o que diz a Organização Mundial da Saúde (OMS) acerca dos danos ao corpo humano nas condições abaixo.

DANOS DOS RUÍDOS A PARTIR DE 65 DECIBÉIS:

DANOS DOS RUÍDOS A PARTIR DE 70 DECIBÉIS:

DANOS DOS RUÍDOS A PARTIR DE 140 DECIBÉIS:

LIMITE TOLERÁVEL DO SOM PARA QUE NÃO SURJAM EFEITOS ADVERSOS: _____

HORA DE EXERCITAR OS CONCEITOS ESTUDADOS

1. Uma fonte sonora emite sons de 10^{-6} W/m^2 . A intensidade desse som, na escala de decibels, é igual a:
 - a) 60 dB
 - b) 80 dB
 - c) 120 dB
 - d) 100 dB
 - e) 50 dB

Dados: $I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$

Encontro nº 5

ONDAS SONORAS – ASPECTOS GERAIS

5. O que devo saber ao término dessa aula?

- ✓ Aplicar o conceito de ondas com destaque às diferentes situações do cotidiano;
- ✓ Resolver exercícios dentre os conceitos sobre ondas sonoras abordados.

5.1 Introdução

Pretendemos neste momento dialogar com os conteúdos vistos, ao mesmo tempo em que mostramos outras aplicações das ondas sonoras. Por isso continue a caminhada para fazer valer realmente a pena ter chegado até aqui.

5.2 Aplicações das ondas sonoras – eco

O som se sujeita ao fenômeno ondulatório da reflexão. No eco podemos ver melhor esse efeito da reflexão. Suponha que você dê um breve grito num ambiente tipo um galpão. A depender do tamanho do galpão, depois de um curto intervalo de tempo, você poderá se ouvir novamente ou não. Isso acontece porque o som, ao se propagar, acaba encontrando uma parede ou anteparo onde sofre a reflexão, retornando em sua direção, fazendo-o ouvir o grito de novo.

Quais as condições para que ocorra o eco? Para que o ouvido perceba os dois sons (o incidente e o refletido) distintamente, o tempo de separação entre eles deve ser pelo menos um décimo de segundo. Se o galpão for pequeno, a reflexão ocorrerá normalmente, mas você não perceberá a onda refletida, isto é, não haverá eco para os seus ouvidos.

Com esse intervalo de tempo e considerando que o som se propaga com velocidade de 340 m/s, a distância mínima existente no galpão para se perceber o eco deverá ser de 17 m. Considerando sua distância x até a parede do galpão, que a distância percorrida pela onda sonora de ida e volta ($2.x$) e que a velocidade do som é constante:

Velocidade = distância/tempo

$$340 = 2.x/0,1$$

$$x = 17\text{m}$$

Isto é, há uma distância mínima para ocorrência e percepção do eco: 17m. Antes disso você não será capaz de detectar a onda refletida.

Os morcegos são animais de visão bastante curta e eles conseguem ‘ouvir’ os obstáculos e barreiras à sua frente por meio das reflexões dos ultrassons que emitem constantemente. Através

do tempo decorrido entre o som emitido e o refletido, os morcegos conseguem perceber a que distância se encontram de uma parede à sua frente.

5.3 Aplicações das ondas sonoras – intensidade sonora

Em certa cidade, a lei que regulamenta o nível de ruído permitido para boa convivência entre os moradores diz: “*A emissão de ruídos, sons e vibrações provenientes de fontes fixas no Município obedecerá aos seguintes níveis máximos fixados para suas respectivas emissões, medidas nos locais do suposto incômodo:*

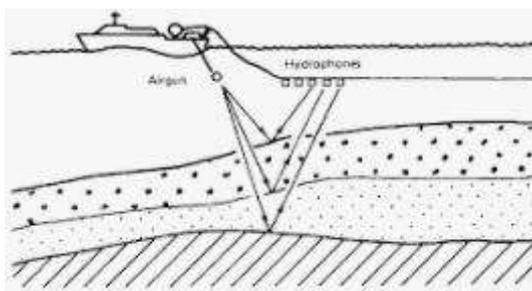
- *em período diurno (7 h às 19 h) : 70 dB;*
- *em período vespertino (19 h às 22 h) : 60 dB;*
- *em período noturno (22 h às 7 h) : 50 dB até às 23:59 h.*

Se numa comunidade do município ocorrem tiroteios frequentes nos becos e vielas, principalmente após as 22h, está ocorrendo violação à lei?

Basta consultar a tabela de intensidade sonoras e verificar que para disparos feitos próximo ocorre flagrante violação da lei do silêncio e que este é um problema social grave nas periferias das grandes cidades do Brasil.

5.4 Aplicações das ondas sonoras – sísmica por navios sonda

A atividade de levantamento sísmico constitui-se do uso de equipamentos e análises para que se possa identificar a existência de recursos minerais, água ou petróleo no subsolo.



Para isso são utilizados aparelhos específicos capazes de fazer uma espécie de “ultrassonografia” do subsolo. Para tanto, são usados equipamentos conhecidos como *airguns*, que produzem ondas sísmicas, as quais penetram o subsolo marinho, são refletidas de volta e captadas por receptores conhecidos como hidrofones — comumente posicionados próximos à superfície da água, presos por cabos e rebocados pelos navios sísmicos. Estes sinais são depois processados em computadores, resultando em imagens representativas das estruturas existentes na subsuperfície da Terra.

Após análise das imagens por profissionais especializados, é possível verificar se as rochas têm possibilidade de conter recursos minerais importantes, como reservatórios de petróleo e gás natural, por exemplo.

A pesquisa sísmica pode ser utilizada em diversas etapas da atividade de produção de petróleo e gás, seja para encontrar novas reservas, seja para avaliar a evolução da atividade e dos reservatórios que já estão em produção.

Por se tratar de um levantamento de dados, a sísmica é uma atividade de curta duração e não ocorre de forma continuada.

5.4 Aplicações das ondas sonoras – estimando a distância de um raio com o som do trovão

O barulho do trovão demora um tempo para chegar até nós, já que a velocidade da luz é bem maior do que a do som. Para saber mais ou menos a que distância um raio está de você, conte o tempo em segundos, do momento em que ver a luz do relâmpago até quando ouvir o som do trovão. Divida esse número por três e o resultado será aproximadamente a quantos quilômetros o raio caiu. É uma aproximação útil com o resultado em km.

HORA DE EXERCITAR OS CONCEITOS ESTUDADOS

1. Um navio possui uma sonda que funciona por meio da produção de ondas sonoras. Ao identificar um obstáculo submerso, o som gerado pela sonda gasta 8 s para ir e retornar até o objeto. Marque a opção que determina a distância entre o navio e o objeto no fundo do mar e explica por que a velocidade do som na água é maior que a velocidade do som no ar.

DADOS: Velocidade do som no ar = 340 m/s

Velocidade do som na água = 1430 m/s

- a) 5700 m; a velocidade do som na água é maior por conta da maior elasticidade da água quando comparada com o ar.
- b) 4500 m; a velocidade do som na água é maior por conta da menor elasticidade da água quando comparada com o ar.
- c) 5720 m; a velocidade do som na água é maior por conta da menor elasticidade da água quando comparada com o ar.
- d) 5720 m; a velocidade do som na água é maior por conta da maior elasticidade da água quando comparada com o ar.

2. A sirene de uma fábrica produz sons com frequência igual a $2\ 640\ \text{Hz}$. Determine o comprimento de onda do som produzido pela sirene em um dia cuja velocidade de propagação das ondas sonoras no ar seja igual a $1.188\ \text{km/h}$. A sirene de uma fábrica produz sons com frequência igual a $2\ 640\ \text{Hz}$.

Determine o comprimento de onda do som produzido pela sirene em um dia cuja velocidade de propagação das ondas sonoras no ar seja igual a $1.188\ \text{km/h}$.

3. (UFRJ/2011) Um brinquedo muito divertido é o telefone de latas. Ele é feito com duas latas abertas e um barbante que tem suas extremidades presas às bases das latas. Para utilizá-lo, é necessário que uma pessoa fale na “boca” de uma das latas e uma outra pessoa ponha seu ouvido na “boca” da outra lata, mantendo os fios esticados. Como no caso do telefone comum, também existe um comprimento de onda máximo em que o telefone de latas transmite bem a onda sonora.

Sabendo que para um certo telefone de latas o comprimento de onda máximo é $50\ \text{cm}$ e que a velocidade do som no ar é igual a $340\ \text{m/s}$, calcule a frequência mínima das ondas sonoras que são bem transmitidas pelo telefone.



4. Um estudante, fazendo um experimento no laboratório de sua escola, acoplou um gerador de áudio frequência a um alto-falante. Aumentando, então, a frequência do aparelho de $200\ \text{Hz}$ para $2800\ \text{Hz}$, ele notou que o som produzido pelo sistema ficou:

- a) menos intenso ou mais fraco;
- b) mais alto ou agudo;
- c) mais baixo ou grave;
- d) mais rico em harmônicos;
- e) mais dissonantes.

5. Dois diapasões A e B emitem sons puros de frequências 400Hz e 800Hz, respectivamente.

Aponte a alternativa correta:

- a) O som de A é mais agudo que o de B.
- b) O som de A é mais alto que o de B.
- c) O som de A é mais forte que o de B.
- d) O som de A está uma oitava acima do de B.
- e) O som de A está uma oitava abaixo do de B.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

FEYNMAN, R. P. *Lições de física de Feynman*, volume I. Porto Alegre: Bookman, 2008.

HENRIQUE, L. L. *Acústica musical*. Lisboa, Fundação Calouste Gulbenkian, 2002

HEWITT, P. G. *Física Conceitual*, Porto Alegre: Artmed Editora S.A., 11 ed., 2011.

KIEFER, N. I. S, PILATTI, L. A. Roteiro para a elaboração de uma aula significativa. *Revista Brasileira de Ensino ciência e Tecnologia*, v. 7, n. 1, p. 1-23, 2014. Disponível em: <file:///C:/Users/Heriedna/AppData/Local/Temp/1648-6363-1-PB.pdf>. Acesso em 24/01/2020.

Sites:

<http://www.portaldoprofessor.mec.gov.br/fichaTecnicaAula.html?aula=27035>. Acesso em 19/11/2019.

<https://www.super.abril.com.br/ciencia/esta-e-imagem-e-real/>. Acesso em 09/01/2020.

<https://images.app.goo.gl/GAYM9PhEthGJ7tuc6>. Acesso em 27/01/2020.

<https://images.app.goo.gl/kYQuMA8mqmV3atLy7> Acesso em 29/01/2020.

<https://images.app.goo.gl/G3gbFEiVgqyLGmox7> Acesso em 29/01/2020.

<https://moodle.ufsc.br/mod/book/view.php?id=504285&chapterid=2650> Acesso em 29/01/2020.

<https://images.app.goo.gl/PMF6ZDXqg6KHDJ3w9> Acesso em 29/07/2020.

<https://medprev.online/blog/frequencia-cardiaca.html> Acesso em 29/07/2020.

<https://www.historiadomundo.com.br/curiosidades/big-ben-origem-nome.htm> Acesso em 29/07/2020.

<https://images.app.goo.gl/majkRxs4aAgJSASx6> Acesso em 29/07/2020.

<https://www.mundovh.com/2018/12/o-som-mais-alto-do-mundo.html> Acesso em 29/07/2020.

https://phet.colorado.edu/sims/html/waves-intro/latest/waves-intro_en.html Acesso em 01/08/2020.

<http://www.if.ufrgs.br/tex/fis01043/20042/leonardo/6.html> Acesso em 01/08/2020.

<https://super.abril.com.br/blog/superlistas/9-coisas-que-voce-precisa-saber-sobre-raios/> Acesso em 01/08/2020.

APÊNDICE J – ALGUMAS SOLUÇÕES DEBATIDAS COM OS ALUNOS

Soluções das questões levantadas durante as aulas:

Encontro I - Levantamentos

<p>“-Uma onda não é assim [aluno gesticula uma figura senoidal [sic]]?”, durante apresentação do aplicativo virtual que mostra frentes de onda a partir de uma caixa de som (aluno Ryan)</p>
<p>É possível quebrar uma taça com a voz?</p>
<p>Da representação das frentes de onda, as partículas do ar são movimentadas para frente e para trás, conforme o modelo explicativo do aplicativo <i>Som</i> utilizado. Por que então afirmamos que as ondas não transportam matéria?</p>
<p>Por que um paredão de som (carro aparelhado com potentes caixas de som muito comum nos litorais norte do ES e sul da BA) aciona os alarmes dos demais veículos, quando ligado em alta intensidade?</p>
<p>No caso da caixa de som ligada em um ambiente vazio (vácuo), teria algum meio forçado de fazer a onda sonora chegar aos ouvidos do receptor?</p>

Encontro I – Soluções

“-Uma onda não é assim ...?”

Mostramos aos alunos por meio da reprodução do app “*Som*” versão 2.19 do Phet Colorado que a propagação das ondas sonoras, por exemplo, é esférica, isto é, viaja em todas as direções possíveis. No entanto, como representação matemática de uma onda, que tem por característica ser periódica, surge esse padrão senoidal que é descrito no Apêndice H.

É possível quebrar uma taça com a voz?

Definimos a *ressonância acústica* como o fenômeno onde uma fonte emite um som de frequência igual à frequência de vibração natural de um receptor e exibimos o vídeo onde uma taça é quebrada pelas vibrações sonoras de uma fonte (https://www.youtube.com/watch?v=qy1c5_vYTVo acesso em 12/01/19). Daí depreendemos que uma cantora de voz bastante potente ou um cantor de ópera (tenor, na classificação da tessitura mais aguda da voz masculina) alcançam facilmente a frequência de oscilação natural da taça. No entanto a taça não se quebra imediatamente quando exposta a esse estado de ressonância: ela vibrará cada vez mais e quebrará com mais sorte dependendo das microfissuras

internas existentes (defeitos possíveis durante a fabricação) da peça. Observamos juntos que nos exemplos que temos registro eram sempre utilizados amplificadores, o que mostra que o cantor deve ter uma voz extremamente potente para ter êxito.

Da representação das frentes de onda, as partículas do ar são movimentadas para frente e para trás, conforme o modelo explicativo do aplicativo ‘Som’ utilizado. Por que então afirmamos que as ondas não transportam matéria?

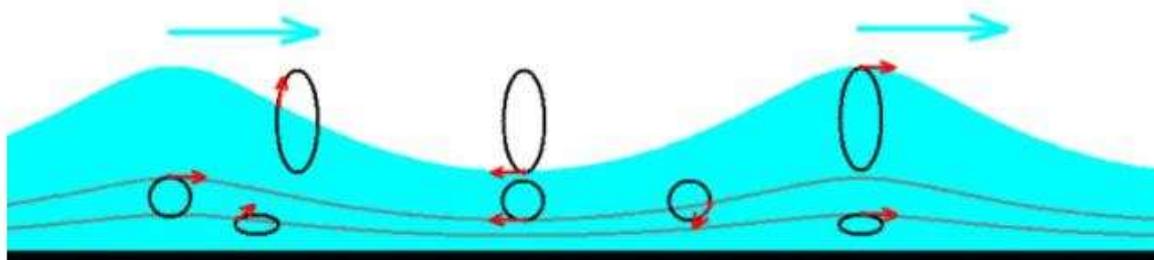
Usamos a definição inicial de que uma onda sonora no ar é resultado da vibração das moléculas do ar, salientando que uma vibração pressupõe o movimento para frente e para trás dessas moléculas. Considerada uma fonte sonora as moléculas ganham energia cinética, movendo-se para frente e colidindo com as demais moléculas que absorvem parte dessa energia e também movem-se para frente. Nesse processo, são formadas zonas de *compressão* (onde as partículas do ar estão mais próximas do que o normal) e zonas de *rarefação* (onde as partículas do ar estão mais longe do que o normal); isto é, as moléculas ganham energia cinética mas a transferem para suas vizinhas, fazendo com que no total desse processo as moléculas não sejam transportadas pela onda sonora formada mas apenas oscilem conforme a frequência da fonte sonora.



Abaixo a representação esférica das ondas sonoras com suas zonas de compressão e rarefação.



Porém, ao questionar a possibilidade de um corpo ser levado por ondas do mar, o aluno fez uma analogia que merece ser debatida. A flutuação de um corpo no mar, por exemplo, se dá pelas oscilações verticais e horizontais, isto é, sempre há uma oscilação na direção de propagação da onda. A seguir uma ilustração das trajetórias da água na zona de propagação das ondas; observe que as ondas estão se propagando para a direita.



Na média, um corpo flutuando na região posterior ao ponto de surf (onde as ondas arrebatam), sofre das forças que não o farão progredir junto com as ondas. Entretanto ele pode ser transportado pelas correntes marítimas ou ser empurrado pelos ventos. Isto mostra que a complexidade de forças presentes nas ondas do mar não encontra lugar na definição de onda enquanto entidade que transporta apenas energia.

Por que um paredão de som (carro aparelhado com potentes caixas de som muito comum nos litorais norte do ES e sul da BA) aciona os alarmes dos demais veículos, quando ligado em alta intensidade?

Explicamos aos alunos que durante a propagação do som no ar ocorre a transmissão de energia ao longo do meio de propagação. Assim, definimos a potência sonora como a energia sonora total irradiada por uma fonte de som por unidade de tempo, o que permite dizer que será gerada uma pressão sonora no ambiente. Como estamos falando de uma fonte de alta potência sonora, o resultado é que os carros estacionados nas ruas por onde passa o paredão de som, caso estejam equipados com os sensores de segurança (alarmes conhecidos como volumétricos), detectam a pressão sonora (vibrações no automóvel), disparando a sirene do dispositivo. Essencialmente nesse dispositivo temos dois sensores de ultrassom: um microfone – receptor – e um auto falante, que emite continuamente ondas sonoras inaudíveis (ultrassom) com o veículo travado; quaisquer desencontros entre a onda emitida e a onda captada pelo microfone são interpretados como possíveis ameaças físicas ao carro, como arrombamentos, e o módulo eletrônico ativa o alarme. Nossos alunos já conhecem bem esse fenômeno na prática por fazer parte da nossa realidade a presença desses carros de som de diversos portes, normalmente voltados para

competição. Citamos também o exemplo do meteoro visto nos céus da Rússia em 2013 e fizemos associações semelhantes com os paredões de som e os alarmes ativados dos carros.

No caso da caixa de som ligada em um ambiente vazio (vácuo), teria algum meio forçado de fazer a onda sonora chegar aos ouvidos do receptor?

Explicamos que o som é essencialmente produto das vibrações das moléculas do ar, inexistindo, portanto, no vácuo.

Encontro II - Levantamentos

QUESTÕES LEVANTADAS DURANTE A 2ª AULA

- *Professor, o que é ruído?* (aluna Fla)
- *Como a gente ouve um harmônico?* (aluno Jordan)
- *Como descobrir o comprimento de onda do som?*

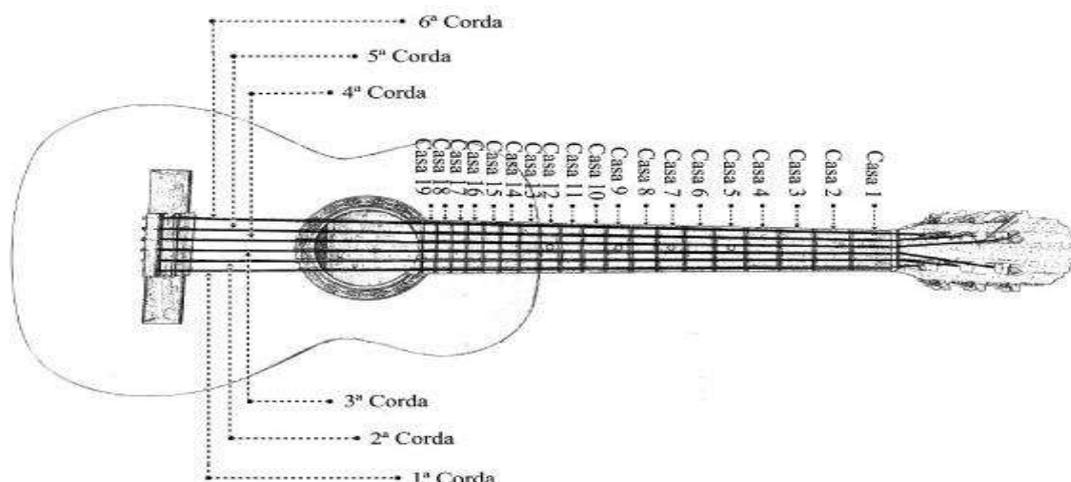
Encontro II – Soluções

Professor, o que é ruído?

Destacamos que ruído ou som fisicamente falando é a sensação produzida na nossa audição pelas ondas sonoras. Essas ondas são geradas a partir da vibração das moléculas do ar, vibração esta provocada por uma fonte sonora. Nossos ouvidos captam essa vibração segundo dois limites: a frequência (de 20 Hz a 20000 Hz) e o nível de intensidade sonora (de 0 a 120 dB, pois acima disso é altamente prejudicial). Nota-se logo que a geração e percepção do som ou ruído são dos mesmos tipos; porém, um som tem uma frequência bem definida enquanto o ruído é fruto de vários sons simultâneos cujas frequências não seguem um padrão de combinação preciso. Como exemplo, mesmo no silêncio de nossa casa à noite, há uma combinação de vários sons que, juntos, classificamos como ruído, gerados por: geladeira, ar condicionado, carros que passam nas ruas próximas, vento, animais latindo, etc.

Como a gente ouve um harmônico?

Demonstramos no violão que a metade de um corda escolhida qualquer está exatamente na 12ª casa. Ou seja, pressionar esta casa e tanger (tocar) a corda produz uma nota cuja frequência é o dobro da frequência da nota produzida com a corda solta.



As frequências f_n formam o espectro de vibração das cordas:

$$f_n = \frac{n}{2L} \sqrt{\frac{\tau}{\mu}}$$

Segundo a equação acima as frequências normais são múltiplos de uma frequência básica ($n=1$) ou 1º modo harmônico. Assim, na prática, com a corda solta na 12ª casa, apenas encostamos sem pressionar o dedo na corda e tangemos para ouvir um dos harmônicos, que será produzida nota com o dobro da frequência gerada na mesma casa pressionada. E isso vale para todas as cordas. Mostramos que podemos reduzir o tamanho da corda a qualquer tempo e manter o mesmo padrão de investigação para ouvir os vários harmônicos por meio de qualquer instrumento de corda. Se pensarmos em $\frac{1}{4}$ do tamanho da corda (metade da primeira metade) haverá produção de novo harmônico, e assim sucessivamente.

Como descobrir o comprimento de onda do som?

Mostramos que na relação $v = \lambda * f$ (velocidade = frequência x comprimento de onda) é importante que tenhamos a frequência do som, já que a velocidade do som no ar é em média 337 m/s a 25°C.

Assim para um som de 674 Hz:

$$337 = \lambda \cdot 674$$

$$\lambda = 337/674$$

$$\lambda = 0,5m$$

Encontro III - Levantamentos

- *Professor, e no violino é a mesma coisa?*, (aluno David), se referindo à corda presa na sua metade exata, emitindo a mesma nota

- *Como descobriram isso?* (aluna Mary, referindo-se à descoberta que as duas metades de uma corda presa pelo seu ponto médio vibram com à mesma altura)

Encontro III – Soluções

As dúvidas são pertinentes à da 2ª aula, com uma ressalva: a nota dá-se o mesmo nome em música, mas o som nessa condição tem o dobro da frequência da nota original. Como exemplo, no violino chamamos a 1ª corda de E (mi).

Bibliografia

SCHROCK, Karen. *Uma cantora de ópera pode quebrar uma taça com a voz?* Scientific American Brasil. Disponível em: <<https://sciam.com.br/uma-cantora-de-opera-pode-quebrar-uma-taca-com-a-voz/>>. Acesso em: 7 abr. 2020.

Mythbusters - Taça de Cristal - <<https://www.youtube.com/watch?v=4S8NmgO9TL0>> acesso em 15/01/2019

Phet Colorado Som <https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/sound> acesso em 15/01/2019

<http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1806-11172013000200027> acesso em 18/01/2019

Site www.if.ufrgs.br/~lang/ Acesso em 20/01/2019