



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO SUDOESTE DA BAHIA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS GRADUAÇÃO
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL NO ENSINO DE FÍSICA - MNPEF**

EDVAN SOUZA PEREIRA

**O QUE É O SOM? APLICAÇÃO DE UMA UEPS NA ABORDAGEM DE
ENSINO DAS ONDAS MECÂNICAS NO 9º ANO DO ENSINO
FUNDAMENTAL**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

VITÓRIA DA CONQUISTA – BA

Julho de 2024

EDVAN SOUZA PEREIRA

**O QUE É O SOM? APLICAÇÃO DE UMA UEPS NA ABORDAGEM DE
ENSINO DAS ONDAS MECÂNICAS NO 9º ANO DO ENSINO
FUNDAMENTAL**

Dissertação de Mestrado apresentada ao programa de Pós-Graduação (PPG) da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB) no curso de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física. O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

Orientador: Prof. Dr. Luizdarcy Matos Castro
Coorientador: Prof. Dr. Carlos Takiya

VITÓRIA DA CONQUISTA – BA

Julho de 2024

P49q

Pereira, Edvan Souza.

O que é o som? Aplicação de uma UEPS na abordagem de ensino das ondas mecânicas no 9º ano do ensino fundamental. / Edvan Souza Pereira, 2024.

171f.; il. color.

Orientador (a): Dr. Luizdarcy de Matos Castro.

Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Programa de Pós-graduação do Curso de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física – MNPEF, Vitória da Conquista, 2024.

Inclui referência F. 116 - 117.

Contem produto educacional.

1. Ensino fundamental. 2. Aprendizagem significativa. 3. Ondas mecânicas. 4. Estudo do som. I. Castro, Luizdarcy de Matos. II. Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física-MNPEF. III. T.

CDD 530.07



UNIVERSIDADE ESTADUAL DO SUDOESTE DA BAHIA - UESB
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO - PPG
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL
EM ENSINO DE FÍSICA - MNPEF
Área de concentração: Ensino de Física



O QUE É O SOM? APLICAÇÃO DE UMA UEPS NA ABORDAGEM DE ENSINO DAS ONDAS MECÂNICAS NO 9º ANO DO ENSINO FUNDAMENTAL

AUTOR: EDVAN SOUZA PEREIRA

DATA DE APROVAÇÃO: 20 DE SETEMBRO DE 2024

Este exemplar corresponde à versão final da Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, em convênio com a Sociedade Brasileira de Física – SBF, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Ensino de Física. O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

Área de concentração: Ensino de Física.

COMISSÃO JULGADORA

Documento assinado digitalmente



LUIZ DARCY DE MATOS CASTRO
Data: 20/09/2024 15:39:52-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

PROF. DR. LUIZ DARCY DE MATOS CASTRO
PRESIDENTE DA BANCA EXAMINADORA/ORIENTADOR

Documento assinado digitalmente



JORGE ANDERSON PAIVA RAMOS
Data: 21/09/2024 09:02:46-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

PROF. DR. JORGE ANDERSON PAIVA RAMOS
EXAMINADOR INTERNO

Documento assinado digitalmente



MARIA SOCORRO SEIXAS PEREIRA
Data: 20/09/2024 19:45:24-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

PROFA. DRA. MARIA SOCORRO SEIXAS PEREIRA
EXAMINADORA EXTERNA

Documento assinado digitalmente



PEDRO SILVA CORREIA
Data: 20/09/2024 20:35:19-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

PROF. DR. PEDRO SILVA CORREIA
EXAMINADOR EXTERNO

2024

Programa de Pós-Graduação Mestrado Profissional em Ensino de Física - MNPEF
Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia - UESB
Estrada do Bem Querer Km, 04, Vitória da Conquista - BA
CEP: 45031-300





UNIVERSIDADE ESTADUAL DO SUDOESTE DA BAHIA - UESB
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO - PPG
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL
EM ENSINO DE FÍSICA - MNPEF
Área de concentração: Ensino de Física



ATA DE BANCA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Aos vinte dias do mês de setembro de 2024, às 9h00, via videoconferência, pela plataforma *GoogleMeet*, instalou-se a Banca Examinadora para avaliação da dissertação intitulada *"O que é o som? Aplicação de uma UEPS na abordagem de ensino das ondas mecânicas no 9º ano do ensino fundamental,"* de autoria de Edvan Souza Pereira, discente do Programa de Pós-Graduação Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), como requisito para obtenção do título de Mestre em Ensino de Física. A banca examinadora foi presidida pelo professor Dr. Luizdarcy de Matos Castro, orientador do mestrando e contou com a participação da professora Dra. Maria Socorro Seixas Pereira, do professor Dr. Pedro Silva Correia e do professor Dr. Jorge Anderson Paiva Ramos, na condição de examinadores; tendo sido APROVADA. Entretanto, para que o respectivo título possa ser concedido, com as prerrogativas legais dele advindas, o exemplar definitivo da referida dissertação deverá ser entregue(enviada), na secretaria do mestrado, em um prazo máximo de 60 (sessenta) dias, com as alterações e/ou correções sugeridas pelos membros da banca, para que possa ser homologado pelas instâncias competentes da UESB.

Documento assinado digitalmente
gov.br LUIZDARCY DE MATOS CASTRO
Data: 20/09/2024 12:20:56-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Luizdarcy de Matos Castro
Presidente da Banca Examinadora/Orientador

Documento assinado digitalmente
gov.br JORGE ANDERSON PAIVA RAMOS
Data: 21/09/2024 09:00:33-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Jorge Anderson Paiva Ramos
Examinador interno

Documento assinado digitalmente
gov.br MARIA SOCORRO SEIXAS PEREIRA
Data: 20/09/2024 19:45:24-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Dra. Maria Socorro Seixas Pereira
Examinadora externa

Documento assinado digitalmente
gov.br PEDRO SILVA CORREIA
Data: 20/09/2024 20:35:19-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Pedro Silva Correia
Examinador externo

Documento assinado digitalmente
gov.br EDVAN SOUZA PEREIRA
Data: 20/09/2024 12:27:46-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Edvan Souza Pereira
Discente

Documento assinado digitalmente
gov.br WAGNER DUARTE JOSE
Data: 20/09/2024 13:53:24-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Wagner Duarte José
Coordenador do PPG-MNPEF

2024



Programa de Pós-Graduação Mestrado Profissional em Ensino de Física - MNPEF
Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia - UESB
Estrada do Bem Querer Km, 04, Vitória da Conquista - BA
CEP: 45031-300



AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, fonte de toda sabedoria e força, por guiar meus passos e iluminar meu caminho durante esta jornada de aprendizado e descobertas.

Aos meus pais, que sempre estiveram ao meu lado, incentivando-me e proporcionando todo o suporte necessário para que eu pudesse alcançar meus objetivos.

À minha esposa Suziane e meus filhos Henrique e Clara, por serem minha inspiração diária, pelo apoio, incentivo e por compreenderem os momentos de ausência e dedicação que este mestrado exigiu.

Aos colegas do mestrado, pela troca de experiências, pelo companheirismo e pela colaboração mútua ao longo deste percurso.

Ao colega Marcelo Bonfim Nobre, por acreditar junto comigo na possibilidade de cursarmos um mestrado. Agradeço a parceria, amizade e companheirismo durante essa jornada do saber.

Ao Professor orientador Dr. Luizdarcy Matos Castro e coorientador Dr. Carlos Takiya, pelas orientações e apoio durante essa jornada. A todos os professores do MNPEF pelos ensinamentos e incentivo à busca pelo conhecimento. Suas contribuições foram essenciais para o desenvolvimento da minha pesquisa e para a consolidação dos meus aprendizados.

À CAPES, pela concessão da bolsa de estudos e apoio a pesquisa e formação profissional. Sou grato pela oportunidade de aprimorar-me academicamente. O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

A todos os amigos que apoiaram e torceram pelo meu sucesso, meu mais sincero agradecimento.

Este momento de conclusão representa não apenas o fim de uma etapa, mas também o início de novos desafios e conquistas. Estou profundamente grato por todo apoio e carinho recebidos ao longo dessa jornada.

“Tudo que está no plano da realidade já foi sonho um dia”

Leonardo da Vinci

RESUMO

A abordagem do ensino de ondas mecânicas no 9º ano do Ensino Fundamental assume grande importância na formação dos alunos, uma vez que estabelece as bases para a compreensão de fenômenos físicos essenciais. Todavia carece de práticas adequadas à promoção de um ensino significativo. Dessa forma, esse trabalho aborda uma pesquisa que busca uma alternativa de ensino, fundamentada na Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel, aplicando o método didático das Unidades de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS) de M. A. Moreira (2011), visando promover melhorias no processo de ensino aprendizagem desses conteúdos. Ao longo da pesquisa, se desenvolveu uma sequência didática baseada em uma UEPS, destacando a essencialidade do uso de experimentos práticos como ferramenta fundamental para o aprendizado efetivo dos conceitos relacionados a ondas mecânicas. A ênfase na necessidade de proporcionar uma experiência significativa aos estudantes como elemento-chave para consolidar o conhecimento foi ressaltada, buscando mostrar que a abordagem experimental, intercalada sistematicamente com os embasamentos teóricos, promove uma compreensão mais profunda e duradoura dos fenômenos estudados. Os resultados obtidos demonstram êxito na abordagem proposta, especialmente no que se refere ao uso de metodologias que incorporam a realização de experimentos práticos e a utilização de simuladores de ondas durante as aulas. A aplicação da UEPS revelou-se eficaz ao estabelecer uma conexão mais estreita entre os conteúdos abordados e a observação física dos fenômenos, buscando, assim, gerar um aprendizado significativo e duradouro para os alunos do 9º ano do Ensino Fundamental.

Palavras-Chave: Ensino Fundamental, aprendizagem significativa, Ondas mecânicas, Estudo do Som.

ABSTRACT

The approach to teaching mechanical waves in the 9th grade of elementary school assumes great importance in the formation of students, as it establishes the basis for understanding essential physical phenomena. However, it lacks practices suitable for promoting meaningful teaching. Thus, this work addresses a research that seeks an alternative teaching method, based on Ausubel's Theory of Meaningful Learning, applying the didactic method of M. A. Moreira (2011) is Potentially Meaningful Teaching Units (PMTU), aiming to promote improvements in the teaching-learning process of these contents. Throughout the research, a didactic sequence based on a PMTU was developed, highlighting the essentiality of using practical experiments as a fundamental tool for effective learning of concepts related to mechanical waves. The emphasis on the need to provide a meaningful experience to students as a key element to consolidate knowledge was highlighted, seeking to show that the experimental approach systematically interspersed with theoretical foundations, promotes a deeper and lasting understanding of the studied phenomena. The results obtained demonstrate success in the proposed approach, especially with regard to the use of methodologies that incorporate the performance of practical experiments and the use of wave simulators during classes. The application of the PMTU proved to be effective in establishing a closer connection between the addressed contents and the physical observation of the phenomena, thus generating a meaningful and lasting learning for the 9th grade elementary school students

Keywords: Elementary education, meaningful learning, Mechanical waves, Study of Sound.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Dissertações do MNPEF	18
Tabela 2 – Artigos da Revista Brasileira de Ensino de Física	21
Tabela 3 – Trabalhos sobre o ensino de física	23
Tabela 4 – Pontos em comum e características próprias do estudo	25
Tabela 5 - Desenvolvimento da aplicação da sequência didática	63

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Diferenciação progressiva e a reconciliação integradora	33
Figura 2 - Gráfico representando o movimento periódico de uma partícula.....	42
Figura 3 - Representação das forças de tração em uma onda na corda	52
Figura 4 - Forças atuantes em um elemento de corda	53
Figura 5 - Interferência de ondas em cordas	58
Figura 6 - Ciclo da pesquisa ação.....	61
Figura 7 - Diagrama relacional dos passos 1 e 2.....	65
Figura 8 - Mola slink.....	66
Figura 9 - Diagrama relacional das ações do 3º passo	67
Figura 10 - Tela do simulador Pet de ondas em cordas.....	68
Figura 11 - Diagrama relacional do 4º passo.....	69
Figura 12 - Diapasão com caixa acústica	70
Figura 13 - Simulador de ondas sonoras Phet.....	70
Figura 14 - Representação do som gerado pelo diapasão	71
Figura 15 - Diagrama relacional do 5º passo.....	72
Figura 16 - Diagrama relacional do 6º passo.....	73
Figura 17 - Alunos realizando o teste de sondagem.....	76
Figura 18 - Representação de ondas de um aluno	78
Figura 19 - Resultados do levantamento de dados dos conhecimentos prévios.....	81
Figura 20 - Nível de conhecimento prévio.....	82
Figura 21 - Resposta do aluno A20 – Q1-01	83
Figura 22 - Resposta do aluno A13– Q1-01	83
Figura 23 - Resposta do aluno A15– Q1-01.....	83
Figura 24 - Experimento ondas em cordas.....	84
Figura 25 - Resposta do aluno A27-QF-05	84
Figura 26 - Resposta do aluno A4-QF-05	84
Figura 27 - Resposta do aluno A10-QF-05	84
Figura 28 - Resposta do aluno A34-Q1-06	85
Figura 29 - Resposta do aluno A9-Q1-06	85
Figura 30 - Resposta do aluno A1-Q1-06	86
Figura 31 - Resposta do aluno A15-Q1-02	86
Figura 32 - Resposta do aluno A20-Q1-02	86
Figura 33 - Resposta do aluno A31-Q1-02	86
Figura 34 - Resposta do aluno A6-QF-11	87
Figura 35 - Resposta do Aluno A25-QF-11	87
Figura 36 - Resposta do Aluno A19-QF-11	87
Figura 37 - Resposta do aluno A35 - QP-04.....	88
Figura 38 - Resposta do aluno A35 - QF-12	88
Figura 39 - Experimento ondas em uma mola slink.....	89
Figura 40 - Resposta do Aluno A34 - Q1-13	89
Figura 41 - Resposta do Aluno A1 - Q1-13	89
Figura 42 - Resposta do Aluno A4 - Q1-13	90
Figura 43 - Resposta do Aluno A24 - QF-02	90
Figura 44 - Resposta do Aluno A5 - QF-02	90
Figura 45 - Resposta do Aluno A28 - QF-08	91

Figura 46 - Resposta do Aluno A21 - QF-08	91
Figura 47 - Resposta do Aluno A32 - QF-26	91
Figura 48 - Resposta do Aluno A11 - QF-09	92
Figura 49 - Resposta do Aluno A2 - QF-09	92
Figura 50 - Resposta do Aluno A26 - QF-13	92
Figura 51 - Resposta do Aluno A34 - QF-01	92
Figura 52 - Resposta do Aluno A24 - QF-01	93
Figura 53 - Experimento com o diapasão.....	93
Figura 54 - Alunos medindo a frequência sonora	94
Figura 55 - Resposta do Aluno A15 - QF-22	94
Figura 56 - Resposta do Aluno A34 - QF-17	95
Figura 57 - Resposta do Aluno A35 - QF-17(b)	96
Figura 58 - Resposta do Aluno A20 - QF-17(a).....	96
Figura 59 - Resposta dos alunos A34 e A9	97
Figura 60 - Resposta dos alunos A34 e A9	98
Figura 61 - Alunos medindo a velocidade do som.....	98
Figura 62 - Aluna medindo o nível de intensidade sonora de um alto-falante.....	99
Figura 63 - Resultados do QF	100
Figura 64 - Construção do conhecimento.....	100
Figura 65 - Mapa mental do aluno A35	102
Figura 66 - Mapa mental do aluno A2	103
Figura 67 - Mapa mental do aluno A28	104
Figura 68 - Mapa conceitual do aluno A20.....	105
Figura 69 - Mapa conceitual do aluno A10.....	106
Figura 70 - Mapa conceitual do aluno A01	107
Figura 71 - Mapa conceitual do aluno A21	107
Figura 72 - Avaliação da UEPS pelos estudantes	109
Figura 73 - Resultado do Pós-Teste	113
Figura 74 - Nível de certeza das respostas	113

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
1.1 JUSTIFICATIVA	13
1.2 OBJETIVO GERAL	16
1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO	16
1.5 EXPERIMENTOS ABORDADOS	17
2 ESTADO DO CONHECIMENTO	18
3 REFERENCIAL TEÓRICO	26
3.1 A APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA DE DAVID AUSUBEL	26
3.2 OS SUBSUNÇORES.....	27
3.3 TIPOS DE APRENDIZAGEM	29
3.3.1 Aprendizagem representacional	30
3.3.2 Aprendizagem de conceitos	30
3.3.3 Aprendizagem proposicional.....	30
3.3.4 Aprendizagem mecânica.....	31
3.4 CONDIÇÕES PARA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA	31
3.5 DIFERENCIAÇÃO PROGRESSIVA E RECONCILIAÇÃO INTEGRADORA.....	32
3.6 ORGANIZADORES PRÉVIOS NA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA: O CONCEITO DE AUSUBEL	33
3.7 A APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA CRÍTICA DE MOREIRA.....	34
3.8 AS UNIDADES DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVAS	36
3.9 MAPAS MENTAIS E MAPAS CONCEITUAIS	38
4 A FÍSICA DAS ONDAS MECÂNICAS	40
4.1 HISTÓRICO DO ESTUDO DAS ONDAS.....	40
4.2 O PERÍODO E A FREQUÊNCIA DE UMA ONDA	41
4.3 MOVIMENTO HARMÔNICO SIMPLES	42
4.4 ONDAS.....	46
4.4.1 Ondas Mecânicas.....	47
4.4.1.1 Estudo de ondas em cordas	49
4.4.1.1.1 Velocidade da onda em uma corda esticada.....	51
4.4.1.1.2 A energia de uma onda em corda	55

4.4.1.2 O som.....	55
4.4.1.2.1 A velocidade do som.....	56
4.4.1.3 Interferência	57
4.4.1.4 Intensidade e Nível Sonoro	59
5 METODOLOGIA.....	61
5.1 SUJEITOS DA PESQUISA.....	62
5.2 INDÍCIOS DE RESULTADOS.....	62
5.3 DESENVOLVIMENTO DA APLICAÇÃO DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA	63
5.3.1 Definição do tema e levantamento dos conhecimentos prévios.....	64
5.3.2 Situação-problema em nível introdutório para ancorar o novo conhecimento	65
5.3.3 Exposição do conteúdo destacando os aspectos mais gerais a partir da diferenciação progressiva	67
5.3.4 Retorno aos aspectos mais gerais em níveis mais altos de complexidades.....	69
5.3.5 Conclusão da UEPS – Retorno as características mais relevante do conteúdo buscando a reconciliação integrativa	72
5.3.6 Avaliação da aprendizagem por meio da UEPS.....	74
5.3.7 Avaliação da UEPS	74
6 ANÁLISE DOS DADOS	75
6.1 ANÁLISE DO LEVANTAMENTO DOS CONHEICMENTOS PRÉVIOS.....	76
6.2 ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS DURANTE A SEQUÊNCIA E NO QUESTIONÁRIO FINAL.	82
6.2 ANÁLISE DOS MAPAS MENTAIS.....	101
6.3 ANÁLISE DOS MAPAS CONCEITUAIS	104
6.4 AVALIAÇÃO DA UEPS	108
6.5 ANÁLISE DA PÓS-TESTAGEM.....	110
6.6 CONCLUSÃO	114
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	115
REFERÊNCIAS	116
ANEXOS	118
APÊNDICE	136

1 INTRODUÇÃO

No contexto educacional contemporâneo, a busca por estratégias pedagógicas que promovam uma aprendizagem significativa tem sido uma constante preocupação. Neste contexto, a Teoria da Aprendizagem Significativa, proposta por David Ausubel, destaca-se como um referencial teórico fundamental para repensar práticas educacionais e promover uma aprendizagem mais efetiva e duradoura. Nesse sentido, este estudo propõe-se a investigar os impactos de uma sequência didática baseada nas UEPS de Marco Antonio Moreira e fundamentada pelos princípios da Teoria da Aprendizagem Significativa de David Ausubel, elaborada para abordar o tema das ondas mecânicas e o som, em uma turma do 9º ano do Ensino Fundamental.

O estudo em pauta, tem como problemática a seguinte questão norteadora: Como trabalhar de forma significativa os conceitos de ondas mecânicas, fazendo uso de experimentos simples, no 9º ano do Ensino Fundamental, tendo em vista a importância da apropriação desse conhecimento para compreensão de diversos fenômenos físicos, estudos científicos, e tecnologias presentes no cotidiano do educando?

A escolha deste tema justifica-se pela importância de proporcionar aos estudantes um primeiro contato estruturado e significativo com conceitos fundamentais das ciências físicas, como as ondas mecânicas, que constituem elementos essenciais para compreender fenômenos naturais e tecnológicos presentes no cotidiano.

A proposta fundamenta-se assim, na Teoria da Aprendizagem de Ausubel (2000), aliada aos princípios da Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS) de Moreira (2011, 2016), como estratégia para promover a construção ativa e significativa do conhecimento pelos estudantes. A UEPS propõe uma estrutura sequencial de conteúdos, organizada de forma a facilitar a integração dos novos conhecimentos com as estruturas cognitivas preexistentes dos alunos, fomentando a aprendizagem significativa.

Assim, este estudo visa não apenas avaliar a eficácia dessa sequência didática no processo de ensino-aprendizagem das ondas mecânicas, mas também contribuir para o aprimoramento das práticas pedagógicas voltadas para o desenvolvimento do pensamento crítico e reflexivo dos estudantes, bem como para a promoção de uma educação científica mais contextualizada e significativa.

1.1 JUSTIFICATIVA

No âmbito do ensino de Ciências no Ensino Fundamental, é essencial proporcionar aos estudantes uma base sólida de conhecimentos que possibilite a compreensão dos fenômenos naturais e tecnológicos presentes em seu cotidiano, preparando-os para uma participação ativa e crítica na sociedade. Nesse sentido, a introdução de conceitos iniciais sobre ondas mecânicas no 9º ano assume um papel crucial, pois constitui um ponto de partida para o estudo mais aprofundado de fenômenos relacionados, como a acústica e as ondas eletromagnéticas.

A Base Nacional Comum Curricular (BNCC) estabelece habilidades a serem desenvolvidas pelos estudantes do 9º ano do Ensino Fundamental, as quais pressupõem o conhecimento prévio sobre ondas mecânicas, embora não as mencione explicitamente.

(EF09CI05) Investigar os principais mecanismos envolvidos na transmissão e recepção de imagem e som que revolucionaram os sistemas de comunicação humana.
 (EF09CI06) Classificar as radiações eletromagnéticas por suas frequências, fontes e aplicações, discutindo e avaliando as implicações de seu uso em controle remoto, telefone celular, raio X, forno de micro-ondas, fotocélulas etc.
 (EF09CI07) Discutir o papel do avanço tecnológico na aplicação das radiações na medicina diagnóstica (raio X, ultrassom, ressonância nuclear magnética) e no tratamento de doenças (radioterapia, cirurgia ótica a *laser*, infravermelho, ultravioleta etc.). (Brasil, 2018 p. 351).

Observamos que para se obter êxito na compreensão requerida pelas habilidades citadas, faz-se necessário a formação prévia dos conhecimentos básicos sobre ondas. Dentro dessa ótica, é natural que os estudos iniciais sejam focados em ondas mecânicas, sendo o som uma importante parte desse conhecimento a ser abordado, devido a naturalidade da sua presença no meio do estudante.

Com isso, ter uma base bem fundamentada sobre os conceitos de ondas, levarão os alunos a adquirirem de forma satisfatória as habilidades propostas pela BNCC, estando assim preparados para futuros aprofundamentos no estudo dos fenômenos ondulatórios bem como na compreensão das tecnologias as quais se relacionam.

Esse aprofundamento, espera-se que seja adquirido no Ensino Médio, onde possivelmente terão contato com os conteúdos de ondas novamente no segundo ou terceiro ano a depender do plano anual elaborado pelo professor. Considerando ainda as orientações do Documento Curricular Referencial da Bahia – Etapa do Ensino Médio (DCRB), não foram encontradas indicações diretas para o estudo de ondas dentro da matriz programática do primeiro e segundo ano, sendo citado na matriz do terceiro ano (Bahia, 2022), o estudo de

fenômenos como ondas eletromagnéticas e radiações, que tem a compreensão básica da ondulatória como pré-requisito para um estudo mais aprofundado.

Dessa forma, temos o aprendizado significativo das ondas mecânicas como base essencial para a compreensão de conteúdos avançados da Física, como a óptica, a acústica, a física moderna e a física das partículas. Esses conteúdos apresentam uma maior complexidade e requerem uma compreensão sólida dos princípios das ondas, uma vez que os fenômenos ondulatórios estão intrinsecamente relacionados a essas áreas da Física. Portanto, a compreensão das ondas mecânicas no 9º ano do Ensino Fundamental visa capacitar os alunos em um nível introdutório, gerando neles estímulo e curiosidade para absorverem conteúdos mais avançados em etapas posteriores da educação, estimulando o interesse pelas ciências exatas e favorecendo a formação de futuros cientistas, engenheiros e profissionais da área tecnológica.

Outro fator que gera indagação não é somente a importância de se ensinar esse tópico, mas como ele deve ser ensinado. Dentro desta perspectiva, temos na atualidade alguns professores que ainda usam somente o livro didático como recurso metodológico, tornando a disciplina cansativa e monótona, Delizoicov *et. al.* (2002). Os métodos tradicionais no ensino de física geram desinteresse e deixam essa disciplina frequentemente vista como complexa, abstrata e fora de contexto, o que pode desencadear dificuldades de compreensão, desmotivação e até mesmo rejeição por parte dos alunos.

Buscando contornar esses obstáculos, serão explorados os métodos didáticos, baseado na teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel, bem como no método didático das Unidades de Ensino Potencialmente Significativas (UEPS) de M. A. Moreira, onde nos deparamos com conceitos e metodologias consideradas eficientes e importantes para o desenvolvimento de estratégias pedagógicas mais eficazes e adequadas ao processo de aprendizagem dos estudantes.

Segundo a teoria de Ausubel, o aprendizado significativo é alcançado quando o novo conhecimento é integrado à estrutura cognitiva preexistente do estudante, relacionando-se de forma não arbitrária e substantiva com conceitos já conhecidos (Ausubel, 2000). No entanto, o ensino tradicional muitas vezes se baseia em uma abordagem "bancária" (Freire, 1996), na qual o professor transmite informações de forma linear e descontextualizada, tornando difícil a conexão entre o conteúdo e o conhecimento prévio dos alunos. Essa lacuna pode ser um dos principais fatores que contribuem para as dificuldades no aprendizado de física.

Além disso, a Física é frequentemente apresentada aos alunos como uma disciplina teórica e distante da realidade, com poucas aplicações práticas, o que pode levar ao desinteresse

e falta de motivação. É essencial, portanto, utilizar abordagens que aproximem os conceitos físicos do cotidiano dos estudantes, mostrando a relevância e a utilidade prática do conhecimento adquirido.

Nesse contexto, as ideias de Marco Antonio Moreira propõem uma perspectiva construtivista, na qual o conhecimento é construído ativamente pelos alunos a partir de suas interações com o ambiente e com seus pares. O professor assume um papel de mediador, criando situações desafiadoras que incentivem a reflexão, a experimentação e a resolução de problemas. Essa abordagem pode ajudar a superar as dificuldades no ensino de física, estimulando a participação ativa dos estudantes e permitindo que eles construam seus próprios significados em relação aos conceitos físicos.

Em busca de novas formas que dinamizam com eficácia e eficiência o processo de ensino-aprendizagem, é focado aqui o método das UEPS, desenvolvido por Marco Antonio Moreira. Esse método já foi consolidado em diversas aplicações didáticas expostas em várias publicações como em Farias Júnior (2020) e Santos (2015). Com isso mostra ser uma valiosa ferramenta didática com elevado potencial para transformar o ensino em sala de aula.

Ao partir de situações reais ou problemáticas do cotidiano dos estudantes, as UEPS despertam o interesse e a motivação dos discentes, tornando o processo de aprendizagem mais envolvente e prazeroso. Ao explorar temas e problemas de forma significativa, esse método estimula o pensamento crítico, a curiosidade e a criatividade, possibilitando uma compreensão mais profunda dos conceitos abordados e incentivando a participação ativa dos estudantes na construção de seus próprios saberes. Com isso, as UEPS tornam-se uma poderosa aliada para um ensino mais efetivo, inclusivo e transformador.

Pensando nesse contexto, que envolvem a necessidade de se ensinar ondas mecânicas e as dificuldades no ensino da física em contraste a métodos didáticos e teorias já presentes e consolidadas, buscamos aqui uma aplicação desses conhecimentos para criação de uma sequência didática, baseada nas UEPS de M. A. Moreira, pautada no uso de experimentos simples, aplicativos de celulares e simuladores, que visa trazer melhorias na forma de trabalhar o estudo das ondas mecânicas em alunos do 9º ano do Ensino Fundamental, bem como promover uma base de forma significativa na formação conceitual dos seus saberes.

1.2 OBJETIVO GERAL

Verificar as contribuições de uma sequência didática fundamentada na teoria da Aprendizagem Significativa por meio de uma UEPS e baseada em experimentos de baixo custo, como estratégia de ensino das ondas mecânicas, com ênfase no entendimento das ondas sonoras.

1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Implementar uma sequência didática fundamentada por uma UEPS, para o ensino aprendizagem dos conceitos sobre ondas mecânicas.
2. Analisar os impactos de experimentos simples envolvendo os conceitos básicos de ondas mecânicas em sala de aula.
3. Verificar a evolução dos alunos acerca da sua compreensão sobre conceitos físicos referentes as ondas mecânicas.
4. Produzir dados que comprovem a eficácia dos experimentos desenvolvidos ao longo da sequência.
5. Verificar os dados produzidos a fim de constatar as contribuições de uma UEPS no aprendizado dos estudantes, durante a aplicação da sequência didática.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

No primeiro capítulo, introduzimos a dissertação apresentando sua relevância e contexto. Destacamos a importância do ensino de ondas mecânicas para alunos do 9º ano do Ensino Fundamental e a necessidade de promover uma aprendizagem mais significativa nesse campo. Identificamos a lacuna no ensino atual e estabelecemos os objetivos gerais e específicos da pesquisa.

No segundo capítulo, exploramos o estado atual do conhecimento sobre o tema. Realizamos uma revisão da literatura, examinando dissertações do Programa Nacional de Mestrado Profissional em Ensino de Física (MNPEF), artigos da Scielo, da Revista Brasileira de Ensino de Física e outros trabalhos científicos relevantes. Sintetizamos as principais abordagens e resultados encontrados na literatura, fornecendo uma base sólida para nossa pesquisa.

No terceiro capítulo, fundamentamos nossa pesquisa nas teorias da aprendizagem significativa de Ausubel e nos métodos da UEPS de M. A. Moreira. Exploramos os conceitos fundamentais da teoria da aprendizagem significativa, incluindo os mapas conceituais de Gowin e a aprendizagem significativa crítica de Moreira. Além disso, descrevemos os princípios e estratégias da abordagem de ensino baseada nas UEPS.

No quarto capítulo, fornecemos uma breve abordagem das ondas mecânicas, contextualizando-as historicamente, apresentando alguns tópicos referentes a evolução das suas ideias e conceitos, abordando ainda parte do estudo teórico que embasa essa teoria.

No quinto capítulo, descrevemos a metodologia adotada em nossa pesquisa. Detalhamos as características da pesquisa, incluindo o delineamento e os procedimentos metodológicos utilizados durante a aplicação da sequência didática sobre ondas mecânicas para alunos do 9º ano do ensino fundamental.

No sexto capítulo, analisamos e discutimos os resultados obtidos durante a pesquisa. Avaliamos a aprendizagem significativa dos alunos por meio da análise dos dados da avaliação das UEPS realizadas durante a sequência didática. Discutimos os resultados à luz da teoria da aprendizagem significativa de Ausubel e dos métodos da UEPS de M. A. Moreira e apresentamos as conclusões finais sobre o estudo.

1.5 EXPERIMENTOS ABORDADOS

Os experimentos a serem aplicados durante a pesquisa constituem uma parte fundamental para observação do processo de ensino-aprendizagem significativa. Abaixo estão relacionados todos os experimentos a serem abordados durante a sequência didática.

- Experimento com a formação de ondas em cordas
- Experimento com a formação de ondas em uma mola slink
- Experimento com simulador Phet “Simulador de Onda numa Corda”
- Experimento com diapasões para investigação do som como onda
- Experimento com o simulador Phet “Onda sonoras”
- Experimento com o app PhyPhox
- Experimento com decibelímetro “Medindo o nível de intensidade sonora”

2 ESTADO DO CONHECIMENTO

Buscando oferecer uma contribuição a pesquisa sobre o ensino e aprendizado de física, foram aqui observados trabalhos científicos já publicados, que abordem de forma direta novas técnicas e experimentos, que focam na análise, estudo e ensino de ondas mecânicas. Esta apreciação compõe o estado do conhecimento, que tem como objetivo mapear e apontar o panorama atual de pesquisa e conhecimento relacionado ao tema abordado, consistindo em uma revisão crítica e sistemática da literatura existente sobre o tópico específico abordado. Desta forma, foram realizadas pesquisas que versam o tema do ensino de ondas mecânicas, o ensino de ondas sonoras e acústica. As fontes de pesquisas foram as dissertações no banco de dados do MNPEF, artigos da Revista Brasileira de Ensino de Física, pesquisas na base de dados da Scielo e no site de pesquisa do Google.

Os resultados foram organizados em dissertações do MNPEF, artigos da Revista Brasileira de Ensino de Física e outros trabalhos provenientes de pesquisas no buscador Google por ordem cronológica de publicação. A tabela 1 apresenta os resultados da dissertações pesquisadas no banco de dados do MNPEF, organizadas por ano, título, autores e endereço da revista.

Tabela 1 – Dissertações do MNPEF

ANO	TÍTULO	AUTOR(ES)	ENDEREÇO/REVISTA
2016	Proposta de sequência didática para o ensino de ondas: Uma abordagem teórico-experimental	Regiane Nunes Dronov Murgi	MNPEF – Universidade Federal de Grande Dourados - Dourados
2016	Atividades para o aprendizado de Acústica	Ernani Vassoler Rodrigues	MNPEF – Universidade Federal do Espírito Santo – Vitória - ES
2018	Estudo de ondas na perspectiva da aprendizagem significativa com a construção de um espectrômetro	Donizete Torres de Moraes	MNPEF – Universidade Estadual de Maringá
2018	Uma sequência de aulas para o estudo de ondas com o auxílio das figuras de Chlandi	Waldecy de Oliveira Silva	MNPEF – Universidade Federal de Roraima
2018	Atividades experimentais com ondas mecânicas	Luciano Haverroth	MNPEF – Universidade Federal de Santa Catarina - Florianópolis
2019	Aplicativos com facilitadores do ensino e aprendizagem de ondas	Geovane Lima da Silva	MNPEF – Rio Branco - AC
2019	Uma proposta metodológica para o ensino de ondas: atividades lúdicas e experimentais.	Hélio Evangelista da Silva	MNPEF: Universidade Federal do Acre. Rio Branco - AC
2019	Uma sequência didática envolvendo	Carlos Roberto Staub	MNPEF – Universidade

	os conceitos básicos de ondas mecânicas utilizando os métodos just-in-time teaching e peer instruction na perspectiva da teoria da aprendizagem significativa e da teoria sociointeracionista.	Junior	Federal do Rio Grande do Sul. Tramandaí - RS
2020	O estudo das ondas utilizando a plataforma arduino como facilitadora do processo de ensino e aprendizagem por meio de UEPS	José Floriano da Veiga Farias Júnior	MNPEF – UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ – BELÉM - PR
2021	Sensoriamento de experimentos para o ensino de ondas usando smartfone	Alexsandro Neves Silveira	MNPEF – Universidade Federal do Rio Grande

Fonte: O autor (2023).

Nas dissertações do MNPEF, apresentados na Tabela 1 e discutidas a seguir, não foram observadas a presença de trabalhos que enfoquem o Ensino Fundamental, só havendo referências ao Ensino Médio para aplicação das propostas de estudos das ondas.

Em seu estudo, Murgi (2016) apresenta dois experimentos que usam a plataforma Arduino para ensinar ondas sonoras e eletromagnéticas a estudantes com deficiência visual ou auditiva. Os experimentos convertem frequências inaudíveis e invisíveis em frequências audíveis e visíveis, usando sensores, LEDs e buzzers. Seu trabalho segue o ciclo de aprendizagem de Karplus, que consiste em três etapas: exploração, introdução do conceito e aplicação do conceito. Aborda como montar os experimentos, como relacioná-los com fenômenos naturais e como avaliar os objetivos pedagógicos. Evidencia como os experimentos podem ajudar a ilustrar os limites dos nossos sentidos e as propriedades do som e da luz, além de promover a inclusão de estudantes com deficiência no ensino de física.

Em seu trabalho Rodrigues (2016) objetiva desenvolver, aplicar e avaliar um produto educacional contendo atividades para o aprendizado de conceitos em acústica, voltados para alunos do Ensino Médio. O referencial teórico da dissertação se baseia na teoria da mudança conceitual, especialmente na perspectiva de DiSessa, que propõe que os conceitos mudam por uma constante revisão, adequação ou rejeição de fragmentos de conhecimento no sistema cognitivo do aluno. A metodologia da dissertação consiste em realizar as atividades propostas no produto educacional, que envolvem o uso de smartphones, Arduino e a construção de instrumentos musicais e transdutores rudimentares.

Já Haverroth (2018) apresenta uma pesquisa baseada na aplicação de atividades práticas para o ensino de ondas no Ensino Médio, com foco no transporte de energia. O autor justifica a importância de se ensinar a física ondulatória como base para o estudo da física moderna e da física quântica, respeitando as limitações e rupturas teóricas entre elas. Descreve ainda o

método utilizado para o seu trabalho, que se baseia em atividades experimentais com ondas formadas na água, em corda, mola e em corrente, visando melhorar a compreensão dos conceitos básicos de mecânica ondulatória, abordando os conceitos fundamentais ligados aos fenômenos ondulatórios, como frequência, período, amplitude, comprimento de onda, velocidade de propagação, interferência e difração, usando exemplos e equações matemáticas. Em sua metodologia busca a análise do desenvolvimento de uma atividade experimental, de caráter investigativo.

Morais (2018), explana um estudo com foco uma sequência didática voltada para o 2º ano do Ensino Médio, abordando o conteúdo de ondas mecânicas e eletromagnéticas, usando o espectrômetro como recurso didático.

Farias Júnior (2020) faz uso de uma UEPS em seu trabalho para abordar o uso do Arduino como facilitador de ensino de ondas para alunos do Ensino Médio, utilizando um sensor de ultrassônico para abordar os conteúdos.

Silveira (2021) utiliza o celular nas aulas de física, como um aliado no processo de ensino-aprendizagem. Aborda a criação de um experimento para estudar as ondas no interior de tubos sonoros, tendo o smartphone como suporte para sua realização e monitoramento. Faz ainda a abordagem de outros dois experimentos, sendo um baseado em um sistema massa-mola e o outro um pêndulo simples. Para monitoramento dos experimentos foi utilizado o aplicativo Phypox para coletar dados. Cita ainda em seu trabalho a aprendizagem significativa de David Ausubel e M. A. Moreira.

Silva (2018) tem como objetivo geral avaliar a aprendizagem significativa dos alunos ao ministrar uma sequência de aulas sobre ondas, com o auxílio das Figuras Sonoras de Chladni, baseadas na teoria da aprendizagem significativa de David Ausubel. A dissertação busca responder à seguinte situação-problema: Qual a contribuição no conhecimento do aluno e sua aprendizagem ao se propor uma sequência de aulas, de cunho experimental e pedagógico, baseado na Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel? O autor conclui que a proposta é plausível, facilitando a aprendizagem e despertando a curiosidade e o interesse do aluno em virtude da beleza das figuras apesar do custo para confecção do experimento.

Silva (2019) busca em seu trabalho verificar se o uso de smartphones e tablets com seus recursos em aplicativos e Qr-Codes, podem ser facilitadores do ensino e aprendizagem de ondas. Para isso, estrutura seu estudo na Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel e em levantamento de dados por meio de questionários semiestruturados. Seu objetivo foi de construir e disponibilizar roteiros e metodologias de avaliação acessíveis de forma impressa e digital através de Qr-Codes e fazer o uso e exploração de Apps focando a aprendizagem

significativa dos estudantes. Em seu trabalho analisa roteiros de estudo distribuídos por meio de Qr-Codes e conclui ressaltando o êxito na proposta aplicada.

Silva (2019) propõem um estudo baseado na aplicação de uma sequência didática para alunos do segundo ano do Ensino Médio, proposta como um guia didático para o ensino de ondas, tendo como base a Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel. Em seu trabalho aborda experimentos simples para formação de ondas juntamente com o uso de simuladores. Conclui que os indícios apontam de forma positiva uma aprendizagem significativa.

Staub Junior (2019) aborda uma proposta de ensino dos conceitos básicos de ondas mecânicas, através da integração de duas metodologias ativas: o *Just-in-time Teaching* e o *Peer Instruction*. Apresenta uma sequência didática pautada na Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel e na Teoria Sociointeracionista de Vygotsky. Teve como público-alvo alunos do segundo ano do Ensino Fundamental. Desenvolve assim um produto educacional formado por texto, imagens, links e questões problemas e conclui apontando êxito na aceitação dos estudantes frente às metodologias abordadas.

A seguir temos a Tabela 2 com os resultados da pesquisa de artigos publicados na Revista brasileira de Ensino de Física ordenados por ano de publicação.

Tabela 2 – Artigos da Revista Brasileira de Ensino de Física

ANO	TÍTULO	AUTOR(ES)	ENDEREÇO/ REVISTA
2010	Simulador de propagação de ondas mecânicas em meios sólidos para o ensino da física	Sérgio Luiz Piubelli, Hudson Azevedo Errobidart, Shirley Trakeco Gobara e Nádia Cristina Guimarães Errobidart	Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 32, n.1, 1501
2013	Ensinando sobre ondas transversais, ondas estacionárias e ondas polarizadas utilizando um simples motor a pilha	Ubaldo Martins das Neves	Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 35, n.1, 1307
2014	Ouvido mecânico: um dispositivo experimental para o estudo da propagação e transmissão de uma onda sonora	Hudson Azevedo Errobidart, Shirley Takeco Gobara, Sérgio Luiz Piubelli, Nádia Cristina Guimarães Errobidart.	Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 36, n. 1, 1507
2015	Estudo de ondas estacionárias em uma corda com a utilização de um aplicativo gratuito para smartphones	Anderson Guimarães Guedes	Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 37, n. 2, 2502
2019	Proposta didática experimental para o ensino inclusivo de ondas no Ensino Médio	Márcio Velloso da Silveira, Ricardo Borges Barthem e Antônio Carlos dos Santos.	Revista Brasileira de Ensino de Física, n. 41, 2019

2020	Física Experimental com Arduino: ondas em uma corda tensionada	Itamar V. de Sousa Jr, José O. S. Miranda, Alexandro C. S. Nascimento e Francisco R. V. Araújo.	Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 42, e20200177
------	----------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------

Fonte: O autor (2023).

Piubelli *et al.* (2010) apresenta, em seu trabalho, um dispositivo que simula a propagação de ondas mecânicas em meios sólidos usando anéis de garrafa PET e chumbadas de pesca. Tem como objetivo melhorar a compreensão da transmissão de ondas por meios sólidos. O artigo descreve como determinar a constante elástica dos anéis de diferentes larguras, usando um dispositivo com porcas metálicas e uma régua milimetrada. Propõe assim, um modelo em termos de osciladores massa-mola acoplados para analisar as frequências dos modos normais de oscilação das fileiras de anéis e chumbadas.

Já Neves (2013) descreve a utilização de um experimento simples, formado por um pequeno motor que gira uma corda esticada, presa a um ponto fixo em uma de suas extremidades enquanto a outra está fixa ao eixo de rotação do motor. O movimento causado na corda gera ondas estacionárias que podem ser facilmente alteradas pela movimentação do motor em relação ao ponto de fixação da corda. O experimento pode ainda ser usado para o estudo da polarização e o fenômeno da extinção da onda polarizada.

Errobidart *et al.* (2014) apresenta em seu trabalho, um dispositivo experimental chamado ouvido mecânico, que simula o funcionamento do ouvido externo e médio na propagação e transmissão de ondas sonoras. Demonstra uma construção com materiais de baixo custo, como baldes, canos, placas de raio X e plástico, e pode ser usado para explorar conceitos relacionados a ondas, como reflexão, refração, difração, amplitude, frequência e intensidade. O artigo também oferece orientações metodológicas para o professor utilizar o dispositivo em sala de aula, de forma a promover uma aprendizagem significativa e conscientizar os alunos sobre os efeitos do uso inadequado do fone de ouvido na audição. Esse trabalho se baseia em referências teóricas e experimentais sobre a física da audição e o funcionamento do sistema auditivo humano, bem como em princípios de didática e psicologia educacional.

O artigo de Guedes (2015) foca na utilização de um aplicativo de celular para o estudo de ondas estacionárias. O referido App serve como um gerador de sinais, que passam por um amplificador e faz uma caixa acústica vibrar um cordão esticado. Em seus resultados mostra que o uso do aplicativo serve como um bom substituto de gerador de sinais para o estudo das ondas.

Silveira *et al.* (2019) propõe, em seu estudo, dois experimentos que usam a plataforma Arduino para explorar as frequências de som e luz que não são percebidas pelos nossos sentidos, mas que podem ser convertidas em sinais audíveis ou visíveis. Discute a importância de levar em conta o estágio de abstração dos estudantes ao ensinar ondas, e de usar métodos didáticos que envolvam a interação social e a experimentação. Durante sua implementação usa o modelo pedagógico de Karplus, que consiste em três etapas: Exploração, Introdução do Conceito e Aplicação do Conceito. O artigo sugere atividades para cada etapa, usando exemplos concretos e lúdicos de ondas mecânicas e eletromagnéticas. Um consiste no experimento do som ultrassônico, onde apresenta um mecanismo que usa um sensor ultrassônico para emitir um som de 40 kHz, que é inaudível para o ser humano, mas que pode ser detectado pelo sensor quando reflete em um obstáculo. O outro consiste no experimento da luz infravermelha, apresentando um aparato que usa um LED infravermelho para emitir uma luz que é invisível para o olho humano, mas que pode ser captada por uma câmera de celular ou por um fototransistor. O experimento usa um LED vermelho e um buzzer para indicar quando o feixe de luz infravermelha é interrompido por um objeto, usando o conceito de sensor de barreira.

SOUSA *et al.* (2020) apresenta um aparato experimental para investigar o som emitido por cordas vibrantes usando a plataforma Arduino. O aparato consiste em cordas de violão de nylon e aço, um sensor de força e um sensor de som. O estudo descreve os processos de calibração dos sensores de força e som, bem como as estratégias de programação para melhorar a qualidade do sinal de áudio capturado pelo Arduino. Como resultados, mostra os espectros de frequência do som emitido pelas cordas para diferentes tensões mecânicas e compara os valores da velocidade de propagação das ondas e da densidade linear obtidas pelos sensores com as previsões teóricas. Os autores concluem que o aparato experimental proposto é de baixo custo e permite o estudo de vários fenômenos acústicos, além de reforçar a relevância do uso do Arduino no ensino de Física.

Na Tabela 3 temos os resultados das pesquisas de alguns trabalhos, realizadas no google e selecionadas por terem características com a proposta de estudo em questão.

Tabela 3 – Trabalhos sobre o ensino de física

ANO	TÍTULO	AUTOR(ES)	ENDEREÇO/REVISTA
2015	Desenvolvimento de uma unidade de ensino potencialmente significativa para o ensino do conceito de ondas	Graziely Ameixa Siqueira dos Santos	Universidade Federal do Espírito Santo – Vitória – ES
2019	Sequência didática para o ensino de acústica	Marcello Ferreira, João	Physicae Organum,

		Vitor da Silva Rocha e Olavo Leopoldino da Silva Filho	v. 5, n. 1, p. 27-38, Brasília
2020	O estudo de ondas mecânicas através de abordagem investigativa com enfoque na aplicação tecnológica	Elane Vieira Diniz	Universidade Estadual da Paraíba

Fonte: O autor (2023).

O trabalho de Santos (2015) se baseia na aplicação de uma UEPS em uma turma do segundo ano do Ensino Médio, com o intuito de ensinar ondas. O trabalho segue os passos da UEPS embasado pela Aprendizagem significativa de Ausubel. No seu trabalho faz uso de um simulador Phet durante a sequência para estudo das ondas, além de trabalhar com a construção de mapas conceituais e atividades que consolide as situações problemas. Conclui mostrando que ocorreram indícios de aprendizagem significativa ao longo da sequência e propõem um produto educacional baseado em suas aplicações em sala de aula.

Já o artigo de Ferreira *et al.* (2019), propõe uma sequência didática para o ensino de acústica para alunos do Ensino Médio, baseada nas teorias de aprendizagem significativa de Ausubel e de modelos mentais de Johnson-Laird. O objetivo é facilitar a formação de indivíduos capazes de transformar o conteúdo estudado nas aulas em soluções práticas de problemas reais, usando tecnologias educacionais como simuladores, softwares e instrumentos musicais. O artigo apresenta a estrutura do conhecimento sobre acústica, os objetivos e as estratégias adotadas na programação das aulas e na estruturação da avaliação, que consiste em uma atividade prática de estimar a nota musical emitida por uma corda do violão. Conclui que a sequência didática proposta pode contribuir para a aprendizagem significativa dos conceitos físicos e para a construção de modelos mentais dinâmicos e intuitivos, além de ressignificar o conceito de conhecimento na era da informação.

Por fim, o trabalho de Diniz (2020) faz uma abordagem tecnológica para o ensino de ondas sonoras com aplicação na ultrassonografia, direcionada a professores do Ensino Médio. Em seus estudos, adota uma abordagem investigativa aplicada em uma turma do 2º ano do Ensino Médio, utilizando para isso a análise de exames de ultrassonografia, simuladores PHET e experimentos com lasers.

Ao finalizar a análise dos trabalhos apresentados nas Tabelas 1, 2 e 3, podemos observar que nenhum abordou um estudo direcionado ao 9º ano do Ensino Fundamental. Muitos focam na utilização de recursos tecnológicos e experimentais para o estudo das ondas, tendo a experimentação e investigação como uma didática central. Muitos são desenvolvidos por meio de uma sequência didática fundamentadas na Teoria da Aprendizagem Significativa como é o

caso dos trabalhos de Silveira (2021), Silva (2018), Silva (2019), Staub Junior (2019), Silva (2019), Errobidart *et al.* (2014), Santos (2015) e o de Ferreira *et al.* (2019), sendo que alguns estudos como os de Farias Júnior (2020), Silveira (2021) e Santos (2015) seguiam a estrutura de uma UEPS. Os trabalhos de Murgi (2016) e Silveira *et al.* (2019) seguiram na linha do ciclo de Karplus, enquanto Rodrigues (2016) optou pela perspectiva de DiSessa.

De toda forma, percebemos que o presente trabalho a ser desenvolvido, apresenta contribuições para pesquisa no ensino das ondas mecânicas, visto que dentro desta perspectiva, visa o público-alvo do 9º ano do Ensino Fundamental, público pouco explorado, juntamente com uma sequência estruturada por uma UEPS. Embora a maioria dos trabalhos explorem as ondas mecânicas por meio de algum experimento de forma investigativa, a sequência em questão aborda uma estrutura com sua própria identidade e objetivos de estudo, mesclando entre o uso de experimentos simples, simuladores e aplicativos de celulares no estudo das ondas mecânicas e investigação do som como uma onda.

A Tabela 4 evidencia algumas das similaridades e abordagens próprias do trabalho em questão.

Tabela 4 – Pontos em comum e características próprias do estudo

Pontos em comum	Características próprias
<ul style="list-style-type: none"> • Baseia-se no método da aprendizagem significativa de Ausubel • Busca a aplicação de uma UEPS para efetivação de um ensino significativo • Aborda o estudo da onda sonora através de aplicativos, simuladores e experimentos práticos em sala de aula. 	<ul style="list-style-type: none"> • Tem foco na construção conceitual por meio de subsunçores, em estudantes do 9º ano do ensino fundamental. • Une o uso de experimentos simples, simuladores e aplicativos de celulares para o estudo das ondas mecânicas dentro do contexto do ensino fundamental. • Busca no aluno a percepção do som como uma onda mecânica e promove sua análise com o uso de experimentos, aplicativos.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 A APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA DE DAVID AUSUBEL

David Ausubel (1918-2008) foi um psicólogo norte-americano, graduado em medicina psiquiátrica, professor emérito da Universidade de Columbia, em Nova York. Dedicou sua carreira acadêmica à psicologia educacional, suas contribuições à psicologia da aprendizagem significativa tiveram um impacto duradouro no campo educacional. Sua abordagem destacou a importância da conexão do novo conhecimento com o conhecimento prévio do aluno para promover uma aprendizagem mais efetiva e duradoura (Distler, 2015; Moreira, 2017).

A Aprendizagem Significativa de Ausubel é uma teoria concebida como processo de compreensão, reflexão e atribuição de significados do sujeito, que considera sua interação com o meio social e cultural a qual o sujeito constrói e por ela é construído (Masini, 2011). Nesse contexto, Ausubel explora como ocorre a criação e a estruturação do mundo de significados na mente das pessoas, e foca no:

[...] processo da compreensão, transformação, armazenamento e uso da informação envolvida na cognição, e tem como objetivo identificar os padrões estruturados dessa transformação. É uma teoria particular, cuja asserção central é a de que ver, ouvir, cheirar etc., assim como lembrar, são atos de construção que podem fazer maior ou menor uso dos estímulos externos, dependendo da circunstância, isto é, das condições pessoais de quem realiza o processo. (Moreira; Masini, 2001, p. 13).

Defende ainda que a estrutura cognitiva de cada aprendiz é única, sendo todos os novos significados adquiridos obrigatoriamente únicos (Ausubel, 2000).

Ausubel define a aprendizagem significativa como um processo pelo qual uma nova informação relaciona-se de maneira substantiva e não arbitrária com o que o aprendiz já sabe (Ausubel, 2000). Essa definição sublinha a necessidade de incorporar novos conceitos de maneira significativa, integrando-os às estruturas cognitivas existentes do aluno.

Aprendizagem significativa é aquela em que ideias expressas simbolicamente interagem de maneira substantiva e não-arbitrária com aquilo que o aprendiz já sabe. Substantiva quer dizer não-literal, não ao pé-da-letra, e não-arbitrária significa que a interação não é com qualquer ideia prévia, mas sim com algum conhecimento especificamente relevante já existente na estrutura cognitiva do sujeito que aprende. (Moreira 2010, p. 2).

Neste modelo de aprendizagem, temos os conhecimentos prévios dos indivíduos como ponto principal para seu processo de aprendizagem. Sobre essa variável do conhecimento Ausubel ressalta que:

Se tivesse que reduzir toda a psicologia educacional a um só princípio diria o seguinte: de todos os fatores que influem na aprendizagem, o mais importante é o que o aluno já sabe. Averigue-se isso e ensine-se levando-o em consideração. (Ausubel *apud* Moreira, 2017, p. 64).

Esses conhecimentos devem servir de âncora para os novos saberes que serão adquiridos, de forma que não pode existir aprendizagem significativa se o estudante não tiver algum conhecimento prévio para os novos saberes a serem aprendidos. M. A. Moreira afirma que:

A este conhecimento, especificamente relevante à nova aprendizagem, o qual pode ser, por exemplo, um símbolo já significativo, um conceito, uma proposição, um modelo mental, uma imagem, David Ausubel (1918-2008) chamava de subsunçor ou idéia-âncora. (Moreira, 2010, p. 2).

Nesta abordagem, temos o foco no conhecimento do aluno, seu grau de relação e entendimento cognitivo com os saberes que já experienciou. Um subsunçor seria assim, um termo que se dá a um conhecimento específico que se mostra presente na estrutura de saberes do indivíduo (Moreira, 2010). Esta unidade de conhecimento pode, ainda, ter maior ou menor estabilidade cognitiva, podendo ter ou não um maior grau de elaboração em termo de significado (Moreira, 2010).

3.2 OS SUBSUNÇORES

Os subsunçores representam as categorias mentais abstratas e mais amplas que servem como estruturas receptivas para a assimilação de novas informações.

Em termos simples, subsunçor é o nome que se dá a um conhecimento específico, existente na estrutura de conhecimentos do indivíduo, que permite dar significado a um novo conhecimento que lhe é apresentado ou por ele descoberto. (Moreira, 2010, p. 2).

Esse processo de subsunção permite que a aprendizagem ocorra de maneira significativa, à medida que os novos conceitos são integrados de forma lógica e coerente às estruturas cognitivas preexistentes do indivíduo, promovendo uma compreensão mais profunda e duradoura do conhecimento. “Progressivamente o subsunçor vai ficando mais estável, mais

diferenciado, mais rico em significados, podendo cada vez mais facilitar novas aprendizagens” (Moreira, 2010, p. 3).

Dessa forma, os subsunçores evoluem a níveis conceituais mais avançados, à medida que recebem novos conceitos, formando a base dos conhecimentos adquiridos pelo indivíduo. Para que isso ocorra de forma significativa, as informações adquiridas devem ser trabalhadas de maneira a se adequar, tanto às características do conhecimento prévio do estudante, como ao nível a que estes se encontram. Segundo Moreira e Mansini (1982, p. 151-153):

Ausubel vê o armazenamento de informações no cérebro humano como sendo organizado, formando uma hierarquia conceitual, na qual elementos mais específicos de conhecimento são ligados (e assimilados) a conceitos mais gerais, mais inclusivos. Estrutura cognitiva significa, portanto, uma estrutura hierárquica de conceitos que são representações de experiências sensoriais do indivíduo.

Ao mesmo tempo que um subsunçor é a base para assimilação de um novo conhecimento e este processo gera aprendizado permanente, é esperado que estando em desuso, os subsunçores venham a obliterar, por consequências naturais e características mais específicas, e podem ter partes conceituais esquecidas (Moreira, 2010). Isso pode ser observado em alunos que já viram um conteúdo, podendo se lembrar de algumas coisas, mas devido ao tempo em que não o utilizam se esquecem de alguns ou diversos detalhes. Sobre isso Moreira (2010) afirma que:

A clareza, a estabilidade cognitiva, a abrangência, a diferenciação de um subsunçor variam ao longo do tempo, ou melhor, das aprendizagens significativas do sujeito. Trata-se de um conhecimento dinâmico, não estático, que pode evoluir e, inclusive, involuir. (Moreira, 2010, p. 4).

O aprendizado significativo, se promovido de forma adequada, gera maior fixação dos conteúdos, possibilitando uma retomada dos aprendizados já adquiridos de forma mais rápida, pelo fato destes saberes terem sido adquiridos com inclusão de sentido ao entendimento cognitivo e social do estudante (Moreira, 2010). Em outras palavras, o aprendizado significativo vem a ser duradouro por criar memórias de forte contexto e assimilação, que podem ser acessadas por um conjunto de significados que as norteiam. “Se o esquecimento for total, como se o indivíduo nunca tivesse aprendido um certo conteúdo é provável que aprendizagem tenha sido mecânica, não significativa” (Moreira, 2010, p. 4).

O conhecimento pode ainda apresentar níveis diferentes de hierarquia dentro do subsunçor (Moreira, 2010). Dessa forma, um conceito pode ocupar uma representação hierárquica de alto nível, ao mesmo tempo se outro conhecimento mais abrangente for anexado, este poderá assumir uma posição hierárquica superior (Moreira, 2010). Como os subsunçores podem se conectar por compartilhamento de conceitos, “um conhecimento que ocupa uma dada posição em uma certa hierarquia de subsunçores poderá ocupar outra posição, inclusive pouco importante, em outra hierarquia em outro campo de conhecimentos” (Moreira, 2010, p. 5).

O processo de subsunção pode ainda ser analisado segundo a teoria da assimilação. Nela a recepção de um novo conhecimento ocorre quando um novo conceito ou proposição se relaciona com conceitos existentes gerando um conceito modificado (Moreira, 1999). Essa assimilação pode ainda ser definida como subordinada na qual o novo material se relaciona com conceitos mais gerais e inclusivos já existentes na estrutura cognitiva do aprendiz, gerando uma relação de subordinação (Moreira, 1999).

Alinhado a isso, temos ainda a aprendizagem superordenada e a aprendizagem combinatória. Na aprendizagem superordenada novos conceitos ou proposições são assimilados por vários subsunçores estabelecidos na estrutura cognitiva do estudante. Já a aprendizagem combinatória explica a relação de novos conceitos ou proposições que se mostrem potencialmente significativas ao estudante, sendo recebido dentro de um conteúdo global da estrutura cognitiva do aprendiz. (Moreira, 1999).

3.3 TIPOS DE APRENDIZAGEM

Neste ponto, serão estudados os tipos de aprendizagem representacional, de conceitos e proposicional, elementos fundamentais dentro da teoria da aprendizagem. Nesse contexto, a aprendizagem representacional refere-se à aquisição de símbolos que representam objetos ou eventos; a aprendizagem de conceitos envolve a formação e compreensão de categorias e classes; e a aprendizagem proposicional trata da assimilação de ideias mais complexas, expressas por meio de proposições. Em contrapartida a aprendizagem significativa, abordamos também a aprendizagem mecânico no qual o indivíduo usa a memorização arbitrária para retenção do conhecimento, buscando assim uma melhor visão entre os métodos significativos e mecânico.

3.3.1 Aprendizagem representacional

A aprendizagem representacional é um tipo de aprendizagem significativa que ocorre quando se atribui um nome a um conceito. Por exemplo, aprender que um quadrado é uma figura geométrica com quatro lados iguais e quatro ângulos retos. Neste caso, o nome “quadrado” é um símbolo arbitrário que representa o conceito de quadrado, e o seu significado depende do referente (o objeto, evento ou fenômeno) que o nome simboliza. A aprendizagem representacional é significativa porque se pode relacionar de forma não arbitrária e substantiva com uma ideia geral já existente na estrutura cognitiva do aprendiz, que é a de que tudo tem um nome e que o nome significa aquilo que o referente significa para o aprendiz (Ausubel, 2000).

A aprendizagem representacional aproxima-se da aprendizagem por memorização, pois envolve elementos de relação arbitrária e literal com o referente na estrutura cognitiva, mas também é um processo ativo, integrador e interativo entre o símbolo e o conceito (Ausubel, 2000).

3.3.2 Aprendizagem de conceitos

Pela aprendizagem de conceitos, busca-se criar uma rede complexa de entendimento sobre determinado conhecimento, gerando uma definição abstrata sobre o entendimento de algo que se quer definir. Para Ausubel (2000) um conceito pode ser um objeto, um acontecimento, uma situação ou propriedade que possuem atributos específicos comuns, designados pelo mesmo símbolo ou signo. Moreira (1999) afirma ainda que esta aprendizagem é também uma aprendizagem representacional

(...) pois conceitos são também representados por símbolos particulares, porém, são genéricos ou categóricos, representam abstractos dos atributos essenciais dos referentes, i.e., representam regularidades em eventos ou objetos. (Moreira. 1999, p. 157).

3.3.3 Aprendizagem proposicional

A aprendizagem proposicional consiste em obter o significado das ideias. Temos assim a aprendizagem de conceitos como base para um entendimento que vai além das definições isoladas. Nesta aprendizagem “a tarefa é aprender o significado que está além da soma dos significados das palavras ou conceitos que compõem a proposição” (Moreira, 1999, p. 157).

3.3.4 Aprendizagem mecânica

Em contraste com a teoria da Aprendizagem Significativa, temos a abordagem da aprendizagem mecânica. Esse termo refere-se a um processo de aquisição de conhecimento ou habilidade que envolve a repetição de ações ou informações sem uma compreensão profunda do conteúdo. Em observância às ideias de Ausubel, M. A. Moreira afirma que:

Ausubel define aprendizagem mecânica (ou automática) como sendo a aprendizagem de novas informações com pouca ou nenhuma interação com conceitos relevantes existentes na estrutura cognitiva. Nesse caso, a nova informação é armazenada de maneira arbitrária. Não há interação entre a nova informação e aquela já armazenada. (Moreira, 1999, p. 154).

Esse tipo de abordagem pode ser criticado por não promover uma compreensão profunda e conceitual do material, limitando a capacidade do aprendiz de aplicar conhecimentos em contextos diversos, em que “o conhecimento assim adquirido fica arbitrariamente distribuído na estrutura cognitiva, sem ligar-se a conceitos subsunçores específicos” (Moreira, 1999, p. 154). Assim, a aprendizagem mecânica muitas vezes resulta em uma retenção superficial de informações, com uma ênfase na reprodução de dados sem a capacidade de aplicá-los de maneira adaptativa ou inovadora, em que o aluno carrega um conceito sem nexo, o que o torna sem sentido e esquecível. Isto ocorre pelo fato de não haver uma ligação cognitiva entre os novos saberes que, nesse caso, ocorre de forma arbitrária, com subsunçores presentes no estudante. Conforme afirma Ausubel (2000, p. 4) “Podem relacionar-se com a estrutura cognitiva, mas apenas de uma forma arbitrária e literal que não resulta na aquisição de novos significados”.

3.4 CONDIÇÕES PARA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA

Para que ocorra a aprendizagem significativa existem duas condições essenciais para se considerar: “1) o material de aprendizagem deve ser potencialmente significativo e 2) o aprendiz deve apresentar uma predisposição para aprender” (Moreira, 2010, p. 8).

A primeira aborda a necessidade dos materiais serem estruturados de forma coerente e lógica, dentro de uma estrutura cognitiva apropriada, sendo não-literal e não-arbitrário, levando em consideração os conhecimentos prévios, tendo uma estrutura que facilite a ancoragem do novo conhecimento mostrando assim relevância ao estudante (Moreira, 2010).

A segunda condição aborda a intencionalidade do aluno em querer aprender, ou seja, “relacionar os novos conhecimentos, de forma não-arbitrária e não-literal, a seus conhecimentos prévios” (Moreira, 2010, p. 8). Ao possuir a intenção de aprender, o aluno direciona sua atenção para o material apresentado, buscando estabelecer conexões lógicas e significativas com seus conhecimentos anteriores.

Desta forma o material deve ser potencialmente significativo a fim de dar significado a novos conhecimentos a fim de envolver o estudante no processo de novas descobertas e aprimoramento dos seus saberes. Nessa perspectiva podemos entender que “[...] o ensino é consumado quando o significado do material que o estudante capta é o significado que o professor pretende que esse material tenha para o estudante” (Gowin *apud* Belmont, 2012, p. 126).

A intencionalidade também está relacionada ao papel ativo do professor na promoção da aprendizagem significativa. O educador, ao estruturar o conteúdo de forma clara, relacionando-o ao conhecimento prévio dos alunos e estimulando a reflexão, visa despertar a intenção de aprender nos estudantes.

Para Gowin (*apud* Belmont, 2012), o evento educacional pode ser entendido como um momento de intercâmbio entre o professor, o material didático e o aluno, formando uma tríade na qual significados são negociados e compartilhados. Nesse contexto, o professor inicialmente apresenta os significados do material, enquanto o aluno os percebe e interpreta, e então há uma negociação entre ambos para confirmar se os significados coincidem. Segundo o autor, o ensino é efetivado somente quando o significado captado pelo aluno coincide com o pretendido pelo professor. Assim, o compartilhamento de significados entre professor, material didático e aluno é essencial para que o aprendizado significativo ocorra, sendo a decisão de aprender de forma significativa deixada ao aluno após esse processo.

3.5 DIFERENCIAÇÃO PROGRESSIVA E RECONCILIAÇÃO INTEGRADORA

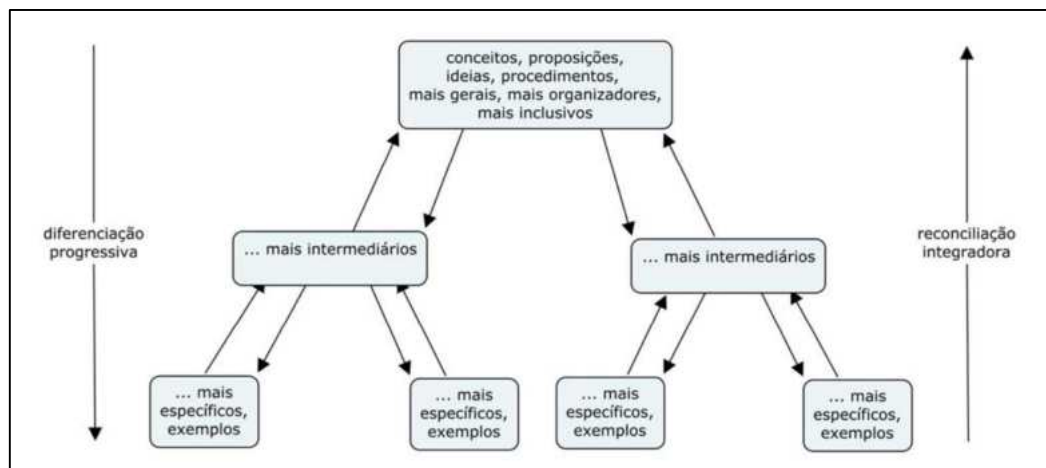
O processo de diferenciação progressiva ocorre quando conceitos específicos se tornam mais distintos e elaborados à medida que o aprendiz adquire conhecimento. Moreira (2010, p. 6) afirma que “A diferenciação progressiva é o processo de atribuição de novos significados a um dado subsunçor (um conceito ou uma proposição, por exemplo) resultante da sucessiva utilização desse subsunçor para dar significado a novos conhecimentos.”

No processo de subsunção, novos conhecimentos são ancorados aos conhecimentos prévios existentes enquanto no processo de diferenciação ocorre o discernimento entre as características específicas de cada novo conceito.

Por outro lado, é necessário que características específicas sejam reintegradas de tal forma a dar sentido a conceitos mais gerais ocorrendo assim uma reconciliação integradora. Em outras palavras, por vez é necessário que partes específicas de um mesmo conceito sejam reconciliadas, o que leva a percepção de similaridades em pontos que por premissa foram tratados como distintos. Sobre esses métodos Moreira (2010) afirma que:

A reconciliação integradora, ou integrativa, é um processo da dinâmica da estrutura cognitiva, simultâneo ao da diferenciação progressiva, que consiste em eliminar diferenças aparentes, resolver inconsistências, integrar significados, fazer superordenações. (Moreira, 2010, p. 6).

Figura 1 - Diferenciação progressiva e a reconciliação integradora



Fonte: Moreira (2010, p. 19).

O diagrama da Figura 1 indica que a diferenciação progressiva e a reconciliação integradora são interdependentes e simultâneas, tanto na dinâmica da estrutura cognitiva como no ensino

3.6 ORGANIZADORES PRÉVIOS NA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA: O CONCEITO DE AUSUBEL

Um organizador prévio é um recurso instrucional que visa facilitar a aprendizagem significativa de novos conhecimentos, ao estabelecer uma ponte entre o que o aluno já sabe e o que ele precisa saber. Para Moreira (2010)

Não é uma visão geral, um sumário ou um resumo que geralmente estão no mesmo nível de abstração do material a ser aprendido. Pode ser um enunciado, uma pergunta, uma situação-problema, uma demonstração, um filme, uma leitura introdutória, uma simulação. Pode ser também uma aula que precede um conjunto de outras aulas. As possibilidades são muitas, mas a condição é que preceda a apresentação do material de aprendizagem e que seja mais abrangente, mais geral e inclusivo do que este. (Moreira, 2010, p. 11).

Por conseguinte, os organizadores prévios se apresentam como um recurso de difícil definição, porém apresenta uma ideia clara em sua aplicação. Esses organizadores servem como ponte entre o novo conhecimento e os subsunçores do aprendiz ao serem considerados como materiais introdutórios mais generalizados, que buscam dar uma visão básica conceitual e significativa do novo conhecimento. “Ausubel os propôs como recurso instrucional para o caso em que o aluno não tem os subsunçores adequados para dar significado ao novo conhecimento” (Moreira, 2010, p. 20).

Moreira (2010) ainda afirma que há dois tipos de organizadores prévios, dependendo do grau de familiaridade do material de aprendizagem para o aluno. Quando o material é não-familiar, ou seja, quando o aluno não possui conceitos ou proposições relevantes para assimilá-lo, recomenda-se o uso de um organizador expositivo, que fornece uma ancoragem ideacional em termos familiares ao aluno. Quando o material é relativamente familiar, ou seja, quando o aluno possui alguns conceitos ou proposições relevantes para assimilá-lo, recomenda-se o uso de um organizador comparativo, que ajuda o aluno a integrar e discriminar os novos conhecimentos em relação aos prévios.

3.7 A APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA CRÍTICA DE MOREIRA

A abordagem da aprendizagem significativa subversiva ou crítica, proposta por Moreira (2010), representa uma extensão da teoria de Ausubel (1978). Essa perspectiva busca ir além da simples assimilação de informações, visando à promoção de uma compreensão mais profunda e crítica do conhecimento. A “Aprendizagem Significativa Crítica” é uma abordagem pedagógica que valoriza a participação ativa dos alunos no processo de aprendizagem, incentivando-os a questionar, criticar e construir seu próprio conhecimento. Segundo Moreira (2010) a “Aprendizagem Significativa Crítica” vai além, argumentando que a aprendizagem deve ser não só significativa, mas também subversiva, ou seja, deve permitir ao indivíduo questionar e criticar o conhecimento existente. Moreira (2010) sugere ainda, que a

aprendizagem significativa crítica é uma estratégia necessária para sobreviver na sociedade contemporânea.

Baseando-se na premissa de Postman e Weingartner (*apud* Moreira, 2010), de que apesar da escola ter que preparar o aluno para viver em uma sociedade de mudanças acentuadas de conceitos, valores e tecnologia, ela ainda se preocupa em ensinar conceitos fora de foco. Moreira (2010) cita o que considera atualmente como novos conceitos fora de foco gerados pela escola:

1. O conceito de informação como algo necessário e bom; quanto mais informação, melhor, estamos em plena era da informação.
2. O conceito de idolatria tecnológica; a tecnologia é boa para o homem e está necessariamente associada ao progresso e à qualidade de vida.
3. O conceito de consumidor cômico de seus direitos; quanto mais consumir, melhor; quanto mais objetos desnecessários comprar, melhor; mas deve fazer valer seus direitos de consumidor.
4. O conceito de globalização da economia como algo necessário e inevitável; o livre comércio sem restrições é bom para todos.
5. O conceito de que o "mercado dá conta"; por exemplo, a educação é uma mercadoria que pode ser vendida por qualquer instituição, "o mercado se encarrega" da oferta, da procura, da qualidade. Moreira (2010, p. 4).

Com isso o autor supracitado afirma que não basta a aprendizagem ser significativa, se as escolas estão ensinando de forma significativa conhecimentos fora de foco. Para ele o conhecimento deve ser uma questão de sobrevivência, é preciso mudar o foco da aprendizagem e do ensino que busca facilitá-la. Com isso defende que a aprendizagem significativa deve ainda ser subversiva ou crítica que, segundo ele, é

aquela que permitirá ao sujeito fazer parte de sua cultura e, ao mesmo tempo, estar fora dela, manejar a informação, criticamente, sem sentir-se impotente frente a ela; usufruir a tecnologia sem idolatrá-la; mudar sem ser dominado pela mudança; viver em uma economia de mercado sem deixar que este resolva sua vida; aceitar a globalização sem aceitar suas perversidades; conviver com a incerteza, a relatividade, a causalidade múltipla, a construção metafórica do conhecimento, a probabilidade das coisas, a não dicotomização das diferenças, a recursividade das representações mentais; rejeitar as verdades fixas, as certezas, as definições absolutas, as entidades isoladas. (Moreira, 2010, p. 20)

À vista disso, a aprendizagem significativa crítica almeja a preparação integrada de um sujeito capaz de lidar com a informação com o ônus da ação, possibilitando a ele a capacidade de integrar, interagir, criticar, adaptar, modificar ou criar conhecimento em seu meio.

Para Moreira (2017), o aprendizado significativo crítico deve levar o aluno a aprender a aprender criticamente. Em contraste a isso cita que as escolas, com foco conteudista, concentram esforços em um ensino de testagem facilmente esquecíveis. Para Moreira (2017), o fato de aprender a aprender não se faz suficiente se não for acompanhado de uma postura

crítica. “Crítica no sentido de não aceitar, passivamente, quaisquer novos conhecimentos, sejam eles declarativos, procedimentais ou atitudinais” (Moreira, 2017, p. 53)

Pensando em formas de facilitar a aprendizagem significativa crítica, Moreira (2010) sugere alguns princípios, ideias ou estratégias facilitadoras dessa aprendizagem.

1. Aprender que aprendemos a partir do que já sabemos. (Princípio do conhecimento prévio.)
2. Aprender/ensinar perguntas ao invés de respostas. (Princípio da interação social e do questionamento.)
3. Aprender a partir de distintos materiais educativos. (Princípio da não centralidade do livro de texto.)
4. Aprender que somos perceptores e representantes do mundo. (Princípio do aprendiz como perceptor/representador.)
5. Aprender que a linguagem está totalmente implicada em qualquer e em todas as tentativas humanas de perceber a realidade. (Princípio do conhecimento como linguagem.)
6. Aprender que o significado está nas pessoas, não nas palavras. (Princípio da consciência semântica.)
7. Aprender que o ser humano aprende corrigindo seus erros. (Princípio da aprendizagem pelo erro.)
8. Aprender a desaprender, a não usar conceitos e estratégias irrelevantes para a sobrevivência. (Princípio da desaprendizagem.) Aprender que as perguntas são instrumentos de percepção e que definições e metáforas são instrumentos para pensar. (Princípio da incerteza do conhecimento.)
9. Aprender a partir de distintas estratégias de ensino. (Princípio da não utilização do quadro-de-giz.)
10. Aprender que simplesmente repetir a narrativa de outra pessoa não estimula a compreensão. (Princípio do abandono da narrativa.) (Moreira, 2010, p. 20-21).

Esses facilitadores, quando combinados, promovem uma aprendizagem mais profunda, transformadora e crítica, alinhada com os princípios da aprendizagem significativa subversiva/crítica proposta pelo aludido autor. Essa abordagem visa não apenas à aquisição de conhecimento, mas também ao desenvolvimento de habilidades cognitivas e atitudes reflexivas, preparando os aprendizes para uma participação mais ativa e crítica na sociedade.

3.8 AS UNIDADES DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVAS

Visando contribuir para uma melhor interação entre as pesquisas educacionais e as teorias de ensino com a prática em sala de aula, Moreira (2011) propõem as Unidade de Ensino Potencialmente Significativas (UEPS) que, segundo ele, “São seqüências de ensino fundamentadas teoricamente, voltadas para a aprendizagem significativa, não mecânica, que podem estimular a pesquisa aplicada em ensino, aquela voltada diretamente à sala de aula.” (Moreira, 2011, p. 43).

Uma UEPS deve ser construída com o objetivo de desenvolver unidades de ensino que sejam potencialmente facilitadoras da aprendizagem significativa de tópicos específicos de conhecimento declarativo e/ou procedimental. (Moreira, 2011). Deve se basear na filosofia que só há ensino quando há aprendizagem e esta deve ser significativa; o ensino é o meio, a aprendizagem significativa é o fim (Moreira, 2011).

Dentre os princípios que norteiam uma UEPS, destacam-se a importância de partir dos conhecimentos prévios dos alunos, de ter todo processo centrado no ser que aprende, de se estabelecer organizadores prévios e situações problemas, bem como promover a diferenciação progressiva e a reconciliação integradora (Moreira; Massoni, 2016)

Moreira (2011) ressalta ainda, dentre os princípios de uma UEPS, que a aprendizagem deve ser significativa e crítica, sendo o professor um provedor de situação problema; uma situação de ensino é efetiva, quando ocorre de forma triádica, envolvendo aluno, o docente e o material educativo. Sobre a avaliação, defende que deve ser pontuada na busca por evidências de aprendizagem significativa de forma progressiva.

Buscando uma sequência que defina de forma estruturada o conhecimento, dentro dos parâmetros propostos, Moreira e Massoni (2016) propõe passos para UEPS, que estruturam o processo de ensino e servem como um guia para facilitar a implementação dos conceitos da aprendizagem significativa juntamente com a aprendizagem significativa crítica dentro do processo de ensino aprendido.

Dessa forma a UEPS, conforme Moreira (2011), seguem os seguintes passos:

1. Definir o tópico específico a ser abordado, identificando seus aspectos declarativos e procedimentais tais como aceitos no contexto da matéria de ensino na qual se insere esse tópico;
2. Criar/propor situação-problema, que leve o aluno a externalizar seu conhecimento prévio, aceito ou não-aceito no contexto da matéria de ensino, supostamente relevante para a aprendizagem significativa do tópico (objetivo) em pauta;
3. Propor situações-problema, em nível bem introdutório, levando em conta o conhecimento prévio do aluno, que preparem o terreno para a introdução do conhecimento (declarativo ou procedimental) que se pretende ensinar;
4. Apresentar o conhecimento a ser ensinado/aprendido, levando em conta a diferenciação progressiva, i.e., começando com aspectos mais gerais, inclusivos, dando uma visão inicial do todo, do que é mais importante na unidade de ensino, mas logo exemplificando, abordando aspectos específicos;
5. Retomar os aspectos mais gerais, porém em nível mais alto de complexidade em relação à primeira apresentação;
6. Dar seguimento ao processo de diferenciação progressiva retomando as características mais relevantes do conteúdo em questão, porém de uma perspectiva integradora, ou seja, buscando a reconciliação integrativa;
7. A avaliação da aprendizagem através da UEPS. A avaliação deve ser feita ao longo de sua implementação, registrando tudo que possa ser considerado evidência de aprendizagem significativa do conteúdo trabalhado;
8. A avaliação da UEPS. A UEPS somente será considerada exitosa se a avaliação do desempenho dos alunos fornecer evidências de aprendizagem significativa. (Moreira *et al.* 2017, p.143-146).

As duas primeiras etapas focam no tema a ser ensinado e as relações que os alunos possuem sobre o conteúdo. Esse processo endossa a premissa de Ausubel (2000) sobre a importância de se considerar o conhecimento prévio do aluno. Já a terceira etapa é proposta por Moreira (2011) como um ponto de problematização inicial, na qual o aluno se apropria da nova situação. Esse passo funcionando como um organizador prévio do conhecimento, em que prepara o novo saber para se conectar aos conhecimentos prévios do aluno.

Os passos 4, 5, e 6 inserem o aluno em situações problemas com níveis de complexidade crescentes, buscando definir novos conceitos ao mesmo tempo que diferem uns dos outros por suas características. Em sequência são abordadas a necessidade de se integrar alguns conceitos fragmentados por também serem pertencentes a interpretações hierárquicas dentro de conceitos mais amplos, gerando assim uma reconciliação integradora.

Os dois últimos passos buscam validar a UEPS por meio da sua avaliação. Sendo observado o conceito de avaliação progressiva do estudante ao longo da UEPS considerando as evidências de aprendizagem significativa apresentadas pelo aluno, o que evidencia o êxito da sequência.

3.9 MAPAS MENTAIS E MAPAS CONCEITUAIS

Os mapas mentais, são ferramentas visuais utilizadas para organizar e representar informações de maneira hierárquica e não linear, conectando ideias de forma gráfica. Foram conceituados na década de 70 por Tony Buzan. Eles são geralmente estruturados a partir de um conceito central, do qual ramificam-se palavras-chave, imagens ou conceitos relacionados, formando uma rede de associações. Buzan (2005), afirma que um mapa mental é a ferramenta definitiva para organizar o pensamento de forma simples. Essa estrutura ajuda a visualizar a relação entre diferentes tópicos e favorece o processo de aprendizagem, memorização e resolução de problemas, facilitando a compreensão e a organização de pensamentos complexos.

Os mapas conceituais são estruturas que relacionam conceitos através de diagramas, que foram criados por Novak e Gowin (*apud* Belluzzo, 2007) buscando usá-los como recurso pedagógico e a uma nova organização de trabalhos investigativos nas escolas (Belluzzo, 2007).

Segundo Moreira (1997), os mapas conceituais são apenas diagramas que indicam relações entre conceitos ou palavras que usamos para representar conceitos, seguindo uma organização hierárquica, tendo figuras geométricas ligadas por setas. Nessa estrutura “o autor

pode utilizar sua própria representação, organizando hierarquicamente as ligações entre os conceitos que ligam problemas a serem resolvidos ou pesquisados” (Belluzzo, 2007, p. 75).

Dessa forma, estruturamos as palavras que representam os conceitos dentro de formas geométricas e conectamos essas com setas, para indicar alguma relação entre elas. Ao longo das setas uma palavra ou frase se faz necessário para explicar a natureza dessa relação (Moreira, 1997).

Esses conceitos seguem uma estrutura hierárquica, uma vez que a aprendizagem significativa acontece com maior facilidade quando novos conceitos ou significados conceituais são estruturados sobre outros conceitos mais amplos e mais inclusivos (Novak; Gowin *apud* Belluzzo, 2007).

Segundo Belluzzo (2007), a elaboração de um mapa conceitual aborda alguns procedimentos. Neste caso temos o assunto principal registrado no início do papel, os conceitos com relação direta com o tema são anotados em retângulos inferiores ligados por setas descritivas, os conceitos mais específicos ficam sempre abaixo e os conceitos subjacentes podem ser definidos nas laterais em paralelo.

Embora os mapas conceituais possam ser estruturados conforme regras hierárquicas e esquemáticas, Moreira (1997) ressalta que a construção de um mapa conceitual não precisa, necessariamente, de uma hierarquia, sendo sua importância centrada na clareza de quais conceitos contextualmente são mais importantes e quais os secundários ou específicos.

Com isso os mapas conceituais são ferramentas viáveis para análise da estrutura de relação de conceitos dentro de uma vasta gama de aplicações. Pode assim ser usado desde instrumento de análise do currículo técnica didática, recurso de aprendizagem ou meio de avaliação (Moreira; Buchweitz *apud* Moreira, 1997).

4 A FÍSICA DAS ONDAS MECÂNICAS

4.1 HISTÓRICO DO ESTUDO DAS ONDAS

O estudo das ondas representa um pilar fundamental no entendimento do universo que nos cerca, desempenhando um papel vital em diversos aspectos da vida cotidiana e na expansão do conhecimento científico. A importância desse ramo do conhecimento reside não apenas em sua aplicação prática, como nas tecnologias de comunicação sem fio e na imagem por ressonância magnética, mas também na capacidade de desvelar os princípios fundamentais que regem a natureza.

Ao longo da história tivemos várias evidências de fenômenos naturais que indicavam comportamento compatível com as definições de uma onda. Aristóteles, em sua obra *Meteorologia*, já discutia o movimento da água o que, provavelmente, veio a marcar um prelúdio do estudo dos movimentos oscilatórios. No século XVI, Hooke (1664), em seu trabalho *Micrographia*, apresentou conceitos sobre a natureza da velocidade do som e sua propagação em meios materiais. Contemporâneo de Robert Hooke, Christiaan Huygens, em "*Traité de la Lumière*", formulou a teoria ondulatória da luz, conforme documento traduzido e comentado em Martins (2023).

Partindo para o século XIX, Thomas Young evidencia em suas descobertas a característica ondulatória da luz por meio da experiência da dupla fenda, que demonstrou fenômenos de interferência da luz. As contribuições de Augustin-Jean Fresnel na óptica também consolidaram a teoria ondulatória. Em meados do século XIX, James Clerk Maxwell, por meio de suas equações eletromagnéticas, formuladas na década de 1860, unificou eletricidade e magnetismo, fornecendo uma base teórica para a existência de ondas eletromagnéticas. Sua obra fundamental é "*A Treatise on Electricity and Magnetism*."

No início do século XX, a teoria quântica trouxe uma nova perspectiva. Louis de Broglie propôs a ideia de que partículas também exibem natureza ondulatória. Essa teoria foi confirmada experimentalmente com a difração de elétrons, marcando uma revolução nas concepções sobre as ondas de matéria. O século XX testemunhou avanços notáveis na física das ondas, desde o desenvolvimento da teoria das ondas gravitacionais por Albert Einstein até a exploração contínua de ondas em diversas áreas, incluindo a física de partículas e a comunicação de dados.

4.2 O PERÍODO E A FREQUÊNCIA DE UMA ONDA

A frequência e o período são características essenciais para descrever e designar diferentes tipos de ondas. Elas fornecem informações sobre a rapidez com que uma onda oscila e são fundamentais para entender a natureza da sua propagação e seus níveis de energia.

Conforme afirma Hewitt (2015), o período de uma vibração ou de uma onda é o tempo que dura uma oscilação completa. Essa determinação foi estabelecida pelos estudos de Galileu Galilei por meio da observação do pêndulo e foi aplicada para medição do tempo.

Galileu Galilei, o renomado físico e astrônomo do século XVII, desempenhou um papel crucial na revolução científica, destacando-se não apenas por suas observações astronômicas, mas também por suas investigações pioneiras no domínio do movimento pendular. O estudo do pêndulo, por Galileu, não apenas lançou as bases para a medição precisa do tempo, mas também influenciou profundamente a teoria das ondas.

Ao explorar o movimento oscilatório do pêndulo, Galileu fez uma descoberta notável: o isocronismo do pêndulo. Ele observou que, independentemente da amplitude pela qual o pêndulo oscila, o período, ou seja, o tempo que leva para realizar uma oscilação completa para frente e para trás, permanece constante. Esta observação foi crucial na criação de métodos precisos para medir o tempo.

O período, conforme definido por Galileu, tornou-se fundamental na quantificação do movimento oscilatório. Ele o descreveu como o tempo necessário para completar uma oscilação e percebeu que a regularidade desse período permitia uma medida confiável do tempo. Esse conceito foi revolucionário, pois proporcionou uma base sólida para o desenvolvimento de instrumentos de medida de tempo mais precisos, como os relógios de pêndulo.

O termo "frequência", no contexto das ondas, foi introduzido pelo físico alemão Heinrich Rudolf Hertz no final do século XIX, em seu trabalho *Electric Waves: Being Researches on the Propagation of Electric Action with Finite Velocity Through Space*. Ele realizou experimentos que confirmaram a existência das ondas eletromagnéticas, previstas teoricamente por James Clerk Maxwell.

Em seus estudos Hertz (2015) se referia a frequência pela quantidade de oscilações por unidade de tempo, na qual a unidade de tempo, em algumas considerações, era o segundo. Em sua homenagem, a unidade de grandeza da frequência é dada em Hertz, símbolo Hz.

Sendo a frequência definida pela quantidade de oscilações por unidade de tempo e o período o tempo necessário para completar uma oscilação, essas grandezas se relacionam de forma inversa.

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

4.3 MOVIMENTO HARMÔNICO SIMPLES

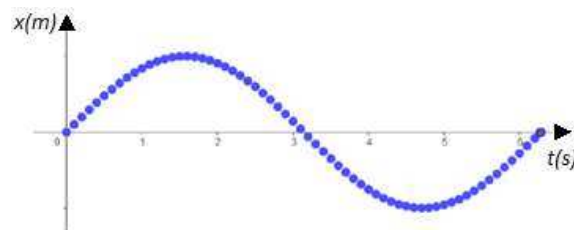
A exploração do movimento harmônico simples (MHS) no estudo das ondas é motivada por diversas intenções essenciais. O MHS oferece uma modelagem matemática poderosa, fornecendo uma linguagem precisa para descrever a dinâmica de sistemas oscilatórios presentes em ondas mecânicas, sonoras e eletromagnéticas. Visualizar a propagação de uma perturbação através do espaço torna-se mais intuitivo ao imaginar cada partícula realizando um movimento harmônico.

O MHS é o movimento executado por uma partícula sujeita a uma força de módulo proporcional ao deslocamento da partícula e orientado no sentido oposto (Halliday et. al., 2013, p. 92). Essa oscilação pode ser expressa matematicamente por uma função senoidal ou cossenoidal, sendo caracterizada por uma amplitude e uma frequência determinada.

Todo movimento que se repete a intervalos regulares é chamado de movimento periódico ou movimento harmônico. (Halliday et. al., 2013, p. 88). Dessa forma se considerarmos uma partícula em equilíbrio no ponto zero do eixo das ordenadas x de um plano cartesiano, tendo seu eixo das abscissas t como tempo (Figura 2), teremos um movimento periódico em torno da origem dado por

$$x(t) = x_m \cos(\omega t + \phi) \quad (2)$$

Figura 2 - Gráfico representando o movimento periódico de uma partícula



Fonte: O autor (2023).

A equação 2 descreve um movimento periódico, com um grau de liberdade, através de uma função senoidal cosseno com a posição definida em função do tempo. Os limites inferiores e superiores da variável x_m determinam a amplitude máxima do movimento, $(\omega t + \phi)$ é a fase do movimento, sendo ϕ a constante de fase ou fase inicial e ω a frequência angular.

Como a função cosseno se repete a cada 2π rad e isso ocorre quando o tempo é acrescido do período T então temos

$$\omega(t + T) + \phi = (\omega t + \phi) + 2\pi \quad (3)$$

$$\omega = 2\frac{\pi}{T} = 2\pi f \quad (4)$$

Dessa forma ω determina a quantidade de oscilações que são realizadas a cada segundo. Ao ser determinada o deslocamento de uma partícula no MHS, podemos assim determinar sua velocidade pela derivada da equação 3.1, fazendo

$$v(t) = \frac{d}{dt} [x_m \cos(\omega t + \phi)] \quad (5)$$

$$v(t) = -\omega x_m \sin(\omega t + \phi) \quad (6)$$

e por consequência sua aceleração dada por

$$a(t) = \frac{dv}{dt} = \frac{d}{dt} [-\omega x_m \sin(\omega t + \phi)] \quad (7)$$

$$a(t) = -\omega^2 x_m \cos(\omega t + \phi) \quad (8)$$

$$a(t) = -\omega^2 x(t) \quad (9)$$

Aplicando essa aceleração na segunda lei de Newton obtemos

$$F = -m\omega^2 x \quad (10)$$

este resultado representa uma força restauradora que já foi encontrada em outro contexto pela lei de Hooke (Halliday et. al., 2013, p. 92). Dessa forma temos

$$F = -kx \quad (11)$$

onde a constante elástica seria dada por $k = m\omega^2$. Logo teríamos para um sistema massa-mola a frequência angular

$$\omega = \sqrt{\left(\frac{k}{m}\right)} \quad (12)$$

e o período

$$T = 2\pi \sqrt{\left(\frac{m}{k}\right)} \quad (13)$$

Algumas condições devem ser satisfeitas para que a equação 13 possa ser aplicável:

- Elasticidade linear da mola: A mola deve obedecer à Lei de Hooke, ou seja, a força restauradora é proporcional ao deslocamento da mola (equação 11), sendo k a constante de proporcionalidade. Isso implica que a mola deve estar dentro do limite elástico, sem deformações permanentes.

- Ausência de forças dissipativas: A fórmula supõe que não há forças dissipativas significativas atuando no sistema, como atrito ou resistência do ar. Essas forças amorteceriam o movimento e alterariam o período ao longo do tempo.
- Oscilações pequenas: A fórmula é mais precisa quando o deslocamento da massa a partir do ponto de equilíbrio é pequeno, garantindo que a força restauradora seja linear e proporcional ao deslocamento.

A equação 10, descreve a lei do Movimento Harmônico Simples. Sendo assim a solução dessa equação modela qualquer deslocamento de partículas no MHS.

Fazendo a derivada segunda da equação 10 obtemos

$$m \frac{d^2}{dt^2} x = -m\omega^2 x \quad (14)$$

$$\frac{d^2}{dt^2} x + \omega^2 x = 0 \quad (15)$$

Sua solução mais geral é dada por

$$x(t) = Ae^{\alpha t} \quad (16)$$

onde A e α são constantes a determinar.

Fazendo $\frac{dx}{dt} = A\alpha e^{\alpha t}$ e $\frac{d^2x}{dt^2} = A\alpha^2 e^{\alpha t}$ e aplicando esse resultado na equação do MHS obtemos:

$$Ae^{\alpha t}(\alpha^2 + \omega^2) = 0 \quad (17)$$

Sendo A e α diferentes de zero a igualdade acima será válida quando

$$\alpha^2 + \omega^2 = 0 \quad (18)$$

o que implica em

$$\alpha = \pm i\omega \quad (19)$$

Substituindo na solução da equação do MHS obteremos

$$x(t) = A_1 e^{+i\alpha t} + A_2 e^{-i\alpha t} \quad (20)$$

e fazendo

$$A_1 = \frac{1}{2} x_M e^{+i\phi} \text{ e } A_2 = \frac{1}{2} x_M e^{-i\phi} \quad (21)$$

obteremos

$$x(t) = \frac{1}{2} x_M e^{+i(\omega t + \phi)} + \frac{1}{2} x_M e^{-i(\omega t + \phi)} \quad (22)$$

Considerando a fórmula de De Moivre

$$e^{i\theta} = \cos\theta + i\sin\theta \Rightarrow \cos\theta = \frac{1}{2}(e^{+i\theta} + e^{-i}) \quad (23)$$

obtemos então:

$$x(t) = x_m \cos(\omega t + \phi) \quad (24)$$

A energia potencial de um oscilador linear está inteiramente associada a constante de elasticidade do sistema oscilatório tendo também relação direta com o quadrado da amplitude máxima do movimento. Levando em consideração a lei de Hooke, a energia potencial de uma mola é dado por

$$U(t) = \frac{1}{2} kx^2 \quad (25)$$

ou ainda no MHS

$$U(t) = \frac{1}{2} kx_M^2 \cos^2(\omega t + \phi) \quad (26)$$

A energia cinética está inteiramente associada a partícula em movimento, portanto seu valor depende da rapidez com que a partícula se movimenta. Dessa forma temos:

$$K(t) = \frac{1}{2} mv^2 = \frac{1}{2} m\omega^2 x_M^2 \sin^2(\omega t + \phi) \quad (27)$$

ou ainda

$$K(t) = \frac{1}{2} mv^2 = \frac{1}{2} kx_M^2 \sin^2(\omega t + \phi) \quad (28)$$

De acordo as funções U e K e considerando que a energia mecânica do sistema se considera a energia do meio elástico e das partículas em movimento temos que:

$$E(t) = U(t) + K(t) \quad (29)$$

$$E(t) = \frac{1}{2} kx_M^2 \cos^2(\omega t + \phi) + \frac{1}{2} kx_M^2 \sin^2(\omega t + \phi) \quad (30)$$

$$E(t) = \frac{1}{2} kx_M^2 [\cos^2(\omega t + \phi) + \sin^2(\omega t + \phi)] \quad (31)$$

$$E(t) = \frac{1}{2} kx_M^2 \quad (32)$$

Na equação 29, obtemos a energia total do sistema através da soma das energias cinética e potencial. Já na equação 32 observamos que essa energia dependente da amplitude média gerada pelas oscilações.

4.4 ONDAS

A compreensão dos fenômenos ondulatórios parte das observações das oscilações que transmitem propagação de energia e momento pelo espaço ao longo do tempo. Segundo Hewitt (2015, p.)

[...] qualquer coisa que oscile para frente e para trás, para lá e para cá, de um lado para outro, para dentro e para fora, ou para cima e para baixo, está vibrando. Uma vibração ou oscilação é um movimento bamboleante com o transcorrer do tempo. Um movimento que ocorre tanto no espaço quanto no tempo constitui uma onda.

No estudo das ondas foram observados que esse fenômeno apresenta diferentes formas de manifestação, podendo assim ser caracterizado em três tipos diferentes, que são as ondas mecânicas, ondas eletromagnéticas e ondas de matéria. Cada tipo de onda possui características distintas, relacionadas ao meio no qual se propagam e aos fenômenos físicos que descrevem.

As ondas mecânicas são aquelas que se propagam através de um meio material, como sólidos, líquidos ou gases. Elas dependem da interação entre as partículas do meio para transferir energia. Um exemplo clássico é a onda sonora, que se propaga no ar por compressões e rarefações das moléculas.

As ondas eletromagnéticas, por sua vez, não precisam de um meio material para se propagar sendo verdade que podem existir no interior de um material, porém também podem se propagar no vácuo (Halliday et. al. 2013). Elas são oscilações de campos elétricos e magnéticos perpendiculares entre si e à direção de propagação. Esse conceito foi consolidado por James Clerk Maxwell no século XIX, com suas famosas equações de Maxwell, que descrevem a interação entre os campos elétricos e magnéticos e preveem a propagação das ondas eletromagnéticas com a velocidade da luz no vácuo.

Já as ondas de matéria surgiram com a mecânica quântica no início do século XX, com a proposição de Louis de Broglie de que partículas de matéria também podem ter comportamento ondulatório. Isso foi comprovado experimentalmente por meio de fenômenos como a difração de elétrons. De Broglie sugeriu que a equação $p = \frac{h}{\lambda}$ fosse aplicada aos elétrons. Sua previsão era de que as partículas de matéria se comportassem como ondas em certas circunstâncias, tendo uma partícula de momento p um comprimento de onda λ , denominado comprimento de onda de de Broglie (Halliday et. al. 2013). A ideia de que a matéria apresenta propriedades ondulatórias foi um marco na consolidação da teoria quântica,

levando ao desenvolvimento da equação de Schrödinger, que descreve a evolução temporal das ondas de matéria em sistemas quânticos

4.4.1 Ondas Mecânicas

As ondas mecânicas se caracterizam pela necessidade da existência de um meio para que ocorra sua propagação. Halliday et. al. (2013) afirma que todas essas ondas são governadas pelas leis de Newton e existem apenas em meios materiais. Sua propagação resulta da transmissão de energia pelas partículas que compõem a matéria, fazendo-as oscilar em volta de um ponto de equilíbrio sem que sejam transportadas para uma posição diferente da inicial. Existem dois tipos principais de ondas mecânicas: longitudinais, nas quais a perturbação ocorre na mesma direção da propagação da onda, e transversais, nas quais a perturbação ocorre perpendicularmente à direção de propagação.

As ondas sonoras, fonte de estudo do produto educacional desse trabalho, obedecem a esse comportamento ao serem transmitidas por algum meio material, sendo, portanto, considerada uma onda mecânica cuja direção de vibração é longitudinal e tem propagação tridimensional.

A ideia de ondas que se transmite pela matéria foi introduzida no trabalho *Traité de la Lumière* do físico Chistiann Huygens (*apud* Martins, 1986). Neste trabalho Huygens foca na natureza da luz onde propõe uma fonte vibratória para sua origem.

Não se pode duvidar que a luz consista no movimento de certa matéria. Se considerarmos a sua produção, encontraremos que na Terra são principalmente o fogo e a chama que a geram e eles contêm, sem dúvida, corpos que têm um movimento muito rápido, já que dissolvem e fundem muitos outros corpos, dos mais sólidos. (Huygens *apud* Martins, 1986, p. 12).

Em outro trecho, Huygens considera a luz com uma entidade que possui uma velocidade muito alta, citando a compreensão do som no ar como parâmetro para seu entendimento. Afirma ainda que tal propagação não pode ocorrer pelo transporte de matéria, fazendo ainda referência ao que hoje conhecemos como princípio da independência dos raios luminosos.

Além disso, quando se considera a extrema velocidade com que a luz se espalha por todos os lados e que, quando vem de diferentes lugares, mesmo totalmente opostos [os raios luminosos] se atravessam uns aos outros sem se atrapalharem, compreende-se que, quando vemos um objeto luminoso, isso não poderia ocorrer pelo transporte de uma matéria que venha do objeto até nós, como uma flecha ou bala atravessa o ar; pois certamente isso repugna bastante a essas duas propriedades da luz e principalmente à última. Ela se espalha, portanto, de uma outra maneira e o que nos

pode conduzir a compreendê-la é nosso conhecimento da propagação do som no ar. (Huygens *apud* Martins, 1986, p. 12).

Ao longo de seu estudo podemos ver considerações que se mostram verdadeiras ao longo do tempo, cunhando assim as bases conceituais da teoria ondulatória. A respeito das considerações sobre a propagação do som, Huygens destaca sua natureza tridimensional em forma esférica ressaltando sua velocidade constante.

Sabemos que, por meio do ar, que é um corpo invisível e impalpável, o som se propaga em toda a volta do lugar onde foi produzido, por um movimento que passa sucessivamente de uma parte do ar a outra. A propagação desse movimento se faz com igual velocidade para todos os lados e devem se formar como superfícies esféricas que crescem sempre e que chegam a atingir nossas orelhas. (Huygens *apud* Martins, 1986, p. 12).

Ao se referir a passagem da luz de um ponto a outro, Huygens destaca novamente sua propagação justificando a impossibilidade do transporte de matéria. Ao final cunha o motivo pelo qual chama esses fenômenos de ondas, as quais partem da observação natural de ondas em superfície da água.

Se a luz gasta tempo para essa passagem - o que vamos examinar agora - seguir-se-á que esse movimento impresso à matéria é sucessivo e que, conseqüentemente, ele se espalha, assim como o som, por superfícies e por ondas esféricas. Eu as chamo "ondas" por semelhança àquelas que vemos formarem-se na água quando aí se joga uma pedra e que representam uma propagação sucessiva circular - embora proveniente de uma outra causa e somente em uma superfície plana. (Huygens *apud* Martins, 1986, p. 12).

Huygens afirma ainda que a propagação da onda se dá através de um meio sem o transporte de matéria. Usando, por lógica, o princípio da alta vibração como fonte de luz ele justifica que essas vibrações são transmitidas por partículas que compõem o meio condutor. No caso da luz, esta se propagaria pelo éter, as quais segundo ele, possuem partículas muito menores que as partículas de ar. Já o som seria produzido por vibrações de menor intensidade de vibração que se propagam pelo ar.

Sabe-se que a produção do som é feita pelo súbito abalo de um corpo inteiro, ou de uma parte considerável, que agita todo o ar contíguo. Mas o movimento da luz deve nascer como de cada ponto do objeto luminoso, para permitir perceber todas as partes diferentes desse objeto (...). Creio que a melhor explicação para esse movimento é a suposição de que os corpos luminosos líquidos, como a chama - e aparentemente o Sol e as estrelas - são compostos por partículas que nadam em uma matéria muito mais sutil, que as agita com uma grande rapidez, e as faz chocarem-se contra as partículas do éter, que as cercam, e que são muito menores do que elas. Nos sólidos luminosos, como o carvão, ou metal incandescente, [deve-se supor] que esse mesmo

movimento é causado pela agitação violenta das partículas do metal ou da madeira, das quais as que estão na superfície também batem na matéria etérea. Além disso, a agitação das partículas que geram a luz deve ser muito mais rápida e brusca do que a que causa o som dos corpos. (Huygens *apud* Martins, 1986, p. 16-17).

As ideias abordadas demonstram a análise de ondas que se propagam por um meio, levando em consideração a transmissão das vibrações por partículas, adotadas provavelmente pelas ideias da transmissão de calor já disseminadas na época pelo trabalho de Bacon (Martins, 2023). Esse entendimento se consolida como a base para a interpretação contemporânea das ondas mecânicas, sendo a luz tratada na época como uma onda que se assemelha a onda sonora, por se propagar através das partículas do éter. Apesar do éter não ser considerado mais uma entidade física real no entendimento atual para o estudo de propagação das ondas, a sua interpretação ainda perdura em uma possível caracterização física, sendo assim, não excludente de uma reconsideração da sua existência.

Huygens buscou, por lógica, interpretar a existência do éter tanto na ausência de matéria, quanto na sua integração no meio material. Para isso justificava que o éter teria a propriedade de adentrar na matéria.

Esse último ponto é demonstrado ainda mais claramente pela célebre experiência de Torricelli. Nela, o tubo de vidro de onde se retirou o mercúrio, permanecendo completamente vazio de ar, transmite a luz como quando havia ar. Isso prova que se encontra dentro desse tubo uma matéria diferente do ar, e que essa matéria deve haver penetrado o vidro, ou o mercúrio, ou ambos, que são impenetráveis ao ar. E quando, na mesma experiência, se coloca um pouco de água acima do mercúrio, conclui-se de modo semelhante que tal matéria atravessa o vidro, ou a água, ou ambos. (Huygens *apud* Martins, 1986, p. 18).

Na perspectiva da propagação da luz e do som Huygens ainda faz uma análise quantitativa da velocidade de propagação dessas duas entidades físicas, estimando a velocidade da luz em mais de 600 mil vezes a velocidade do som. Apesar de incorretos os valores por si só já mostram uma percepção adequada da rapidez dessas ondas, bem como as suas características de propagação.

4.4.1.1 Estudo de ondas em cordas

As ondas em cordas são fenômenos vibratórios que ocorrem quando uma perturbação é introduzida em uma corda esticada. Esse fenômeno é governado por uma série de fatores físicos, incluindo a velocidade da onda, a massa da corda e a tensão na corda. Quando uma corda

esticada está em repouso, ela se encontra em equilíbrio. No entanto, ao introduzir uma perturbação, como uma oscilação ou pulso, a corda é colocada em movimento.

Quando uma corda tensionada sofre uma sacudidela (...) a forma da corda modifica-se com o tempo, de maneira regular: a deformação provocada numa extremidade, pela sacudida, e que percorre a corda é um pulso ondulatório. É uma deformação ou perturbação na corda, uma modificação da sua forma em relação à forma de equilíbrio. (Tipler, 1998, p. 516)

Quando um pulso de onda se move ao longo da corda, as partículas individuais da corda oscilam em torno de suas posições de equilíbrio. O pulso carrega energia cinética e potencial ao longo da corda, mantendo a onda em movimento. Esse movimento cria uma onda que se propaga ao longo da corda.

As ondas em corda são consideradas unidimensionais, pois apresentam um grau de liberdade que corresponde somente a direção da corda. A perturbação ocorrida em uma corda é considerada uma onda progressiva (ou onda caminhante), que se desloca como um todo sem mudar de forma, com velocidade v . (Nussenzveig, 2002).

Essa perturbação atinge máximos e mínimos denominados amplitude da onda. Essa amplitude é o módulo do deslocamento máximo sofrido pelos elementos a partir da posição de equilíbrio quando a onda passa por eles (Halliday et. al., 2013).

Essa onda pode ser representada por uma função que determina uma posição do deslocamento no sentido da sua vibração em função da sua posição e do tempo $y(x, t)$. Em um instante $t = 0$ temos a onda definida por

$$y(x, 0) = f(x). \quad (33)$$

Se considerarmos outro referencial teremos

$$y'(x, t) = f(x'). \quad (34)$$

Sendo $x' = x + vt$ e $y = y'$ temos que estando então, a onda definida em qualquer ponto do espaço tempo por

$$y(x, t) = f(x - vt), \quad (35)$$

considerando um movimento no sentido positivo do eixo x ou

$$y(x, t) = f(x + vt) \quad (36)$$

para um movimento contrário (TIPLER, 1978).

Um caso particular são as ondas harmônicas, assim chamadas porque a perturbação, num dado ponto x , corresponde a uma oscilação harmônica simples (Nussenzveig, 2002, p. 100). Usando uma função senoidal temos

$$f(x) = A \cos(kx' + \phi), \quad (37)$$

sendo

$$x' = x + vt \quad (38)$$

obtemos

$$y(x, t) = A \cos(kx + kv t + \phi) \quad (39)$$

Analisando a expressão temos a posição y determinada pelo tempo e a posição da onda. A é a amplitude máxima, ϕ é a constante de fase, v é a velocidade e k o número de onda.

Interpretando essas variáveis temos y como o ponto do deslocamento da onda, perpendicular a sua propagação, com valores máximos em A e $-A$. A constante de fase ϕ é o ângulo que representa o deslocamento y e a inclinação da curva no ponto $x = 0$ e no tempo $t = 0$, sendo $y(0,0) = A \cos(\phi)$.

O número de onda é representado pela variável k , valor que está relacionado com a porção de onda formada por unidade de espaço, sendo válida a relação $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ e tendo sua unidade no SI dada em radiano por metro. Maiores valores de k implicam em ondas com menores comprimentos.

4.4.1.1 Velocidade da onda em uma corda esticada.

A velocidade da onda v é influenciada pela tensão na corda T e pela massa linear da corda μ .

Uma propriedade geral das ondas é a dependência entre a velocidade da onda e as propriedades do meio em que se propaga, e a independência entre esta velocidade e o movimento da fonte em relação ao meio (Tipler, 1978). A exemplo podemos citar a propagação do som por algum meio, tendo sua velocidade dependente exclusivamente das características do material de transporte, independentemente este da velocidade da fonte.

Daniel Bernoulli, em seu livro “Hydrodynamica” de 1738, apresentou um estudo pioneiro sobre a velocidade das ondas em cordas tensionadas, chegando ao seguinte modelo

$$v = \sqrt{\frac{T}{\mu}} \quad (40)$$

Onde v é a velocidade de propagação, T é a intensidade da força de tração exercida na corda e μ é a densidade linear da corda, $\mu = \frac{m}{l}$.

Observa-se que uma onda formada ao longo de uma corda, apresenta duas forças de tensão em cada uma das extremidades deformadas, conforme Figura 3. Se considerarmos um ângulo da deformação θ pequeno suficiente, a ponto de

$$\text{sen}\left(\frac{\theta}{2}\right) = \frac{\theta}{2} \quad (41)$$

teremos a tensão radial igual a $T \text{sen}\left(\frac{\theta}{2}\right)$ em cada uma das extremidades da corda o que resulta em uma força resultante igual

$$F_R = 2T \text{sen}\left(\frac{\theta}{2}\right) = T\theta \quad (42)$$

tendo uma aceleração

$$a = \frac{v^2}{r}. \quad (43)$$

Sendo l o comprimento do segmento, que é o arco referente a θ , temos

$$l = r\theta, \quad (44)$$

sendo r o raio do círculo. Dessa forma temos

$$\mu = \frac{m}{l}, \quad (45)$$

substituindo o valor de l obtemos

$$m = \mu r\theta. \quad (46)$$

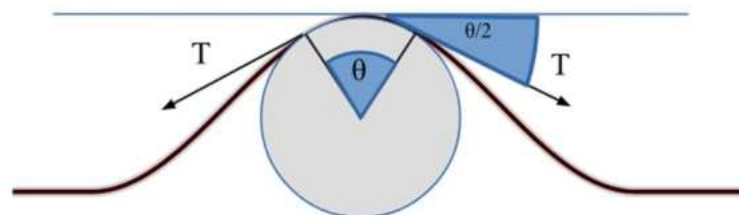
Da Segunda Lei de Newton obtemos que:

$$T\theta = \mu r\theta \frac{v^2}{r}, \quad (47)$$

o que resulta em

$$v = \sqrt{\frac{T}{\mu}}. \quad (48)$$

Figura 3 - Representação das forças de tração em uma onda na corda

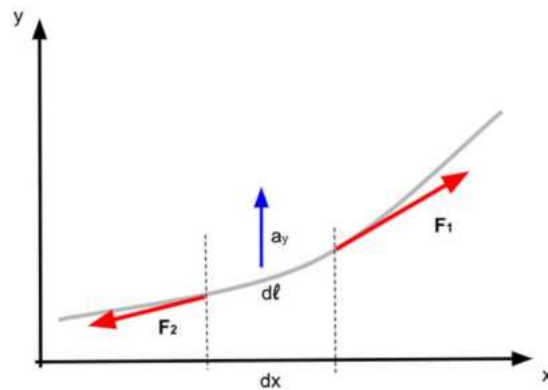


Fonte: O autor (2023).

Em 1743, Jean le Rond D'Alembert, matemático e físico francês do século XVIII, contribuiu para o estudo das ondas unidimensionais, destacando-se por sua abordagem analítica e sua formulação da equação de onda para cordas vibrantes. D'Alembert desenvolveu uma análise sistemática das ondas em cordas esticadas, centrando-se na determinação da função de onda que descreve seu comportamento.

Ao considerarmos uma onda em corda presa a duas extremidades fixas, se tivermos uma amplitude pequena teremos a deformação na corda levemente acentuada, estando uma unidade de massa dm em uma fatia $d\ell$ da corda, sujeitas a duas forças que atuam em suas extremidades e são tangentes a curva formada pela onda (Figura 4).

Figura 4 - Forças atuantes em um elemento de corda

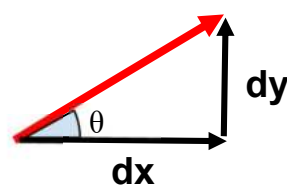
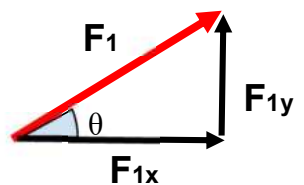


Fonte: O autor (2023).

Pela segunda lei de Newton temos que

$$F_1 - F_2 = dm \cdot a_y \quad (49)$$

Decompondo o vetor F_1 obtemos:



sendo

$$tg(\theta) = \frac{F_{1y}}{F_{1x}} \quad (50)$$

Considerando que $F_{1y} \ll F_{1x}$, podemos considerar $dl = dx$ com boa aproximação. Sendo assim temos $F_1 = F_{1x}$ e usando a mesma lógica obtemos $F_2 = F_{2x}$. Os vetores F_1 e F_2 possuem o mesmo módulo e são equivalentes a tração T . As tangentes são as inclinações dos vetores nas extremidades de dl . Fazendo

$$S_1 = tg(\theta) \quad (51)$$

e

$$S_2 = tg(\theta') \quad (52)$$

temos então que

$$F_{1y} = S_1 T \quad (53)$$

$$E F_{2y} = S_2 T. \quad (54)$$

Com esse procedimento conseguimos isolar as duas forças que agem na porção infinitesimal dm da corda na vertical. Logo pela segunda Lei de Newton Temos:

$$S_1 T - S_2 T = dm \cdot a_y \quad (55)$$

Sendo $\mu = \frac{dm}{dl}$, que equivale a $\mu = \frac{dm}{dx}$ obtemos a equação como:

$$(S_1 - S_2) \cdot \frac{T}{\mu} = dx \cdot a_y \quad (56)$$

Considerando o comprimento infinitesimal da corda, temos

$$S_1 - S_2 = dS, \quad (57)$$

o que corresponde a inclinação em qualquer ponto da curva. Sendo por definição $S = \frac{dy}{dx}$, obtemos

$$S_1 - S_2 = \frac{dy}{dx}, \quad (58)$$

logo

$$dS = d\left(\frac{dy}{dx}\right), \quad (59)$$

substituindo na equação obtemos

$$d\left(\frac{dy}{dx}\right) \frac{T}{\mu} = dx \cdot a_y \quad (60)$$

$$d \frac{\left(\frac{dy}{dx}\right) T}{dx \mu} = \frac{d^2 y}{dt^2} \quad (61)$$

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = \frac{\mu}{T} \frac{d^2 y}{dt^2} \quad (62)$$

Sendo $v = \sqrt{\frac{T}{\mu}}$, fazendo a substituição na equação anterior e escrevendo as derivadas na forma parcial, por depender do espaço e do tempo, obtemos então a equação de onda dada por

$$\frac{\partial^2 y}{\partial x^2} = \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} \quad (63)$$

Está equação “é a célebre equação das cordas vibrantes, obtida por Euler e D’Alembert por volta de 1750 (Nussenzveig, 2002, p. 105). As soluções da equação de ondas unidimensionais em cordas, nos fornecem informações sobre como as ondas se propagam ao longo da corda. Essas soluções podem descrever ondas estacionárias, onde os pontos da corda oscilam em torno de uma posição fixa, ou ondas viajantes, que se movem ao longo da corda.

4.4.1.1.2 A energia de uma onda em corda

Ao receber um pulso, as partes de uma corda oscilam perpendicularmente a direção de propagação da onda. Neste processo uma onda se propaga transportando energia na forma de energia potencial elástica e cinética.

Um elemento de corda dm , possui energia cinética associada à sua velocidade transversal, quando oscila em um movimento harmônico simples, ao ser atravessado por uma onda (Halliday et. al., 2013). Essa energia é máxima quando o elemento dm passa pela posição de repouso $y = 0$ e nula quando atinge os extremos em y referente a sua amplitude (Halliday et. al., 2013).

Ao ser atravessada por uma onda, um elemento de corda dx sofre deformação adquirindo energia potencial elástica. Essa energia é máxima quando esse elemento de corda se encontra na posição de repouso $y = 0$ e nula quando alcança os extremos y de sua amplitude (Halliday et. al., 2013).

4.4.1.2 O som

O som consiste em uma onda mecânica, tridimensional, com vibração longitudinal, que se propaga em um meio material. No trabalho de Huygens (*apud* Martins, 1986), ele já fazia referência ao som como algo que se propaga pelo ar em igual velocidade, como uma bolha que cresce em todas as direções, em volta do ponto onde foi produzido. No estudo de Hooke (1664),

ele já mencionava indícios da propagação do som em meios sólidos. Sendo uma onda mecânica, o som não se transmite no vácuo devido à ausência de matéria. “O som de uma campainha tocando dentro de um recipiente no qual se produz o vácuo deixa de ser ouvido, conforme observado por Robert Boyle em 1660” (Nussenzveig, 2002, p. 122). Aliado a essas evidências temos ainda o fato do som atravessar sólidos e fluidos sem que haja o transporte de matéria ser também um indício de sua natureza ondulatória (Nussenzveig, 2002).

O som ocorre pela propagação da energia ao longo de um meio material. Nesse transporte é provocado o movimento oscilatório das partículas do meio transmissor, sem que haja o transporte da matéria. Sobre essa vibração Nussenzveig (2002) afirma ainda que:

Um fluido como a atmosfera não pode transmitir tensões tangenciais, de modo que as ondas sonoras na atmosfera são ondas longitudinais, associadas a variação de pressão, ou seja, compressão e refração, como as ondas ao longo de uma mola. (Nussenzveig, 2002, p.122).

4.4.1.2.1 A velocidade do som

Ao buscarmos um entendimento sobre a velocidade de propagação de uma onda mecânica, temos que levar em consideração dois fatores como afirma Halliday et. al. (2013):

A velocidade de uma onda mecânica, seja ela transversal ou longitudinal, depende tanto das propriedades inerciais do meio (para armazenar energia cinética) como das propriedades elásticas do meio (para armazenar energia potencial). (Halliday et. al., 2013, p. 152).

No caso das ondas em cordas temos μ como a propriedade inercial e T como a propriedade elástica. Substituindo a densidade linear da corda μ , pela densidade do ar ρ obtemos uma das propriedades inerciais para o som. A outra propriedade já envolve a mudança de pressão devido a variação do volume. Dessa forma (Nussenzveig, 2002) mostra que uma massa de fluido M ocupa um volume V . Ao ser exposto a um acréscimo de pressão esse volume diminui, ou ainda $\Delta V < 0$ quando $\Delta P > 0$, tendo sua magnitude da variação percentual de volume dada por $\frac{-\Delta V}{V}$, definindo assim

$$K = \frac{\frac{\Delta V}{V}}{\Delta P} \quad (64)$$

Sendo K o módulo de compressibilidade do fluido. Esse valor indica a variação percentual de volume em decorrência de uma variação de pressão ocorrida. Quanto maior a variação de volume em um fluido maior será sua compressibilidade.

Nussenzveig (2002) mostra ainda o inverso B de K que determina o módulo de elasticidade volumétrica dado por

$$B = \frac{-\Delta P}{\frac{\Delta V}{V}} \quad (65)$$

A variação de pressão faz as partículas oscilarem na mesma direção de propagação da onda, representando assim a propriedade elástica do meio. Fazendo ainda a análise dimensional da razão de B por ρ obtemos:

$$B = [M]. [L]. [T^{-2}]. [L^{-2}], \quad (66)$$

$$\text{e } \rho = [M]. [L^{-3}]. \quad (67)$$

Fazendo

$$\frac{B}{\rho} = \frac{[M]. [L]. [T^{-2}]. [L^{-2}]}{[M][L^{-3}]} \quad (68)$$

obtemos

$$\frac{B}{\rho} = \frac{[L^2]}{[T^2]} \quad (69)$$

Esse resultado corrobora com a expressão da velocidade da onda sonora dada por

$$v = \sqrt{\frac{B}{\rho}}. \quad (70)$$

TIPLER (1978), apresenta ainda esta equação em termo de temperatura. Fazendo

$$P = \frac{nRT}{V} = \frac{\rho RT}{M}, \quad (71)$$

onde M é a massa molar e

$$\rho = \frac{nM}{V} \quad (72)$$

é a densidade, o que resulta em

$$v = \sqrt{\frac{RT}{M}} \quad (73)$$

4.4.1.3 Interferência

Em uma corda podem existir simultaneamente mais de uma onda que se sobrepõem formando um fenômeno conhecido com interferência. “De acordo com o princípio da

superposição, quando existem numa mesma região duas ou mais ondas, a onda resultante é igual à soma algébrica das ondas” (Tipler, 1978, p. 538).

Halliday et. al. (2013) aborda essa propriedade mostrando que duas ondas dadas por

$$y_1(x, t) = y_m \text{sen}(kx - \omega t) \quad (74)$$

e

$$y_2(x, t) = y_m \text{sen}(kx - \omega t + \phi), \quad (75)$$

que se propagam no mesmo sentido do eixo x e se diferem somente pela constante de fase ϕ .

Pelo princípio da superposição temos que a onda resultante é dada por

$$y(x, t) = y_1(x, t) + y_2(x, t) \quad (76)$$

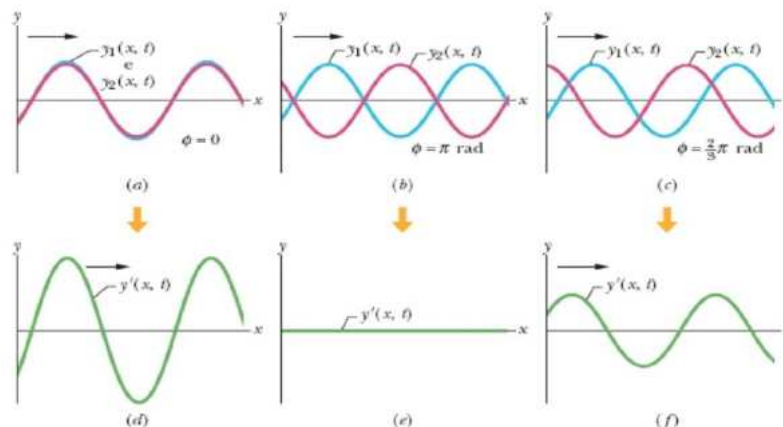
$$y(x, t) = y_m \text{sen}(kx - \omega t) + y_m \text{sen}(kx - \omega t + \phi) \quad (77)$$

que resulta em

$$y(x, t) = \left[2y_m \cos \frac{\phi}{2} \right] \text{sen} \left(kx - \omega t + \frac{\phi}{2} \right) \quad (78)$$

A constante de fase da onda resultante é dada por $\frac{\phi}{2}$ e a amplitude y'_m é o módulo do fator $2y_m \cos \frac{\phi}{2}$ (Halliday et. al., 2013). Para $\phi = 0$, temos as duas ondas em mesma fase, sendo $\cos \left(\frac{\phi}{2} \right) = 1$ e a amplitude resultante é igual a soma das amplitudes de y_1 ou y_2 . Para $\phi = \pi$, temos o $\cos \left(\frac{\phi}{2} \right) = 0$ e as duas ondas se cancelam totalmente. Estes dois fenômenos são denominados interferência perfeitamente construtiva e interferência perfeitamente destrutiva (Tipler, 1978).

Figura 5 - Interferência de ondas em cordas



Fonte: Halliday et. al. (2012, p. 131).

Na Figura 5(a), podemos observar a propagação de duas ondas em fase produzindo uma onda resultante de grande amplitude, enquanto na Figura 5(b) temos as ondas fora de fase se anulando e na Figura 5(c) temos uma situação intermediária (Halliday et. al., 2012).

4.4.1.4 Intensidade e Nível Sonoro

A intensidade sonora e o nível sonoro são duas propriedades das ondas sonoras que estão relacionadas à percepção do som.

A intensidade do som é a quantidade de energia que as ondas sonoras transferem, através de uma área, durante o intervalo de tempo de um segundo. Ela é usada para medir o fluxo de energia que é transportado por uma onda sonora. “A intensidade sonora é definida fisicamente como a taxa média por unidade de área com a qual a energia contida na onda atravessa a superfície ou é absorvida pela superfície” (Halliday et. al., 2013, p.158). As unidades mais usadas para a intensidade são W/m^2 e $J/s.m^2$. Quanto maior for a energia de vibração da fonte que emite a onda, mais intenso será o som. Matematicamente temos a intensidade sonora dada por

$$I = \frac{P}{A} \quad (79)$$

Onde P e A são a potência e a área respectivamente.

Supondo uma fonte sonora pontual isotrópica, podemos supor com boa aproximação que as ondas se propagam por igual em todas as direções, em que os pulsos formam esferas concêntricas. Dessa forma, a energia total será distribuída igualmente pela superfície da esfera.

$$I = \frac{P}{4\pi r^2} \quad (80)$$

A intensidade de uma onda pode ainda ser determinada pela sua amplitude s_m , o que é definido pela equação

$$I = \frac{1}{2} \rho v \omega^2 s_m^2 \quad (81)$$

Podemos observar nesta equação que, em uma onda sonora harmônica emitida em um meio homogêneo, teremos a densidade do ar, a frequência e a frequência angular constantes, podendo variar a amplitude da onda caso seja aumentada sua energia. “O limiar de audibilidade corresponde à intensidade do som mais fraco que pode ser ouvido. Seu valor depende da frequência; para $\nu = 10^3 s^{-1}$ é dada por $I_0 \approx 10^{-1} \frac{W}{m^2}$ ” (Nussenzveig, 2002, p.131). Já o limiar

de sensação dolorosa ocorre quando $I_m \sim 1 \frac{W}{m^2}$, para uma frequência $\nu = 10^3 s^{-1}$ (Nussenzveig, 2002).

O nível de intensidade sonora é uma grandeza física relacionada com a sensação auditiva que a onda sonora provoca. O interior do ouvido humano tem uma amplitude de deslocamento devido as vibrações sonoras que consegue detectar, que varia de $10^{-11}m$ para o som mais fraco detectável até $10^{-5}m$ para o som mais alto tolerável (Halliday et. al., 2013).

O nível de intensidade sonora é medido numa escala logarítmica, de modo que incrementos iguais na escala correspondem a fatores iguais de aumento na intensidade (Nussenzveig, 2002). É dado pelo quociente logarítmico entre a Intensidade sonora da onda (I) e a intensidade sonora de referência (I_0). A unidade utilizada para o nível sonoro é o Bel (B), mas como esta unidade é grande comparada com a maioria dos valores de nível sonoros utilizados no cotidiano, seu múltiplo usual é o decibel (dB), de maneira que $1B=10dB$. E a fórmula para calcular o nível sonoro (β) é:

$$\beta = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{I}{I_0} \right) \quad (82)$$

Dessa forma, sendo $I = 10^{-12} \frac{W}{m^2}$, teremos o nível de intensidade sonora igual a zero e para $I = I_m = 1 \frac{W}{m^2}$ obteremos $\beta = 120db$ que é o limiar da dor.

5 METODOLOGIA

A presente dissertação adota a abordagem de pesquisa de método misto, na qual serão aplicadas práticas quantitativas e qualitativas. Essa situação se justifica pela necessidade de generalizar os achados exploratórios (Gil, 2017). Dessa forma, serão aplicados métodos qualitativos analisados por amostra enquanto os métodos quantitativos buscam caracterizar um resultado mais amplo em algumas situações.

Para o estudo qualitativo, usaremos a pesquisa-ação como metodologia central, visando buscar a compreensão sobre os impactos da intervenção de uma Sequência Didática no ensino de ondas para alunos do 9º ano do Ensino Fundamental, “O objetivo fundamental da pesquisa-ação consiste em melhorar a prática em vez de gerar conhecimentos” (Moreira, 2011, p. 90).

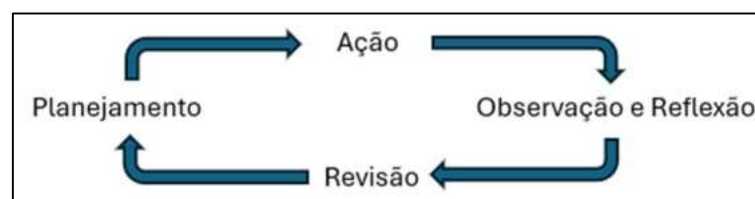
Essa pesquisa pode ser definida como

Um tipo de pesquisa com base empírica que é concebida e realizada em estreita associação com uma ação ou ainda, com a resolução de um problema coletivo, onde todos pesquisadores e participantes estão envolvidos de modo cooperativo e participativo. (Thiollent *apud* Gil, 2002, p. 55).

Gil (2017) destaca que a pesquisa-ação visa identificar um problema específico em uma situação particular, com o objetivo de obter algum resultado prático. Ao contrário da pesquisa tradicional, seu foco não está na obtenção de enunciados científicos generalizáveis.

Sobre esta abordagem metodológica, Elliot (1993 *apud* Moreira, 2011, p.92) define esse tipo de pesquisa como uma espiral de ciclos de reconhecimento (Figura 6), baseado em uma situação que se quer mudar seguido da planificação geral da ação objetivando a mudança, desenvolvimento, implementação, avaliação dessa ação e reflexão à luz da evidência recolhida na implementação. A esta sequência de procedimentos busca-se ainda uma revisão do plano geral e uma nova aplicação da sequência conforme necessário.

Figura 6 - Ciclo da pesquisa ação



Fonte: O autor (2023).

A escolha por uma pesquisa qualitativa justifica-se ainda pela necessidade de explorar a complexidade das experiências dos alunos dentro do processo de ensino-aprendizagem, bem como compreender em profundidade os fenômenos educacionais envolvidos.

5.1 SUJEITOS DA PESQUISA

A pesquisa foi aplicada em uma turma do 9º ano do Ensino Fundamental, na escola pública municipal Centro Educacional Professora Alzira Alves Carneiro, localizada no município de Tanque Novo - BA.

A turma é composta por 36 alunos, com idades entre 14 e 15 anos, residentes na sede do município. Todos os alunos e seus responsáveis legais serão comunicados sobre as questões éticas da pesquisa e da não obrigatoriedade de participação, demandando a assinatura do Termo de Consentimento Livre Esclarecido – TCLE.

5.2 INDÍCIOS DE RESULTADOS

Os dados obtidos serão analisados de forma qualitativa e quantitativa a fim de mostrar evidências de aprendizado significativo por parte dos alunos inseridos no processo.

Como análise qualitativa, serão observados:

- 1 – Comportamento e participação perante os experimentos e exposição dos diversos materiais didáticos ao longo da aplicação da sequência;
- 2 - Comparações entre as estruturas das respostas dos testes de levantamento de conhecimentos prévios e testes subsequentes a explanação dos conteúdos.
- 3 - Análise das estruturas dos mapas conceituais, realizados pelos alunos na etapa da avaliação da UEPS.

Buscaremos, nestas informações, indícios do avanço na estrutura conceitual dos conteúdos abordados que comprovasse um aprendizado fixado por complementação de conhecimento prévio e evolução dos subsunçores.

Como análise qualitativa, serão realizadas observações no teste de levantamento de conhecimentos prévios, no teste final de sondagem e no formulário de avaliação do estudante.

Esta análise tem como finalidade elucidar um panorama da turma de forma quantitativa a respeito dos níveis de aprendizados alcançados em geral.

5.3 DESENVOLVIMENTO DA APLICAÇÃO DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA

A sequência didática foi desenvolvida seguindo os passos de uma UEPS com as programações das aulas previamente definida conforme Tabela 4.

Tabela 5 – Desenvolvimento da aplicação da sequência didática

AULAS	PASSOS	DESCRIÇÃO DAS ATIVIDADES
1ª aula (19/10/2023)	Definição do tema	- Levantamento do tema
2ª aula (19/10/2023)	Levantamento dos conhecimentos prévios (subsunçores)	- Aplicação de questionário para levantamento dos conhecimentos prévios; - Construção de mapa mental.
3ª aula (19/10/2023)	Situação problema em nível introdutório para ancorar o novo conhecimento	- Situação problema: - O que é uma onda? - Por que o som é uma onda? - Estudo das ondas mecânicas - Gerando ondas em cordas e em uma mola slink.
4ª aula (26/10/2023) 5ª aula (26/10/2023) 6ª aula (09/11/2023)	Exposição do conteúdo destacando os aspectos mais gerais a partir da diferenciação progressiva	- Apresentação do vídeo “O que é uma Onda?” - Estudo das ondas com o simulador Phet - Explicação teórica sobre as ondas mecânicas.
7ª aula (09/11/2023) 8ª aula (09/11/2023) 9ª aula (09/11/2023)	Retorno aos aspectos mais gerais em níveis mais altos de complexidade	- Investigando a natureza ondulatória do som - Experimento com dois diapasões; - Estudo das ondas sonoras com o simulador Phet; - Estudo das ondas no aplicativo PhyPhox - Estudo da frequência sonora - Vídeo Teste de Audição divertida.
10ª aula (10/11/2023) 11ª aula (10/11/2023)	Conclusão da UEPS – Retorno as características mais relevantes do conteúdo buscando a reconciliação integrativa.	- Velocidade da onda sonora; - Nível de intensidade da onda sonora.
12ª aula (16/11/2023)	Avaliação da aprendizagem por meio da UEPS	- Aplicação de avaliação escrita; - Construção de um mapa conceitual.

13ª aula (16/11/2023)		
	Avaliação da UEPS:	<ul style="list-style-type: none"> - Avaliação da sequência pelos alunos; - Avaliação da UEPS baseada nas análises de dados.

Fonte: O autor (2023).

5.3.1 Definição do tema e levantamento dos conhecimentos prévios

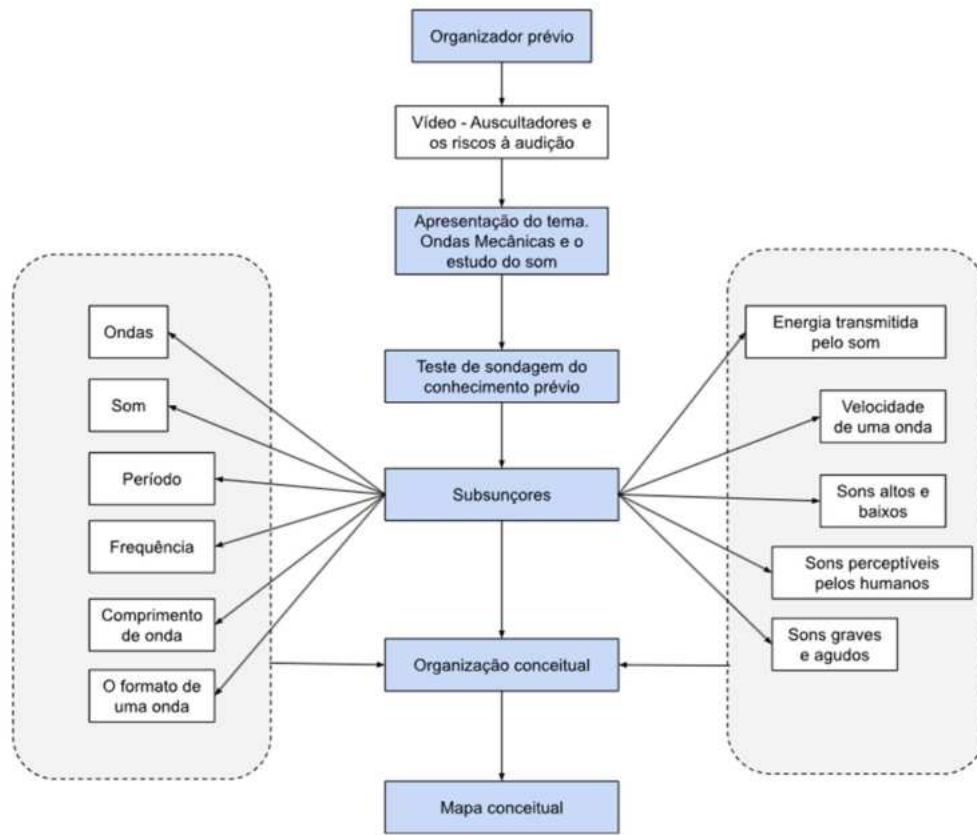
A aplicação da sequência didática terá início com uma abordagem indireta do conteúdo a ser estudado. Como organizador prévio, será exibido um vídeo sobre os problemas gerados pelo uso excessivo de auscultadores, em que de forma indireta o aluno possa ativar o subsunçor som em um contexto de uso corriqueiro e conhecido. O vídeo será usado como organizador prévio para introdução do tema, porém, nesta etapa, não implica em nenhum saber novo sobre o conteúdo a ser abordado, não interferindo assim na estrutura do conhecimento prévio do aluno.

Os alunos explanarão suas opiniões a respeito do uso de auscultadores, onde será levantado o questionamento da importância de se entender o que é o som e a apresentação do tema a ser estudado durante a sequência.

Na sequência, será aplicado um teste de sondagem juntamente com a elaboração de um mapa mental para levantamento dos conhecimentos prévios dos alunos, de modo a mapear o nível de saberes já estabelecidos por eles sobre ondas, ondas sonoras e suas principais características básicas.

A Figura 7 representa uma diagramação dos passos a serem seguidos durante a realização dessa etapa.

Figura 7 - Diagrama relacional dos passos 1 e 2



Fonte: O autor (2023).

5.3.2 Situação-problema em nível introdutório para ancorar o novo conhecimento

Nesta etapa, busca-se introduzir os conceitos básicos que norteiam a compreensão das ondas mecânicas, usando experimentos práticos para demonstrar a formação das ondas em cordas e molas. Como organizador prévio, serão abordadas questões sobre o que é o som e como ele pode ser estudado. Apresentaremos então os seguintes problemas:

- Como saber se o som é realmente uma onda?
- O que é uma onda?

Aplicaremos dois experimentos simples, que consistem em produzir ondas em uma corda e ondas em uma mola slink (Figura 8). Observando os experimentos, os alunos serão instruídos a perceber características na formação dos fenômenos ondulatórios apresentados.

Figura 8 - Mola slink.



Fonte: O autor (2023).

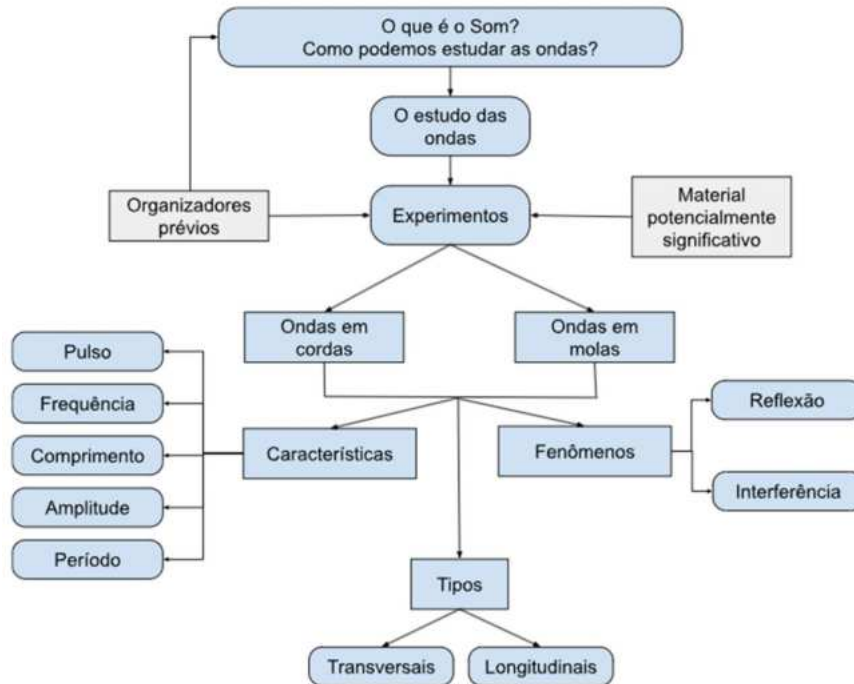
Dos experimentos, por observação e descoberta, busca-se definir os conceitos iniciais de pulso de onda, período, frequência, velocidade, comprimento e amplitude, bem como os tipos de ondas quanto a direção de vibração.

Os experimentos atuam como organizadores prévios de conhecimento, uma vez que conseguem despertar o interesse do aluno e facilitar a conexão dos seus conhecimentos prévios aos novos conhecimentos abordados. E funcionam como material potencialmente significativo por se estender ao longo das explicações proporcionando a apresentação concreta de detalhes físicos dos conceitos apresentados.

Neste caso, serão formados pulsos de onda e discutidos sua causa; o tempo de formação de cada pulso é medido originando-se assim o período; contaremos uma quantidade de ondas sequenciais emitidas em um determinado período de tempo e assim determina-se a frequência da onda; serão observados a formação de ondas estacionárias e por filmagem em celulares será analisado o comprimento das ondas, tentando ainda estimar seu valor; teremos então o prelúdio da velocidade da onda ao observar o movimento de um pulso, ou de uma onda periódica.

Os passos a serem seguidos dentro dessa etapa estão representados pelo diagrama da Figura 9.

Figura 9 - Diagrama relacional das ações do 3º passo



Fonte: O autor (2023).

5.3.3 Exposição do conteúdo destacando os aspectos mais gerais a partir da diferenciação progressiva

Nesta etapa exibiremos um vídeo explicando o que é uma onda e como material potencialmente significativo, aplicaremos experimentos de simuladores Phet, um texto sobre vibrações e um slide com uma explanação teórica sobre o conteúdo.

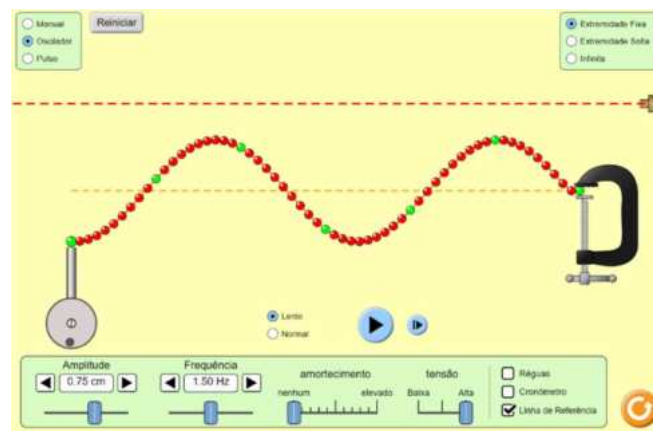
Os conceitos já abordados anteriormente serão revistos no vídeo, juntamente com novas informações às quais os alunos serão orientados a anotarem para posterior análise. No presente encontro abordaremos os seguintes conceitos:

- Análise da frequência, período e comprimento de onda em ondas periódicas geradas no simulador Phet;
- Entendimento da curva senoidal como representação pictórica da onda;
- Entendimento da relação entre frequência, período e comprimento de onda;
- Entendimento da relação entre a velocidade de uma onda, seu comprimento, frequência e período;
- Definição de uma onda mecânica;
- Tipos de ondas;

- Propagação de uma onda.

Com a tela do simulador projetada (Figura 10), os alunos serão instruídos a reconhecer as ondas em cordas sendo simuladas. Retomaremos as observações dos experimentos das aulas anteriores criando situações para variação da frequência, amplitude e comprimento de onda. Na sequência os alunos tentarão descobrir, por meio do experimento, qual a velocidade da onda usando os conceitos de comprimento, frequência e período.

Figura 10 - Tela do simulador Pet de ondas em cordas.



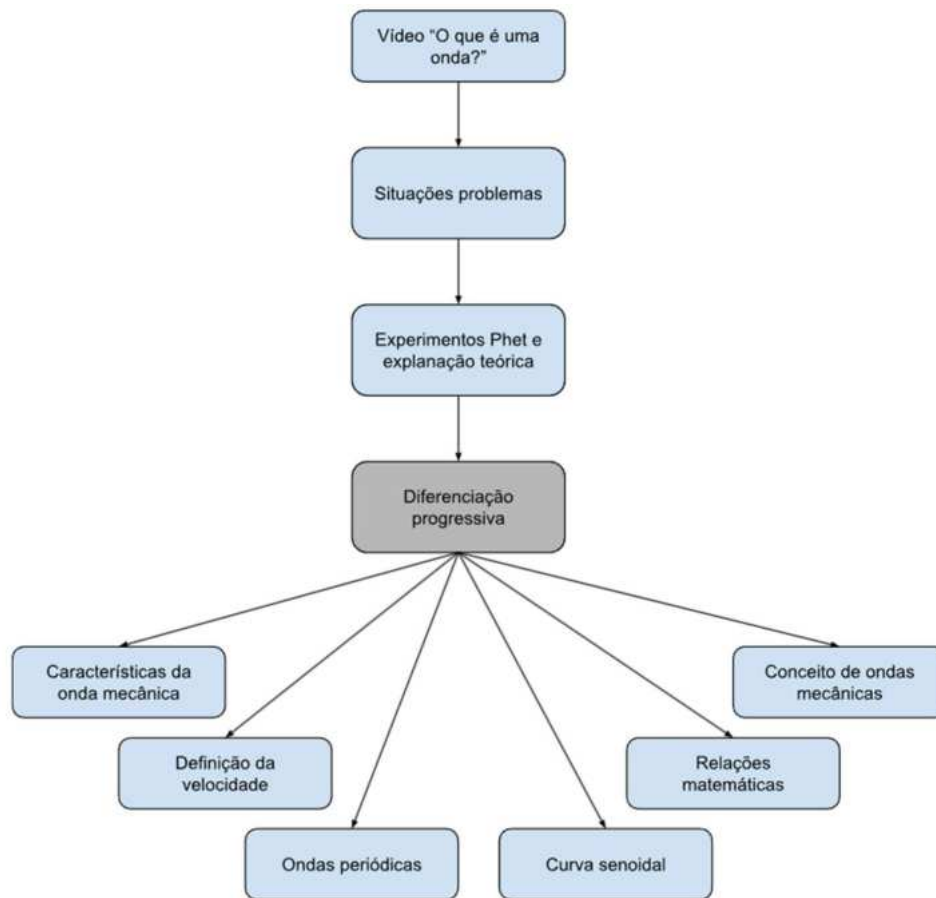
Fonte: O autor (2023).

Retomando o tema das ondas mecânicas, será explicado ao aluno sobre a utilização de um simulador PhET para observar e explorar as características das ondas.

Os conteúdos a respeito das definições e características das ondas mecânicas serão abordados em um slide após os experimentos. Apresentaremos as relações matemáticas entre frequência e período, bem como a velocidade da onda com seu comprimento e período.

A Figura 11 mostra a representação dos passos seguidos durante essa etapa da Sequência Didática.

Figura 11 - Diagrama relacional do 4º passo



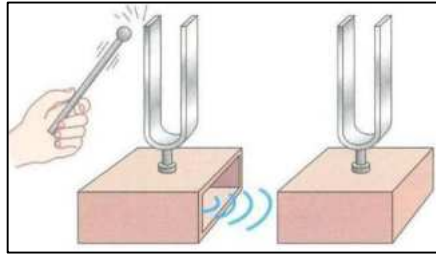
Fonte: O autor (2023).

Com isso, buscaremos, de forma não literal, promover uma ampliação nos conhecimentos sobre as características das ondas, adicionando novos saberes a respeito das relações de suas grandezas, bem como explorando novas formas de visualizações por meio do simulador e do entendimento da curva senoidal. Dessa forma, busca-se criar entendimentos diversificados sobre as ondas, de forma a compor uma diferenciação progressiva.

5.3.4 Retorno aos aspectos mais gerais em níveis mais altos de complexidades

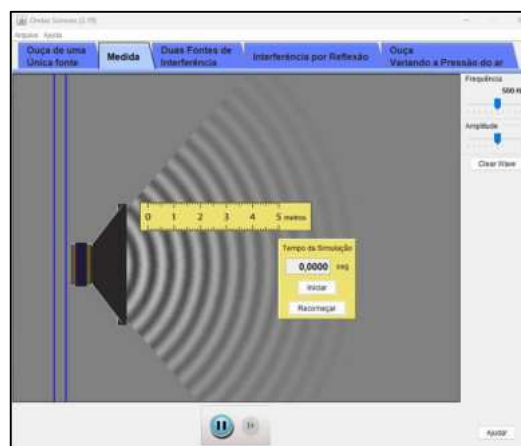
Nesta etapa, o objetivo será de proporcionar um aprofundamento nos conhecimentos sobre ondas, por meio da investigação do som como uma manifestação de uma onda mecânica. Usaremos um experimento mostrando o comportamento da transmissão de vibrações entre dois diapasões (Figura 12) juntamente com a utilização de simuladores Phet que representam graficamente uma onda sonora (Figura 13).

Figura 12 - Diapasão com caixa acústica



Fonte: <https://www.tutorbrasil.com.br/forum/viewtopic.php?t=93924>

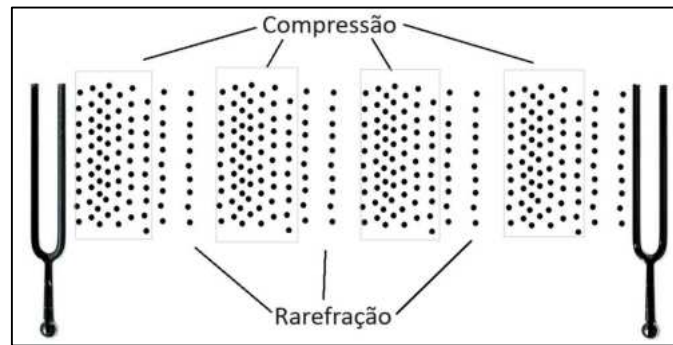
Figura 13 - Simulador de ondas sonoras Phet.



Fonte: O autor (2023).

No experimento com os diapasões, o aluno deverá perceber que as vibrações do primeiro diapasão geram o som e essa vibração se propaga pelo espaço fazendo o outro diapasão receber essas vibrações (Figura 14). Deverão ser indagados sobre como isso pode ser possível. Neste momento, retomaremos a ideia, de que uma partícula ao ser atravessada por uma onda vibra em torno de seu ponto de equilíbrio e que essa vibração é causada pela energia que se propaga no espaço. Buscaremos com isso a percepção que o som emite pulsos de energia que viajam pelo ar e atingem o outro diapasão fazendo-o vibrar na mesma frequência.

Figura 14 - Representação do som gerado pelo diapasão



Fonte: O autor (2023).

A próxima etapa consistiu em reconhecer a onda sonora como uma onda que se propaga no espaço, sendo tridimensional do tipo longitudinal. Para isso, usaremos os simuladores Phet - Introdução das Ondas e Ondas sonoras, onde serão representadas ondas sonoras de forma visual, com a finalidade de serem trabalhadas as suas características, retomando assim os conceitos de pulso, amplitude, frequência, comprimento de onda, período e velocidade. Os alunos serão instruídos a observar as diferenças causadas na percepção do som gerado por estas ondas ao serem alteradas algumas das suas propriedades.

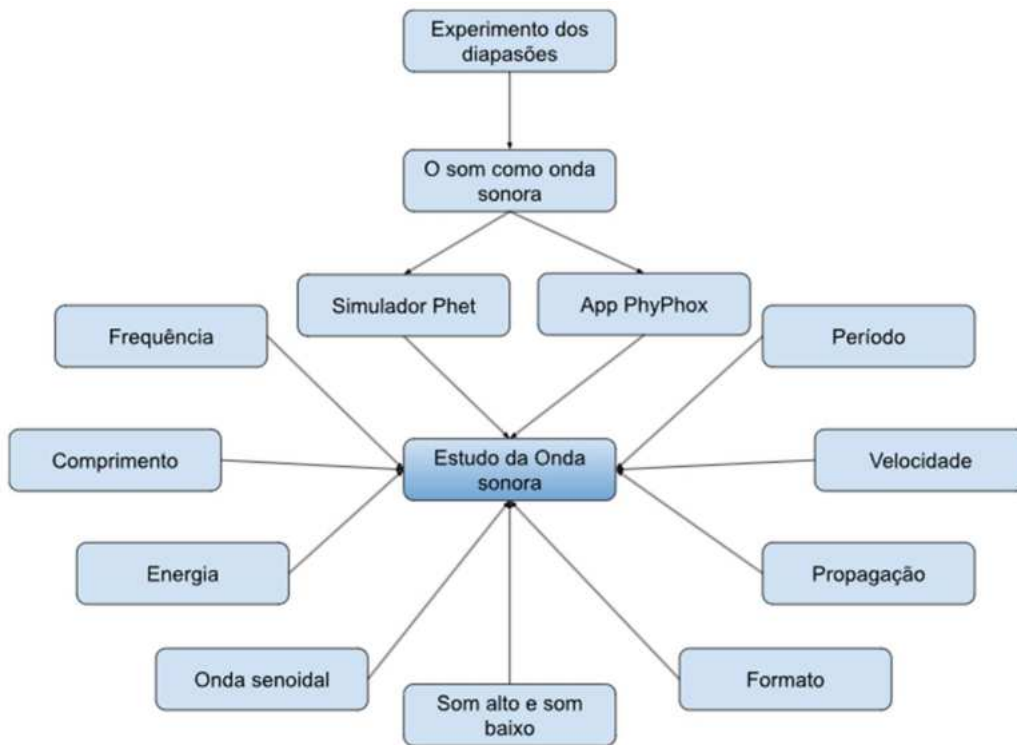
Dando continuidade no entendimento das ondas sonoras, utilizaremos um vídeo como recurso interativo para percepção dos limites das frequências sonoras audíveis e o uso do aplicativo Phypox no estudo das ondas sonoras, com foco em sua análise pictórica senoidal, cálculo da sua velocidade e medições do nível de sua intensidade.

Com o uso do aplicativo Phypox, os alunos captarão alguns sons, com frequência constante e determinada, emitido por um alto falante. Com isso analisarão os dados mostrados pelo aplicativo buscando interpretar a representação da onda sonora, sua frequência, sua amplitude e comprimento de onda.

No vídeo “Audição Divertido: Você é um Super Humano?” é emitido um som que varia sua frequência dentro dos limites da audição humana. Os alunos detectarão o som e sinalizam qual o limite de sua audição. Esses momentos demonstrarão aos alunos que nosso ouvido não consegue perceber todas as frequências possíveis e que isso não depende da intensidade sonora e sim da frequência com que o som é emitido. Os alunos serão instruídos a essa ideia por meio de questionamentos como porque não se pode ouvir todos os sons emitidos no vídeo. O fato de alguns alunos perceberem o som em faixas de frequência maiores que outros, prova aos alunos que existiu a emissão sonora durante toda sequência específica do vídeo.

Na Figura 15 temos a representação de um diagrama com os passos realizados durante essa etapa da sequência.

Figura 15 - Diagrama relacional do 5º passo



Fonte: O autor (2023).

5.3.5 Conclusão da UEPS – Retorno as características mais relevante do conteúdo buscando a reconciliação integrativa

Nesta etapa, os alunos serão levados a estudarem a velocidade da onda sonora e sua energia propagada, ao mesmo tempo que se busca uma percepção dos conceitos usados nesta etapa do estudo. Usando novamente o Phyphox, realizarão um experimento em grupo com todos os alunos da sala para efetuar a medição da velocidade do som. Já se abordou a veracidade do som como uma onda, agora analisaremos sua velocidade. O aplicativo apresenta um recurso que dispara um cronômetro após detectar certa intensidade sonora. Com o uso de dois celulares, a emissão de um pulso sonoro (um bater de palmas) disparava os dois cronômetros, um dos celulares será posicionado a uma distância conhecida e novamente outro pulso sonoro congela os cronômetros. A razão entre a distância conhecida pela diferença do tempo medido pelo aplicativo, revelará a velocidade média do som com certa aproximação.

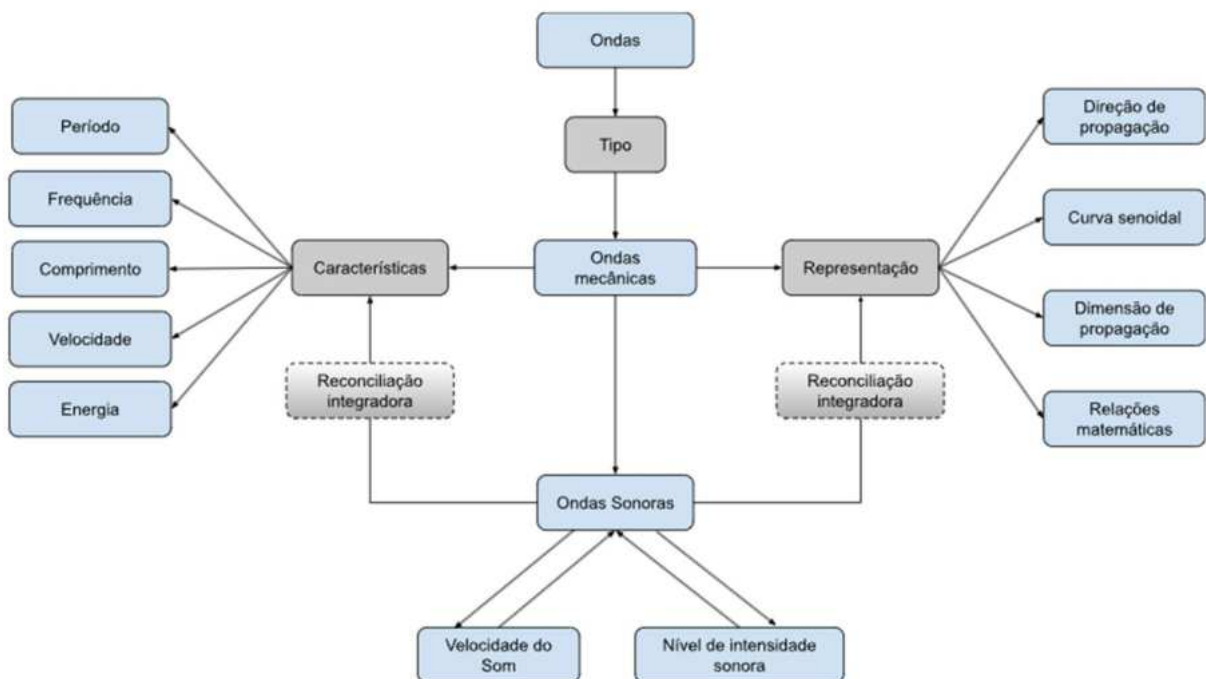
Deverão ser feitas medidas consecutivas e trabalhar-se com a média para estimativa final da velocidade do som.

A medição do nível de intensidade sonora será feita por meio do uso do medidor de decibéis presente no aplicativo Phypox. Para sua calibração, usaremos um decibelímetro digital, após isso um som será emitido variando sua intensidade. Os alunos acompanharão as variações em seu celular, comprovando a medida do nível de intensidade sonora. Retomaremos o conceito de transmissão de energia pela onda e trabalharemos a ideia da relação direta do nível de intensidade sonora com a energia que a onda transmite.

Dialogaremos também sobre o fato da onda ter sua energia diminuída com a distância levando os alunos a compreenderem a dissipação dessa energia. Para relacionar os níveis de intensidade sonora com os limites seguros, uma onda sonora será emitida em uma caixa de som e um aluno medirá sua intensidade partindo da fonte até uma distância da fonte, onde as medições devem se igualarem ao ruído da sala de aula. Serão então comparados às medidas com uma tabela que indica os níveis de intensidade sonora e algumas referências de segurança.

Os passos adotados nesta etapa estão representados em um diagrama na Figura 16.

Figura 16 - Diagrama relacional do 6º passo



Fonte: O autor (2023).

5.3.6 Avaliação da aprendizagem por meio da UEPS

No processo de avaliação, serão levados em consideração o processo de aprendizado do estudante, sendo a avaliação de caráter progressivo. Somando-se aos momentos avaliativos já passados, serão propostos ainda, a construção de um mapa conceitual com todos os conceitos e definições sobre ondas mecânicas que aprenderam ao longo da sequência, juntamente com a realização de uma avaliação escrita, buscando-se maiores indícios de aprendizagem significativa. O professor organizará a sala de aula em filas, colocando os alunos individualmente em seus locais e entregando-lhes uma avaliação escrita contendo questões a respeito dos conteúdos estudados.

5.3.7 Avaliação da UEPS

Para a avaliação da UEPS consideraremos dois fatores: o primeiro deles é a opinião dos alunos sobre a sequência aplicada em que, por meio de um formulário online, os estudantes prestaram suas opiniões sobre alguns pontos específicos da sequência validando assim seu nível de envolvimento e satisfação, também pelo professor por meio dos dados coletados durante a sequência. Já o outro fator é a análise dos dados obtidos durante toda aplicação da UEPS pelo professor. Buscaremos com isso verificar os impactos dos métodos de ensino na geração de aprendizagem significativa dos estudantes.

6 ANÁLISE DOS DADOS

O presente capítulo tem por objetivo apresentar a análise dos resultados obtidos, ao longo da sequência didática, com o intuito de verificar os indícios de aprendizagem significativa alcançados. Essa análise se baseia em resultados quantitativos e qualitativos das seguintes etapas: levantamento dos conhecimentos prévios, observações de resultados ao longo da sequência, análise de resultados ao término da sequência, observação da estrutura de mapas conceituais elaborados no início e no término dos estudos e análise de uma pós-testagem aplicada 4 meses após o término da SD.

Para mensuração dos resultados durante o levantamento dos conhecimentos prévios e no questionário final de levantamento dos conhecimentos adquiridos, optamos pelo uso da escala ordinal, por neste caso, se tratar de uma ferramenta mais adequada para determinar intervalos de observações. Dessa forma, cada questão observada terá sua resposta classificada como:

- Respostas insatisfatórias: Aquelas que representam alguma relação com conhecimento de mundo, porém sem nenhuma evidência física ou aquelas em que se nota a total falta de conhecimento sobre o exposto.
- Respostas parcialmente satisfatórias: Aquelas que representam alguma relação com o conhecimento de mundo, apresentando algum contexto físico na sua estrutura, todavia de forma incompleta ou superficial.
- Respostas satisfatórias: Aquelas que representam alguma relação com o conhecimento de mundo, contendo algum embasamento físico consistente, mesmo que não seja completamente abrangente.

A escolha da escala ordinal se justifica pela necessidade de categorizar as respostas de acordo com seu grau de adequação ou profundidade de conhecimento, estabelecendo uma hierarquia entre os diferentes níveis de resposta sem quantificar com precisão a diferença entre eles. Escalas ordinais diferenciam os valores de uma variável, organizando e classificando conforme diferentes níveis, e definindo uma progressão entre esses valores (SILVA; SILVA, *apud*. Bermudes *et. al.* 2016).

Ao avaliar o conhecimento dos alunos, é importante ter um método que permita diferenciar as respostas que atendem aos critérios desejados daquelas que apenas parcialmente

os atendem, ou que não atendem de forma alguma. A escala ordinal se mostra útil para este propósito, uma vez que promove uma classificação hierárquica das respostas, medição qualitativa sem exigência de precisão, facilidade de interpretação e adequação para comparação e intervenção. Pode assim ser entendida como uma forma de avaliar um fenômeno com base em sua posição dentro de uma sequência de níveis ordenados, que vão de um mínimo a um máximo. Normalmente, os valores de uma escala ordinal são representados por números ou rótulos, que são apenas diferentes maneiras de expressar o mesmo tipo de informação (MORAIS; SILVA; SILVA, *apud*. Bermudes *et. al.* 2016).

6.1 ANÁLISE DO LEVANTAMENTO DOS CONHECIMENTOS PRÉVIOS

As questões abaixo relacionadas, foram aplicadas a um total de 32 alunos presentes no dia da referida atividade (Figura 17). As porcentagens referidas a cada questão são obtidas por aproximação do total de alunos mencionado.

Figura 17 - Alunos realizando o teste de sondagem



Fonte: O autor (2023).

Primeira questão: Como você pode definir o que é o som?

Esperava-se que o aluno definisse algo relacionado como uma vibração que se propaga no espaço através da matéria em todas as direções e que transporta energia.

Das respostas apresentadas, 9,38% apresentaram respostas com alguma consistência teórica bem definida, 25% citaram algum dado físico, porém, com pouco nexos ou falta de

coerência. Os demais 65,63% responderam com embasamento no conhecimento comum, relataram que o som é um barulho, um ruído, uma música que podemos escutar. Alguns ainda se referiram ao som como uma onda sonora que é perceptível pelos nossos ouvidos. Apesar de ter o mesmo sentido, notamos o uso do termo onda, que também está bem definido pelo conhecimento comum.

Segunda questão: **Para você o que é uma onda?**

Neste caso, já era esperado que o aluno discorresse sobre uma vibração ou perturbação que se propaga no espaço e que transporta energia. Apesar de ter o conceito bem parecido com a primeira questão, esta possui um objetivo mais abrangente em que o aluno poderá buscar explicações em outras partes de seu conhecimento que envolvem ondas.

Das respostas obtidas, apenas 3,13% mostrou algum conhecimento mais sólido sobre o conceito de ondas, apesar de alguns terem definido com boa aproximação as ondas sonoras, aqui buscaram uma resposta mais ampla, uma definição mais geral. Alguns usaram as ondas do mar, sonora e até ondas de calor como base para explicação, outros usaram termos que remetem a uma força, mas sem nenhuma clareza para resposta. Tivemos ainda 28,13% com respostas que apresentaram algum conhecimento físico e 68,75% que não definiram algum conhecimento físico em suas explicações.

Terceira questão: **Na tirinha abaixo temos a manifestação de uma onda? Explique.**



Fonte: Arte da Física em Quadrinhos (2019)¹.

Nesta questão temos uma abordagem corriqueira de uma onda, porém fisicamente analisando, ao se quebrar as ondas do mar deixam de ser ondas por deslocarem massas de água

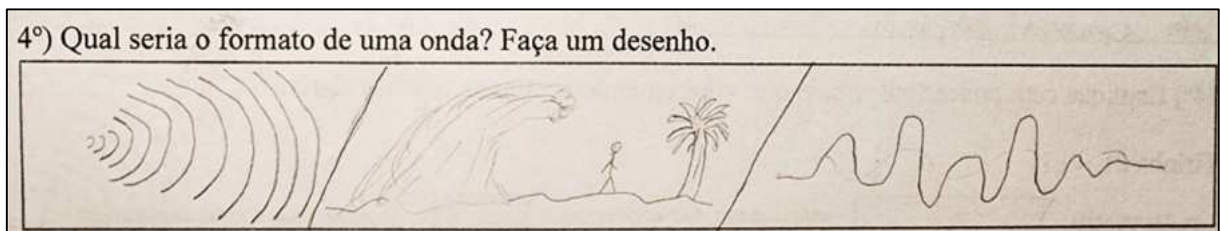
¹ Disponível em: <https://artedafisicapid.blogspot.com/2019/07/tirinhas-diversas-ondas-mecanicas.html>. Acesso em: 10 set. de 2023.

e formarem correntezas. Todos os alunos, ou seja 100% dos alunos apontaram que se trata da manifestação de uma onda, o que de fato ocorre, no entanto não no sentido físico e estrito da palavra.

Quarta questão: **Qual seria o formato de uma onda? Faça um desenho.**

As ondas são amplamente representadas de forma pictórica no cotidiano do aluno e essa questão tem como objetivo verificar o nível de relacionamento com esse tipo de representação. Nas respostas predominam imagens que lembram uma curva senoidal, um desenho no formato de arcos de circunferências concêntricas referenciando ondas sonoras e outros que remetem a ondas do mar se quebrando. A figura 18 apresenta uma dessas ilustrações.

Figura 18 - Representação de ondas de um aluno



Fonte: O autor (2023).

Quinta questão: **Quais os exemplos de ondas você conhece?**

Esta questão tem o objetivo de levantar os conhecimentos do aluno referente aos diversos campos de seu conhecimento em que ele consegue definir a presença do fenômeno onda. Dos 32 alunos, 40,63% apresentaram exemplos coerentes de ondas, mesmo que limitado. Já 56,25% apresentaram exemplos corretos junto com outros que não se trata de ondas, como ondas de calor, magnéticas, ondas quânticas e ondas de sentimento. E apenas 3,13% não apresentou um exemplo consistente.

Sexta questão: **Você sabe qual a diferença entre um som grave e um agudo? Se sim explique.**

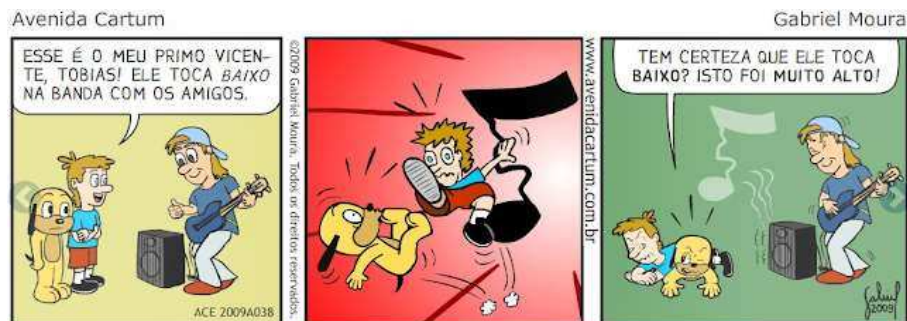
O objetivo nesta questão é saber se o aluno relaciona o som grave com um ruído de baixa frequência, e o som agudo com um ruído de alta frequência. Nenhum aluno conseguiu

relacionar o enunciado com a frequência da onda sonora. Isso leva à hipótese de que não entendem o sentido de frequência dentro do contexto de ondas. Já 46,88% fizeram alguma relação com som grave e agudo se relacionar com um ruído “grosso” ou “fino”. Os demais 53,13% forneceram uma resposta incoerente.

Sétima questão: Existem sons que não podem ser ouvidos pelos seres humanos? Se sim, que sons seriam esses?

Esta questão visa verificar se o aluno tem entendimento do limite da frequência audível pelo ser humano. Tivemos 9,38% com uma resposta satisfatória, desses apenas 2 estudantes fizeram referência ao termo frequências muito altas, ou muito baixas e os demais usaram os termos sons graves ou agudos, 21,88% dos estudantes consideraram somente os sons muito graves ou sons muito agudos como limite, 68,75% se baseiam na ideia de sons de baixa intensidade para definir o limite da audição humana, o que não foge a questão, porém não atende ao objetivo proposto.

Oitava questão: Observe a tirinha e responda: O que seria um som alto e um som baixo?



Fonte: <https://artedafisicapid.blogspot.com/2019/07/tirinhas-diversas-ondas-mecanicas.html>

Essa questão aborda o fato do termo alto ser usual para representar sons de forte intensidade. O correto seria o aluno relacionar com sons de alta frequência e sons de baixa frequência. Nenhum estudante demonstrou o correto conhecimento físico sobre esse termo. Apenas 3,13% apresentou uma resposta parcialmente satisfatória e 93,75% não responderam como esperado, relacionando o termo alto com sons de muita intensidade.

Nona questão: O que torna uma onda sonora alta o suficiente para prejudicar a audição de um ser vivo?

Aqui a intenção era verificar se o aluno associaria a intensidade da onda sonora com a energia que ela transporta, apontando o nível de energia e sua exposição constante como causa dos prejuízos à audição. A maioria usou a expressão altura da onda ou volume para indicar sua resposta. Apesar de compreensível e aceitável, busca-se aqui uma relação de interpretação com o termo energia, percebendo no aluno o nível de associação desse subsunçor dentro de outros estudos.

Das respostas, tivemos 6,25% que citaram a energia da onda, sua intensidade e tempo de exposição, 25,00% como parcialmente satisfatório, apontando a força da onda e sua intensidade. Outros 68,75% fizeram referência à altura da onda sonora ou a seu volume.

Décima questão: Você já deve ter ouvido falar na palavra frequência. Talvez já tenha ouvido falar da frequência em Hz (Hertz). Qual o significado dessa palavra pra você?

Espera-se que o aluno explique o significado do conceito de frequência, como algo que acontece uma determinada quantidade de vezes em um intervalo de tempo. O termo Hertz é muito utilizado no dia a dia do estudante, a expectativa é que ele traga algum exemplo dessa palavra e o seu significado. A compreensão correta da palavra frequência é fundamental para o entendimento das ondas.

Dos resultados, nenhum estudante conseguiu associar a frequência com termo Hertz. 28,13% apresentaram uma explicação correta do significado de frequência, porém sem conexão com a unidade de medida Hz, e 68,75% não obtiveram êxito em suas explicações.

Décima primeira: Você já ouviu falar no comprimento de uma onda? Sabe o que é isso?

Nesta questão espera-se que o aluno relacione comprimento de onda como o tamanho da onda, como uma onda do mar ou em corda. Apenas 6,25% relacionam o comprimento de onda como o tamanho da onda. Outros 90,63% disseram não saber ou não apresentaram uma resposta coerente.

Décima segunda: Qual sua compreensão sobre a palavra período? Ondas tem período?

O aluno deveria fazer uma referência a um intervalo de tempo em que algo ocorre. A relação com as ondas busca verificar um entendimento mais profundo, possivelmente existente no aluno. Nenhum aluno apresentou uma relação do conhecimento de período aplicado as

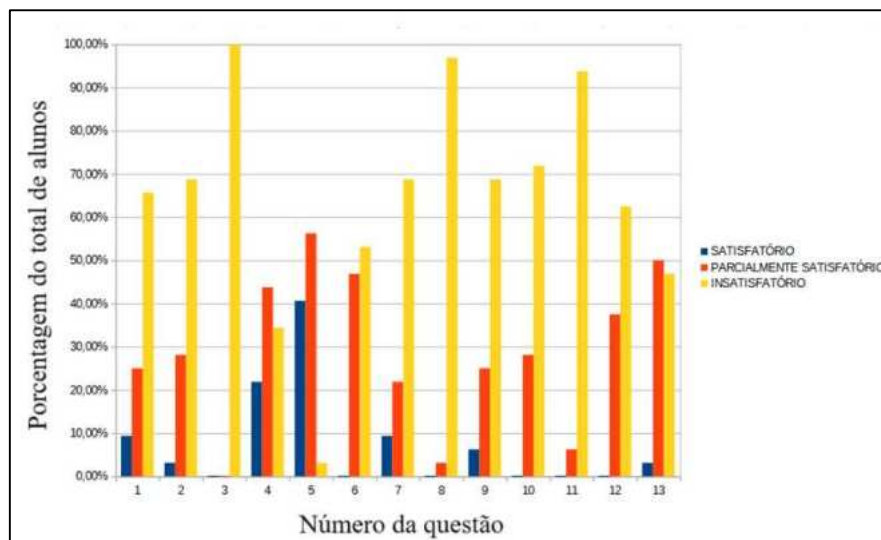
ondas, 34,38% responderam de forma correta sobre a compreensão da palavra período como um intervalo de tempo e 90,63% apresentaram respostas incoerentes.

Décima terceira: **Uma onda tem velocidade? Qual seria a velocidade de uma onda?**

Aqui temos o objetivo de verificar a percepção do aluno sobre o movimento das ondas. Nenhum discente foi capaz de determinar como essa velocidade ocorre ou citar algum exemplo. Vimos que 34,38% afirmaram que uma onda possui sim uma velocidade, chegando algumas vezes a dizer que depende da onda, o que leva a uma percepção de velocidades diferentes. 62,50% não apresentaram respostas coerentes.

A figura 19 mostra um gráfico que relaciona a quantidade de acertos em relação a cada questão abordada no questionário de levantamento dos conhecimentos prévios.

Figura 19 - Resultados do levantamento de dados dos conhecimentos prévios

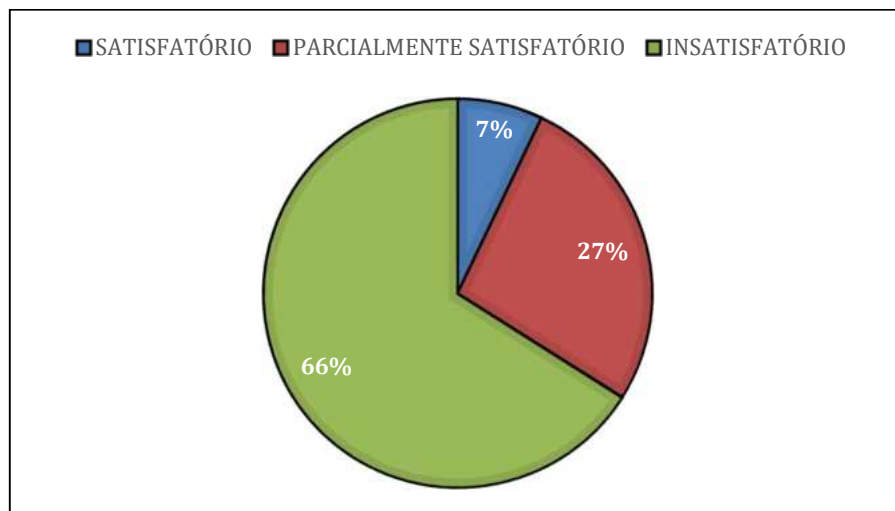


Fonte: O autor (2023).

Em síntese, podemos observar que alguns alunos têm uma noção de onda pautada pelo senso comum, conhecem o termo onda sonora e faz a leitura desta como sendo algum barulho ou ruído que os ouvidos podem escutar, já têm o conhecimento de termos que remetem a propriedades das ondas como sua velocidade, altura, período e frequência, porém de forma superficial e corriqueira. Poucos foram os alunos que apresentaram algum dado físico nas respostas dos problemas e a maioria possui o senso comum de ondas com pouco ou nenhum saber sobre algumas das características pertinentes aos conteúdos que seria estudado.

No geral, tivemos 7,08% dos alunos com respostas satisfatórias, 26,88% com respostas parcialmente satisfatórias e 66,04% sendo insatisfatórios. Esses resultados são mostrados em um gráfico na Figura 20. Os resultados dos dados, mostram que os alunos possuem algum conhecimento prévio sobre o tema porém necessitam da absorção de novos saberes sobre ondas para criar e consolidar habilidades que os deixem capacitados sobre o tema.

Figura 20 - Nível de conhecimento prévio



Fonte: O autor (2023).

6.2 ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS DURANTE A SEQUÊNCIA E NO QUESTIONÁRIO FINAL.

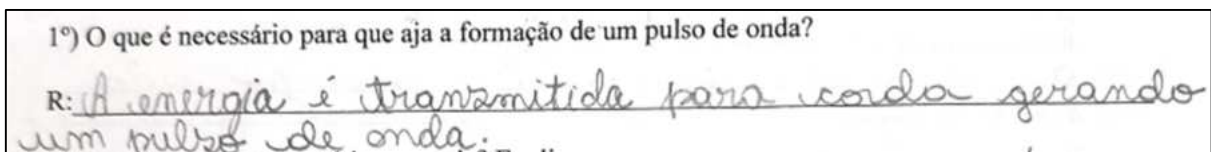
Para a análise seguinte serão usadas as siglas A1, A2, A3 etc. para fazer referência a alunos que participaram da pesquisa. Temos ainda o formulário de levantamentos dos conhecimentos prévios sendo denominado como QP, dois questionários desenvolvidos ao longo da sequência denominados aqui de Q1 e Q2 e um questionário final denominado de QF. Cada questão referenciada nos questionários acima é identificada por seu número após um hífen separando-a da sigla do questionário. Como exemplo temos que Q1-2, refere-se à questão 02 do questionário Q1. Os questionários, na íntegra, estão presentes nos anexos.

As atividades do QF são muitas vezes apresentadas em forma de porcentagem, nas quais são baseadas no total de 35 estudantes presentes no dia de sua aplicação, os quais realizaram a referida atividade. Dessa forma as porcentagens apresentadas, expressam, de forma aproximada, a quantidade de alunos envolvidas em cada resultado analisado.

Durante a sequência, foram observados o comportamento e participação dos alunos buscando indícios de aprendizado significativo dentro do contexto aplicado. A seguir apresentamos uma breve explicação desses fatos observados.

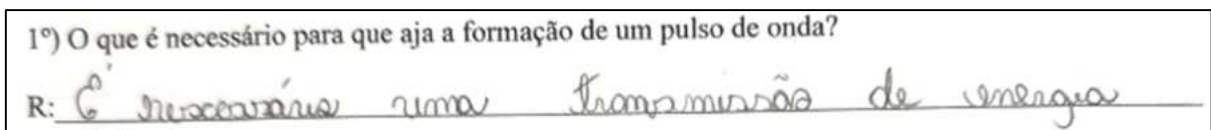
Inicialmente, foram observados a formação dos conceitos básicos sobre características das ondas. Nas questões a seguir podemos notar a formação do conceito em relação à geração do pulso de onda².

Figura 21 - Resposta do aluno A20 – Q1-01



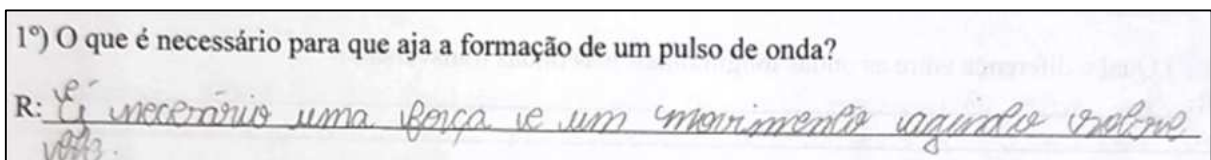
Fonte: O autor (2023).

Figura 22 - Resposta do aluno A13– Q1-01



Fonte: O autor (2023).

Figura 23 - Resposta do aluno A15– Q1-01



Fonte: O autor (2023).

Na formação do conceito sobre um pulso de onda os alunos chegaram à ideia de uma transmissão de energia que é provocada por uma perturbação. Nas respostas podemos ver a associação do termo com energia transmitida (Figura 21 e 22) e a força (Figura 23), que neste caso é o agente transmissor da energia aplicada à corda.

Foi observado, em alguns alunos, a falta de entendimento sobre a transferência da energia por meio da aplicação de uma força. Na construção desse conhecimento, percebemos que os experimentos tiveram uma influência positiva através da percepção do aluno no

² Informamos que houve um erro de grafia na primeira questão do questionário, observado somente após a aplicação do mesmo, onde se ler “aja” deveria está escrito “haja”.

movimento do braço sendo transmitido ao longo da corda. Podemos observar essa atividade sendo aplicada na Figura 24.

Figura 24 - Experimento ondas em cordas



Fonte: O autor (2023).

Estendendo a situação problema para a formação de uma onda, podemos ver a extensão do conceito de pulso, vibração e energia sendo aplicados. Esses resultados podem ser observados nas Figuras 25, 26 e 27.

Figura 25 - Resposta do aluno A27-QF-05

5º) O que pode provocar uma onda? Dê um exemplo
 R: Ela pode ser provocada por uma perturbação ou uma fonte de energia perturbada. (ondas sonoras, ondas eletromagnéticas...)

Fonte: O autor (2023).

Figura 26 - Resposta do aluno A4-QF-05

5º) O que pode provocar uma onda? Dê um exemplo
 R: A onda, por si própria, se movimenta um pulso de onda, e isso podemos ver em experimentos feitos em sala de aula. Como quando batemos uma corda no chão, isso acaba gerando uma onda, ou quando batemos um objeto na água, acaba gerando um "onda" bidimensional.

Fonte: O autor (2023).

Figura 27 - Resposta do aluno A10-QF-05

5º) O que pode provocar uma onda? Dê um exemplo
 R: Vibrações provocadas com ventos. Como por exemplo mexer uma das abas enquanto uma das ventas está fixo e então fazer a vibração com uma mola

Fonte: O autor (2023).

Nas respostas apresentadas podemos notar a associação do conceito de energia, pulso e perturbação. Chama a atenção também o apelo do estudante ao citar como exemplo os experimentos presenciados, o que mostra indícios de aprendizado por observação. Essa observação gerou diferenciação progressiva do conceito de onda até então conhecida pelo aluno. Neste contexto, já observamos indícios de aprendizado significativo, uma vez que o aluno foi capaz de fazer assimilações de novos conceitos para justificar outros. Percebemos aqui a atuação dos experimentos como material potencialmente significativo e também como organizadores prévios, uma vez que atuam como facilitador a ancoragem do novo saber e desperta no aluno sua curiosidade e criando novas experiências de forma significativa.

Na questão seguinte, notamos a relação percebida pelos discentes entre uma onda, pulso de onda e a energia associada conforme Figuras 28, 29 e 30.

Figura 28 - Resposta do aluno A34-Q1-06

6º) Qual característica de um pulso de onda está relacionado com sua quantidade de energia? Explique.
 R: Amplitude, que diz respeito à sua intensidade, sua energia. Quanto maior a amplitude maior a quantidade de energia transportada ou vice-versa.

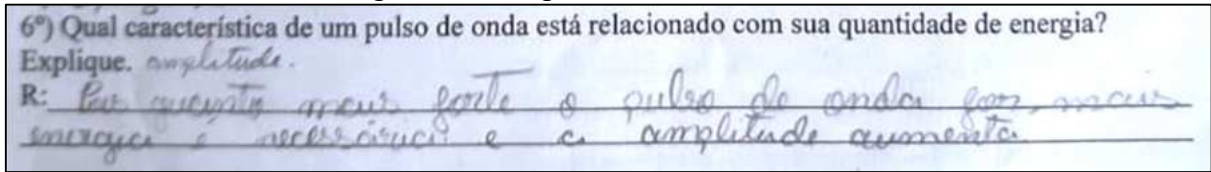
Fonte: O autor (2023).

Figura 29 - Resposta do aluno A9-Q1-06

6º) Qual característica de um pulso de onda está relacionado com sua quantidade de energia? Explique.
 R: A amplitude. Pois quanto mais alta, mais energia e vice-versa.

Fonte: O autor (2023).

Figura 30 - Resposta do aluno A1-Q1-06

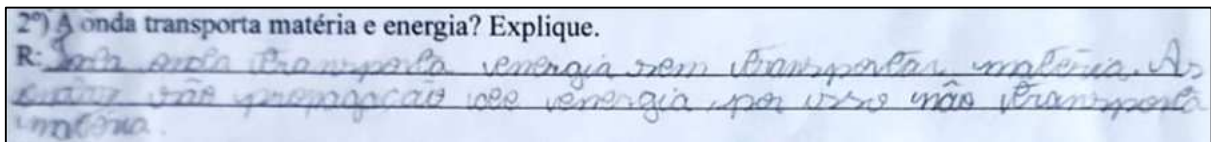


Fonte: O autor (2023).

Essa relação foi trabalhada nos experimentos e simulação em sala de aula, gerando uma boa aprendizagem entre a relação dos conceitos.

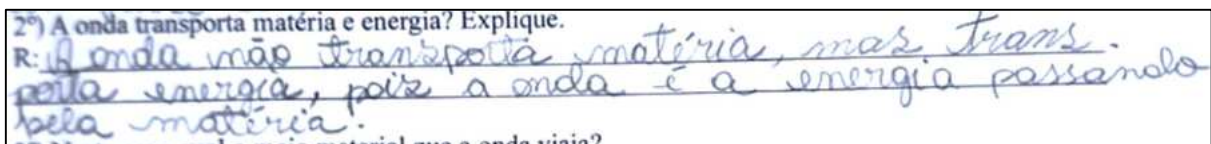
Partindo para análise do transporte de matéria pela onda chegamos as seguintes definições pelos alunos de acordo relatos nas Figuras 31, 32 e 33.

Figura 31 - Resposta do aluno A15-Q1-02



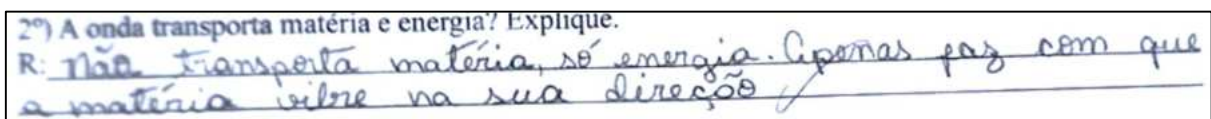
Fonte: O autor (2023).

Figura 32 - Resposta do aluno A20-Q1-02



Fonte: O autor (2023).

Figura 33 - Resposta do aluno A31-Q1-02

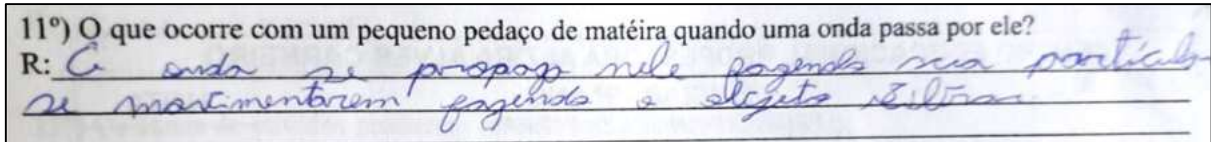


Fonte: O autor (2023).

Por meio da geração de onda em uma corda os alunos perceberam que uma argola colocada ao longo da corda não se movia na direção de propagação da onda. Nos simuladores isso também foi notado pelos alunos onde notaram pontos que oscilavam, mas não se movimentavam junto com as ondas.

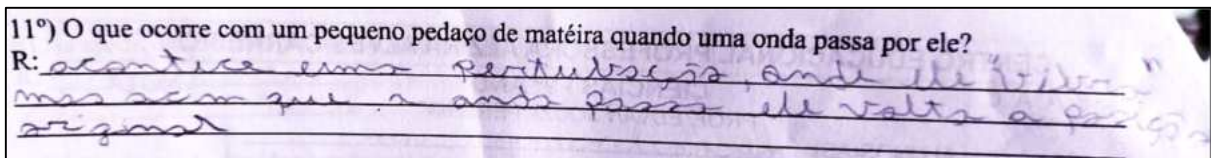
Para consolidar melhor a compreensão da propagação da onda, os alunos ainda expressaram sua compreensão sobre o comportamento da matéria ao ser atravessada por uma onda. Esses relatos são apresentados nas Figuras 34, 35 e 36.

Figura 34 - Resposta do aluno A6-QF-11



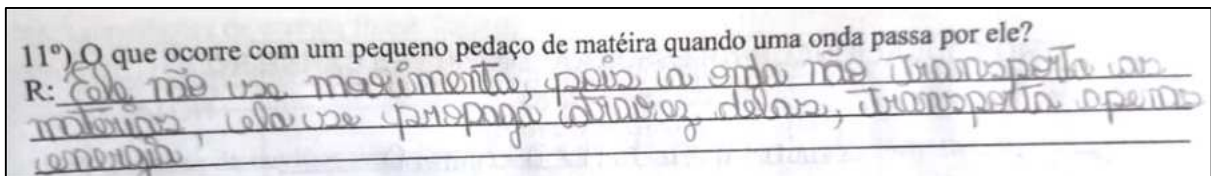
Fonte: O autor (2023).

Figura 35 - Resposta do Aluno A25-QF-11



Fonte: O autor (2023).

Figura 36 - Resposta do Aluno A19-QF-11



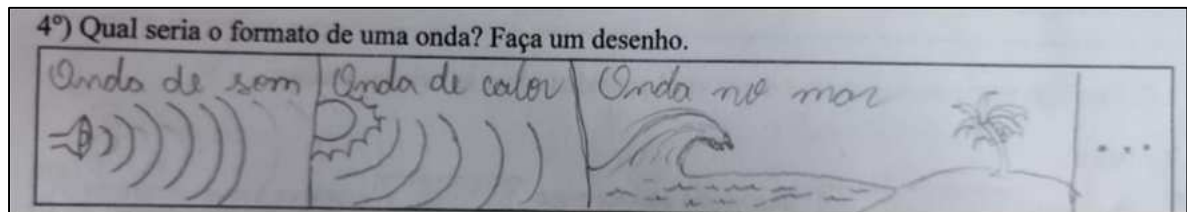
Fonte: O autor (2023).

Neste caso, espera-se que o aluno compreenda que a matéria não seja transportada, contudo, vibre na mesma direção ou perpendicularmente a direção de propagação da onda, retornando assim a sua posição de equilíbrio. Percebemos que a maioria dos alunos considerou a vibração da matéria, porém alguns focaram apenas na percepção da onda transportar energia (caso do relato de A25 na Figura 35), não considerando o movimento oscilatório da matéria. Essa questão foi retratada em sala e verificou-se que a maioria dos discentes entendiam o movimento de vibração, mas não se expressaram de forma completa.

Abordando o formato de uma onda, os alunos tiveram a introdução do modelo pictórico da curva senoidal de forma intuitiva, uma vez que a mesma pode ser percebida na sua forma natural durante os experimentos com cordas e nas simulações.

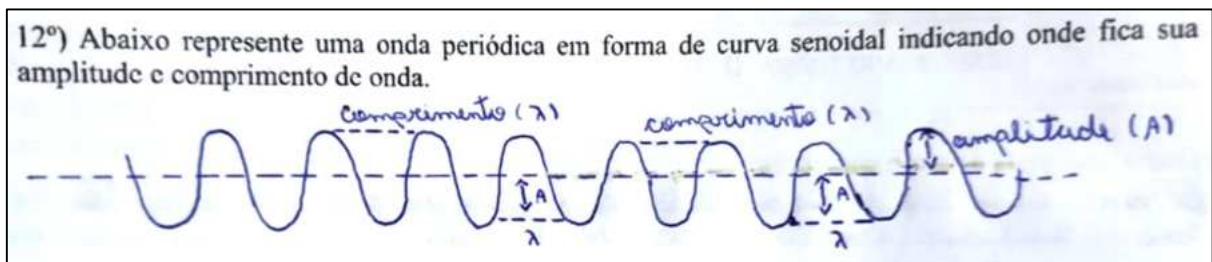
No levantamento dos conhecimentos prévios, foi notada a percepção do formato da onda associada com os desenhos pictóricos de imagens ilustrativas. De certa forma, respostas já esperadas, pois seriam essas as experiências já notadas pelos alunos. Alguns também representavam uma curva sinuosa que fazia alusão ao movimento em uma corda, o que correspondia bem à ideia da curva senoidal.

Figura 37 - Resposta do aluno A35 - QP-04.



Fonte: O autor (2023).

Figura 38 - Resposta do aluno A35 - QF-12



Fonte: O autor (2023).

Vemos aqui a evolução do aluno A35 (Figura 37) na representação da onda indo de um formato pictórico corriqueiro para um formato pictórico estruturado em características representativas de uma onda consolidada em um modelo simples de curva senoidal (Figura 38).

A Figura 39 mostra alunos fotografando uma onda senoidal gerada em uma mola slink para análise da sua amplitude e comprimento.

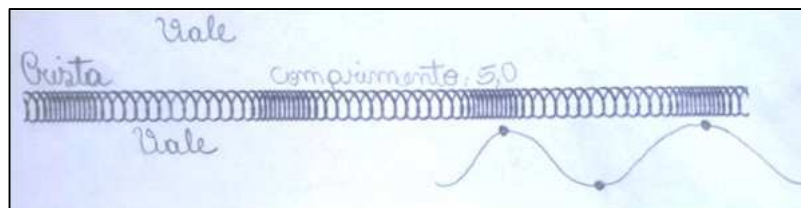
Figura 39 - Experimento ondas em uma mola slink



Fonte: O autor (2023).

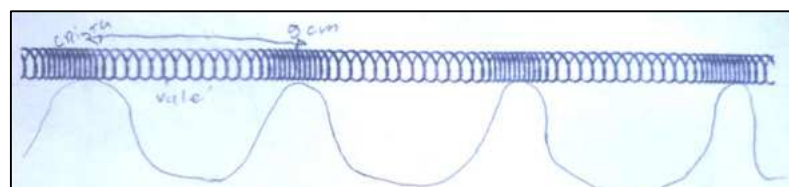
Os alunos também foram instruídos a perceber a relação entre uma onda longitudinal e uma curva senoidal. Percebemos que a maioria conseguiu indicar algumas de suas características e foram capazes de estimar seu comprimento, cabendo o tratamento do erro por parte de alguns em momentos adequados em sala. Alguns resultados são apresentados nas Figuras 40, 41 e 42.

Figura 40 - Resposta do Aluno A34 - Q1-13



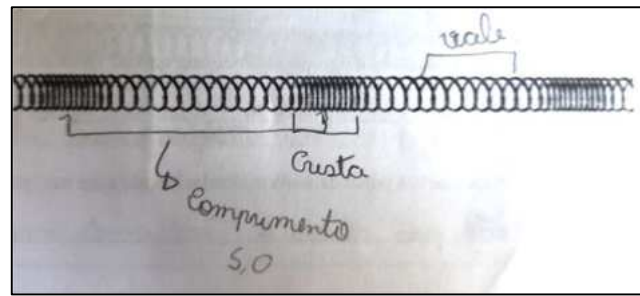
Fonte: O autor (2023).

Figura 41 - Resposta do Aluno A1 - Q1-13



Fonte: O autor (2023).

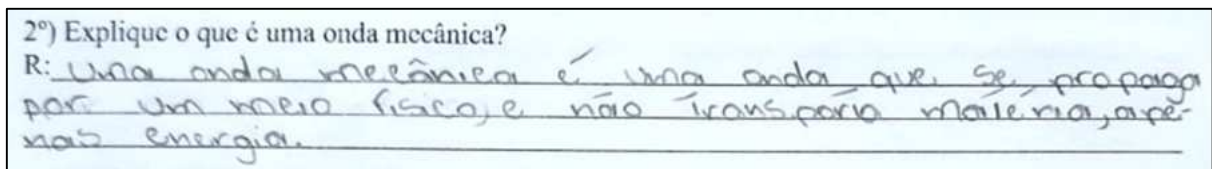
Figura 42 - Resposta do Aluno A4 - Q1-13



Fonte: O autor (2023).

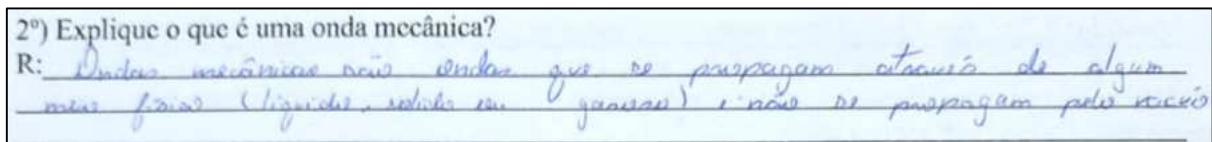
No questionamento abaixo, verificamos o entendimento de alguns alunos sobre a compreensão das ondas mecânicas e algumas de suas características conforme Figuras 43 e 44.

Figura 43 - Resposta do Aluno A24 - QF-02



Fonte - O autor (2023).

Figura 44 - Resposta do Aluno A5 - QF-02



Fonte - O autor (2023).

Após observações nos experimentos e simuladores, os alunos foram capazes de perceber que as ondas mecânicas são as que se propagam em algum meio material. Através do simulador sobre ondas sonoras os alunos puderam observar que as ondas mecânicas não se propagam no vácuo. Dessa forma, não tivemos os conceitos sendo enunciados pelo professor e sim sendo criados através de observações.

Sobre o entendimento conceitual do período e da frequência de uma onda, os alunos explanaram seus conhecimentos conforme respostas abaixo nas Figuras 45 e 46.

Figura 45 - Resposta do Aluno A28 - QF-08

8º) Explique o que é:
 a) a frequência de uma onda.
 R: Quantas vezes por segundo a onda passa por um ponto
 b) o período de uma onda.
 R: Tempo necessário para formar uma única onda

Fonte - O autor (2023).

Figura 46 - Resposta do Aluno A21 - QF-08

8º) Explique o que é:
 a) a frequência de uma onda.
 R: É a quantidade de ondas que se geram em 1 segundo.
 b) o período de uma onda.
 R: É o tempo gasto para gerar a onda

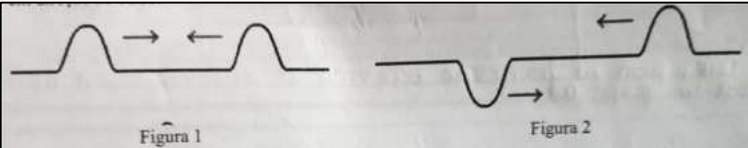
Fonte - O autor (2023).

A possibilidade de viabilizar a definição experimental da frequência das ondas e do seu período proporcionou resultados na potencialização da intencionalidade do aluno, em que percebemos engajamento e participação na determinação da frequência de uma onda.

De forma breve, também notamos a compreensão dos alunos a respeito do fenômeno de reflexão, observados ao ver que uma onda gerada em uma mola slink se refletia ao atingir um obstáculo. Alguns discentes observaram que o mesmo fenômeno ocorria em ondas na superfície da água e posteriormente nas ondas sonoras, que provocavam o fenômeno do eco.

Foram ainda trabalhados o conceito breve de interferência, no qual os alunos conseguiram perceber os tipos de interferência de forma prática após serem geradas com o uso de uma mola slink. Os alunos conseguiram perceber que as ondas continuam a se movimentar após o encontro, bem como os efeitos construtivos e destrutivos de forma experimental.

Figura 47 - Resposta do Aluno A32 - QF-26



a) Na figura 1, que ocorre com os pulsos de onda quando se encontram? E na figura 2?
 R: Na figura 1 se juntam formando uma onda maior na figura 2 se afastam e se destroem
 b) Qual o nome desse fenômeno?
 R: Fenômeno de interferência

Fonte - O autor (2023).

Na questão da Figura 47, os alunos associaram de forma exitosa o fenômeno presente bem como a interpretação de imagem que busca mostrar o movimento de dois pulsos de ondas.

Nos simuladores Phet, os alunos foram instigados a descobrirem as relações entre frequência, período e comprimento de uma onda conforme Figuras 48, 49 e 50. Neste ponto percebemos uma boa compreensão pela maioria dos estudantes.

Figura 48 - Resposta do Aluno A11 - QF-09

9º) Existe alguma relação entre a frequência e o período de uma onda? Explique.
 R: Sim. Um é o inverso do outro, quando um aumenta o outro diminui.

Fonte - O autor (2023).

Figura 49 - Resposta do Aluno A2 - QF-09

9º) Existe alguma relação entre a frequência e o período de uma onda? Explique.
 R: Sim, a frequência é o inverso do período.

Fonte - O autor (2023).

Figura 50 - Resposta do Aluno A26 - QF-13

13º) O que acontece com o comprimento de uma onda se aumentarmos sua frequência?
 R: A onda vai diminuir seu comprimento.

Fonte - O autor (2023).

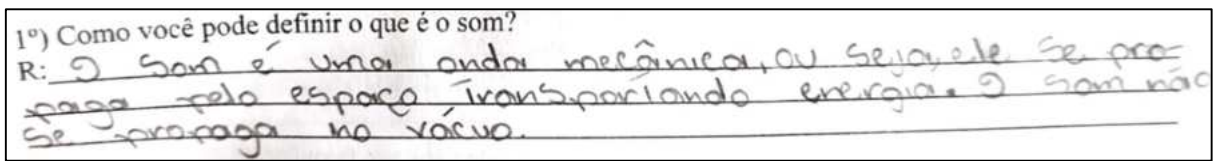
Também notamos a evolução dos alunos em relação a conceitos referente a compreensão de uma onda sonora. Observamos a associação de diversos termos conceituais que estruturam a resposta, como sua propagação na matéria, transmissão de energia, classificação do tipo de vibração e propagação e o fato de não se propagar no vácuo (Figuras 51 e 52).

Figura 51 - Resposta do Aluno A34 - QF-01

1º) Como você pode definir o que é o som?
 R: O som é uma onda, mais conhecida como onda sonora, e também é uma onda mecânica. Sua direção de vibração é longitudinal e sua direção de propagação é tridimensional.

Fonte - O autor (2023).

Figura 52 - Resposta do Aluno A24 - QF-01



Fonte - O autor (2023).

Os alunos foram levados a estudar a natureza do som (Figura 53), fazendo uso de um diapásão, onde puderam perceber que as vibrações que passavam de um diapásão para o outro, poderiam ser explicadas por transmissões de pulsos pelo ar.

Figura 53 - Experimento com o diapásão



Fonte: O autor (2023).

Em experimentos com um aplicativo de celular, os alunos foram apresentados a situações nas quais as ondas sonoras tiveram que ser analisadas através da sua frequência (Figura 54). Percebemos um entendimento dos alunos nesta atividade, na qual demonstram a capacidade de associar uma onda sonora pela sua frequência e altura, relacionando ainda com a compreensão pictórica da onda pela sua curva senoidal.

Figura 54 - Alunos medindo a frequência sonora



Fonte: O autor (2023).

A questão da Figura 55, envolveu uma situação problema em que o aluno tem a percepção da voz masculina e feminina representada por ondas senoidais e deve, com isso, reconhecer suas características.

Figura 55 - Resposta do Aluno A15 - QF-22

22º) Nas figuras abaixo temos duas representações de ondas sonoras, uma delas gerada pela voz de um homem e a outra gerada pela voz de uma mulher.

ONDA A ONDA B

a) Qual das ondas foi gerada pela voz de um homem e qual foi gerada pela voz de uma mulher?
 R: *A → mulher, B → homem*

b) Qual das ondas tem maior frequência?
 R: *Onda A*

c) Qual das ondas tem um som mais agudo e qual tem um som mais grave?
 R: *Onda A → agudo, onda B → grave*

d) Qual das ondas tem um tom mais alto e qual tem um tom mais baixo?
 R: *Onda A → tom alto, onda B → tom baixo*

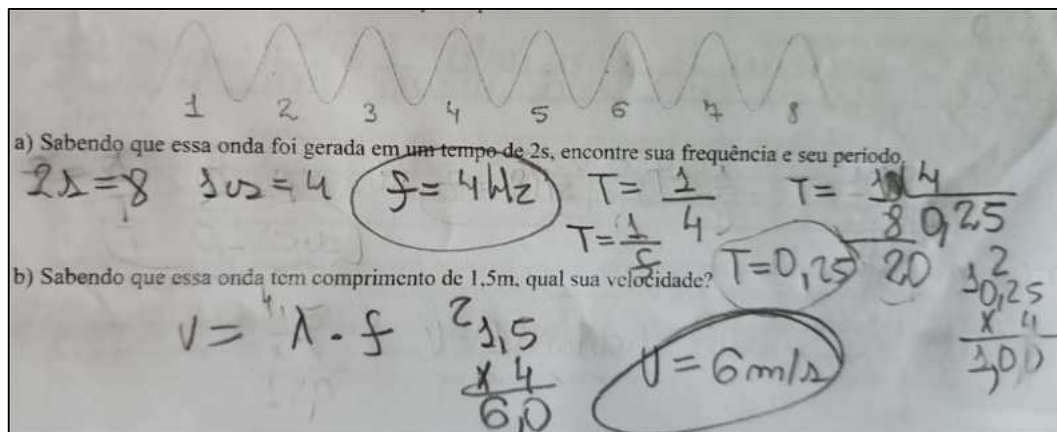
Fonte - O autor (2023).

Nesse problema, o aluno pode provar sua capacidade de leitura de mundo, ao interpretar a representação pictórica de uma onda senoidal de forma qualitativa, relacionando de maneira coerente, características da onda pela simples observação de uma imagem. Os alunos mostraram mais um avanço conceitual no entendimento de ondulatoria, uma vez que agora conseguem fazer relações entre diversos conceitos em um problema.

Ao apresentar o questionamento sobre a velocidade da onda, foram notados uma dificuldade para descobrir a relação da velocidade da onda com o comprimento de onda e sua frequência ou período. Em explicações por meio do simulador Phet, os alunos foram instruídos a perceber que a distância de um comprimento de onda era percorrida em um tempo de um período. Dessa forma, foi notado uma melhor compreensão na forma como se determina a velocidade de uma onda através de seu comprimento e frequência ou período. Ainda assim, foi notado, em alguns alunos, que após ter contato com a fórmula, evitavam refletir sobre sua lógica, buscando sua utilização direta. Esse procedimento provavelmente se justifica pelo hábito de um uso mecânico de fórmulas já vivenciadas pelos alunos.

Diante de uma situação em que envolvessem o uso de cálculos, percebeu-se uma dificuldade maior na resolução da questão (Figura 56), na qual foram observados êxito total ou parcial em pouco mais de 57% dos alunos.

Figura 56 - Resposta do Aluno A34 - QF-17



Fonte - O autor (2023).

A exemplo, podemos notar o aluno A34 usando, de forma correta e com uma lógica consistente, seus conhecimentos para encontrar o período, a frequência e a velocidade de uma onda, apenas observando a imagem da onda em questão. Neste caso, o aluno fez a contagem do número de ondas e relacionou com o tempo decorrido para encontrar a quantidade de ondas por segundo, efetuando em seguida o inverso da frequência para determinar o período e, por fim, usando a equação da velocidade da onda para determinar sua velocidade.

Alguns alunos erraram por confundirem as variáveis, como é o caso de A35 (Figura 57), que usou o tempo total de formação da onda como período para determinar a sua velocidade.

Figura 57 - Resposta do Aluno A35 - QF-17(b)

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

$$v = \frac{1,5 \text{ m}}{2 \text{ s}}$$

$$v = 0,75 \text{ m/s}$$

Fonte - O autor (2023).

Foram notadas essa resposta em outros alunos, o que indica um erro comum compartilhado por vários.

Outros consideraram o tempo total para formação da onda como o período da onda (Figura 58), o que indica um outro erro de interpretação, levando então a resultados como 2s para o período e 0,5 Hz para a frequência.

Figura 58 - Resposta do Aluno A20 - QF-17(a)

Período = 2s

frequência = $\frac{1}{2}$ Hz = 0,5 Hz

Fonte - O autor (2023).

Ainda assim, percebeu-se o uso correto da relação entre frequência e período, assim como o uso correto da relação entre comprimento de onda e período para determinar a velocidade, resultando assim uma falha na interpretação da questão, em que o aluno poderia notar várias ondulações sendo geradas no tempo apresentado.

Ainda considerando as dificuldades em resolver problemas usando cálculos, observamos na questão 18 do QF que tivemos aproximadamente 50% de resultados exitosos ou parcialmente corretos na resolução do problema. Nesse caso, observamos que a operação com números decimais levou alunos a erros e incompletude na questão por não dominarem os algoritmos das operações. Alinhado a isso, ainda tínhamos a necessidade de conversão de unidades presente na questão. Por fim, nessa questão, foram observados o uso inadequado da relação entre comprimento de onda e frequência para determinação da velocidade uma vez que essas grandezas não faziam parte do problema.

Neste caso, temos dois pontos a serem abordados, o domínio do algoritmo e o uso inadequado nas relações entre as grandezas por parte dos alunos. Já o fato do aluno querer responder usando a fórmula da velocidade remete a falta de raciocínio sobre a questão, na qual

busca-se eleger a fórmula como instrumento que possa ser aplicado em qualquer tipo de situação. Neste caso, perguntando-se a velocidade, o aluno promove o uso da fórmula em preferência a uma análise lógica preliminar.

Por fim, foram apresentados dois experimentos para se determinar a velocidade do som e a medição dos níveis de intensidade sonora. Foram observados que os experimentos tiveram uma influência positiva na intencionalidade do aluno, aguçando seu interesse pela investigação e trabalho em equipe.

Na medição da velocidade do som, foram colocados dois celulares a uma distância determinada e um dos alunos foi orientado a bater palmas próximo a um dos celulares. Após isso, notou-se uma diferença de tempo de 0,01s. Os alunos foram então questionados sobre o ocorrido. Na Figura 59 temos uma das respostas obtidas.

Figura 59 - Resposta dos alunos A34 e A9

1 - Por que os cronometro marcaram tempos diferentes?	R: Por conta da distância percorrida pelo som.
2 - Qual a distância o som percorreu entre os pontos A e B?	R: 3,30 m
3 - As informações adquiridas seriam suficientes para calcular a velocidade do som? Qual a velocidade você encontrou?	R: Sim, $v = 330 \text{ m/s}$

Fonte - O autor (2023).

Notamos que os alunos tiveram a noção da velocidade do som e do uso do conceito de velocidade para determiná-la. A maioria conseguiu chegar também à percepção do conceito de velocidade sendo abordada em vários fenômenos diferentes e às vezes com diferentes fórmulas matemáticas, mas que se trata sempre da variação de espaço pelo tempo.

Para medir a velocidade do som, os alunos adotaram uma postura investigativa na qual eles mesmos realizaram o experimento com o uso do cronômetro acústico no celular. Em equipe, os alunos realizaram medições com distâncias variadas, em que cada equipe encontrou sua resposta e todos buscaram a média (Figura 60).

Figura 60 - Resposta dos alunos A34 e A9

MEDIDAS	DISTÂNCIA	TEMPO CEL 1	TEMPO CEL 2	DIFERENÇA DE TEMPO	VELOCIDADE
1	2,54	4,387	4,387	0,006	423 m/s
2	5,60	7,634	7,658	0,024	245 m/s
3	2,40m			0,013	184 m/s
4					346 m/s
				MEIDA ->	312 m/s
5	4,00m	7,784	7,798	0,012	333 m/s

Fonte - O autor (2023).

Foram obtidas 5 medições (Figura 61) por grupos diferentes com todos obtendo êxito nas medições e cálculo da velocidade. Os alunos perceberam que os valores diferentes são decorrentes de medições imprecisas ou até mesmo falhas apresentadas no equipamento de medida. Isso levou a compreensão do uso da média aritmética para minimizar os possíveis erros.

Figura 61 - Alunos medindo a velocidade do som



Fonte - O autor (2023).

Já na medida dos níveis de intensidade sonora os alunos obtiveram uma maior compreensão do sentido de energia, entendendo melhor a energia como algo que gera ondas de todos os tipos, inclusive as sonoras, bem como associando a amplitude como um parâmetro para medida da intensidade dessa energia transmitida.

Com o uso do decibelímetro, os alunos calibraram seus aplicativos de celular e mediram os níveis de intensidade sonora da sala. Os alunos foram capazes de associar que o aumento no ruído sonoro gerava uma variação nas medições e que esse ruído era consequência de uma maior quantidade de energia sendo propagada pelas ondas sonoras. Com o uso do decibelímetro, um dos alunos registrou a medida da intensidade sonora emitida por uma fonte, onde os alunos

perceberam a sua variação com a distância até os níveis de ruído sonoro se igualarem aos da sala de aula (Figura 62).

Figura 62 - Aluna medindo o nível de intensidade sonora de um alto-falante

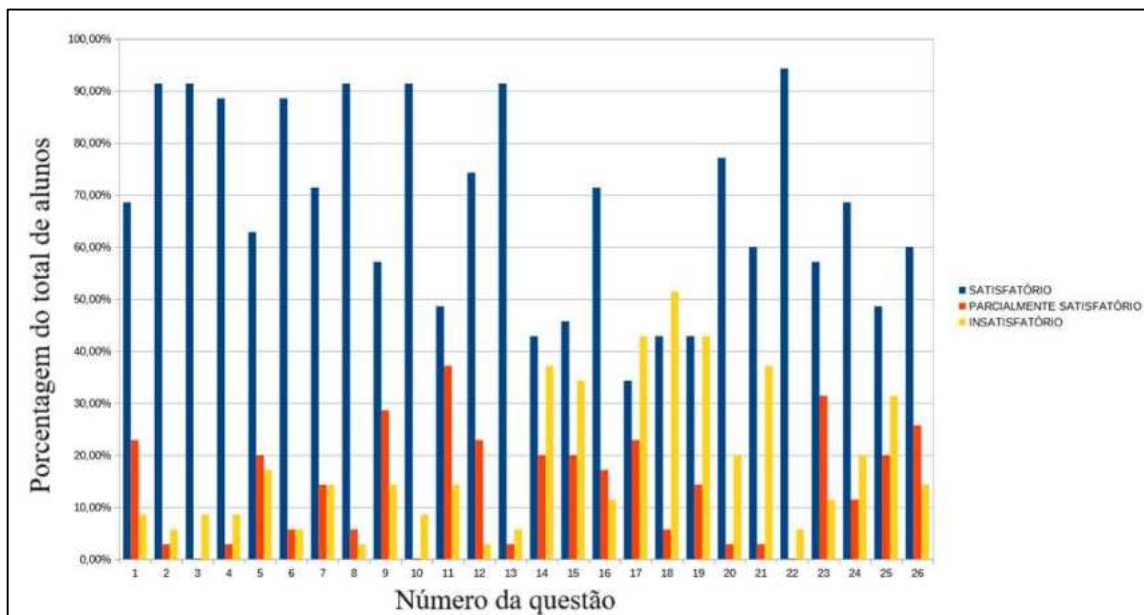


Fonte: O autor (2023).

Em ambos os experimentos, os alunos mostraram compreensão e entendimento em métodos práticos para determinação de uma grandeza física. Foi observado também a criticidade dos alunos perante o reconhecimento dos níveis de intensidades sonoras considerados perigosos para audição humana, por meio de tabelas de comparações.

No gráfico da Figura 63, podemos notar a evolução dos alunos no entendimento conceitual sobre o conteúdo, através de análise dos acertos do questionário de testagem final (QF). Podemos notar uma grande quantidade de questões com os conhecimentos bem definidos corroborando como um bom indicativo de aprendizagem significativa.

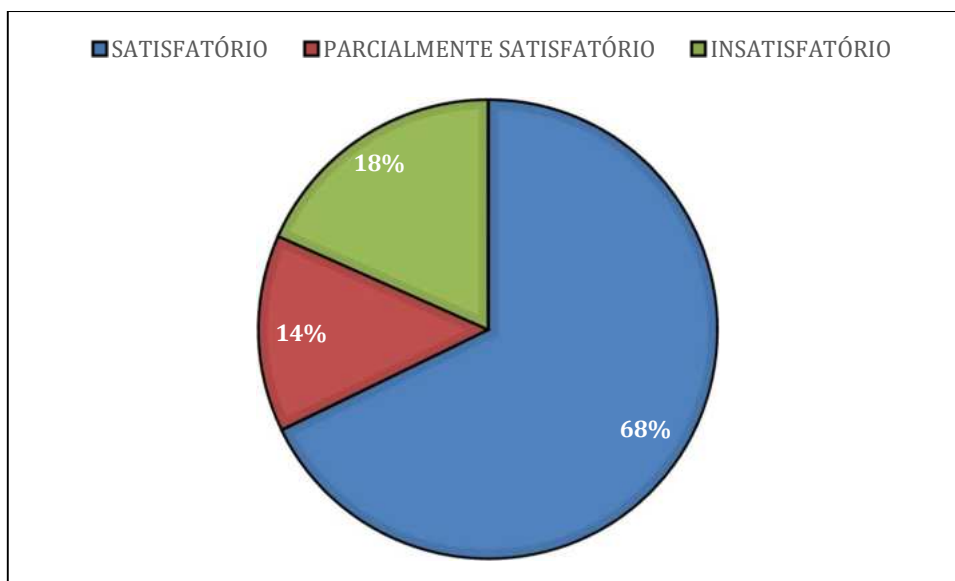
Figura 63 - Resultados do QF



Fonte: O autor (2023).

Algumas questões, já tratadas aqui, mostram dificuldades dos alunos em casos ocorridos pela má interpretação do problema, falta de domínio em operações com números decimais ou falta de conhecimento sobre os conceitos necessários para solução dos problemas. Ainda assim, essas questões retratam uma minoria em casos específicos as quais não tiram desses mesmos alunos o mérito de terem compreendido o básico necessário sobre ondas durante a sequência.

Figura 64 - Construção do conhecimento



Fonte: O autor (2023).

O gráfico da Figura 64 mostra o percentual atingido pela turma no QF em relação às respostas satisfatórias, parcialmente satisfatórias e insatisfatórias. Em análise direta, podemos observar que a maioria das questões obteve uma construção em seu conhecimento, porém vale ressaltar que esse valor está distribuído entre os alunos analisados o que indica que muitos alunos alcançaram bons resultados. Dessa forma, é como se cada aluno tivesse, em média, aproveitado 68% dos conhecimentos adquiridos, ou ainda aproximadamente 82% dos conhecimentos experienciados pelos alunos tiveram uma maior abordagem construídas e uma pequena parte em construção.

Dentre os 32% de conhecimentos em construção ou não construídos, cabe ainda ressaltar, de forma qualitativa, que isso provavelmente não significa que houve um total falta de compreensão ou assimilação do aluno nos conteúdos abordados. Como já observado, em correções posteriores das atividades alguns alunos reconheceram de imediato o seu erro, indicando uma falta de interpretação de momento, outros não conseguiram por dificuldades em cálculo e às vezes até por dificuldades em se expressar. Mensurar todos esses fatos se torna uma tarefa difícil de se fazer com muitos alunos, no entanto foi perceptível em alguns.

Outrossim, não podemos simplesmente considerar que todas as questões corretas tenham sido assimiladas de forma significativa. Baseamos para isso em todo um processo de construção de conhecimento por observação, investigação e participação na qual o aluno teve a oportunidade de criar e ampliar sua estrutura conceitual com base nos seus conhecimentos existentes. Além disso, os problemas sugeridos buscaram explicações e assimilação dos conhecimentos bem como interpretação envolvendo os conceitos aprendidos. Houve ainda uma mudança de atitude por parte do docente, centrando o conhecimento no aluno, se distanciando das atividades de testagem e explicações expositiva. Com isso consideramos as respostas obtidas como sendo originadas de uma aprendizagem significativa crítica.

6.2 ANÁLISE DOS MAPAS MENTAIS.

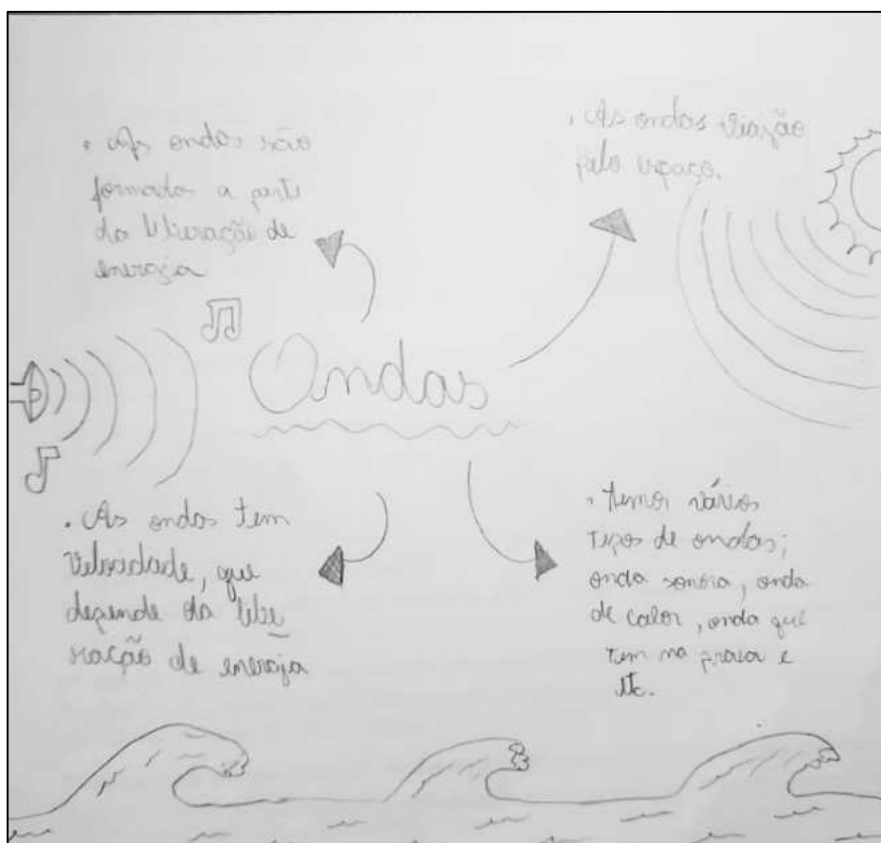
Os mapas mentais foram sugeridos na etapa de levantamento dos conhecimentos prévios como forma do aluno externar a estrutura de seu conhecimento sobre as ondas. Dentre as várias elaborações dos alunos, apresentamos abaixo algumas que refletem uma mostra das observações feitas.

Serão observados aqui o conhecimento cotidiano sobre ondas nos alunos, bem como a capacidade de apresentar uma hierarquia concisa dessas informações, o que pode indicar uma

maior compreensão por parte do estudante. Serão buscados também conceitos físicos mais aprofundados nas observações feitas a fim de detectar formações de conceitos mais estruturados do tema.

No primeiro mapa mental, indicado na Figura 65, observamos uma associação entre as ondas e a energia, onde o aluno relaciona ondas com “liberação de energia”. Esse raciocínio pode estar referenciado na ideia de que o som libera energia assim como o Sol também libera. Pelos tipos de ondas mencionados, refere-se as ondas liberadas pelo Sol como ondas de calor. Relaciona ainda a velocidade da onda com a liberação da energia, demonstrando uma tentativa de explicação sem embasamento adequado. Apesar das observações do aluno terem alguns pontos assertivos, vemos uma relação de ideias incompletas sem maiores detalhes físicos e carentes de explicações e entendimentos.

Figura 65 - Mapa mental do aluno A35

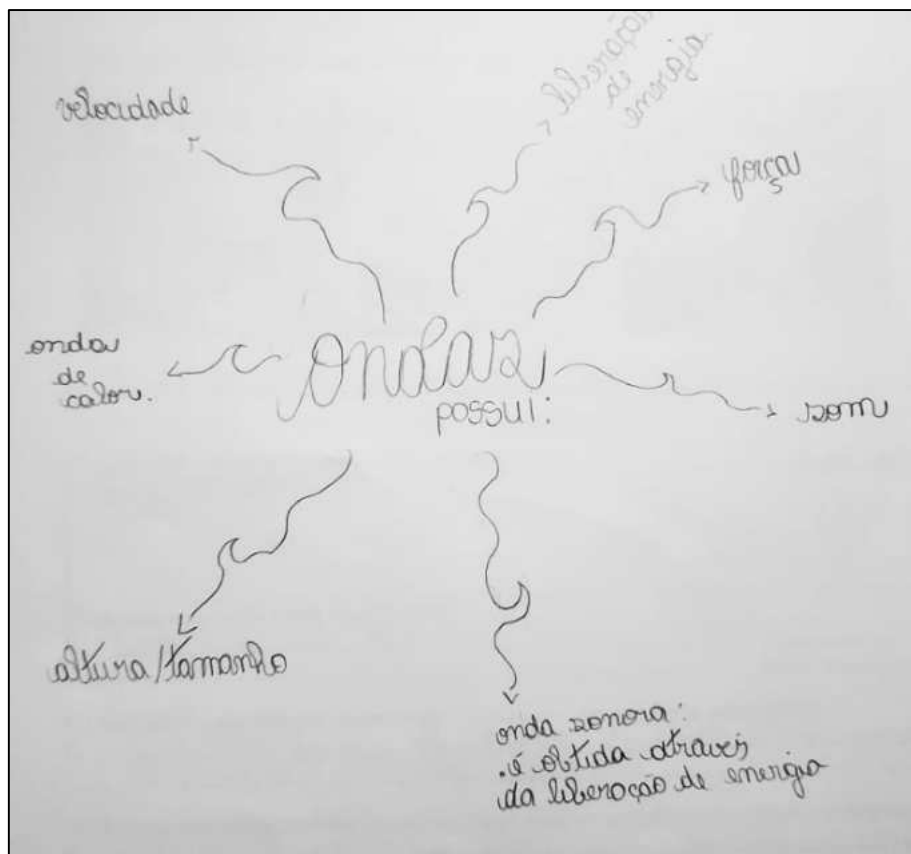


Fonte: O autor (2023).

O próximo mapa, Figura 66, o aluno tenta relacionar o conceito de ondas com algumas características que a compõe. Novamente vemos uma relação que aborda um conhecimento prévio pautado em observações de fatos cotidianos, que possivelmente remeteram a ideia de onda. Neste caso temos a ideia de uma onda ter velocidade, liberar energia, ter uma força ser

uma onda de som ou calor dentre outras. Novamente temos a carência de umnexo entre as informações, bem como da validação de termos verídicos pautados em explicações coerentes sobre as características de uma onda.

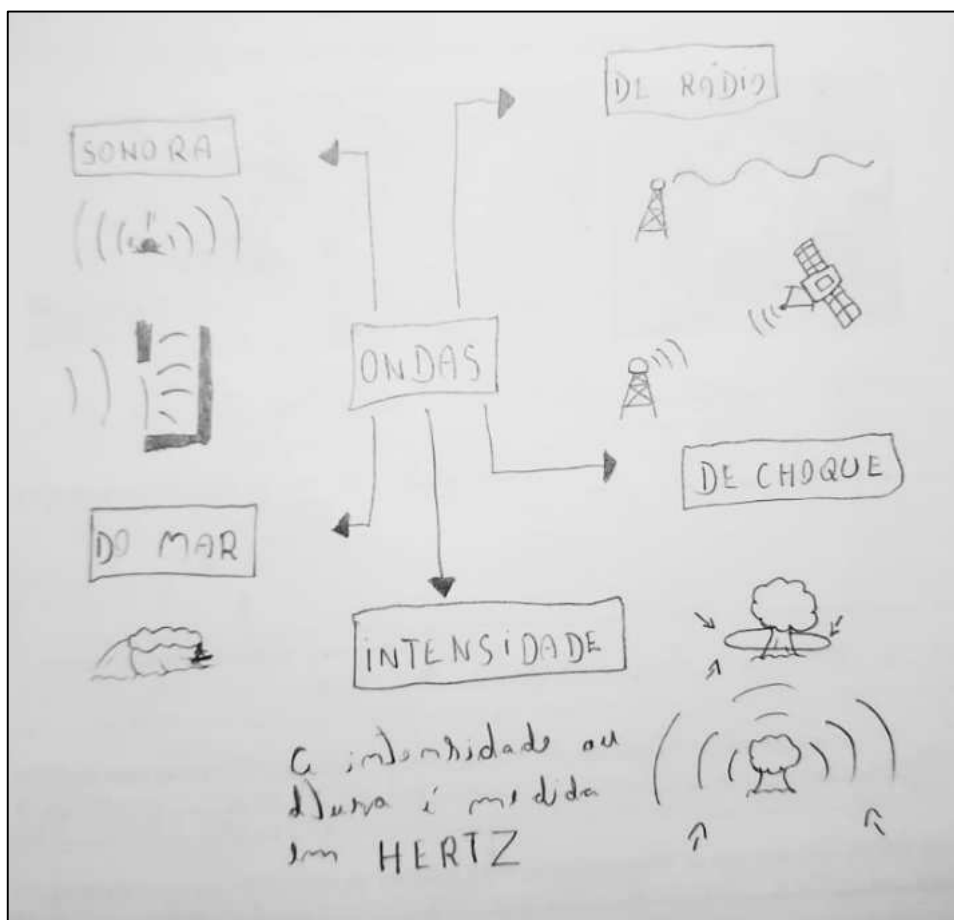
Figura 66 - Mapa mental do aluno A2



Fonte: O autor (2023).

Neste último mapa mental, Figura 67, notamos um apelo visual do aluno em representar as informações que possui, as quais tem alguma ligação com as ondas. Percebemos aqui, de forma nítida, a construção do conhecimento do aluno pautada em observações e relações de termos que carregam a palavra onda. Foram abordados a ideia de ondas sonoras, de rádio, de choque do mar e uma intensidade das ondas ou altura medida em Hertz. Novamente temos uma estrutura cognitiva vaga sobre o conceito ondas, carecendo de novos conhecimentos, reestruturação de ideias já adquiridas e a formação de uma detalhada hierarquia de características sobre as ondas.

Figura 67 - Mapa mental do aluno A28



Fonte: O autor (2023).

A análise dos mapas mentais mostrou o fato de que muitos alunos já tinham alguma conhecimento sobre ondas. De certa forma algo já esperado, devido à grande disseminação de informações sobre fenômenos e tecnologias com o nome “ondas” embutidos nas suas explicações. O aluno não fez nada além de tentar replicar tais informações dentro de sua rede de conhecimentos adquiridos. Porém os termos físicos pouco aparecem e as explicações acerca das características das ondas são vagas, mostrado a necessidade de se abordar junto aos alunos, novos conhecimentos bem como suas relações sobre as ondas.

6.3 ANÁLISE DOS MAPAS CONCEITUAIS

Para melhor verificação dos aprendizados significativos, os alunos foram instruídos a construir mapas conceituais ao término das etapas de estudo dos conteúdos. Os mapas conceituais, idealizados por Novak e Gowin (*apud* Belluzzo, 2007), são baseados em estruturas que relacionam conceitos através de diagramas.

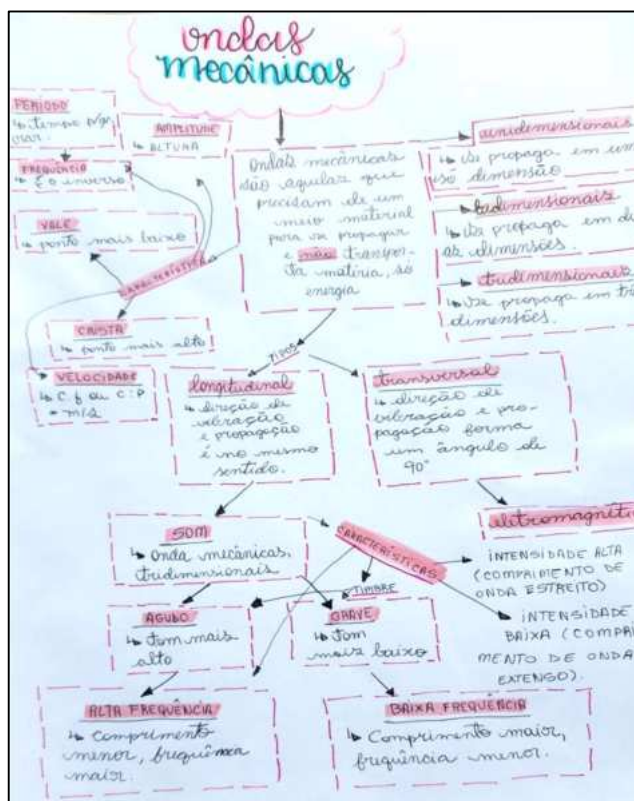
Ao analisar essa estrutura levamos em conta as relações:

- **Conceitos:** Representados por palavras ou frases curtas, encapsulam ideias-chave do conteúdo.
- **Proposições:** Frases que conectam os conceitos, expondo as relações entre eles e construindo uma estrutura de conhecimento.
- **Linhas de ligação:** Indicam a direção e o tipo de relação entre os conceitos, como hierarquia, inclusão ou comparação.
- **Flechas:** Indicam a direção da relação entre os conceitos.
- **Palavras de ligação:** Conectam os conceitos e expressam a natureza da relação entre eles.

Nesta visão, espera-se que os alunos consigam identificar os conceitos-chaves do conteúdo, compreender as relações entre esses conceitos e articular seu conhecimento de forma organizada e visual.

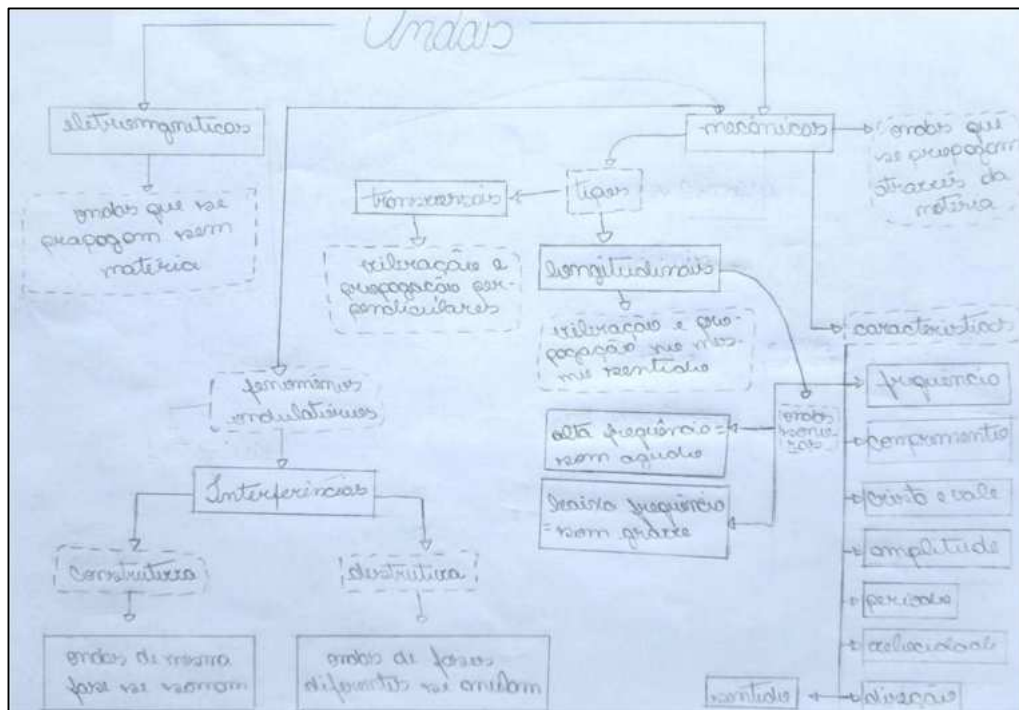
Observando em geral os mapas conceituais, podemos notar variações no grau de suas estruturas, constatando que a maioria dos alunos conseguiram de forma satisfatória demonstrar através dos mapas as relações pertinentes ao conhecimento básico dos conteúdos abordados.

Figura 68 - Mapa conceitual do aluno A20



No mapa conceitual do aluno A20 (Figura 68), notamos uma boa relação dos conceitos, destacando os pontos mais importantes estudados, alinhados de forma estruturada com linhas de ligação bem estabelecidas. O aluno usou ainda algumas palavras de ligação e o uso coerente de setas para relacionar os conteúdos. Nota-se ainda uma separação organizada entre os conteúdos das ondas mecânicas tendo as ondas sonoras partindo das ondas longitudinais. As ondas sonoras ainda têm seus conceitos bem estabelecidos abordando basicamente todos os conteúdos pertinentes durante a sequência.

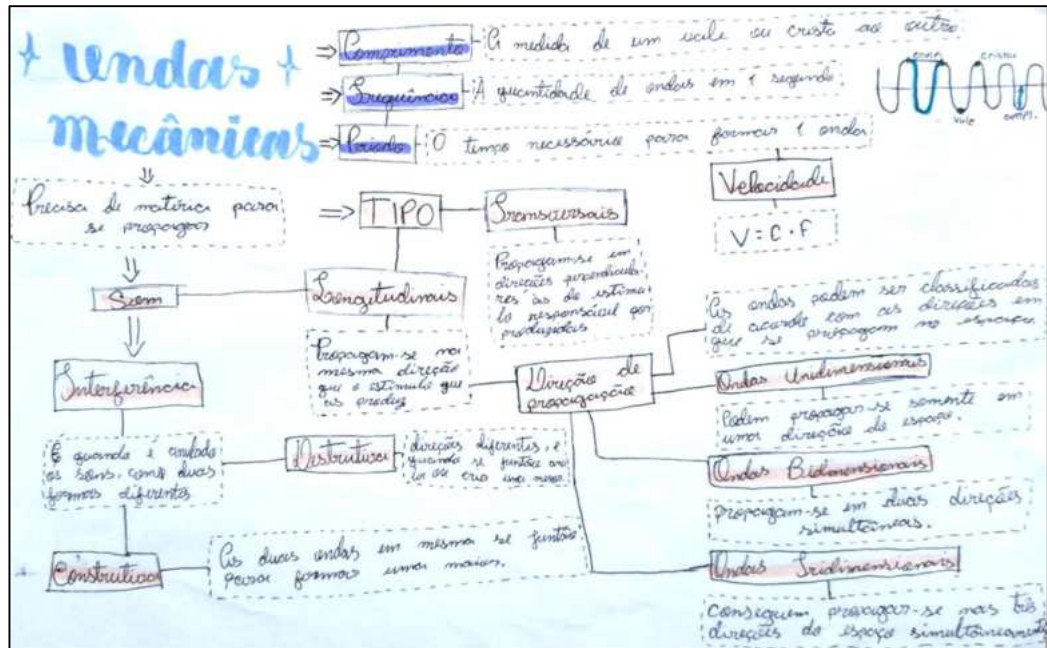
Figura 69 - Mapa conceitual do aluno A10



Fonte: O autor (2023).

Em outro mapa conceitual (Figura 69), também percebemos um bom uso dos conceitos, com indicativos nas proposições abordadas, linhas de ligações coerentes com os significados e hierarquias bem como o uso pertinente das flechas. O aluno distingue as ondas pelo seu tipo, dando ênfase nas ondas mecânicas partindo para seus fenômenos tipos e características. O aluno localiza de forma adequada as ondas sonoras partindo de um tipo longitudinal.

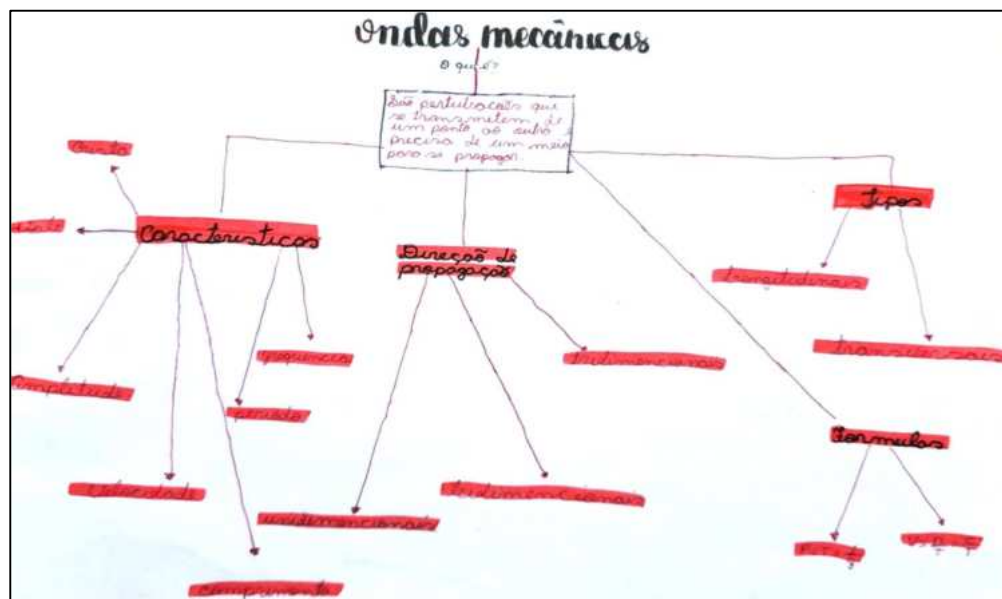
Figura 70 - Mapa conceitual do aluno A01



Fonte: O autor (2023).

Em mais um mapa (Figura 70), notamos o prosseguimento de uma estrutura coerente de relações conceituais, levando a crer em um aprendizado estruturado e diversificado em conceitos, suas hierarquias e conexões. Apesar da ausência do uso de flechas e palavras de ligação, o resultado ainda é tido como positivo, uma vez que apresenta uma conexão bem organizada dos conteúdos seguidos de conceitos e explicações como proposições.

Figura 71 - Mapa conceitual do aluno A21



Fonte: O autor (2023).

Também observamos mapas mais simples, como no caso do aluno A21 (Figura 71), no qual percebemos uma noção mais restrita do conteúdo. Neste caso, os conceitos apresentados foram menos detalhados, porém o uso dos conectores e flechas se mostram adequados. Esse fato remete a um aprendizado mais restrito, mas apresentando uma boa estrutura relacional.

Pela análise dos mapas conceituais, os alunos mostraram uma evolução nos conteúdos estudados, sendo capazes de apresentar uma organização estruturada desses conceitos. Os mapas apresentam indícios de aprendizado significativo, uma vez que a maioria dos alunos foi capaz de criar uma estrutura cognitiva bem definida dos conteúdos em conexão a conhecimentos já observados durante o levantamento dos subsunçores.

6.4 AVALIAÇÃO DA UEPS

Ao término da sequência os alunos tiveram a oportunidade de avaliar sua satisfação em relação a pontos da UEPS durante o percurso de aplicação. A opinião do estudante caracteriza parte do resultado dessa sequência, visto que a opinião do aluno reflete na sua visão a respeito do que foi experienciado e isso caracteriza de forma direta a qualidade da sequência e de sua aplicação em geral.

Para a avaliação do aluno, foi disponibilizado um formulário no Google forms contendo questões pertinentes a aplicação da sequência. Neste formulário, os alunos foram solicitados a avaliar diversos aspectos da sequência didática, incluindo seu nível de satisfação, compreensão conceitual, opinião sobre experimentos e simuladores, e a atuação do professor, entre outros. As respostas foram classificadas em ótimo, bom, regular ou ruim.

A pesquisa contou com a participação de 35 alunos, os quais responderam a todas as questões no google forms. Desta forma os dados abaixo são apresentados na forma de porcentagem que representam o número aproximado de alunos que responderam as questões em análise.

Os gráficos das questões a seguir encontram-se nos Anexos.

Os dados coletados revelaram que:

Conhecimento sobre o Tema: 57,1% dos alunos consideraram seu conhecimento sobre o tema como ótimo, 37,1% como bom e 5,8% como regular.

Atividades Práticas: 85,7% dos alunos classificaram as atividades práticas como ótimas, enquanto 11,4% as consideraram boas.

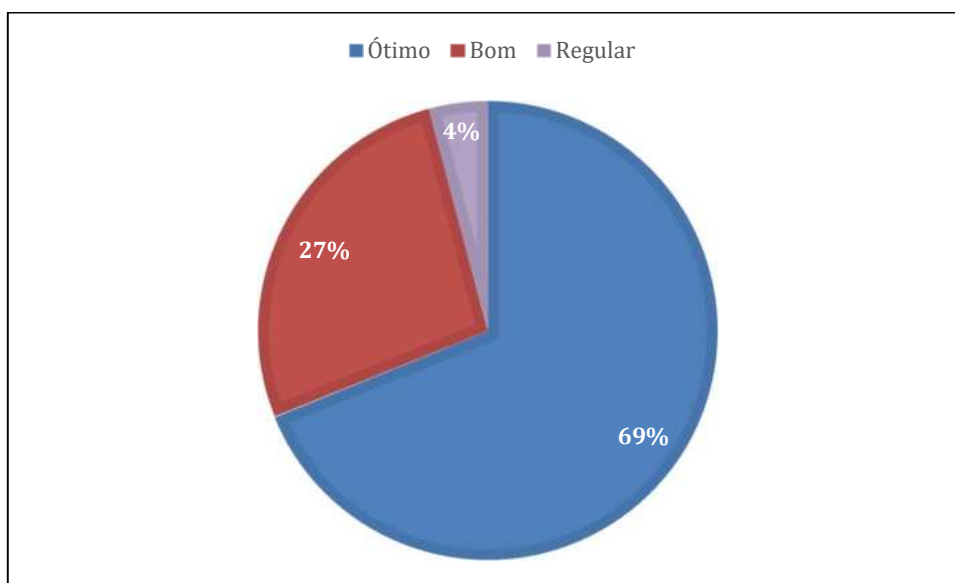
Simuladores de Ondas: 68,6% dos alunos avaliaram os simuladores de ondas como ótimos e 25,7% como bons. No entanto, foi observado que os alunos demonstraram mais interesse com os experimentos práticos (experimento com cordas, diapasão e com o app phyphox) do que nos simuladores. Isso pode ser ter provável explicação devido a maior interação dos alunos com os experimentos práticos, uma vez que os simuladores eram projetados e os alunos participavam por meio de observação, questionamentos e explicações, porém sem um manuseio mais direto com o simulador.

Processos de Medições: Durante os experimentos, 71,4% dos estudantes consideraram o processo de medições como ótimo, enquanto os demais o classificaram como bom ou regular.

Clareza do Professor: 88,6% dos alunos avaliaram a clareza das explicações do professor como ótima, 8,6% como boa e 2,8% como regular.

Conhecimentos Adquiridos: Em relação aos conhecimentos adquiridos durante a sequência, 65,7% dos alunos os consideraram bons e 28,6% os avaliaram como ótimos, com o restante classificando como regular.

Figura 72 - Avaliação da UEPS pelos estudantes



Fonte: O autor (2023)

No geral, conforme apresentado no gráfico da Figura 72, aproximadamente 70% dos alunos avaliaram a sequência didática como ótima e cerca de 30% como boa. O formulário completo utilizado para a avaliação dos estudantes está disponível nos apêndices da dissertação. Esses resultados foram obtidos por meio da média entre todas as respostas dados como ótimo, bom e regular. Elas indicam uma recepção positiva da abordagem baseada na UEPS,

demonstrando uma eficácia percebida tanto em termos de compreensão conceitual quanto de engajamento dos alunos nas atividades propostas. Observamos também um aumento da autoeficácia dos estudantes, ou seja, um aumento da própria crença de ser capaz de aprender determinado assunto.

6.5 ANÁLISE DA PÓS-TESTAGEM

Visando buscar mais evidências de aprendizagem significativa, foi realizada uma nova testagem com os alunos da turma, após um intervalo de aproximadamente quatro meses do término da sequência. O objetivo dessa avaliação foi verificar a retenção dos conceitos de ondas mecânicas adquiridos pelos alunos, levando em conta que os aprendizados consolidados de forma significativa perduram no conhecimento do indivíduo.

Foram focos da análise, verificar o reconhecimento dos conceitos básicos sobre as ondas mecânicas, interpretação pictórica da curva senoidal como uma representação de uma onda e características das ondas sonoras.

Como dito antes, formulário de pós-testagem foi desenvolvido com o objetivo de avaliar a retenção dos conceitos de ondas mecânicas pelos alunos, quatro meses após o término da sequência didática. Esse formulário foi composto por dez questões abrangendo diferentes aspectos dos conhecimentos adquiridos, com um foco específico na identificação de indícios de aprendizagem significativa.

Estrutura do Formulário:

Questão 1: Diferenças entre ondas sonoras e ondas mecânicas.

Questão 2: Frequência de vibração de uma corda de violão.

Questão 3: Conceitos de período e comprimento de onda.

Questão 4: Interpretação pictórica de uma onda senoidal.

Questão 5: Relação matemática entre período e frequência de uma onda.

Questão 6: Interpretação mensurável de amplitude e comprimento de uma onda em um plano cartesiano.

Questão 7: Compreensão da relação entre período, frequência e comprimento de onda.

Questão 8: Intervalo de frequência audível pelo ser humano.

Questão 9: Propagação de uma onda sonora de alta intensidade e a ideia de transporte de energia.

Questão 10: Propagação de ondas sonoras no espaço e medição da energia propagada.

Para cada questão, os alunos foram solicitados a indicar o seu nível de segurança em relação às respostas fornecidas, categorizando-as como "plena certeza", "parcialmente certo" ou "não tenho certeza".

Os detalhes completos do formulário, incluindo as perguntas específicas e as respostas esperadas, podem ser lidos na íntegra nos anexos deste documento.

Os resultados da pós-testagem indicam uma forte evidência de aprendizagem significativa entre os alunos. A alta taxa de acertos, acompanhada de níveis consideráveis de certeza nas respostas, sugere que os conceitos de ondas mecânicas foram bem compreendidos e retidos ao longo do tempo.

Na primeira questão, os alunos foram questionados sobre as diferenças entre ondas sonoras e ondas mecânicas. Esse conhecimento remete a reconciliação integradora onde tem-se a percepção que uma onda sonora é um tipo de onda mecânica. Neste quesito aproximadamente 94% dos alunos apresentaram corretamente a resposta. Destes 57% tiveram certeza enquanto 43% indicaram dúvidas, mas optando, em sua maioria pela questão correta.

Na segunda questão, foi apresentado um problema sobre a frequência da vibração de uma corda de violão. Neste caso esperava-se que o aluno soubesse o significado do termo frequência apresentado em um contexto que define uma nota musical. Os alunos aqui, apresentaram 94% de acertos com 54% de certeza. Sendo que 40% tiveram dúvida em alguma alternativa e apenas 6% sinalizaram não saber qual a correta.

A terceira questão buscou saber o conhecimento do aluno sobre período e comprimento de onda ressaltando suas diferenças. Pouco mais de 85% acertaram a questão, sendo 51% de certeza da resposta e 46% apresentando alguma dúvida. Apenas 6% sinalizaram não saber qual a alternativa correta.

A quarta questão explorou a capacidade de leitura pictórica da onda senoidal onde devem diferenciar as características das ondas pela sua observação. Essa questão apresentou 94% de acertos com 66% de certeza, 31% apresentaram dúvida e 3% indicaram não saber qual a resposta.

A quinta questão explorou a relação matemática entre período e frequência de uma onda em um problema. Nela o aluno deve ser capaz de perceber que a frequência é o inverso do período de uma onda. Aqui tivemos 85% de acertos com 49% de certeza. 37% indicaram dúvida na resposta e 14% indicaram não ter certeza da resposta.

A sexta questão explora a capacidade do aluno em interpretar as características da amplitude e comprimento de uma onda de forma mensurável em análise a uma onda senoidal

em um plano cartesiano. Nesta questão ocorreu 57% de acertos com 57% de certeza da resposta contra 43% com alguma dúvida na questão.

A sétima busca a compreensão da relação entre período, frequência e comprimento de uma onda. Nela o aluno deve saber que ao variar a frequência de uma onda seu comprimento e seu período também variam inversamente a frequência. Essa questão obteve 91% de acerto com 43% de certeza e 57% apresentando alguma dúvida na resposta.

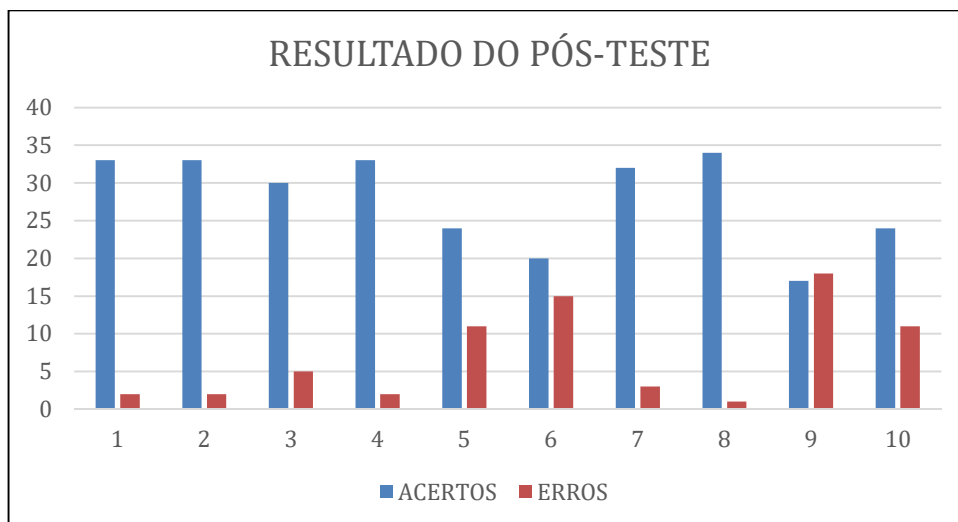
A oitava questão explora o conhecimento do aluno sobre o intervalo de frequência audível pelo ser humano. Aqui obtivemos 97% de acertos com 91% de certeza, 6% apresentando dúvida e 3% de incerteza.

A nona questão apresenta uma situação problema em que uma onda sonora de alta intensidade atravessa uma bola plástica. Buscou-se aqui a ideia de que a onda não consegue impulsionar a bola para longe da caixa de som uma vez que não transporta energia. Pouco mais de 48% acertaram a questão sendo 29% com certeza, 63% com alguma dúvida e 9% afirmando não saberem. Em análise a essa questão observamos que, apesar dos alunos serem apresentados a situações mostrando que a onda não transporta energia, ainda houve confusão ao acreditar que uma onda sonora possa impulsionar um objeto na mesma direção de sua propagação.

A décima questão busca a compreensão do aluno a respeito da propagação da onda sonora no espaço, bem como da medição da energia que é propagada pela onda. Aqui obtivemos 68,6% das questões respondidas de forma correta com 34% de certeza, 40 % se mostrando em dúvida e 23% incertos da resposta.

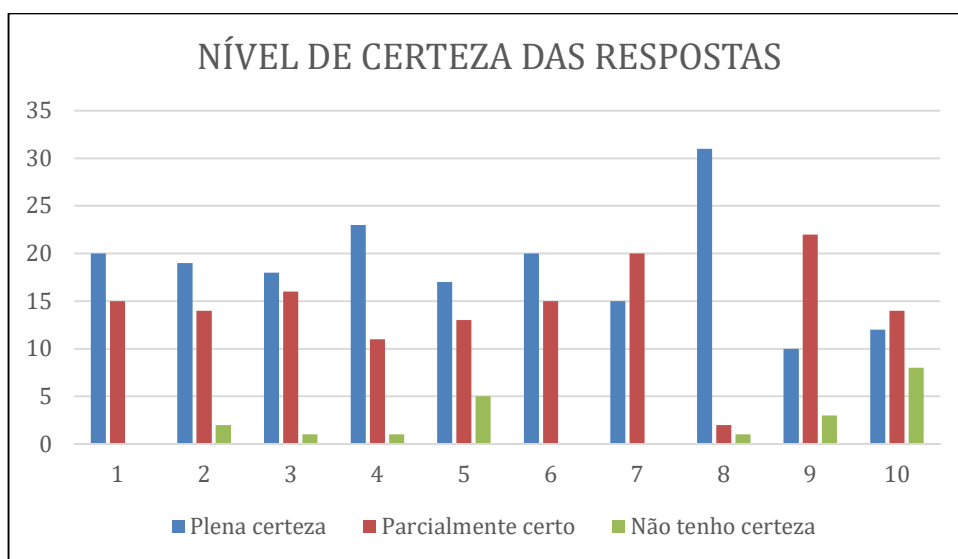
Os resultados acima mencionados, são apresentados no gráfico da Figura 73, onde relaciona a quantidade de acertos e erros por cada questão. Já o gráfico da Figura 74, apresenta o nível de certeza das respostas, relacionando a quantidade de alunos pelo seu nível de certeza em cada questão.

Figura 73 - Resultado do Pós-Teste



Fonte: O Autor (2024)

Figura 74 - Nível de certeza das respostas



Fonte: O Autor (2024)

Em síntese, os resultados da pós-testagem indicam que a sequência didática, fundamentada na teoria de Ausubel e nos métodos de M. A. Moreira, foi eficaz na promoção de uma aprendizagem significativa crítica dos conceitos de ondas mecânicas. No entanto, identificaram-se áreas específicas que requerem reforço, especialmente na compreensão da transmissão de energia por ondas. A avaliação evidencia que, a forma como os conhecimentos foram transmitidos, direcionados aqui por uma UEPS e ensinados de forma significativa, tendem a ser melhor retidos e consolidados pelos alunos ao longo do tempo.

6.6 CONCLUSÃO

A análise dos dados coletados durante a aplicação da sequência didática permite concluir que a proposta foi eficaz na efetivação de uma aprendizagem significativa dos conceitos abordados, afinal a maioria dos alunos demonstrou um avanço nos conceitos, respondendo corretamente as questões sobre suas características e relações matemáticas. Observou-se uma diferenciação progressiva e uma reconciliação integradora dos conhecimentos ao longo da sequência, evidenciada pela crescente capacidade dos alunos de lidar com os conceitos de forma mais complexa e abrangente. A criação de mapas conceituais estruturados indicou uma internalização dos conteúdos e a formação de uma estrutura cognitiva coerente sobre ondas.

O uso de experimentos, vídeos e simuladores como organizadores prévios despertou o interesse e a participação ativa dos alunos. Observou-se um aumento da intencionalidade durante as atividades, com os alunos buscando compreender os conceitos e se envolvendo na resolução de problemas. O método de aprendizagem investigativa contribuiu para um aprendizado diferenciado, em que o aluno buscava suas próprias conclusões sobre os problemas abordados de forma prática e participativa.

É importante ressaltar que a quantidade de alunos na turma representou um desafio para a concentração e participação de todos. Alguns discentes ainda não dominavam operações com números decimais, o que dificultou a resolução de alguns problemas. Observou-se também que algumas questões foram mal interpretadas, gerando erros nas respostas. No entanto, em muitos casos, os alunos demonstravam domínio do procedimento para resolução se confundindo apenas na interpretação dos dados. Com isso, concluímos ainda assim, que a sequência didática apresentou resultados satisfatórios, elevando o conhecimento geral da turma sobre o tema de forma significativa.

A sequência didática demonstra a viabilidade e o potencial das UEPS de M. A. Moreira como ferramenta para o ensino de física, promovendo a aprendizagem significativa crítica e contextualizada. A utilização de diferentes recursos didáticos, como experimentos e simuladores, enriqueceu o processo de ensino e aprendizagem, tornando-o mais dinâmico e interativo. Esse fato pode ser notado na avaliação da UEPS pelos alunos, que expressaram sua aceitação e contentamento. A avaliação dos resultados demonstra a importância da avaliação formativa para acompanhar o progresso individual dos alunos e ajustar as estratégias de ensino quando necessário.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente pesquisa investigou os impactos de uma sequência didática baseada em uma UEPS, fundamentada pela Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel e na Aprendizagem Significativa Crítica de Marco Antonio Moreira no processo de ensino-aprendizagem das ondas mecânicas e do som em uma turma do 9º ano do Ensino Fundamental. Concluímos que os resultados obtidos apontam para um êxito significativo na abordagem proposta, evidenciando a eficácia das estratégias pedagógicas utilizadas.

Durante a aplicação da sequência didática, os alunos foram expostos a situações-problema que demandavam o entendimento conceitual das ondas mecânicas, tanto por meio da observação de experimentos simples quanto pelo uso de simuladores. Por meio dessas atividades, notou-se nos estudantes uma evolução em seus conhecimentos sobre ondas mecânicas. Eles conseguiram demonstrar habilidades interpretativas ao gerar explicações sobre pontos conceituais fundamentais sobre as ondas.

Destaca-se, ainda, o sucesso na compreensão do conceito de ondas sonoras pela maioria dos alunos. Através de experimentos, como o uso do diapasão, os estudantes foram capazes de identificar indícios que apontavam o som como uma onda, além de reconhecer características específicas das ondas sonoras por meio de simuladores e da interpretação de gráficos em aplicativos de celular.

Outro aspecto relevante do processo de aprendizagem foi a observação direta dos limites da audição humana, proporcionando aos alunos uma experiência prática sobre os níveis de frequências sonoras e suas respectivas intensidades. A medição experimental da velocidade do som e do nível de intensidade sonora, realizada através de aplicativos de celular, contribuiu ainda mais para consolidar o conhecimento adquirido.

A partir dessas experiências, os alunos não apenas adquiriram um embasamento sólido sobre os conceitos básicos das ondas sonoras, mas também desenvolveram uma visão crítica sobre o tema. A apropriação desses conceitos proporcionou-lhes uma melhor compreensão do mundo ao seu redor e uma base sólida para a interpretação de conhecimentos mais aprofundados no campo das ciências físicas.

Dessa forma, concluímos que a abordagem pedagógica baseada na Teoria da Aprendizagem Significativa e estruturada por uma UEPS de Marco Antonio Moreira mostrou-se eficaz na promoção de uma aprendizagem significativa e crítica dos conceitos de ondas mecânicas e do som, em uma turma do 9º ano, contribuindo para o desenvolvimento integral dos alunos e para sua preparação como cidadãos reflexivos e participativos.

REFERÊNCIAS

AUSUBEL, David. **Aquisição e Retenção de Conhecimentos: Uma Perspectiva Cognitiva**. Lisboa: Plátano Edições Técnicas. 1. ed. 2000.

BRASIL. Ministério da Educação. **Base Nacional Comum Curricular – BNCC**. Brasília, 2018.

BAHIA. Secretaria da Educação do Estado da Bahia. **Documento curricular referencial da Bahia para o Ensino Médio**. 2022. Disponível em: http://dcrb.educacao.ba.gov.br/wp-content/uploads/2022/08/DCRB-09_08_22_COM-MATRIZES.pdf_ Acesso em: 30 jun. 2023.

BELLUZZO, R. C. B. **Construção de mapas: desenvolvendo competências em informação e comunicação**. 2. ed. Bauru: Cá entre Nós, 2007.

BELMONT, Rachel Saraiva; LEMOS, Evelyse dos Santos. A intencionalidade para a aprendizagem significativa da biomecânica: reflexões sobre possíveis evidências em um contexto de formação inicial de professores de educação física. **Ciência & Educação**, Bauru, v. 18, n. 1, p. 123-141, 2012. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1516-73132012000100008. Acesso em: 20 set. 2023.

BERMUDES, Wanderson Lyrio; SANTANA, Bruna Tomaz; BRAGA, José H. O; SOUZA, P. H. **Tipos de escalas utilizadas em pesquisas e suas aplicações**. *Vértices*, v. 18, n. 2, p. 7-20, 2016

BERNOULLI, Danielis Danielis Bernoulli. **Hydrodynamica, sive De viribus et motibus fluidorum commentarii**. Opus academicum ab auctore, dum Petropoli ageret, congestum: Daniel Bernoulli: Free Download, Borrow, and Streaming :Internet Archive

BUZAN, Tony. **Mapas Mentais e sua elaboração: um sistema definitivo de pensamento que transformará a sua vida**. São Paulo: Cultrix, 2005.

DISTLER, R. R. Contribuições de David Ausubel para a intervenção psicopedagógica. **Revista Psicopedagogia**, São Paulo, v.32, n.98, p. 191-199, 2015. Disponível em: <http://pepsic.bvsalud.org/pdf/psicoped/v32n98/09.pdf> Acesso em: 30 out. 2023.

GIL, Antônio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

GIL, Antônio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2017.

HALLIDAY, David *et al.* **Fundamentos da física, Vol. 2**. Rio de Janeiro: LTC, 2013.

HEWITT, Paul. **Física Conceitual**. 12ª ed. São Paulo: Bookman, 2015.

HOOKE, Robert. **Micrographia: or some physiological descriptions of minute bodies made by magnifying glasses with observations and inquiries thereupon**. Londres: Jo. Martyn, and Ja. Allestry, 1665. Disponível em: <https://www.gutenberg.org/cache/epub/15491/pg15491-images.html>. Acesso em: 31 out. 2022.

MARTINS, Roberto de Andrade. **Traité de la Lumière**. Traduzido e comentado. Disponível em:

https://www.academia.edu/40896293/Huygens_Christiaan_Tratado_sobre_a_luz_Tradu%C3%A7%C3%A3o_e_notas_de_Roberto_de_Andrade_Martins. Acesso em: 18 dez. 2023.

MOREIRA, Marco Antonio. **O que é afinal aprendizagem significativa?** Porto Alegre: Instituto de Física da UFRGS, 2010. Disponível em:

<https://www.if.ufrgs.br/~moreira/oqueeafinal.pdf>. Acesso em: 29 out. 2023.

MOREIRA, Marco Antonio. **Mapas conceituais e aprendizagem significativa**. Porto Alegre: Instituto de Física da UFRGS, 1997. Disponível em:

<https://www.if.ufrgs.br/~moreira/mapasport.pdf>. Acesso em: 30 out. 2023.

MOREIRA, M.A. **Aprendizagem significativa crítica**. Porto Alegre: Instituto de Física da UFRGS, 2010. Disponível em: <https://www.if.ufrgs.br/~moreira/apsigcritport.pdf>. Acesso em: 29 jun. 2023.

MOREIRA, M. A. Unidades de ensino potencialmente significativas - UEPS. **Aprendizagem Significativa em Revista**, Porto Alegre, v. 1, n. 2, p. 43-63, 2011. Disponível em:

http://www.if.ufrgs.br/asr/artigos/Artigo_ID10/v1_n2_a2011.pdf. Acesso em: 20 setembro 2023.

MOREIRA, Marco Antonio. **Ensino e aprendizagem significativa**. São Paulo: LIVRARIA DA FÍSICA. 2017.

MOREIRA, Marco Antonio. **Teorias de aprendizagem**. São Paulo. EPU, 1999.

MOREIRA, M. A.; MASSONI, N. T. **Noções Básicas de Epistemologia e Teorias de Aprendizagem**. São Paulo: LIVRARIA DA FÍSICA. 2016.

MOREIRA, M. A.; MASINI, E. F. S. **Aprendizagem significativa: a teoria de David Ausubel**. São Paulo: EDITORA MORAES, 1982.

NUSSENZVEIG, H. M. **Curso de Física básica vol. 2**. São Paulo: Edgar Blucher, 2002.

TIPLER, P. A. **Física Vol. 2**. Rio de Janeiro: Editora Guanabara Dois S.A., 1978.

YOUNG, Thomas. **A Course of Lectures on Natural Philosophy and the Mechanical Arts**. Disponível em: <https://archive.org/details/lecturescourseof02younrch/mode/2up>. Acesso em: 18 dez. 2023.

ANEXOS

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Caro pai, mãe ou responsável legal, você está sendo consultado(a) sobre a participação do(a) estudante _____ como voluntário(a), em uma pesquisa educacional. Este estudo pretende investigar a aprendizagem de conceitos científicos em Física, relacionados ao conteúdo de ondas mecânicas e sonora. Pretendemos investigar como a nossa metodologia de trabalho experimental contribui para a compreensão de conceitos nesse tema. Por se tratar de uma pesquisa, alguns eventos da sala de aula serão registrados em áudio ou em vídeo. É assegurado o anonimato do aluno, sempre que nos referirmos a algum acontecimento da sala de aula que o envolva, em nossas produções científicas. O aluno terá total liberdade de deixar de participar das atividades no instante que quiser, pelo motivo que lhe aprouver. Não há qualquer risco pessoal na participação da pesquisa. Os conhecimentos resultantes desta pesquisa serão divulgados em uma dissertação de mestrado. Além disso, os dados coletados dessa pesquisa serão armazenados por 05 anos e poderão ser utilizados em futuras pesquisas. Depois desse prazo, os dados serão destruídos.

Pesquisador responsável: Prof. Edvan Souza Pereira. Tel. (77) 98812-6900.

Mestrado Profissional em Ensino de Física – UESB. email: edvantn@gmail.com.

Orientador da pesquisa: Prof. Dr. Luizdarcy Matos Castro

Coorientador da pesquisa: Prof. Dr. Carlos Takiya

Departamento de Física – UESB – Vitória da Conquista - BA

CONSENTIMENTO DA PARTICIPAÇÃO

Eu li e entendi os detalhes descritos neste documento.

Concordo que os dados coletados para o estudo sejam usados para o propósito acima descrito.

Nome e RG do responsável
legal: _____

Assinatura do responsável:

Tanque Novo, 19 de outubro de 2023.

TERMO DE CONSENTIMENTO E ANUÊNCIA DO GESTOR

Eu EDVAN SOUZA PEREIRA, discente do Mestrado Nacional Profissional de Ensino de Física (MNPEF) do Programa de Pós-Graduação na Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, estarei desenvolvendo Produto educacional (sequência didática) no Centro Educacional Professora Alzira Alves Carneiro, tendo como orientador Prof. Dr. Luizdarcy Matos Castro e coorientador Prof, Dr. Carlos Takiya . Sendo que as sequências didáticas estão vinculadas às atividades educacionais e consistem num encadeamento de etapas ligadas entre si e têm sido cada vez mais utilizadas como recursos para o ensino com o objetivo de facilitar a aprendizagem. Fugir da abordagem tradicional, como estratégia de ensino, é cada vez mais comum na educação como recurso pedagógico para tornar o ensino dinâmico, atrativo e motivador. Caso necessite esclarecer alguma dúvida em relação ao estudo estou à disposição para prestar quaisquer esclarecimentos. Se vossa senhoria estiver de acordo, posso garantir que as informações fornecidas serão confidenciais, e os dados utilizados apenas para fins de análises científicas.

Eu _____ fui esclarecido(a) sobre a pesquisa citada acima e concordo com que estes dados sejam utilizados na sua realização, considerando seu mérito e caráter científico.

Assinatura do Responsável (com carimbo se tiver)

Tanque Novo - BA , _____ / _____ 2023

MATERIAL DO ALUNO
QUESTIONÁRIO PARA LEVANTAMENTO DOS CONHECIMENTOS
PRÉVIOS DO ALUNO

1º) Como você pode definir o que é o som?

R: _____

2º) Pra você o que seria uma onda?

R: _____

3º) Na tirinha abaixo temos a manifestação de uma onda? Explique.



R: _____

4º) Qual seria o formato de uma onda? Faça um desenho.

5º) Só existem ondas sonoras? Você conhece outros tipos de ondas? Quais?

R: _____

6º) Você sabe qual a diferença entre um som grave e um som agudo? Se sim explique.

R: _____

7º) Existem sons que não podem ser ouvidos pelos seres humanos? Se souber explique.

R: _____

8º) Observe a tirinha e responda: O que seria um som alto? E um som baixo?



R: _____

9º) O que torna uma onda sonora alta o suficiente para prejudicar a audição de um ser vivo?

R: _____

10º) Você já deve ter ouvido falar na palavra frequências. Talvez já tenha ouvido falar da frequência em Hz (Hertz). Qual o significado dessa palavra pra você?

R: _____

11º) Você já ouviu falar no comprimento de uma onda? Sabe o que isso seria?

R: _____

12º) Qual sua compreensão sobre a palavra período? Ondas tem período?

R: _____

13º) Uma onda tem velocidade? Qual seria a velocidade de uma onda?

R: _____

MAPA MENTAL SOBRE ONDAS

Faça no espaço abaixo um pequeno mapa mental sobre seus conhecimentos relativos a ondas.

Observação³

MATERIAL DO ALUNO

ATIVIDADE EXPERIMENTAL – GERANDO ONDAS EM CORDAS E MOLAS

Caro aluno, neste relatório você deverá responder aos quesitos referentes aos experimentos realizados pelo professor.

Experimento 1.

Gerando ondas em cordas.

1º) O que é necessário para que aja a formação de um pulso de onda na corda?

R: _____

2º) A onda transporta matéria e energia? Explique.

R: _____

3º) Neste caso qual o meio material que a onda viaja?

R: _____

4º) Qual o formato das ondas em uma corda? Faça o desenho.

5º) Explique por que essas ondas são consideradas transversais.

R: _____

6º) Qual característica de um pulso de onda está relacionado com sua quantidade de energia?

Explique.

R: _____

7º) Use o celular para fotografar a onda periódica gerada na corda, em sala, e tente determinar seu comprimento, conforme orientação do professor.

R: _____

8º) Use o cronômetro do celular para determinar aproximadamente a frequência das ondas periódicas geradas pelo professor na corda.

Tempo considerado: _____

Número de ondas no intervalo de tempo: _____

Frequência: _____

³ Informamos que houve um erro de grafia na primeira questão desse questionário, observado somente após a aplicação do mesmo, onde se ler “aja” deveria está escrito “haja”.

9º) O que você entendeu por período da onda?

R: _____

10º) Sabendo a frequência da onda na 8ª questão, use a lógica para encontrar aproximadamente seu período.

Experimento 2:

Ondas geradas em uma mola Slink.

1º) O que ocorre quando um pulso de onda atinge uma extremidade? Qual o nome desse fenômeno?

R: _____

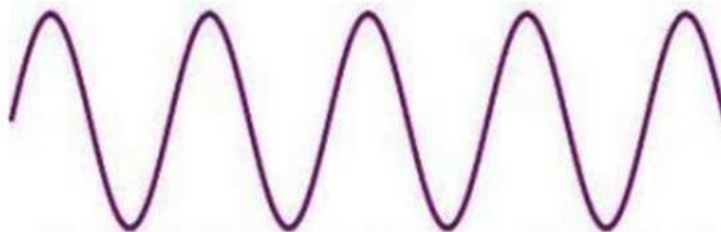
2º) Qual o meio de propagação da onda nesse caso?

R: _____

3º) Qual a diferença entre as ondas longitudinais e as ondas transversais?

R: _____

4º) Nas ondas abaixo indique onde ficam suas cristas, seus vales e com o auxílio de uma régua defina seus comprimentos de onda e amplitudes.



MATERIAL DO ALUNO

ATIVIDADE EXPERIMENTAL – ONDAS NO SIMULADOR PHET

Caro aluno, neste relatório você deverá responder aos quesitos referentes aos experimentos realizados pelo professor no simulador Phet Ondas.

1º) O que acontece com o comprimento da onda quando sua frequência varia?

R: _____

2º) O que acontece com a velocidade da onda quando sua frequência é alterada?

R: _____

3º) Se mantivermos o comprimento da onda fixo e aumentarmos sua velocidade, o que acontece com a frequência? Explique.

R: _____

3º) Nesta questão, o professor irá apresentar dois casos diferentes de ondas no simulador Phet projetadas no quadro. Observe as orientações do professor e para cada caso, responda qual a amplitude, frequência, comprimento e período da onda representada no simulador.

1º caso: Amplitude: _____
Frequência: _____
Comprimento de onda: _____
Período: _____

2º caso: Amplitude: _____
Frequência: _____
Comprimento de onda: _____
Período: _____

4º) Observe o próximo exemplo mostrado no simulador e faça o que se pede:

a) Qual o comprimento da onda mostrada no simulador?

R: _____

b) Qual o período dessa onda?

R: _____

c) Qual, aproximadamente, o tempo gasto por essa onda para percorrer uma distância equivalente 50cm?

R:

d) Sabendo que a velocidade é uma grandeza dada pela razão entre o espaço percorrido e o tempo gasto para percorrê-lo, qual seria a velocidade dessa onda?

R:

MATERIAL DO ALUNO
ATIVIDADES ONDAS SONORAS

Observe a simulação apresentada pelo professor e faça o que se pede:

1º) Conforme as observações das partículas do ar ao serem atravessadas por uma onda sonora, podemos concluir que a onda sonora transporta energia? Explique o que acontece com essas partículas.

R: _____

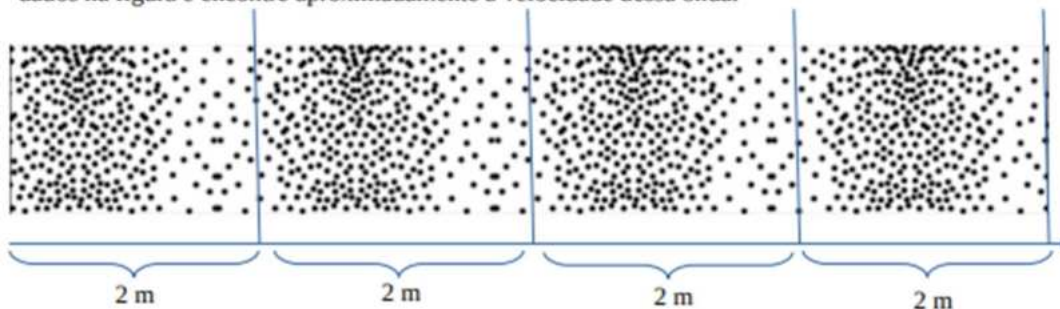
2º) Conforme suas observações, uma onda sonora é do tipo transversal ou longitudinal? Explique.

R: _____

3º) O que ocorre com a onda sonora ao aumentarmos ou diminuirmos sua amplitude?

R: _____

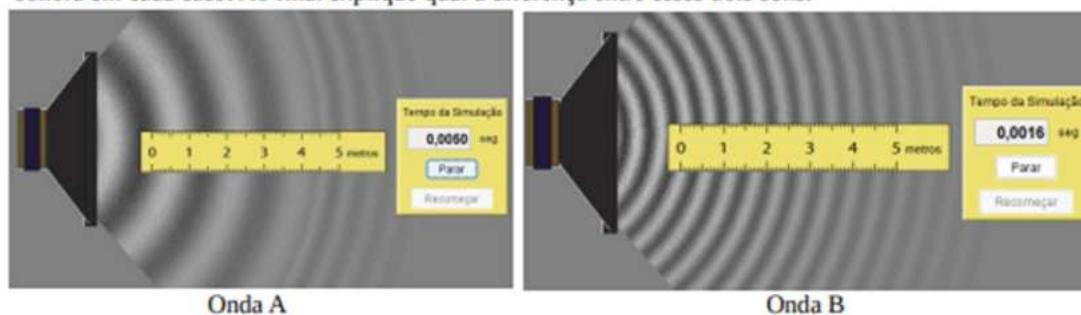
4º) A figura abaixo representa um ruído sonoro emitido em um intervalo de $24 \cdot 10^{-3}$ s. Analise os dados na figura e encontre aproximadamente a velocidade dessa onda.



5º) Observe as ondas sonoras na simulação projetada pelo professor e responda:

- Qual a amplitude dessas ondas?
- Qual sua frequência? R: _____
- Qual o seu período? R: _____
- Qual a velocidade dessas ondas? R: _____

6º) Agora observe as figuras abaixo e tente descobrir a frequência e a velocidade da onda sonora em cada caso. Ao final explique qual a diferença entre esses dois sons.



Considere o tempo de simulação sendo aproximadamente o período da onda.

MATERIAL DO ALUNO DESCOBRINDO A FREQUÊNCIA DA SUA VOZ

Em um dos celulares abram o PhyPhox e selecionem **Autocorrelação do Som**. Clicando sobre esse item, clique em seguida sobre o botão de play.



1 - Emita um som constante com sua voz perto do microfone do celular e anote a frequência marcada pelo aparelho.

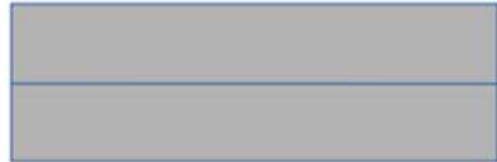
2 – Agora tente variar sua voz para um tom mais baixo e em seguida para um tom mais alto que conseguir. Anote os resultados e veja qual a maior frequência e a menor frequência que sua voz pode emitir. Compare os resultados com os colegas.

3 - Neste momento o professor irá gerar um tom na caixa de som. É importante observar os valores apresentados na tela do aplicativo bem como o gráfico gerado por ele para responder as questões seguintes:

a) Qual a frequência recebida no aplicativo?

b) Qual o período da dessa onda?

c) Fala um esboço do gráfico apresentado na tela do aplicativo no retângulo abaixo:



d) O professor neste momento mudou o tom do som emitido. Verifique novamente o aplicativo qual sua frequência e seu período e anote aqui.

e) Faça novamente o esboço do gráfico apresentado na tela do aplicativo no retângulo abaixo:



Observe as representações gráficas que você fez e responda:

1 – o que mudou no gráfico de uma para outra?

2 – Sendo cada retângulo do mesmo tamanho, o que podemos concluir a respeito do comprimento de uma onda em relação a outra?

2 – Qual das duas ondas representa um som mais alto ou mais agudo e qual representa um som baixo ou mais grave?

NÍVEL DE INTENSIDADE DA ONDA SONORA

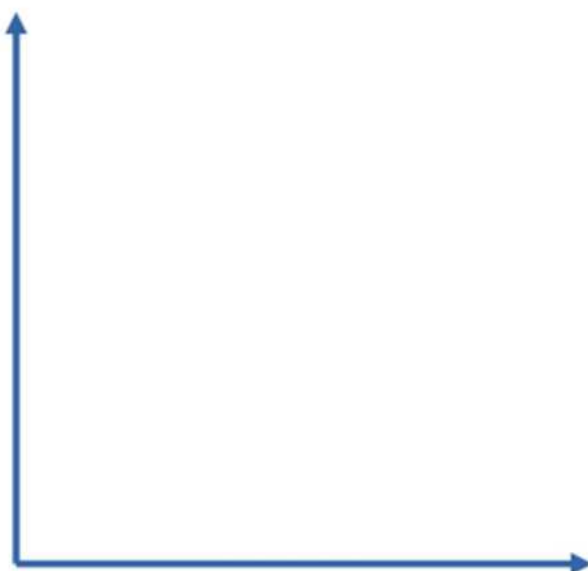
Caro aluno, neste momento você deve estar com o seu celular aberto no aplicativo PhyPhox na função Amplitude do áudio. Nela você verá as medições do nível de intensidade sonora em decibéis ao seu redor.

O professor emitirá um som de frequência única com uma determinada intensidade. Você deverá medir a intensidade do som emitido, no ponto onde a fonte sonora se encontra e registrar o valor encontrado.

Em seguida, com a ajuda de uma fita métrica, deverão ser medidas dos níveis de intensidade sonoras a cada metro de distância da fonte. Os valores deverão ser registrados na tabela abaixo.

MEDIDA	DISTÂNCIA	INTENSIDADE EM DB
1 ^a		
2 ^a		
3 ^a		
4 ^a		
5 ^a		
6 ^a		
7 ^a		
8 ^a		
9 ^a		
10 ^a		

Agora faça um gráfico com essas medidas com os valores das distâncias no eixo das abcissas e as intensidades no eixo das ordenadas.



1 – Baseando-se no gráfico, faça uma estimativa para a intensidade a uma distância de 15m.

2 – Observe a tabela de intensidade sonora abaixo e responda qual a correspondência do ruído apresentado com os dados desta tabela e quanto tempo podemos ficar a menos de 1m dessa fonte sonora.

Tabela de Intensidade Sonora

Intensidade, em dB (NPS ²)	Fonte
250	Som dentro de um tomado; bomba nuclear a 5m (estimativa)
180	Foguete, à 30m; canto da baleia azul, à 1m
150	Avião a jato, à 30m
140	Tiro de rifle, à 1m
130	Límite da dor ; Buzina de trem, à 1m
120	Concerto de rock, jato decolando, à 100m
110	Motocicleta em alta velocidade, à 5m
100	Furadeira pneumática, à 2m
90	Caminhão, à 1m
85	Límite de Ruído permitido pela NR-15 (8 horas)
80	Aspirador de pó grande, à 1m; Tráfego pesado
70	Baúdo de balego, à 5m
60	Som no interior de escritório ou restaurante
50	Restaurante silencioso
40	Área residencial, à noite
30	Interior de cinema, sem barulho
10	Respiração humana, à 3m
0	Límite da audibilidade humana.

* NPS - nível de pressão sonora

Tabela de Nível de Ruído, da NR-15

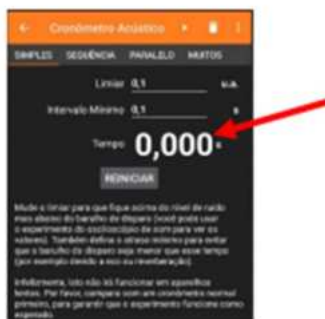
Nível de Ruído dB (A)	Máxima Exposição Diária Permissível
85	8 horas
86	7 horas
87	6 horas
88	5 horas
89	4 horas e 30 minutos
90	4 horas
91	3 horas e 30 minutos
92	3 horas
93	2 horas e 40 minutos
94	2 horas e 15 minutos
95	2 horas
96	1 hora e 45 minutos
98	1 hora e 15 minutos
100	1 hora
102	45 minutos
104	35 minutos
105	30 minutos
106	25 minutos
108	20 minutos
110	15 minutos
112	10 minutos
114	8 minutos
115	7 minutos

Disponível em: <https://www.areaseg.com/acustica/>. Acessado em: 01/10/2023

MATERIAL DO ESTUDANTE
VELOCIDADE DA ONDA SONORA

Caro aluno, agora vamos fazer um experimento para calcular aproximadamente a velocidade do som. Para isso precisaremos de dois celulares com o aplicativo PhyPhox instalados em ambos e uma fita métrica.

Para que funcione, usaremos um recurso desse aplicativo chamado calculadora acústica. Este recurso permite que um cronômetro seja ativado ou desativado toda vez que detecta algum pulso sonoro.



De posse dessas informações agora é só seguir os passos abaixo:

- Primeiramente definiremos dois pontos distantes um do outro uns 5m. Essa medida pode variar. Chamaremos o primeiro ponto de A e o segundo de B.
- Agora posicione os dois celulares no ponto A com o cronometro acústico de cada celular ativado.
- Bata palmas uma vez para iniciar o cronometro acústico nos dois celulares.
- Pegue um dos celulares e leve para o ponto B.
- Do ponto A bata palmas uma vez novamente para parar o cronometro acústico nos dois celulares.
- Observe o tempo marcado em cada cronometro nos celulares e veja a diferença entre eles.

Agora tente responder.

1 – Por que os cronometro marcaram tempos diferentes?

R: _____

2 – Qual a distância o som percorreu entre os pontos A e B?

R: _____

3 – As informações adquiridas seriam suficientes para calcular a velocidade do som? Qual a velocidade você encontrou?

R: _____

4 – Refaça a medição da velocidade do som mais 3 vezes e depois tire a média das medidas para encontrar um valor mais preciso. Preencha a tabela abaixo com cada medição.

MEDIDAS	DISTÂNCIA	TEMPO CEL 1	TEMPO CEL 2	DIFERENÇA DE TEMPO	VELOCIDADE
1					
2					
3					
4					
				MÉIDA ->	

MATERIAL DO ALUNO
QUESTIONÁRIO FINAL DE TESTAGEM DOS CONHECIMENTOS

1º) Como você pode definir o que é o som?

R: _____

2º) Explique o que é uma onda mecânica?

R: _____

3º) Existe algum outro tipo de onda que não seja mecânica? Explique.

R: _____

4º) Como podem ser classificadas as ondas quanto sua direção de vibração?

R: _____

5º) O que pode provocar uma onda? Dê um exemplo

R: _____

6º) O que acontece quando um pulso de onda atinge um obstáculo?

R: _____

7º) Quais as características de uma onda mecânica você já conhece?

R: _____

8º) Explique o que é:

a) a frequência de uma onda.

R: _____

b) o período de uma onda.

R: _____

9º) Existe alguma relação entre a frequência e o período de uma onda? Explique.

R: _____

10º) Um aluno que estava começando os estudos de ondas mecânicas afirmou que uma onda pode transportar energia e matéria. Essa afirmação está correta? Explique.

R: _____

11º) O que ocorre com um pequeno pedaço de matéria quando uma onda passa por ele?

R: _____

12º) Abaixo represente uma onda periódica em forma de curva senoidal indicando onde fica sua amplitude e comprimento de onda.

13º) O que acontece com o comprimento de uma onda se aumentarmos sua frequência?

R: _____

14º) No experimento dos diapásões, ao tocar um diapásão, o outro começa a vibrar emitindo o mesmo som. Como você explica isso?

R: _____

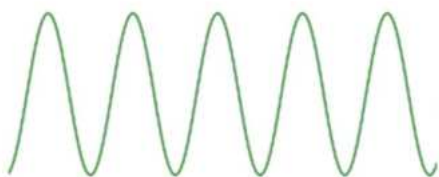
15º) Observe as figuras abaixo com a representação de duas ondas e faça o que se pede:



ONDA 1

a) Qual a característica se difere entre as ondas 1 e 2?

R: _____



ONDA 2

b) Qual das ondas transporta mais energia? Explique o por que?

R: _____

16º) Como podemos definir a velocidade de uma onda?

R: _____

17º) Observe a onda abaixo e responda o que se pede:



a) Sabendo que essa onda foi gerada em um tempo de 2s, encontre sua frequência e seu período.

b) Sabendo que essa onda tem comprimento de 1,5m, qual sua velocidade?

18º) Para determinar a velocidade de uma onda sonora podemos determinar o tempo que essa onda leva para percorrer uma determinada distância. Se for medido que uma onda sonora percorre 408 cm em 0,012s, qual seria sua velocidade em metros por segundo?

19º) É correto afirmar que a velocidade do som é sempre a mesma em todos os materiais? Explique.
R: _____

20º) É correto afirmar que uma onda sonora se propaga no vácuo (ausência de matéria)? Explique.
R: _____

21º) Quanto a direção de vibração, como podemos classificar uma onda sonora?
R: _____

22º) Nas figuras abaixo temos duas representações de ondas sonoras, uma delas gerada pela voz de um homem e a outra gerada pela voz de uma mulher.



a) Qual das ondas foi gerada pela voz de um homem e qual foi gerada pela voz de uma mulher?
R: _____

b) Qual das ondas tem maior frequência?
R: _____

c) Qual das ondas tem um som mais agudo e qual tem um som mais grave?
R: _____

d) Qual das ondas tem um tom mais alto e qual tem um tom mais baixo?
R: _____

23º) A natureza é composta por uma infinidade de sons que podem ser compostos por tons altos ou baixos. Podemos afirmar que todos os sons existentes na natureza podem ser perceptíveis aos ouvidos humanos? Explique.
R: _____

24º) A energia emitida por uma onda sonora pode ser medida em decibéis. O decibelímetro é um aparelho usado para medir essa energia. Ao medirmos a energia de uma fonte sonora, o que podemos observar, se:

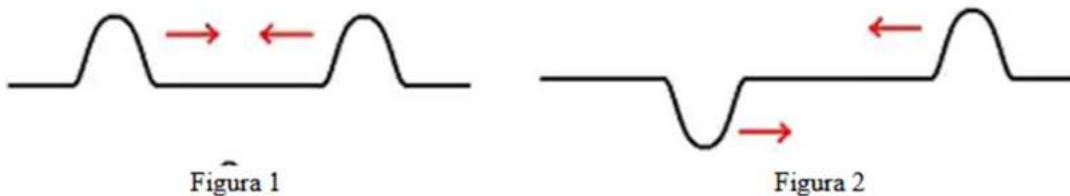
a) As medições de energia forem feitas muito próximo a fonte sonora?
R: _____

b) As medições de energia forem feitas ao afastarmos da fonte sonora?
R: _____

25º) Os fones de ouvidos produzem sons de baixa intensidade quando não estão posicionados no seu ouvido. Porém, ao colocá-los nos ouvidos, promovem a perda da audição humana por longos períodos de uso. Explique por que isso ocorre?

R: _____

26º) Nas figuras abaixo temos duas situações onde dois pulsos de ondas estão se movimentando um em direção ao outro.



a) Na figura 1, que ocorre com os pulsos de onda quando se encontram? E na figura 2?

R: _____

b) Qual o nome desse fenômeno?

R: _____

PÓS-TESTE DE SONDAGEM DA APRENDIZAGEM SOBRE ONDAS MECÂNCIAS

PROFESSOR EDVAN SOUZA PEREIRA

ALUNO(A): _____ DATA: ___/___/2024

Para cada questão assinale a alternativa correta e:

- 😊 Quando tiver plena certeza da resposta
 😐 Quando tiver parcialmente certeza da resposta
 ☹ Quando não tiver certeza da resposta

Questão 01 - Sobre as ondas mecânicas e as ondas sonoras podemos afirmar que:

- a) Toda onda sonora é uma onda mecânica
 b) Toda onda mecânica é uma onda sonora
 c) As ondas sonoras não são ondas mecânicas
 d) Ondas sonoras são tipos de ondas eletromagnéticas

() 😊 () 😐 () ☹

Questão 02 - Uma corda de violão ao ser tocada na nota lá, vibra a uma frequência de 440 Hz. Essa informação implica que:

- a) A corda do violão produz ondas com velocidades de 440 m/s
 b) Cada oscilação da corda do violão possuem um período de 440s
 c) A corda do violão vibra 440 vezes a cada segundo
 d) As ondas produzidas na nota lá não podem ser percebidas pelo ouvido humano

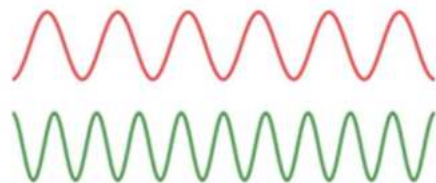
() 😊 () 😐 () ☹

Questão 03 - A onda é descrita por várias características, dentre elas o período e seu comprimento. Sobre essas características é correto afirmar que:

- a) O período é o tempo de formação de um pulso de onda e o comprimento é a distância entre duas cristas de onda.
 b) O período é igual a frequência da onda e o comprimento é a distância entre uma crista e um vale.
 c) O período é a altura máxima atingida pela onda e o comprimento é a distância entre os pontos mais altos e mais baixo de uma onda

- d) O período é o tempo gasto para uma onda percorrer sua amplitude e o comprimento é a distância total da onda.

() 😊 () 😐 () ☹

Questão 04 - Abaixo temos a representação pictórica de duas ondas senoidais com mesma velocidade. Ao observar essas ondas podemos afirmar que:

- a) A onda 1 tem maior comprimento e maior frequência que a onda 2
 b) A onda 1 tem maior comprimento e mesma frequência que a onda 2
 c) A onda 1 tem maior comprimento e menor frequência que a onda 2
 d) A onda 1 tem maior comprimento e maior frequência que a onda 2

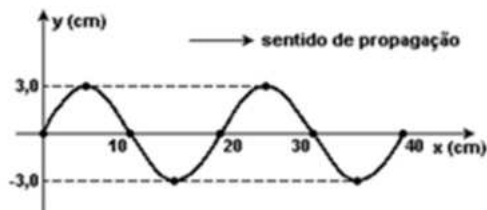
() 😊 () 😐 () ☹

Questão 05 - Uma corda é oscilada para cima e para baixo formando pulsos de onda que se propagam por ela a uma velocidade constante. Um observador percebeu que cada pulso de onda se forma a cada 0,5s. Desta forma podemos afirmar que sua frequência é de:

- a) 5 m
 b) 2 Hz
 c) 2 s
 d) 5 Hz

() 😊 () 😐 () ☹

Questão 06 - Observe a onda abaixo e assinale a alternativa correta



- a) Sua amplitude é de 6cm e seu comprimento é de 20cm
 b) Sua amplitude é de 3cm e seu comprimento é de 20cm
 c) Sua amplitude é de 3cm e seu comprimento é de 10cm
 d) Sua amplitude é de 6cm e seu comprimento é de 10cm

() 😊 () 😞 () 😡

Questão 07 - Sobre as relações entre as grandezas período, frequência e comprimento de uma onda assinale a alternativa correta.

- a) Essas grandezas não são relacionadas, ou seja, se uma mudar as outras podem permanecer constantes.
 b) Sempre que uma onda aumenta sua frequência seu comprimento de onda e seu período diminuem.
 c) O período e o comprimento das ondas têm sempre os mesmos valores
 d) Ao alterar a frequência de uma onda, apenas seu período muda tendo o comprimento constante.

() 😊 () 😞 () 😡

Questão 08 - As ondas sonoras podem ter frequências diferentes. Sobre essa característica é incorreto afirmar que:

- a) Ondas sonoras com frequências altas geram sons mais agudos
 b) Ondas sonoras com frequências baixas geram sons mais graves
 c) O ouvido humano consegue perceber qualquer frequência de uma onda sonora
 d) As frequências de uma onda sonora só podem ser percebidas por um ser humano dentro do intervalo de 20Hz a 20000Hz.

() 😊 () 😞 () 😡

Questão 09 - Foi feito um experimento com uma caixa de som e uma pequena bola de plástico. A caixa de som foi colocada de frente para a bola emitido sons em forma de "batidas" com alta intensidade em sua direção. Ao observar a onda sonora passando pela bola percebe-se que:

- a) A bola vibra na mesma direção da onda sonora, porém permanece no mesmo lugar.
 b) A bola é atravessada pela onda sonora e é empurrada para longe da caixa de som
 c) A bola recebe a onda sonora e não vibra nem se movimenta por mais intensa que possa ser o som emitido.
 d) A bola absorve a energia da onda sonora e aumenta seu volume de forma perceptível.

() 😊 () 😞 () 😡

Questão 10 - A onda sonora tem seu nível de intensidade sonora medido em decibéis. Essa medição relaciona a intensidade da energia da onda sonora em um ponto da fonte de emissão. Sobre essa medição podemos afirmar que:

- a) A onda sonora apresenta menor nível de intensidade distante da fonte porque a energia emitida se espalha por todas as direções ficando mais fraca com o aumento da distância.
 b) A onda sonora apresenta sempre o mesmo nível de intensidade sonora em todos os pontos de medição independente da distância da fonte devido a velocidade que o som se propaga no ar
 c) A onda sonora apresenta menor nível de intensidade em pontos distantes da fonte, porém a quantidade de energia emitida pela onda é sempre a mesma em todos os pontos do espaço em volta da fonte.
 d) A onda sonora se propaga de forma unidimensional, tendo energia variando com o espaço e com isso apresentando níveis de intensidade sonora menores com o aumento da distância.

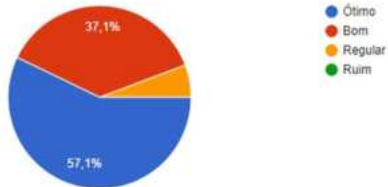
() 😊 () 😞 () 😡

APÊNDICE

Respostas do formulário no google forms

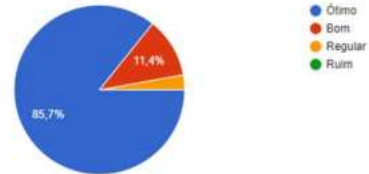
1 - **Compreensão Conceitual:** Como você avaliaria sua compreensão dos conceitos de ondas mecânicas após as aulas?

35 respostas



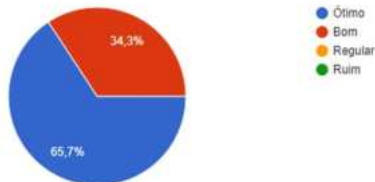
2 - **Experimentos e Atividades Práticas:** Qual seria a sua avaliação a respeito dos experimentos e atividades práticas, em termos de contribuição para o entendimento do tema?

35 respostas



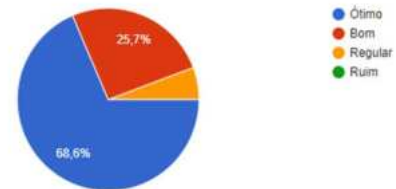
3 - **Avaliação do Material Didático:** Sobre o material didático utilizado nas aulas, e sua clareza na explanação dos conteúdos estudados, você avalia que este material foi:

35 respostas



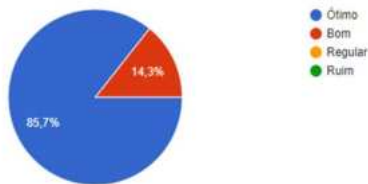
4 - **Simuladores de Ondas:** Como você avalia o uso dos simuladores de ondas para sua compreensão do assunto?

35 respostas



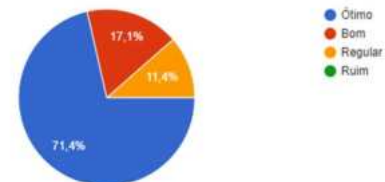
5 - **Conhecimento sobre Ondas Sonoras:** Como você avalia a abordagem do estudo das características das ondas sonoras nas aulas pelo professor?

35 respostas



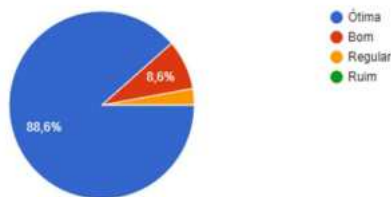
6 - **Medição do Comprimento, Frequência, Período, Amplitude e Energia em Ondas:** Qual sua avaliação sobre os ensinamentos que envolveram cálculos e medições durante as aulas?

35 respostas



7 - **Nível de Clareza do Professor:** A clareza do professor ao explicar os conceitos de ondas mecânicas foi...

35 respostas



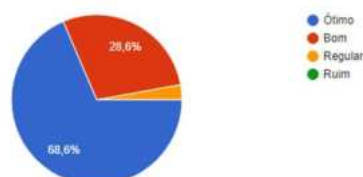
8 - **Autoconhecimento do aluno:** Sobre os conteúdos que você estudou durante essa sequência, você considera sua aprendizagem sendo:

35 respostas



8 - **Avaliação Global da Sequência Didática:** Considerando as aulas como um todo, como você avaliaria a sequência didática?

35 respostas



9 - Pontos fortes da Sequência Didática: Descreva alguns fatos ocorridos durante as aulas que te despertou interesse e melhorou sua aprendizagem.

Os exemplos de ondas que foram feitos na sala, como funcionam e se movimentam

Os experimentos feitos na sala, os diários de bordo, e a explicação do professor

Os experimentos com o diapasão e com o uso da mola

O assunto em si e abordagem do conteúdo

A maneira de abordar o assunto, tanto a forma teórica quanto a prática, na qual foi utilizado materiais que prendiam a atenção e despertavam o interesse sobre o assunto

Os ensinamentos com materiais

As atividades práticas, tais como as que fizemos teste de audição e usamos aplicativos.

As experiências feitas em sala de aula com os simuladores

Os experimentos, o uso dos materiais e simuladores de onda ajudou muito a aprender e os materiais didáticos dados em sala de aula (atividades, textos didáticos).

Os experimentos realizados na sala

O fato do professor usar objetos para facilitar a compreensão do alunos

As atividades didáticas, e exercícios eficazes

Os experimentos feitos pelo professor

As partes onde trazia matérias pra conceituar melhor a aprendizagem

A forma como as aulas são dadas em si já me geram mais concentração e interesse no assunto e me ajuda a compreender melhor, já nas aulas sobre ondas eu diria q as atividades me ajudaram a aprender sobre o assunto e as atividades práticas me ajudaram a compreender melhor.

Os experimentos, o diário de bordo e a explicação

A forma de ensino e o uso de materiais para experimentos

A utilização de aulas práticas que trazia experimentos para melhor compreensão

Mostrar na prática o que estamos estudando durante as aulas, o que melhora o entendimento do assunto

Os experimentos

Os experimentos realizados, as atividades, as avaliações, as explicações claras em relação ao assunto e etc.

Experimentos, realizados na aula prática

o fato dps métodos de ensino, as aulas mais práticas, com equipamentos simples mas de ótimo entendimento, me ajudou muito a entender e despertar interesse nos assuntos dados .

Os ensinamentos, experimentos e as atividades.

O fato das aulas serem mais práticas, e ter demonstrações facilitou o melhor entendimento do assunto

A atenção e paciência do professor, mesmo os alunos não entendendo, ele explica novamente, isso deixa o aluno mais interessado

Os equipamentos utilizados na sala de aula para o entendimento do assunto foi fundamental na minha aprendizagem, pude compreender com facilidade.

O assunto de ondas q teca aula prática, q foi o mais fácil de compreender

Os experimentos feitos na sala de aula para explicar melhor o funcionamento de uma onda .

O fato de ocorrerem experimentos ao decorrer das aulas

O uso de outras formas de ensinar o assunto, como a mola, uns negócios de bater e etc

Eu consegui compreender os assuntos abordados

o fenômeno da interferência

10 - Pontos fracos da Sequência Didática: Descreva alguns pontos das aulas que não foram muito legais e podem melhorar e/ou cite algumas sugestões que possam ser acrescentadas nesta sequência didática.

Nenhum

Achei todos os pontos bons, e a aula era bem explicativa

Nada

Acho q as apostilas deveriam ser mais completas

Não houve pontos ruins para mim!

Acredito que os conhecimentos foram transmitidos com clareza durante as aulas, tudo ótimo. Sugestão: Continuar usando materiais inovadores e atuais para as demonstrações

Acho q as apostilas deveriam ser mais completas

O aplicativo de simulador de ondas, não foi de fácil compreensão

Barulho, e o uso do celular

Acho que nenhuma, pois gostei de todas

Não sei de nenhum

Eu acredito que não deve ter havido pontos fracos.

Apenas não consegui me adaptar muito bem com os aplicativos de medição de frequência, e outras medidas

Para mim não houve pontos negativos

Não consegui me lembrar de pontos fracos

Tudo ótimo

Gostei de todas as aulas, e da forma que foi trabalhado o assunto.

Eu acho q as aulas seriam melhores sem alguns alunos insuportáveis, tirando isso são minhas aulas favoritas com certeza, melhor professor.

Nenhum ponto fraco

Não tem defeitos e acredito que não tenho nada a acrescentar nas aulas

As aulas foram ótimas e não sei pontos negativo que ocorreram durante as aulas

Acredito que não houve nenhum ponto fraco.

Não me adotei muito bem com os aplicativos de medição das ondas

não tenho visto pontos fracos na sequência didática, ou algo que possa melhorar, estou satisfeito.

Foi tudo muito bom!

Todas as aulas foram bem elaboradas e de fácil compreensão, achei incrível esse método de estudo e não acrescentaria nada

Nenhuma,todas as aulas foram incríveis

Em relação às atividades escritas, eu tive um pouco de dificuldade para responder, principalmente na parte de gráficos.

Não me lembro de nenhuma

Para mim poderíamos ter mais experimentos,gostei muito dos já feitos .

Aplicar mais atividades

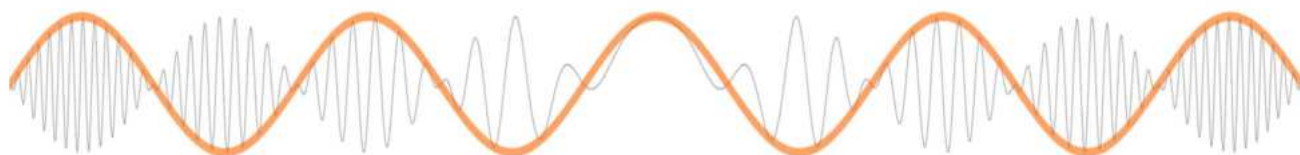
No caso, só as contas que eram meio chatinhas, mas a aula é si, eram maravilhosas e ci seguir compreender bem

PRODUTO EDUCACIONAL



PRODUTO EDUCACIONAL

O QUE É O SOM? APLICAÇÃO DE UMA UEPS NA ABORDAGEM DE ENSINO DAS ONDAS MECÂNICAS NO 9º ANO DO ENSINO FUNDAMENTAL



Produto Educacional submetido ao Programa de Mestrado Profissional em Ensino de Física (MNPEF) da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB) como requisito necessário para obtenção do título de Mestre de Ensino de Física. O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

Orientador: Prof. Dr. Luizdarcy Matos Castro
Coorientador: Prof. Dr. Carlos Takiya

Edvan Souza Pereira

Vitória da Conquista – Bahia
Outubro de 2023

A(O) PROFESSOR(A)

Caro(a) Professor(a),

Compartilho aqui uma abordagem pedagógica como alternativa no ensino de ondas mecânicas, com ênfase em ondas sonoras. Este método, fundamentado na teoria do Aprendizado Significativo de David Ausubel e nas Unidades de Ensino Potencialmente Significativas (UEPS), propostas por Marco Antonio Moreira, visa transformar a sala de aula em um ambiente dinâmico, centrado no estudante, promovendo uma compreensão profunda e duradoura dos conceitos.

A sequência didática inicia-se respeitando os conhecimentos prévios dos estudantes, reconhecendo a importância de partir de suas experiências individuais. Esta abordagem contribui não apenas para a construção de uma ponte entre o conhecimento cotidiano e o científico, mas também para o estabelecimento de uma base sólida para a aprendizagem significativa.

A fase seguinte consiste na aplicação de experimentos simples, projetados para envolver os estudantes de maneira ativa e investigativa. A manipulação prática dos conceitos teóricos proporciona uma compreensão mais profunda, estimulando a curiosidade e a participação ativa dos alunos no processo de aprendizado.

Com isso, buscamos promover uma aproximação entre a teoria e a prática, incentivando a aplicação dos novos conhecimentos adquiridos na resolução de questões-problema. Essa prática contribui para a formação de um pensamento crítico e reflexivo, habilidades fundamentais para o desenvolvimento acadêmico e pessoal dos estudantes. Ao incorporar elementos práticos e teóricos, a sequência didática busca instigar a intencionalidade do aluno em seus estudos, fomentando o interesse pela aprendizagem contínua.

A avaliação somativa, parte integrante desta abordagem, é concebida não como uma medida arbitrária do desempenho, mas como uma ferramenta para verificar o progresso e identificar áreas que requerem reforço. Valoriza-se o saber do aluno, reconhecendo a diversidade de habilidades e formas de expressão do conhecimento.

Em resumo, esta abordagem propõe um ambiente de aprendizado, na qual o estudante é protagonista de sua própria educação, desenvolvendo não apenas conhecimentos, mas também habilidades essenciais para enfrentar os desafios do mundo contemporâneo.

Prof. Edvan Souza Pereira

SUMÁRIO

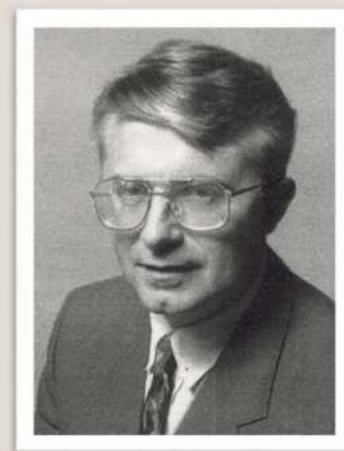
INTRODUÇÃO	04
SOBRE A SEQUÊNCIA DIDÁTICA	07
PROGRAMAÇÃO	08
1º PASSO – TEMA GERADOR	09
2º PASSO – LEVANTAMENTO DOS CONHECIMENTOS PRÉVIOS.....	10
3º PASSO – SITUAÇÃO-PROBLEMA EM NÍVEL INTRODUTÓRIO PARA ACORAR O NOVO CONHECIMENTO	11
4º PASSO – EXPOSIÇÃO DO CONTEÚDO DESTACANDO OS ASPECTOS MAIS GERAIS A PARTIR DA DIFERENCIAÇÃO PROGRESSIVA	15
5º PASSO – RETOMAR OS ASPECTOS MAIS GERAIS EM NÍVEIS MAIS ALTOS DE COMPLEXIDADES	18
6º PASSO – CONCLUSÃO DA UEPS – RETOMAR AS CARACTERÍSTICAS MAIS RELEVANTES DO CONTEÚDO BUSCANDO A RECONCILIAÇÃO INTEGRATIVA	24
7º PASSO – AVALIAÇÃO DA APRENDIZAGEM POR MEIO DA UEPS	27
8º PASSO – AVALIAÇÃO DA APRENDIZAGEM POR MEIO DA UEPS	28
REFERENCIAS	29

INTRODUÇÃO

O ensino de física no ensino básico e médio enfrenta inúmeros desafios que impactam diretamente o aprendizado dos estudantes. Essa disciplina é frequentemente vista como complexa e abstrata, o que pode desencadear dificuldades de compreensão, desmotivação e até mesmo rejeição por parte dos alunos. Buscando contornar esses obstáculos, serão explorados novos métodos didáticos, baseado na teoria da Aprendizagem Significativa de David Ausubel, nas Unidades de Ensino Potencialmente Significativas (UEPS) de Moreira (2011).

Nesse contexto, a proposta da aprendizagem significativa de Ausubel emerge como uma alternativa eficaz. Esse autor propõe que o aprendizado ocorre de maneira mais efetiva quando novas informações estão relacionadas de maneira substantiva com o conhecimento prévio do aluno. Tal abordagem não apenas reconhece a importância dos saberes prévios, como também busca integrar os novos conhecimentos de forma a criar um significado mais profundo.

As Unidades de Ensino Potencialmente Significativas (UEPS), segundo Moreira (2011), são uma abordagem pedagógica construtivista que busca tornar o ensino de ciências nos anos finais do ensino fundamental mais envolvente e significativo. As etapas de uma UEPS consistem em: 1) seleção de um tema gerador, que seja relevante e desperte o interesse dos alunos; 2) identificação dos conhecimentos prévios dos estudantes sobre o tema, valorizando suas ideias e saberes prévios; 3) Situação-problema em nível introdutório para ancorar o novo conhecimento; 4) Exposição do conteúdo destacando os aspectos mais gerais a partir da diferenciação progressiva; 5) Retomar os aspectos mais gerais em níveis mais altos de complexidades; 6) Conclusão da UEPS – retomar as características mais relevante do conteúdo buscando a reconciliação integrativa; 7) Avaliação da aprendizagem por meio da UEPS; 8) Avaliação da UEPS. Ao seguir essas etapas, a abordagem das UEPS possibilita um ensino de ciências mais participativo e efetivo,



David Ausubel (1918-2008) foi um psicólogo norte-americano, graduado em medicina psiquiátrica, professor emérito da Universidade de Columbia, em Nova York. Dedicou sua carreira acadêmica à psicologia educacional onde suas contribuições à psicologia da aprendizagem significativa tiveram um impacto duradouro no campo educacional. Sua abordagem destacou a importância da conexão do novo conhecimento com o conhecimento prévio do aluno para promover uma aprendizagem mais efetiva e duradoura

promovendo o desenvolvimento de habilidades críticas e científicas nos estudantes.

O aprendizado significativo das ondas mecânicas no 9º ano do ensino fundamental desempenha um papel crucial na formação dos estudantes, proporcionando uma compreensão sólida e contextualizada de fenômenos presentes em nosso cotidiano e na natureza. Nessa etapa do ensino, as ondas mecânicas constituem um tema relevante, uma vez que estão presentes em diversos aspectos do nosso dia a dia, como o som, os terremotos e as ondas na água. Ao abordar esse conteúdo de forma significativa, os alunos são instigados a perceber as conexões entre a teoria e a prática, estabelecendo relações entre os conceitos aprendidos em sala de aula e as vivências do mundo real.

Trabalhar com experimentos é uma necessidade essencial para promover um aprendizado efetivo sobre ondas mecânicas. Através da experimentação, os estudantes têm a oportunidade de vivenciar, observar e analisar esses fenômenos em situações concretas, o que fortalece a compreensão dos conceitos teóricos. Experimentos com ondas em cordas, molas e sua geração em simuladores, por exemplo, permitem que os alunos visualizem e interpretem os comportamentos característicos das ondas, auxiliando na internalização do conhecimento e no desenvolvimento do pensamento científico.

A compreensão das ondas mecânicas traz uma base essencial na formação do aluno aprimorando sua visão e leitura de mundo. Ao compreender esses fenômenos, os estudantes tornam-se capazes de interpretar e analisar diversos acontecimentos da natureza e da sociedade que envolvem a propagação de ondas, como a disseminação de informações através de ondas eletromagnéticas em dispositivos eletrônicos e as oscilações que ocorrem em sistemas vibratórios presentes em equipamentos tecnológicos. Essa compreensão amplia a percepção dos alunos sobre o funcionamento do mundo à sua volta, estimulando-os a questionar e investigar fenômenos que antes poderiam passar despercebidos.



Marco Antonio Moreira é Licenciado em Física (1965) e Mestre em Física (1972) pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)/Brasil e Doutor em Ensino de Ciências (1977) pela Cornell University/USA. Foi professor do Instituto de Física da UFRGS de 1967 a 2012, quando aposentou-se como Professor Titular.

Moreira é conhecido por sua contribuição significativa para a teoria da aprendizagem significativa. Ele tem vários artigos e trabalhos publicados sobre aprendizagem significativa, mapas conceituais, modelos mentais, ensino de ciências, entre outros.

Ele ocupou várias posições acadêmicas e profissionais ao longo de sua carreira. Suas áreas de interesse são o ensino de ciências e a pesquisa em ensino de ciências, particularmente Física. Dedicou-se também a teorias de aprendizagem, especialmente a da aprendizagem significativa. Além disso, atua em filosofia da ciência, metodologia da pesquisa em educação e metodologia do ensino superior.

Em reconhecimento ao seu trabalho, Moreira recebeu o título de Professor Emérito da UFRGS. Ele continua a ser uma figura influente na área de ensino de ciências e aprendizagem significativa.

Além disso, o aprendizado significativo das ondas mecânicas é uma base essencial para a compreensão de conteúdos avançados da Física, como a óptica, a acústica, a física moderna e a física das partículas. Esses conteúdos apresentam uma maior complexidade e requerem uma compreensão sólida dos princípios das ondas, uma vez que os fenômenos ondulatórios estão intrinsecamente relacionados a essas áreas da Física. Portanto, a compreensão das ondas mecânicas no 9º ano do ensino fundamental capacita os alunos para enfrentarem conteúdos mais avançados em etapas posteriores da educação, estimulando o interesse pelas ciências exatas e favorecendo a formação de cidadãos críticos, futuros cientistas, engenheiros e profissionais da área tecnológica.

Veja mais sobre o trabalho
de moreira aqui



<http://moreira.if.ufrgs.br/>

SOBRE A SEQUÊNCIA DIDÁTICA

Este trabalho expõe uma sequência didática baseada nas UEPS de Antônio Moreira, com foco em experimentos para o ensino de ondas mecânicas no 9º ano do ensino fundamental.

O objetivo de ensino desta sequência é explorar métodos didáticos potencialmente significativos a serem aplicados aos alunos, através de processos lúdicos e investigativos, a fim de capacitá-los na compreensão dos conceitos básicos sobre ondas mecânicas, para isso, serão abordados os seguintes pontos:

- O reconhecimento de uma onda mecânica;
- O reconhecimento dos tipos de ondas mecânicas;
- A compreensão sobre os formatos de uma onda bem como sua propagação;
- A compreensão do período, frequência, amplitude e comprimento de uma onda;
- A compreensão matemática das relações entre período, frequência, comprimento e velocidade de uma onda.
- Reconhecer uma curva senoidal como uma representação pictórica de uma onda.
- Reconhecer o som como a manifestação de uma onda;
- Reconhecer a altura de uma onda sonora;
- Compreender as medições dos níveis de intensidade sonora.

O procedimento metodológico utilizado, busca, além de seguir os passos de uma UEPS, enfatizar o ensino investigativo, levando o aluno a observar os experimentos, expor seu ponto de vista, fazerem anotações e responderem questões sugeridas pelo professor durante as aulas.

A sequência aborda os seguintes experimentos:

- Ondas geradas em cordas e em uma mola slink;
- Observação de ondas unidimensionais em um simulador Phet.
- Observações de ondas sonoras em simuladores Phet.
- Uso do aplicativo Phyphox para cálculo da frequência e velocidade do som.
- Uso do aplicativo Phyphox para medidas do nível de intensidade de uma onda sonora

Os objetivos de cada experimento serão discriminados ao longo das metodologias de cada parte desta sequência.

PROGRAMAÇÃO

AULAS	PASSOS	DESCRIÇÃO DAS ATIVIDADES
1ª aula 2ª aula	1º e 2º passos: Definição do tema e levantamento dos conhecimentos prévios (subsunçores)	<ul style="list-style-type: none"> • Levantamento do tema • Aplicação de questionário para levantamento dos conhecimentos prévios; • Construção de mapa mental.
3ª aula	3º passo: Situação-problema em nível introdutório para ancorar o novo conhecimento	<ul style="list-style-type: none"> • Situação-problema: <ul style="list-style-type: none"> ○ O que é uma onda? ○ Por que o som é uma onda? ○ Estudo das ondas mecânicas <ul style="list-style-type: none"> ▪ Gerando ondas em cordas e em uma mola slink.
4ª aula 5ª aula 6ª aula	4º passo: Exposição do conteúdo destacando os aspectos mais gerais a partir da diferenciação progressiva	<ul style="list-style-type: none"> • Apresentação do vídeo “O que é uma Onda?” • Estudo das ondas com o simulador Phet • Explicação teórica sobre as ondas mecânicas
7ª aula 8ª aula 9ª aula	5º passo: Retomar os aspectos mais gerais em níveis mais altos de complexidade	<ul style="list-style-type: none"> • Investigando a natureza ondulatória do som <ul style="list-style-type: none"> ○ Experimento com dois diapasões ○ Estudo das ondas sonoras com o simulador Phet ○ Estudo da frequência sonora ○ Análise de ondas sonoras ○ Vídeo Teste de Audição divertida
10ª aula 11ª aula	6º passo: Conclusão da UEPS - retomar as características mais relevantes do conteúdo buscando a reconciliação integrativa.	<ul style="list-style-type: none"> • Estudo das ondas no aplicativo PhyPhox <ul style="list-style-type: none"> ○ Velocidade da onda sonora ○ Nível de intensidade da onda sonora
12ª aula 13ª aula	7º passo: Avaliação da aprendizagem por meio da UEPS	<ul style="list-style-type: none"> • Aplicação de avaliação escrita; • Construção de um mapa conceitual
	8º passo: Avaliação da UEPS:	<ul style="list-style-type: none"> • Avaliação da sequência pelos alunos • Avaliação da UEPS baseada nas análises de dados.

1º PASSO – TEMA GERADOR

OBJETIVOS

Apresentar o Tema Gerador “O que é o som? Um estudo das Ondas Mecânicas” de maneira envolvente e motivadora, explorando um vídeo que aborde uma problemática para despertar o interesse dos alunos.

METODOLOGIA

A aula será iniciada com a exposição do vídeo “**Som alto no fone de ouvido ameaça a audição dos jovens**” como organizador prévio. Sem entrar em detalhes sobre a natureza do som ou das ondas mecânicas, o professor deverá conduzir os alunos a refletirem sobre a importância do estudo do som e como isso pode ser feito.

1º passo da UEPS:

Definir o tópico específico a ser abordado, identificando seus aspectos declarativos e procedimentais tais como aceitos no contexto da matéria de ensino na qual se insere esse tópico.

Acesse aqui o vídeo Som alto no fone de ouvido ameaça a audição dos jovens.



O que é um organizador prévio?

Estes organizadores servem como ponte entre o novo conhecimento e os subsunçores do aprendiz ao serem considerados como materiais introdutórios mais generalizados, que buscam dar uma visão básica conceitual e significativa do novo conhecimento

2º PASSO – LEVANTAMENTO DOS CONHECIMENTOS PRÉVIOS

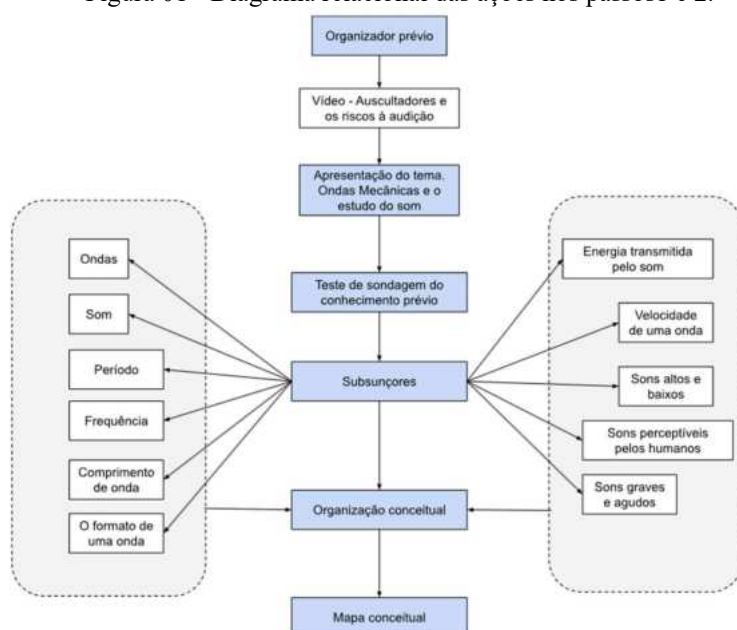
OBJETIVOS

- Identificar e compreender os conhecimentos prévios dos alunos sobre o tema a ser abordado na unidade, a fim de adaptar o processo de ensino para melhor atender às necessidades individuais e construir o processo de ensino-aprendizagem a partir dessas bases.

METODOLOGIA

- Deverá ser distribuído aos alunos o questionário de levantamento dos conhecimentos prévios para que possam responder as perguntas dentro do seu rol de conhecimento. Os alunos deverão ser incentivados a não se preocuparem com a precisão nesse momento, mas sim em registrar tudo o que lhes vem à mente.
- Ao término do questionário, os alunos deverão fazer um mapa mental, baseando-se nas suas respostas e conhecimentos acerca do conteúdo abordado.
- Os alunos agora deverão ser convidados a compartilharem brevemente o que responderam e as principais ideias apresentadas deverão ser escritas no quadro.

Figura 01 - Diagrama relacional das ações nos passos 1 e 2.



Fonte: O autor (2023).

2º passo: Criar/propor situação-problema, que leve o aluno a externalizar seu conhecimento prévio, aceito ou não-aceito no contexto da matéria de ensino, supostamente relevante para a aprendizagem significativa do tópico (objetivo) em pauta.

O que é subsunção?

Em termos simples, subsunção é o nome que se dá a um conhecimento específico, existente na estrutura de conhecimentos do indivíduo, que permite dar significado a um novo conhecimento que lhe é apresentado ou por ele descoberto. (Moreira, 2012)

Encontre aqui mais informações sobre o aprendizado significativo e subsunções.



<http://moreira.if.ufrgs.br/oquecafina.pdf>

Acesse aqui o questionário de levantamento de dados



MATERIAIS UTILIZADOS

- Atividades impressas
- Quadro de piloto
- Piloto
- Apagador

3º PASSO – SITUAÇÃO-PROBLEMA EM NÍVEL INTRODUTÓRIO PARA ANCORAR O NOVO CONHECIMENTO

3º passo: Propor situações-problema, em nível bem introdutório, levando em conta o conhecimento prévio do aluno, que preparem o terreno para a introdução do conhecimento (declarativo ou procedimental) que se pretende ensinar.

OBJETIVO

Introduzir conceitos que norteiam a compreensão das ondas mecânicas, usando experimentos práticos para demonstrar a formação das ondas em cordas e molas. O intuito é de levar os alunos a observarem e analisem o comportamento dessas ondas como a geração de um pulso, sua amplitude, comprimento de onda, velocidade, frequência de forma qualitativa, bem como perceber a necessidade de um meio material para a propagação de uma onda e o que ela transporta.

METODOLOGIA

1 – Estudando as ondas

Nesta etapa os alunos deverão ser instigados a estudar os fenômenos ondulatórios de forma investigativa observando ondas sendo geradas em cordas e molas.

Como organizador prévio do conhecimento, introduza situações problemas referentes ao som os quais devem ser discutidos em sala de aula com os alunos.

Situações problemas:

- Seria o som uma onda?
- Como podemos fazer para estudar uma onda?

Esses questionamentos servirão de base para justificar o estudo de ondas, pois só assim seria possível compreender a natureza ondulatória do som. Assim a aula continua com a exposição de dois experimentos simples que consistem em gerar ondas e observar seu comportamento.

2. Gerando ondas

Neste momento os alunos observarão ondas sendo gerada em dois experimentos diferentes na seguinte sequência:

- Ondas geradas em uma corda.
- Ondas formadas em uma mola “slink”.

Figura 02 – Mola slink.



Fonte: O autor (2023).

Durante cada uma das etapas dos experimentos (Figura 03), os alunos deverão observar as características e comportamento das ondas formadas nos diferentes materiais e responderem as questões no documento ATIVIDADE EXPERIMENTAL – GERANDO ONDAS EM CORDAS E MOLAS proposto pelo professor.

Figura 03 – Gerando ondas em corda. Fonte



O autor (2023).

No primeiro experimento deve-se enfatizar:

- A propagação da onda mecânica: levar os alunos a perceberem que as ondas mecânicas são transportadas através de meios materiais. Devem perceber ainda o sentido do meio material, que no caso é o material da corda;
- O pulso de uma onda: Buscar a percepção, que a energia do movimento do braço da pessoa que manuseia a corda, é transferida ao longo da corda em um pulso de onda.

Encontre aqui a atividade:



- Sua dimensão: Levá-los a perceber sua propagação unidimensional por se mover em uma única dimensão.
- O formato da onda: Levar os alunos a observarem o formato sinuoso das ondas em corda para posteriormente compará-los com o formato de outras ondas.
- As ondas transversais: Levar à percepção do tipo de formação de ondas em cordas trabalhando o conceito de ondas transversais.
- A onda não transporta matéria: com auxílio de uma pequena argola, ou outro objeto que possa ser envolvido em um dos pontos da corda, deixando-o livre para se movimentar ao longo dela, levar o aluno a perceber que a onda não transporta matéria.
- A amplitude da onda: Levar os alunos a perceberem a variação da altura de uma onda e sua relação com a energia de um pulso.
- O comprimento de onda: Levar os alunos a perceberem que o tamanho da onda é seu comprimento.
- A frequência de uma onda: Por meio da contagem aproximada da quantidade de ondas geradas por unidade de tempo trabalhar nos alunos o conceito inicial de frequência.
- O período da onda: Trabalhe com os alunos o problema de ter que conhecer o tempo necessário para cada pulso de onda ocorrer. (Os alunos devem ser orientados a usarem o cronômetro do celular para tentar definir isso na prática).

Verifique se os alunos possuem bem definidos os subscritores dimensões, em caso negativo esse deve ser previamente trabalhado para gerar entendimento.

Busque a ideia de que as partículas da corda não se movimentam no sentido de propagação da onda

Gere ondas consecutivas na corda e leve os alunos a perceberem a distância entre elas.

Gere 10 ondas com períodos constantes e peça aos alunos para medir o tempo de duração. Desafie os alunos a descobrir a quantidade de ondas geradas em cada segundo. Repita o processo mais de uma vez e encontre uma média do resultado.

Na Figura 05 temos um frame de vídeo em câmera lenta capturada por uma aluna. Para determinar experimentalmente o comprimento e a amplitude da onda foram usados o piso da sala como referência. Vemos na imagem que a onda possui comprimento de aproximadamente quatro pisos e amplitude de aproximadamente $\frac{1}{2}$ piso.

Fig. 04 – Alunos fotografando uma onda em uma mola slink.



Fonte: O Autor (2023).

Figura 05 – Onda em uma mola slink.



Fonte: O Autor (2023).

No segundo experimento deve-se enfatizar:

- A reflexão das ondas: Levar os alunos a perceberem o fenômeno de reflexão.
- A formação de ondas longitudinais: Mostrar a formação de ondas longitudinais em molas.
- Interferência de ondas: Mostrar o comportamento das ondas ao se cruzarem na mola.

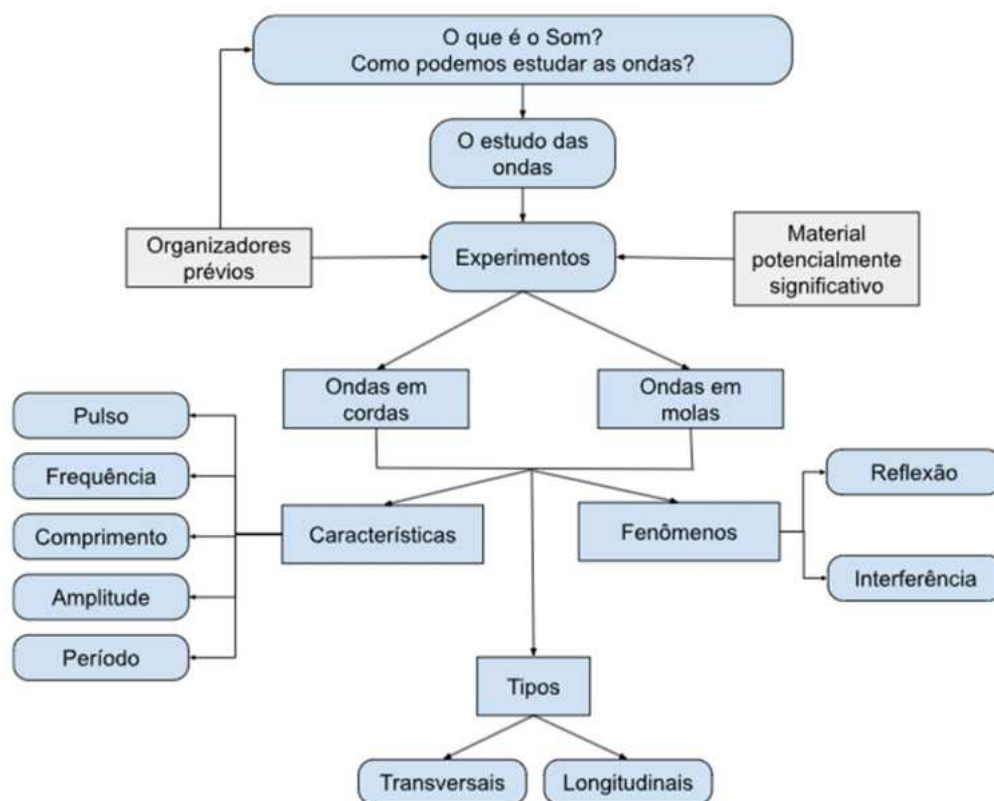
Na mola slink, as ondas se propagam com menos amortecimento, sendo mais perceptível sua propagação e reflexão

3. Discussão e Análise

A turma deverá compartilhar suas observações e conclusões sobre o experimento com as cordas. A discussão deverá ser guiada pelo professor buscando novamente evidenciar os conceitos de amplitude, comprimento e frequência da onda.

A mola slink proporciona a formação de ondas longitudinais de forma satisfatória. Os alunos devem ser levados a descobrirem as similaridades e diferenças entre as ondas gerada na corda e na mola slink.

Fig. 06 – Diagrama relacional do passo 3 .



Fonte: O autor (2023).

Veja aqui um vídeo da interferência de ondas geradas em uma mola slink.



MATERIAIS UTILIZADOS

- Celulares
- Quadro de piloto
- Piloto
- Apagador
- Mola slink
- Corda de Nylon
- Formulário de atividades experimentais

4º PASSO – EXPOSIÇÃO DO CONTEÚDO DESTACANDO OS ASPECTOS MAIS GERAIS A PARTIR DA DIFERENCIAÇÃO PROGRESSIVA

OBJETIVO

Explorar as características das ondas unidimensionais mecânicas por meio do uso de um simulador, apresentação de conceitos matemáticos e realização de atividades práticas.

METODOLOGIA

Introdução

A aula deve ser iniciada com a entrega ao aluno da ATIVIDADE EXPERIMENTAL – ONDAS NO SIMULADOR PHET, onde encontrarão questionamentos ao longo das explicações propostas. Em seguida haverá a apresentação do vídeo “O que é uma onda?” e logo após a leitura do texto “Boas vibrações”.

Na sequência, os alunos serão questionados sobre o que compreenderam e a aula seguirá. Em uma breve discussão o professor deverá anotar no quadro as palavras de destaque apresentadas pelos alunos.

Retomando o tema das ondas mecânicas, conforme estudos já realizados, deverá ser explicado ao aluno que será utilizado um simulador PhET para observar e explorar as características das ondas.

Exploração com o Simulador

Para esta atividade será usado o simulador Phet Ondas em cordas. Com a tela do simulador projetada, os alunos serão instruídos a reconhecer as ondas em cordas sendo simulada (Figura 07). Devem ser retomadas as observações dos experimentos das aulas anteriores criando situações para observação da variação da frequência, amplitude e comprimento de onda bem como suas relações.

4º passo: Apresentar o conhecimento a ser ensinado/aprendido, levando em conta a diferenciação progressiva, i.e., começando com aspectos mais gerais, inclusivos, dando uma visão inicial do todo, do que é mais importante na unidade de ensino, mas logo exemplificando, abordando aspectos específicos;

Encontre aqui esta atividade do aluno



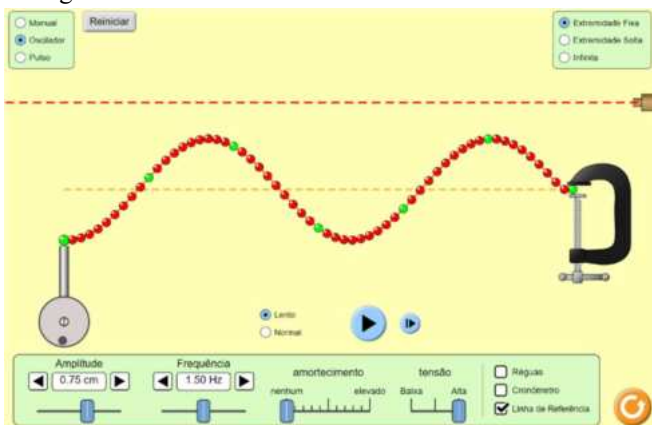
Veja o vídeo em questão aqui.



No link abaixo você encontra esse simulador Phet



Figura 07 – Tela do simulador de ondas em cordas Phet.



Fonte: O autor (2023).

Situações problema:

O que ocorre com a frequência se mudarmos o período e/ou o comprimento de onda?

Existe alguma relação entre a frequência e a velocidade de uma onda?

Como descobrir a velocidade de uma onda?

O aluno deve ser instigado a descobrir qual as relações entre as características da onda, bem como tentarem encontrar uma maneira de calcular a velocidade da onda usando os conceitos de frequência, comprimento e período. Deve-se usar uma situação de movimento das ondas no simulador Phet para análise junto com os alunos.

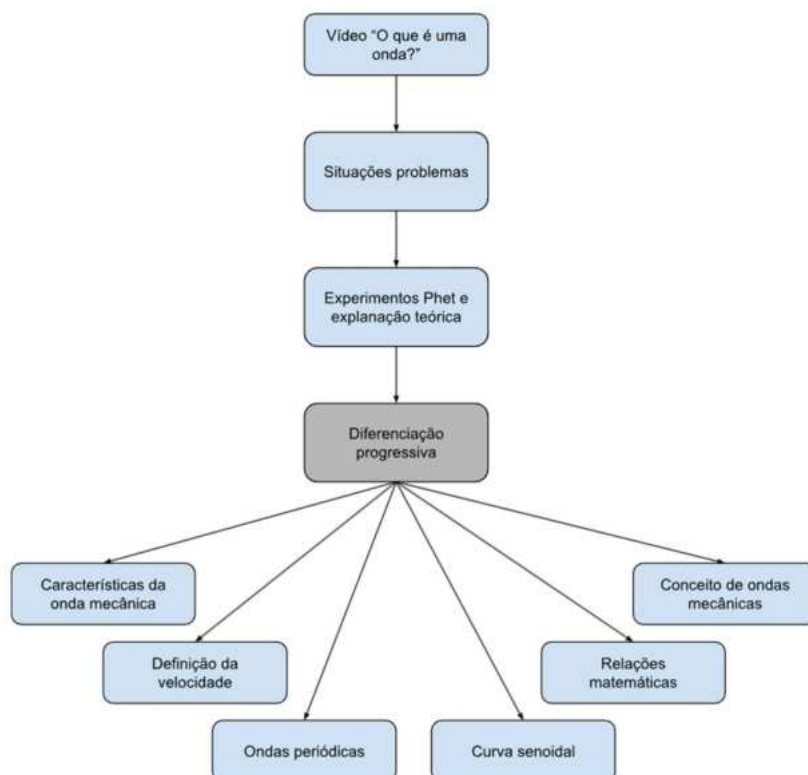
É importante que o aluno tente chegar em uma resposta antes do professor gerar intervenções. Os erros no raciocínio do aluno devem ser valorizados antes de uma apresentação correta do conceito.

Esse e outros questionamentos devem ser realizados com o auxílio da atividade recebida pelo aluno, onde estão propostas atividades a serem feitas baseadas nas observações realizadas durante a simulação. Ao término, espera-se que o aluno tenha compreendido as relações entre comprimento de onda, período e frequência, bem como ter entendido o conceito da velocidade que depende do comprimento de onda e de sua frequência ou período.

3. As ondas Mecânicas – explanação teórica

Os conteúdos a respeito das definições e conceitos das ondas mecânicas devem ser apresentados neste momento. Deverão ainda ser abordadas as relações matemáticas entre frequência e período, bem como a velocidade da onda com seu comprimento e período.

Figura 08 – Diagrama relacional do passo 4.



Fonte: O autor (2023).

MATERIAIS UTILIZADOS

- Projetor
- Quadro de piloto
- Piloto e apagador
- Notebook
- Relatório de participação do aluno.
- Caixa de som

5º PASSO – RETOMAR OS ASPECTOS MAIS GERAIS EM NÍVEIS MAIS ALTOS DE COMPLEXIDADES

5º passo: Apresentar o conhecimento a ser ensinado/aprendido, levando em conta a diferenciação progressiva, i.e., começando com aspectos mais gerais, inclusivos, dando uma visão inicial do todo, do que é mais importante na unidade de ensino, mas logo exemplificando, abordando aspectos específicos.

OBJETIVO

Proporcionar no aluno um aprofundamento nos conhecimentos sobre ondas, por meio da investigação do som como uma manifestação de uma onda mecânica.

METODOLOGIA

Investigando a natureza ondulatória do som.

Experimento com dois diapasões

Com o uso de dois diapasões (Figuras 09 e 10), posicione-os a uma pequena distância um do outro. Ao gerar o som em um dos diapasões o outro começa a vibrar. Para que seja perceptível a vibração do segundo diapasão deve-se segurar o primeiro, com o intuito de silenciar sua emissão sonora, ficando só o segundo emitindo o som. Outra maneira de verificar a vibração do segundo diapasão é posicionar sobre ele uma bolinha de isopor ou papel. Essa bolinha deve estar pendurada por uma linha fina e leve em um suporte, formando assim um pêndulo. A ideia é que a bolinha receba as vibrações do segundo diapasão e se movimente, acusando assim sua vibração.

O nível de ruído sonoro da sala de aula pode atrapalhar o experimento no primeiro caso. Mas com um pouco de silêncio se torna exitoso.

Figura 09 – Diapasão com pêndulo.

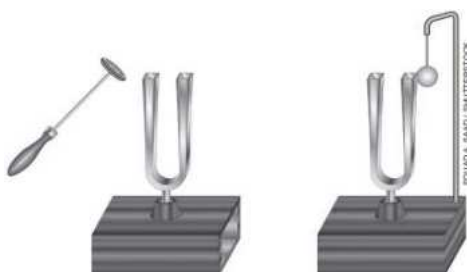
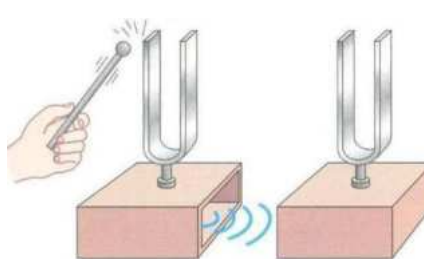


Figura 10 – Diapasão com caixa acústica.



Fonte:

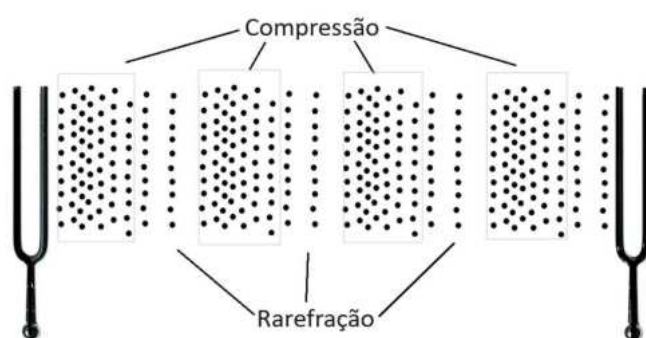
<https://docplayer.com.br/113869078-A-fisica-atraves-de-experimentos-volume-ii-termodinamica-ondulatoria-e-optica.html>

Fonte:

<https://www.tutorbrasil.com.br/forum/viewtopic.php?t=93924>

Ao ser golpeado, o diapasão oscila para frente e para trás em uma mesma direção. Esse movimento por si já remete a formação de pulsos longitudinais no ar em sua volta. Aliado a isso, temos a transferência de energia de um diapasão para o outro, o que promove a vibração no segundo diapasão, porém com menos intensidade, visto que a energia inicial se dissipa em todas as direções. Essa transferência de energia é algo que ocorre através de ondas, mas as ondas precisariam se propagar por um meio. Neste caso, as partículas do ar em volta do diapasão recebem essas vibrações, tendo uma faixa de volume, com espessura de $\frac{1}{2}$ do comprimento de onda, sendo comprimido (aumentando a pressão) e outros $\frac{1}{2}$ do comprimento com descompressão. Essas variações de pressão viajam pelo ar transportando a energia da onda até o outro diapasão, que absorve essa energia e, por ter características idênticas ao primeiro diapasão, começa a vibrar com a mesma frequência (Figura 11).

Figura 11– Representação do som gerado pelo diapasão.



Fonte: O autor (2023).

Os alunos deverão observar esse experimento para perceber que as vibrações causadas em um diapasão (Figura 12) são transmitidas para o outro e tentarem explicar como isso pode ser possível. Neste momento, é importante lembrar aos alunos que uma partícula ao ser atravessada por uma onda vibra em torno de seu ponto de equilíbrio. A ideia é que percebam que o som emite pulsos de energia que viajam pelo ar e atingem o outro diapasão fazendo suas partículas vibrarem na mesma frequência. Tente levar o aluno a perceber que se o diapasão oscila e as oscilações são propagadas em todas as direções por um meio material, na forma de ondas longitudinais, tendo a energia dessas ondas captadas por outro observador, podemos concluir que o som é de fato uma onda mecânica.

É importante que os alunos construam suas explicações. O professor pode intervir dando dicas quando houver um impasse ou dificuldades nas explicações.

Esse raciocínio pode ser expandido para diversos outros exemplos de emissão de ondas sonoras como a vibração de uma taça de vidro ao ser exposta a um som de determinada frequência.

Verifique se os alunos têm a percepção da composição do ar como partículas que são as moléculas de oxigênio misturadas com outros gases.

Questionamentos como “por que outros materiais não vibram com esse som?” podem ser feitos pelos alunos ou instigados pelo professor. Esse momento se torna propício para uma breve explicação sobre o fenômeno da ressonância, sem entrar em detalhes para não gerar confusão. Embora isso não seja o objetivo da aula, a enriquece.

Figura 12 – Alunos observando o experimento com dois diapasões.

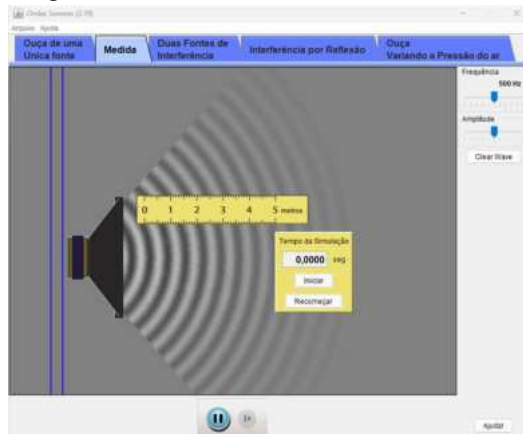


Fonte: O autor (2023).

A onda sonora

A próxima etapa consiste em levar o aluno a reconhecer a onda sonora sendo tridimensional do tipo longitudinal. Para isso deverão ser usados os simuladores Phet **Intro das Ondas** e **Ondas sonoras**, no qual a representação das ondas sonoras será apresentada visualmente com a finalidade de serem trabalhadas as suas características como amplitude, frequência, comprimento de onda, período, propagação e velocidade na perspectiva da onda longitudinal (Figura 13). Os alunos serão levados a perceber as diferenças causadas na percepção do som, gerado por essas ondas, ao serem alteradas algumas das suas propriedades. No simulador, temos ainda a visualização da movimentação das partículas do ar (Figura 14), o que promove melhor entendimento do fenômeno, além de uma situação em que ocorre o vácuo, instruindo o aluno a associar a existência da onda sonora com a presença de um meio material para sua propagação. Os alunos acompanharão os experimentos realizando as atividades propostas.

Figura 13 – Simulador de ondas sonoras Phet.



Fonte: O autor (2023).

Encontre aqui os simuladores sobre ondas sonoras.

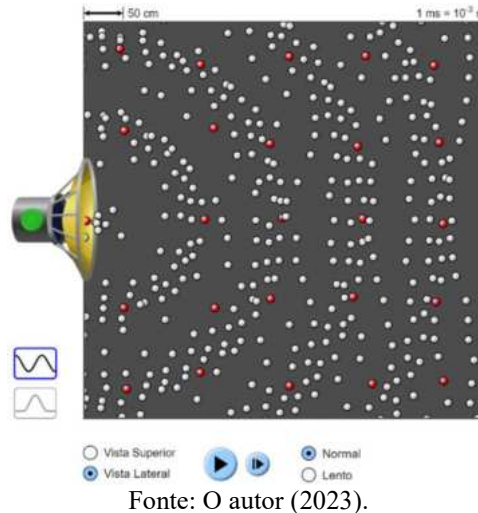
Intro. Das Ondas



Aqui você encontra o material citado.



Figura 14 – Representação das partículas do ar no simulador



Após esta etapa, espera-se que o aluno já tenha uma boa noção da correspondência da frequência com a formação de sons alto e baixo. Bem como estejam com um bom entendimento das características e comportamento de uma onda sonora.

A próxima etapa visa proporcionar um experimento que teste os limites da nossa audição com relação a frequência de uma onda.

Frequência de uma onda sonora

Nesta parte serão retomados os conceitos frequência de uma onda bem como suas relações na compreensão da altura máxima do som audível pelo ser humano.

Atividade 1: Testando o nível de audição dos estudantes. (A ser aplicada durante a exibição do vídeo)

Deverá ser iniciada com a apresentação do vídeo “**Teste de Audição Divertido: Você é um Super Humano?**” (Figura 15).

Figura 15 – Mostrador de frequência do vídeo teste de audição divertido.



Accesse o vídeo Teste de audição divertido aqui.



O vídeo apresenta um mostrador com referência a frequência da onda emitida no momento. O ouvido humano consegue perceber sons entre 20Hz e 20000Hz, porém nem todas as pessoas captam esses limites. Algumas até percebem um pouco mais de 20000Hz, o que é raro. Na realidade a maioria identifica sons abaixo desse limite, o que ainda tende a diminuir com a idade.

Os alunos sinalizam toda vez que começam a ouvir o som e o professor registra o ocorrido. Dessa forma, a descoberta dos limites da audição é feita de forma interativa e divertida.

Atividade 2:

- Descobrir a frequência da sua voz com o uso do PhyPhox.

Nesta atividade os alunos poderão verificar na prática a frequência da sua voz e perceber com isso as diferenças em uma curva senoidal que representa a onda conforme a frequência varia. É abordado também as alturas da voz feminina e masculina.

- Analisando a frequência de ondas sonoras com o uso do PhyPhox.

A próxima atividade consiste em usar um app de celular para estudar as ondas sonoras. Os alunos serão orientados a trazerem os celulares para sala com o aplicativo Phyphox instalado.

Com o uso do aplicativo Phyphox os alunos captam alguns sons, com frequência constante e determinada, emitido por um alto-falante. Com isso analisam os dados mostrados pelo aplicativo (Figura 16) buscando interpretar a representação da onda sonora, sua frequência, sua amplitude e comprimento de onda.

Figura 16 – Alunos participando de atividade com o app Phyphox.



Fonte: O autor (2023).

Encontre aqui o aplicativo
PhyPhox.

Para celulares Android



Para celulares iPhones



Veja aqui sobre o PhyPhox.



O material para essa atividade
se encontra no link abaixo



Figura 17 – Diagrama relacional do 5º passo.



Fonte: O autor (2023).

MATERIAIS UTILIZADOS

- Projetor
- Quadro de piloto
- Piloto e apagador
- Notebook
- Relatório de participação do aluno.
- Caixa de som

6º PASSO – CONCLUSÃO DA UEPS – RETOMAR AS CARACTERÍSTICAS MAIS RELEVANTES DO CONTEÚDO BUSCANDO A RECONCILIAÇÃO INTEGRATIVA

OBJETIVO

Retomar o entendimento das características das ondas sonoras, abordando a situação problema na determinação da velocidade e energia de uma onda sonora, por meio de atividades práticas e análise de dados coletados com o aplicativo Phypox.

METODOLOGIA

Para esta etapa da UEPS, abordaremos de forma prática o cálculo da velocidade de uma onda sonora e as medições dos níveis de intensidade de uma onda sonora. Dentro dessas duas problemáticas, serão retomadas as características do conteúdo abordado buscando uma reconciliação integrativa em termos como velocidade e energia, tratando ainda das características da onda sonora como partes de um conceito hierárquico maior que são as ondas mecânicas.

Inicialmente, um estudante pode aprender que as ondas sonoras são vibrações que se propagam através de um meio, como o ar, e que podem ser ouvidas quando alcançam o ouvido. O estudante também pode aprender que as ondas mecânicas são perturbações que se propagam através de um meio material, transportando energia.

Agora, imagine que o estudante aprende uma nova informação: as ondas sonoras são, na verdade, um tipo de onda mecânica. Isso pode parecer contraditório com o que o estudante sabia anteriormente, pois ele pode ter pensado que ondas sonoras e ondas mecânicas eram fenômenos diferentes.

Da mesma forma, termos como velocidade da onda sonora e energia da onda sonora bem como outras características da onda como frequência e comprimento podem parecer ao aluno algo específico do som sem, no entanto fazer relações com classes conceituais mais abrangentes.

6º passo: Dar seguimento ao processo de diferenciação progressiva retomando as características mais relevantes do conteúdo em questão, porém de uma perspectiva integradora, ou seja, buscando a reconciliação integrativa.

O que é reconciliação integradora?

“A reconciliação integradora, ou integrativa, é um processo da dinâmica da estrutura cognitiva, simultâneo ao da diferenciação progressiva, que consiste em eliminar diferenças aparentes, resolver inconsistências, integrar significados, fazer superordenações.”
(MOREIRA, 2010, p. 6)

Aqui é onde a reconciliação integradora entra. O estudante precisa reconciliar essas informações aparentemente contraditórias. Como exemplo, ele pode fazer isso percebendo que as ondas sonoras são um subconjunto das ondas mecânicas, energia da onda sonora é a manifestação de um tipo de energia e assim por diante. O fato é que no caso das ondas, perceba que todas as ondas sonoras são ondas mecânicas, mas nem todas as ondas mecânicas são ondas sonoras.

Essa nova compreensão permite que o estudante integre as novas informações à sua estrutura de conhecimento existente de uma maneira que faça sentido.

A velocidade da onda sonora

Neste App será realizada uma atividade prática com os alunos para descobrir a velocidade de uma onda sonora. Os alunos deverão seguir os passos propostos na atividade “Velocidade da onda sonora”.

A energia de uma onda sonora

Ainda com o uso do Phyphox e de um decibelímetro, serão abordadas as medições da energia de uma onda sonora. Para esta atividade, o aluno seguirá a atividade dirigida “Nível de intensidade de uma onda sonora”, na qual farão medidas dos decibéis do ruído sonoro usando o app. O professor irá inicialmente apresentar a função que mede os decibéis de uma onda sonora dentro do aplicativo, por meio de uma projeção. Em seguida, calibrará o App dos alunos usando um decibelímetro. Em sequência, serão medidas algumas emissões sonoras e apresentados uma tabela com o nível de ruído equivalente a cada faixa de medições. Por fim, será discutido os riscos às saúdes geradas por ondas sonoras com muita energia.

Encontre aqui a atividade
Velocidade da onda sonora.



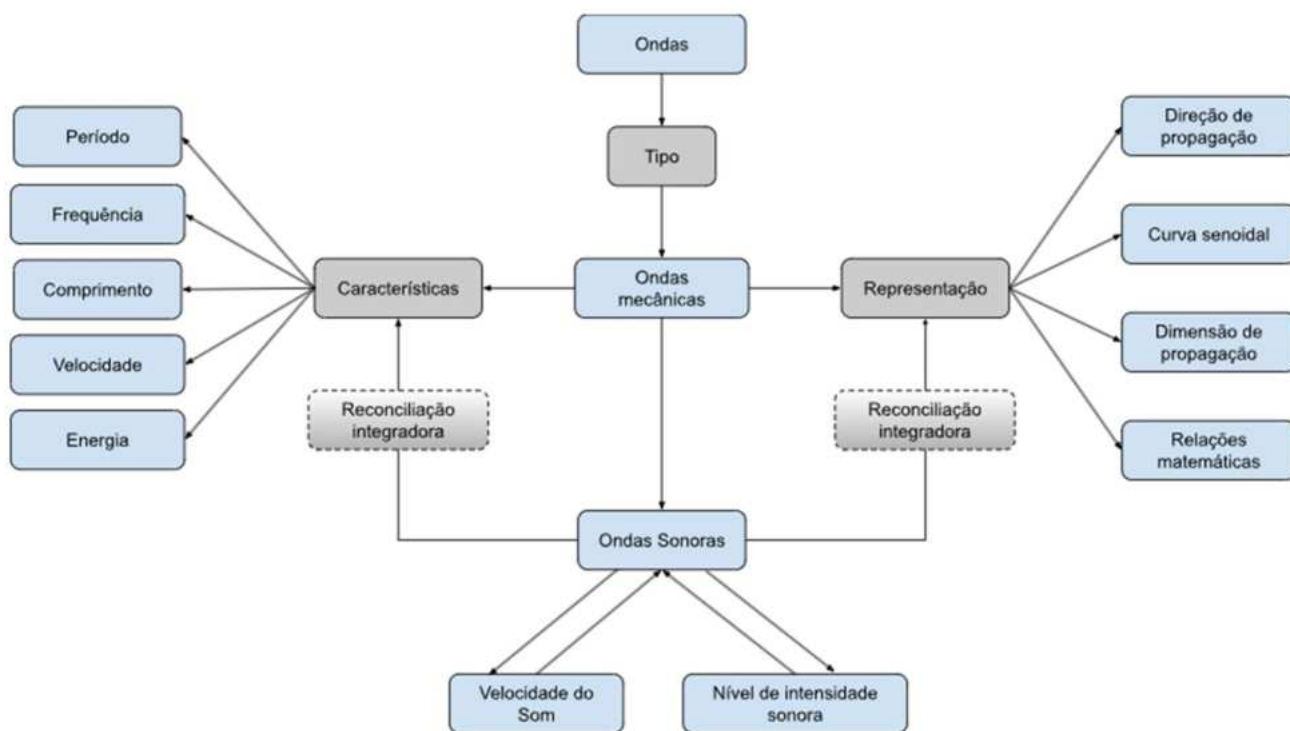
Encontre aqui a atividade
Nível de intensidade de uma
onda sonora.



MATERIAIS UTILIZADOS

- Decibelímetro
- Quadro de piloto
- Piloto e apagador
- Celulares
- Fita métrica
- Relatório de participação do aluno.
- Caixa de som

Fig. 18 – Diagrama relacional do 6º passo.



Fonte: O autor (2023)

7º PASSO – AVALIAÇÃO DA APRENDIZAGEM POR MEIO DA UEPS

OBJETIVO

Avaliar a compreensão e a retenção dos conteúdos estudados na Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS) por meio da construção de mapas conceituais individuais, formulário de avaliação da UEPS e de uma avaliação escrita.

METODOLOGIA

1. Construção de um mapa conceitual sobre os conteúdos adquiridos.

Para esta aula, os alunos deverão criar um mapa conceitual com todos os conceitos e definições sobre ondas mecânicas e ondas sonoras que aprenderam ao longo da sequência.

2. Aplicação de avaliação escrita.

Para esta etapa, os alunos deverão ser avisados previamente de uma avaliação escrita, na qual colocarão seus conhecimentos à prova. O professor organizará a sala de aula em filas, colocando os alunos individualmente em seus locais e entregando-lhes uma avaliação escrita contendo questões a respeito dos conteúdos estudados.

3. Avaliação da UEPS pelos alunos

Os alunos deverão avaliar toda a sequência por meio de um formulário disponibilizado pelo professor no Google formulários. Esta etapa visa entender quais pontos devem ser considerados positivos no processo de ensino-aprendizagem e quais merecem ser revistos.

7º passo: A avaliação da aprendizagem através da UEPS. A avaliação deve ser feita ao longo de sua implementação, registrando tudo que possa ser considerado evidência de aprendizagem significativa do conteúdo trabalhado.

Acesse aqui a avaliação final:



Acesse aqui o formulário:



O formulário online foi preenchido pelos estudantes em horário oposto ao período escolar.

MATERIAIS UTILIZADOS

- Folhas impressas
- Formulário online

8º PASSO – AVALIAÇÃO DA APRENDIZAGEM POR MEIO DA UEPS

A etapa de avaliação em uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS) desempenha um papel crucial no processo educacional. Ela permite ao educador medir o quanto os alunos conseguiram internalizar e aplicar os conceitos abordados ao longo da unidade. Além disso, a avaliação também fornece um feedback valioso sobre a eficácia da estratégia de ensino adotada. Nesse contexto, a avaliação não deve ser vista apenas como um instrumento de verificação de conhecimento, mas como uma oportunidade de reflexão e aprimoramento do processo de ensino-aprendizagem. Uma avaliação bem projetada em uma UEPS deve ser capaz de capturar a compreensão dos alunos, sua capacidade de aplicar os conhecimentos em situações práticas e, idealmente, promover uma aprendizagem contínua, identificando lacunas de conhecimento e incentivando a busca por mais informações. Isso torna esta etapa de avaliação não apenas o encerramento de uma unidade, mas um elo importante na construção do conhecimento significativo e na melhoria constante do processo educacional.

Para a avaliação da UEPS devem ser levados em conta dois fatores: Um deles é a opinião dos alunos sobre a sequência aplicada, na qual por meio de um formulário online os estudantes prestaram suas opiniões sobre alguns pontos específicos da sequência validando assim seu nível de envolvimento e satisfação. Já o outro fator é a análise dos dados obtidos durante toda aplicação da UEPS pelo professor. Buscou-se com isso verificar os impactos dos métodos de ensino na geração de aprendizagem significativa dos estudantes.

Os dados dos alunos devem ser analisados de forma qualitativa buscando evidências de aprendizagem significativa ao longo de toda a sequência. Alguns métodos didáticos contribuem para melhor identificar esses resultados. No decorrer dessa sequência tivemos as evidências observadas durante os momentos de ensino aprendido, as situações problemas ao longo das aulas e os mapas conceituais utilizados para mapear as relações cognitivas entre os conceitos aprendidos pelo aluno.

8º passo: A UEPS somente será considerada exitosa se a avaliação do desempenho dos alunos fornecer evidências de aprendizagem significativa.

REFERENCIAL

AUSUBEL, D. P. (2003). **Psicologia educacional**. Rio de Janeiro: Interamericana.

FREIRE, P. (1996). **Pedagogia da autonomia: saberes necessários à prática educativa**. São Paulo: Paz e Terra.

Moreira, A. F. B. (2003). **Aprendizagem Significativa Crítica**. São Paulo: Editora Pedagógica e Universitária.

Moreira, A. F. B. (2005). **Aprendizagem Significativa**. Brasília: Editora Universidade de Brasília.

HEWITT, Paul. **Física Conceitual**. 12^a ed. São Paulo: Bookman, 2015.

BALANÇO GERAL FLORIANÓPOLIS, **Som alto no fone de ouvido ameaça a audição dos jovens**. YouTube, 21 de mar. de 2019. Disponível em <https://www.youtube.com/watch?v=nbU1aHSrAKk>. Acessado em: 20/09/2023.

INCRÍVEL, **Teste de Audição Divertido: Você é um Super Humano?** YouTube, 17 de dez. de 2017. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=KszGV_UfBXw. Acessado em: 20/09/2023.

CIÊNCIA TODO DIA, **O que é uma onda?** YouTube, 24 de jul. de 2020. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=M2D5-zXID6A>. Acessado em: 20/09/2023.

PHET INTERACTIVE SIMULATIONS. **Onda em Corda**. Disponível em: https://phet.colorado.edu/sims/html/wave-on-a-string/latest/wave-on-a-string_all.html?locale=pt_BR. Acessado em: 01/08/2023.

PHET INTERACTIVE SIMULATIONS. **Ondas Sonoras**. Disponível em: https://phet.colorado.edu/sims/sound/sound_pt.jar?download. Acessado em: 01/08/2023.

PHET INTERACTIVE SIMULATIONS. **Intro Ondas**. Disponível em: https://phet.colorado.edu/sims/html/waves-intro/latest/waves-intro_all.html?locale=pt. Acessado em: 01/08/2023.