



UNIVERSIDADE
FEDERAL
DE PERNAMBUCO



SOCIEDADE BRASILEIRA DE FÍSICA

MNPEF Mestrado Nacional
Profissional em
Ensino de Física

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA
POLO 46

Flaviano da Silva Felix

Aprendizagem Baseada em Problemas no Ensino de Acústica: uma sequência didática
para estudantes do ensino médio

Caruaru

2025

Flaviano da Silva Felix

Aprendizagem Baseada em Problemas no Ensino de Acústica: uma sequência didática
para estudantes do ensino médio

Dissertação apresentada ao Polo 46 do Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física da Universidade Federal de Pernambuco como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física. Área de concentração: Processos de Ensino e Aprendizagem e Tecnologias de Informação e Comunicação no Ensino de Física.

Orientador: Prof. Dr. Ernesto Arcenio Valdés Rodriguez

Caruaru
2025

.Catalogação de Publicação na Fonte. UFPE - Biblioteca Central

Felix, Flaviano da Silva.

Aprendizagem baseada em problemas no ensino de acústica: uma sequência didática para estudantes do Ensino Médio / Flaviano da Silva Felix. - Recife, 2025.

145f.: il.

Dissertação (Mestrado)- Universidade Federal de Pernambuco, Centro Acadêmico do Agreste - CAA, Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física - MNPEF Polo 46, 2025.

Orientação: Ernesto Arcenio Valdés Rodriguez.

1. Ensino de Física; 2. Acústica; 3. Aprendizagem baseada em problemas. I. Rodriguez, Ernesto Arcenio Valdés. II. Título.

UFPE-Biblioteca Central

Flaviano da Silva Felix

Aprendizagem Baseada em Problemas no Ensino de Acústica: uma sequência didática
para estudantes do ensino médio

Dissertação apresentada ao Polo 46 do Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física da Universidade Federal de Pernambuco como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física. Área de concentração: Processos de Ensino e Aprendizagem e Tecnologias de Informação e Comunicação no Ensino de Física.

Aprovada em (dia) de (mês) de (ano).

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Ernesto Arcenio Valdés Rodriguez - Orientador
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Eduardo Novais de Azevedo – Examinador 1 (Externo)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Augusto César Lima Moreira – Examinador 2
Universidade Federal de Pernambuco

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos que de alguma forma me ajudaram na elaboração deste trabalho.

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

RESUMO

Este trabalho propõe uma abordagem pedagógica dinâmica para o ensino de Física, utilizando a metodologia de Aprendizagem Baseada em Problemas (ABP) no estudo da acústica, com o objetivo de proporcionar um aprendizado com mais significado para os alunos do ensino médio. A pesquisa parte da observação de que o modelo atual de ensino, centrado na transmissão de conteúdos de forma expositiva, tem se mostrado ineficiente, especialmente em disciplinas como a física, nas quais os alunos demonstram baixo interesse e desempenho. A ABP é uma metodologia ativa que coloca o aluno no centro do processo de aprendizagem, incentivando a resolução de problemas reais por meio da investigação, pesquisa e colaboração. A sequência didática (SD) foi aplicada em uma turma do 2º ano do ensino médio em uma escola de Bezerros, Pernambuco, durante seis aulas. O problema proposto foi a dificuldade de propagação do som da campainha da escola, que não é ouvida claramente em todos os ambientes. Os alunos foram divididos em grupos e desafiados a investigar as causas do problema e propor soluções, utilizando conceitos de acústica. As atividades incluíram pesquisa de campo, medições, discussões em grupo, experimentação e construção de mapas conceituais. Os resultados da aplicação da SD foram avaliados por meio de questionários diagnósticos e finais, além da observação do comprometimento dos alunos. O questionário diagnóstico revelou que os estudantes tinham conhecimentos prévios variados sobre o som, mas com lacunas conceituais. Após a aplicação da ABP, o questionário final mostrou uma melhora significativa na compreensão dos conceitos de acústica, como propagação do som, frequência, amplitude e interferência sonora. Além disso, os alunos demonstraram maior interesse e participação ativa no processo de aprendizagem. A pesquisa concluiu que a ABP é uma abordagem promissora para o ensino de Física, possibilitando o desenvolvimento de habilidades como pensamento crítico, colaboração e resolução de problemas. No entanto, também foram identificados desafios, como a necessidade de maior dedicação por parte de alguns alunos e a importância de um planejamento cuidadoso por parte do professor para garantir o sucesso da metodologia. A pesquisa mostrou que a ABP é um caminho possível para superar as limitações do ensino tradicional, melhorando a participação e o interesse dos alunos.

Palavras-chave: Ensino de Física; Acústica; Aprendizagem Baseada em Problemas.

ABSTRACT

This study proposes a dynamic pedagogical approach for teaching Physics, using the Problem-Based Learning (PBL) methodology in the study of acoustics, with the aim of providing more meaningful learning for high school students. The research stems from the observation that the current teaching model, centered on the transmission of content through lectures, has proven to be ineffective, especially in subjects such as Physics, in which students show low interest and performance. PBL is an active methodology that places the student at the center of the learning process, encouraging the resolution of real-world problems through investigation, research, and collaboration. The didactic sequence (DS) was applied to a second-year high school class in a school in Bezerros, Pernambuco, over six classes. The proposed problem was the difficulty in the propagation of the school bell sound, which is not clearly heard in all environments. Students were divided into groups and challenged to investigate the causes of the problem and propose solutions using acoustics concepts. The activities included field research, measurements, group discussions, experimentation, and the construction of concept maps. The results of the DS implementation were evaluated through diagnostic and final questionnaires, in addition to observing student engagement. The diagnostic questionnaire revealed that students had varying prior knowledge about sound, but with conceptual gaps. After the implementation of PBL, the final questionnaire showed a significant improvement in the understanding of acoustics concepts, such as sound propagation, frequency, amplitude, and sound interference. Furthermore, students demonstrated greater interest and active participation in the learning process. The research concluded that PBL is a promising approach for teaching Physics, enabling the development of skills such as critical thinking, collaboration, and problem-solving. However, challenges were also identified, such as the need for greater dedication from some students and the importance of careful planning by the teacher to ensure the success of the methodology. The research showed that PBL is a viable path to overcome the limitations of traditional teaching, improving student participation and interest.

Keywords: Physics Teaching; Acoustics; Problem-Based Learning.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	10
1.1 ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO.....	12
2 ONDAS, OSCILADOR HARMÔNICO E ONDAS SONORAS	15
2.1. INTRODUÇÃO.....	15
2.2. ONDAS	15
2.2.1 Ondas transversais e longitudinais	15
2.3. O OSCILADOR HARMÔNICO SIMPLES E A SEGUNDA LEI DE NEWTON	16
2.4. A VELOCIDADE E A ACELERAÇÃO NO MHS	21
2.5. ACÚSTICA E ONDAS SONORAS	21
2.5.1 Ondas sonoras como flutuação de pressão	22
2.5.2 A velocidade do som	25
2.5.3 Intensidade das ondas sonoras periódicas	27
2.5.4 Interferência	31
2.6. EFEITO DOOPLER	32
3 REFERENCIAL DE ENSINO-APRENDIZAGEM	35
3.1. A APRENDIZAGEM BASEADA EM PROBLEMAS	35
3.2. SEQUÊNCIA DIDÁTICA	37
3.3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	38
4. IMPLEMENTAÇÃO DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA.....	40
4.1. DESENVOLVIMENTO DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA	40
4.1.1. Aula 1	40
4.1.2. Aula 2	42
4.1.3. Aula 3	45
4.1.4. Aula 4	47
4.1.5. Aula 5	49
4.1.6. Aula 6	51
4.1.6.1. Equipe 1	51
4.1.6.2. Equipe 2	54
4.1.6.3. Equipe 3	56
4.1.6.4. Equipe 4	58
4.1.6.5. Equipe 5	59
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	61
5.1 QUESTIONÁRIO DIAGNÓSTICO	61
5.2 QUESTIONÁRIO FINAL.....	66
5.2 CONCLUSÕES – PERSPECTIVAS FUTURAS	73

REFERÊNCIAS	75
APÊNDICE A – Questionário diagnóstico	77
APÊNDICE B – Mapa da escola.....	78
APÊNDICE C – Formulário para anotações gerais da pesquisa	79
APÊNDICE D – Planos de Aula	80
APÊNDICE E – Questionário Final	92
APÊNDICE F – Produto Educacional.....	98
ANEXO A – Notas de Aula da Disciplina Física 3.....	83

1 INTRODUÇÃO

Ao longo de quase 30 anos de atuação como professor, dos quais, 15 anos foram dedicados ao ensino de Física em uma escola pública de tempo integral do Estado de Pernambuco, tenho observado um desafio persistente: a grande dificuldade que os alunos enfrentam ao estudar essa disciplina. Sejam na compreensão dos conceitos físicos, na aplicação da matemática como ferramenta para a resolução de problemas ou, até mesmo, na interpretação dos enunciados, essas dificuldades fazem com que a Física frequentemente se torne uma das disciplinas mais rejeitadas no ambiente escolar.

Essa realidade não apenas limita o desempenho acadêmico dos estudantes, mas também os afasta do contato com as ciências de forma mais ampla. Como licenciando em Física e profissional com formação em Matemática, compreendo que esse distanciamento não é inevitável, mas resulta, em parte, de abordagens que nem sempre priorizam a conexão entre o conhecimento científico e a realidade dos alunos.

No contexto educacional atual, percebe-se uma demanda crescente por reavaliar e transformar as práticas pedagógicas. O modelo mais praticado de ensino, com foco na transmissão de conteúdos por meio de aulas expositivas unidirecionais e atividades repetitivas, tem demonstrado limitações substanciais, especialmente na área de Ciências da Natureza (Física, Química e Biologia), na qual os resultados desse processo são insatisfatórios, demonstrados pela falta de interesse de boa parte dos estudantes do Ensino Médio, em cursos de nível superior que englobe essa área do conhecimento e nos resultados gerais, obtidos no Exame Nacional do Ensino Médio – ENEM nestas disciplinas, como demonstra a pesquisa realizada por Marcon (2019, p. 112)

...os itens de Física em sua maioria apresentam um Índice de Acerto (IA) abaixo de 50%. Para nossa surpresa observamos que aproximadamente 72% dos itens são considerados difíceis, pois apresentam um IA abaixo de 0,3 indicando que menos de 30% dos candidatos que fazem o item o acertam. Esse resultado indica um grave problema para o Ensino de Física que diz respeito ao aprendizado dos alunos, o que pode estar havendo para que tenhamos índices tão baixos.

“A capacidade uniformizadora de saberes estabelecida desde as suas origens, tem sido, cotidianamente, colocada à prova, abrindo caminho para um movimento de contestação de suas práticas, normas e funcionamento. A escola tradicional está em crise” (Marino, 2018 p. 21). Torna-se cada vez mais evidente a necessidade de mudanças na forma de ensinar, mas

...a aplicação de metodologias de ensino fica restrita ao campo teórico das produções acadêmicas. Visto que a precarização do trabalho docente, nas escolas públicas, impede uma dedicação temporal grande para a produção de planos de aula que envolvam metodologias de ensino mais elaboradas. (Santos; Rodrigues, 2023, p. 10).

Um dos principais obstáculos é a resistência por parte dos professores, que muitas vezes preferem manter-se no conforto do modelo atual, centrado na exposição de conteúdo e repetição de exercícios. Para muitos docentes, a mudança para métodos mais interativos, como a aprendizagem ativa, representa um desafio que exige, além de novas competências, também a superação de anos de prática consolidada. Há também o receio de que tais inovações, ao serem adotadas, não resultem em melhorias no desempenho dos estudantes. Segundo Santos e Rodrigues (2023, p. 10) “as aulas expositivas que demandam menos tempo de elaboração/reflexão por parte do docente, não viabilizam um maior engajamento do discente e consequentemente a aprendizagem fica prejudicada.”

Os alunos, por sua vez, assumem uma postura passiva diante de novas propostas pedagógicas. Acostumados a receber o conhecimento de maneira unidimensional, muitos não se sentem à vontade de participar ativamente do processo de aprendizagem, seja por medo de errar ou pela crença de que o sucesso escolar depende exclusivamente da memorização de conteúdo. Essa mentalidade, enraizada ao longo dos anos, cria uma barreira para a adoção de novas formas de ensino que incentivam a colaboração, a análise crítica e a resolução de problemas.

Além disso, as famílias, em sua maioria, possuem uma visão tradicional de educação, acreditando que o sucesso educacional está diretamente relacionado ao estudo repetitivo e à postura do professor como detentor do conhecimento. Foi desta forma que a maioria dos pais estudaram. Quando os familiares são confrontados com métodos mais dinâmicos ou com propostas pedagógicas que valorizam a autonomia dos alunos, muitos demonstram desconfiança e, às vezes, resistência, preocupados com o futuro educacional dos seus filhos. Dessa forma, propor um ensino diferente exige mais do que novas estratégias pedagógicas, mas também um esforço conjunto para mudar mentalidades e quebrar padrões em todos os níveis da comunidade escolar.

Pensando em todos esses desafios elencados anteriormente, resolvemos utilizar a metodologia ativa conhecida como Aprendizagem Baseada em Problemas – ABP, que coloca o estudante no centro do processo de aprendizagem, proporcionando o desenvolvimento de habilidades investigativas, a autonomia e a aplicação prática do conhecimento. A Aprendizagem Baseada em Problemas desafia os alunos a resolver problemas complexos e reais, estimulando-os a buscarem soluções por meio da pesquisa, do debate e da experimentação. No ensino de física, escolhemos mais especificamente a acústica, para utilizar essa metodologia, pois os fenômenos relacionados ao som estão bastante presentes no cotidiano dos estudantes.

A partir dessa problemática, temos a seguinte questão de pesquisa “como a metodologia de aprendizagem Baseada em Problemas (ABP) influencia na aprendizagem dos conceitos de acústica entre alunos do ensino médio?”. O objetivo geral é elaborar e aplicar uma sequência didática que se utilize da Aprendizagem Baseada em Problemas no Ensino Médio, utilizando como tema a acústica. Entre os objetivos específicos, destacam-se: observar e avaliar o engajamento dos estudantes; identificar os fatores que influenciam sua participação ativa; compreender as dinâmicas de interação em sala de aula; e propor estratégias que favoreçam um ambiente mais participativo e motivador.

Desse modo, essa pesquisa está delimitada ao ensino de física no 2º ano do ensino médio de uma escola pública, a investigação foi feita durante o terceiro bimestre do ano letivo de 2024, com uma turma de 40 estudantes. A proposta desenvolvida baseou-se na aplicação da sequência didática composta por seis aulas, centradas no conteúdo de acústica e estruturada a partir da ABP, na qual os alunos investigaram a dificuldade em ouvir o som da campainha em alguns pontos específicos da escola, servindo de ponto inicial para o estudo dos conceitos físicos relacionados a ondas sonoras.

A coleta de dados foi delimitada à aplicação de dois instrumentos avaliativos, o questionário diagnóstico que foi usado para identificar os conhecimentos prévios dos alunos e o questionário final para identificar a evolução conceitual dos alunos. Tendo como foco analisar os efeitos da ABP no engajamento e na aprendizagem conceitual dos estudantes em situação específica e contextualizada de ensino.

1.1 ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

A presente dissertação está organizada da seguinte maneira

- 1) **Introdução:** apresentação do tema, questão de pesquisa, trazendo também os objetivos geral e específicos do trabalho, delineando a estrutura geral dos capítulos em seguida.
- 2) **Ondas, oscilador harmônico e ondas sonoras**
 - 2.1 Introdução: introduz o tema geral, destacando que o som é uma perturbação mecânica que se propaga em meios materiais elásticos, ressaltando sua relação com outros fenômenos físicos, como luz, por meio de analogias entre acústica e ótica.
 - 2.2 Ondas: Aborda os conceitos fundamentais sobre ondas, onde é diferenciado os tipos mecânicos e eletromagnéticos. Discutindo a classificação das ondas em

transversais e longitudinais, explicando como essa categorização se relaciona com o movimento das partículas no meio e com a direção da propagação.

2.3 O oscilador harmônico simples e a segunda lei de Newton: tópico dedicado ao estudo do oscilador harmônico simples (MHS), modelo utilizado para descrever o movimento oscilatório de partículas. Com base na segunda lei de Newton, são apresentadas as equações diferenciais que descrevem esse tipo de movimento, além de sua ligação direta com o comportamento das ondas sonoras.

2.4 A velocidade e a aceleração no MHS: Foram analisadas a velocidade e a aceleração no MHS. Partindo da derivação da função posição, discutindo como esses parâmetros variam ao longo do tempo.

2.5 Acústica e ondas sonoras: explorando as propriedades do som, bem como, sua propagação no ar, sua forma senoidal e os limites do espectro audível humano.

2.6 Efeito Doppler: explorando o fenômeno em que a frequência do som percebido varia conforme o movimento relativo entre a fonte e o observador.

- 3) Referencial de ensino-aprendizagem:** Este capítulo apresenta os fundamentos teóricos que embasam a proposta pedagógica deste trabalho, com foco em duas principais ferramentas educacionais a Aprendizagem Baseada em Problemas – ABP e a Sequência Didática - SD.

3.1 A Aprendizagem Baseada em Problemas: Neste tópico trazemos algumas características sobre a ABP mostrando que essa metodologia propõe o uso de problemas reais ou contextualizados para estimular a construção do conhecimento.

3.2 Sequência didática: São apresentados alguns autores que discutem o conceito de SD, para compreensão de que se trata de uma estrutura planejada de aulas interligadas, com objetivos bem definidos.

3.3 Revisão Bibliográfica: apresenta alguns trabalhos relacionados ao tema, proposta metodológica e teoria de aprendizagem utilizada.

- 4) Implementação da Sequência Didática:** será apresentada a aplicação da SD com base na ABP, aplicada no 2º ano do ensino médio. A proposta teve como tema central o estudo da acústica a partir de um problema real: a dificuldade de programação do som da campanha da escola.

4.1 Desenvolvimento da Sequência Didática: foram apresentados os planos de aula elaborados para os seis encontros. Cada plano inclui os conteúdos abordados, os objetivos de aprendizagem, os procedimentos adotados, os recursos utilizados e as estratégias.

- 5) **Resultados e discussões:** teve como objetivo apresentar e analisar os resultados obtidos com a aplicação da SD. A análise dos dados permite verificar se a proposta pedagógica adotada tem resultados positivos ou não, além de observar seu impacto no processo de ensino-aprendizagem de conceitos relacionados a acústica.

5.1 Questionário diagnóstico: traz as respostas dos alunos, agrupadas por similaridade, permitindo identificar os conhecimentos prévios e possíveis concepções alternativas sobre os fenômenos sonoros.

5.2) Questionário final: aplicado após a conclusão da SD, essa avaliação foi realizada por meio do Google Formulário, contou com a participação dos 40 estudantes, com o intuito de investigar o processo de aprendizagem, não focando em acertos e erros. As questões abordaram tanto aspectos conceituais quanto percepções dos alunos sobre a experiência da aprendizagem.

2 ONDAS, OSCILADOR HARMÔNICO E ONDAS SONORAS

2.1. INTRODUÇÃO

A propagação de som é, fundamentalmente, um fenômeno ondulatório. Essencialmente, onda sonora é uma perturbação mecânica que se propaga através de um meio material elástico, como o ar, a água ou sólidos, transportando energia sem transportar matéria. Neste capítulo, faremos uma análise do conceito de onda sonora, tendo como base a dinâmica de sistemas oscilatórios, mais precisamente a partir da modelagem do oscilador harmônico simples, analisado sob a ótica da segunda lei de Newton.

As equações utilizadas em diversas áreas da Física e até mesmo em outras ciências frequentemente apresentam semelhanças significativas, permitindo que fenômenos distintos tenham comportamentos análogos. Um exemplo disso é a propagação do som, que em vários aspectos se assemelha à propagação da luz. Ao analisar a acústica com maior profundidade, percebe-se que muitos dos princípios envolvidos são equivalentes aos da ótica. Dessa forma, o estudo detalhado de um fenômeno em uma área pode contribuir para o avanço do conhecimento em outra. É importante reconhecer desde o início que essas conexões existem, pois, caso contrário, pode parecer desnecessário dedicar tanto tempo e esforço a um tema que aparentemente se restringe a uma pequena parcela da mecânica (Feynman, 2008).

2.2. ONDAS

No dia a dia convivemos com situações que envolvem ondas, seus efeitos e características. Os principais tipos de ondas são as mecânicas e as eletromagnéticas. O primeiro caso, as ondas mecânicas que são as mais conhecidas por estarem presentes em diversas situações, acontece quando algum meio físico está sendo perturbado. Já no caso das ondas eletromagnéticas, que possuem diversas aplicações no mundo contemporâneo, não é necessário a existência de um meio físico para a propagação.

2.2.1 Ondas transversais e longitudinais

Dentre as diversas classificações de ondas é especialmente importante refletir a relação entre o movimento das partículas do meio e a direção de propagação da perturbação. Esse tipo de movimento pode ser facilmente observado ao se agitar uma corda presa em uma de suas extremidades. Esse comportamento é típico também das ondas eletromagnéticas, como a luz, nas quais os campos elétrico e magnético oscilam perpendicularmente à direção de propagação da onda.

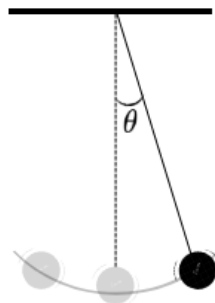
Por outro lado, nas ondas longitudinais, as oscilações das partículas do meio ocorrem na mesma direção da propagação da onda. Um exemplo clássico é o das ondas sonoras no ar.

A distinção entre esses dois tipos de ondas, influencia diretamente a forma como as ondas interagem com os meios em que se propagam, como refletem, refratam e são absorvidas. No caso das ondas sonoras, por serem longitudinais, a análise da variação de pressão ao longo do tempo e do espaço é fundamental para entender como o som é produzido, transmitido e percebido.

2.3. O OSCILADOR HARMÔNICO SIMPLES E A SEGUNDA LEI DE NEWTON

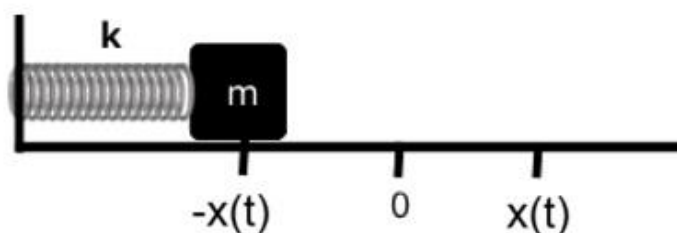
Nos livros didáticos, é comum o uso do pêndulo simples e do sistema massa-mola como modelos para representar o Movimento Harmônico Simples (MHS). Ao analisarmos as Figuras (1), (2) e (3), podemos observar semelhanças entre as características desses sistemas e desta forma na propagação das ondas sonoras (Figura 3), cada camada ou fragmento de matéria também pode ser considerada um oscilador harmônico.

Figura 1 – Esquema de funcionamento de um pêndulo simples com pequeno ângulo de oscilação.



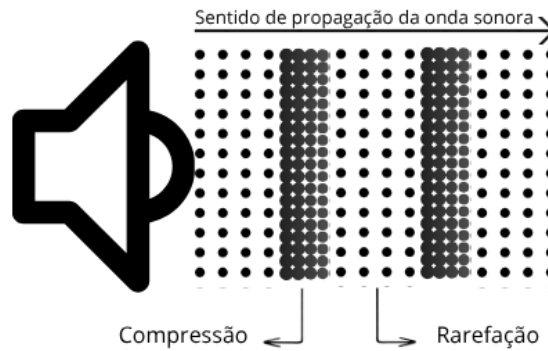
Fonte: Autoria própria (2025)

Figura 2 - Corpo de massa m preso à extremidade de uma mola de constante elástica k .



Fonte: Autoria própria (2025)

Figura 3 - Representação de uma onda sonora longitudinal



Fonte: Autoria própria (2025)

Nos três casos a oscilação é harmônica, pois a força restauradora que causa a oscilação é proporcional ao deslocamento em relação à posição de equilíbrio e atua sempre no sentido oposto a esse deslocamento e, portanto, a partir da 2ª Lei de Newton, teremos a equação diferencial:

$$-ax(t) = b\ddot{x}(t) \quad (1)$$

com solução

$$x(t) = x_{m\acute{a}x} \cos(\omega t + \phi_0)^1 \quad (2)$$

Onde $x(t)$ é a grandeza que varia periodicamente, a e b são constantes físicas do sistema que determinam a frequência angular ω e o período de uma oscilação, $x_{m\acute{a}x}$ é a amplitude da oscilação, t é o tempo e ϕ é a constante de fase, que determina a posição do oscilador no início da medida.

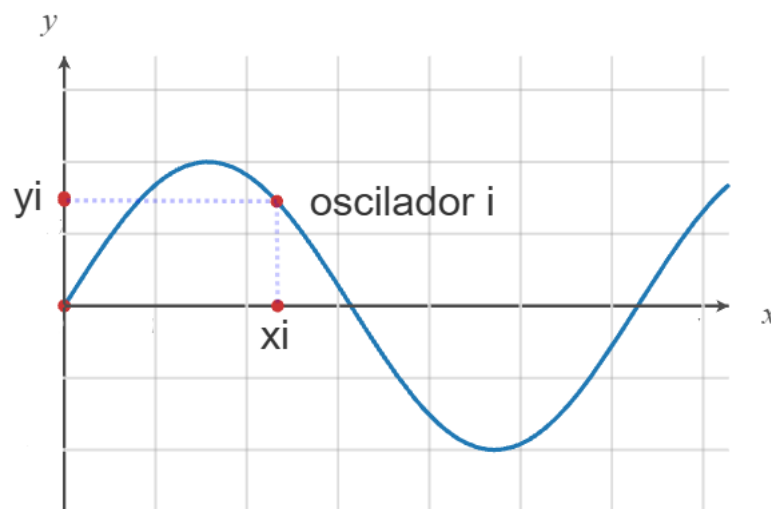
Ondas progressivas, sejam elas transversais ou longitudinais, são constituídas por um conjunto de osciladores acoplados, cada um vibrando com uma pequena diferença de fase em relação aos seus vizinhos.

No caso das ondas transversais, como as que se formam em uma corda esticada, cada elemento do meio de propagação oscila em uma direção perpendicular à propagação da onda. Já nas ondas longitudinais, como as ondas sonoras no ar ou em outros fluidos, as partículas do meio oscilam paralelamente à direção de propagação da onda. Neste último caso, o movimento oscilatório de “vai e vem” das partículas gera regiões alternadas de compressão e rarefação, que são características fundamentais desse tipo de onda.

¹ O tratamento matemático desta solução, para o pêndulo simples, encontra-se no anexo A.

Neste trabalho, deduziremos a equação que descreve a propagação espacial e temporal da onda a partir da equação do oscilador harmônico, levando em conta a relação de fase entre os osciladores do sistema. Utiliza-se, neste estudo, uma onda transversal, como exemplo, por apresentar uma representação visual mais intuitiva e de fácil interpretação. Ressalta-se, contudo, que a análise desenvolvida é igualmente aplicável ao caso de ondas longitudinais.

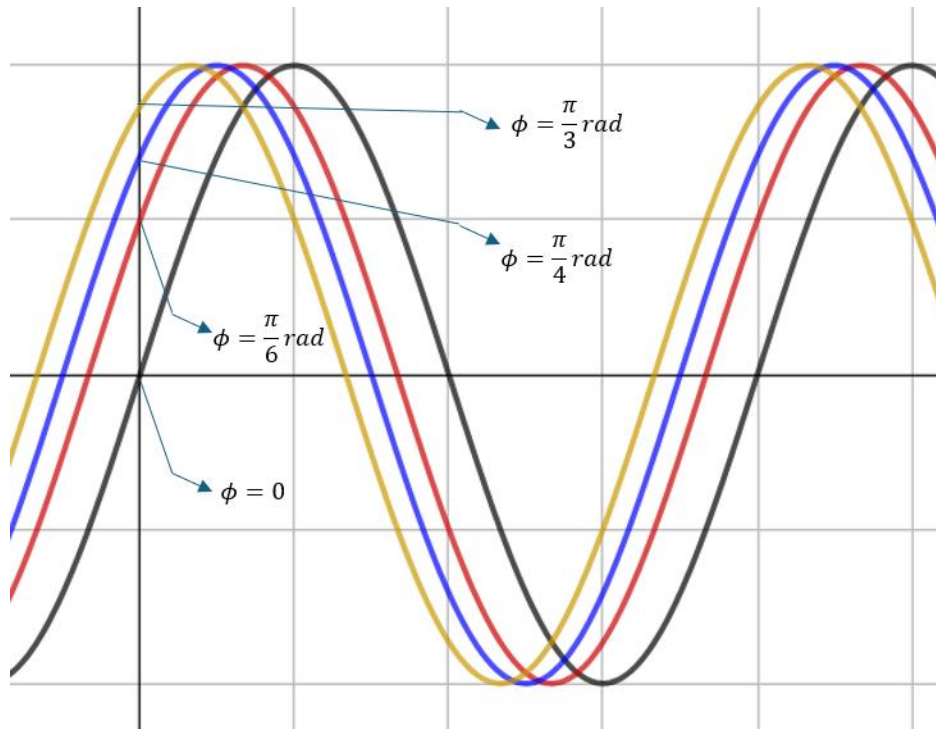
Figura 4 - Gráfico de uma curva senoidal representando a oscilação em uma corda, onde se destaca um pequeno elemento de matéria (oscilador i) que possui coordenada horizontal x_i correspondente à posição do oscilador i e coordenada vertical y_i que representa o deslocamento do oscilador i em relação à posição de equilíbrio.



Fonte: Autoria própria (2025)

A corda é formada por uma sucessão de pequenos elementos de matéria, cada um com comprimento infinitesimal dL e massa dm . Quando um pulso, ou uma sequência de pulsos harmônicos, se propaga ao longo da corda formando uma onda senoidal, cada um desses elementos passa a se comportar como um oscilador harmônico, oscilando com frequência angular ω e período T .

Figura 5 – Representação da mesma função seno para diferentes ângulos de fase ϕ



Fonte: autoria própria (2025)

O conjunto de osciladores está acoplado, isso significa que suas oscilações não são independentes. A principal diferença entre cada oscilador está na posição ao longo da corda e em uma fase temporal que depende da posição. Assim, cada oscilador está ligeiramente adiantado ou atrasado no tempo em relação aos seus vizinhos, de acordo com a propagação da onda. A fase garante a continuidade e a forma senoidal da onda ao longo da corda.

A posição de um oscilador i , pode ser descrita pela equação:

$$y_i(t) = y_{m\acute{a}x} \cos(\omega t_i) \quad (3)$$

Ou

$$y(x_i, t) = y_{m\acute{a}x} \cos(\omega t + \phi_{x_i}) \quad (4)$$

onde, $t_i = t + \Delta t_i$ e a fase ϕ_{x_i} estão determinadas pela posição horizontal de cada oscilador, assim podemos dizer que a fase $\phi_{x_i} = \omega \Delta t_i$, então, podemos escrever:

$$y(x_i, t) = y_{m\acute{a}x} \cos(\omega t + \omega \Delta t_i) \quad (5)$$

Vamos considerar esse intervalo de tempo Δt_i como sendo o tempo que o pulso de onda demorou para chegar nesse ponto x_i desde um ponto de referência x_0 , assim:

$$\Delta x_i = \pm v \Delta t_i \quad (6)$$

e portanto, para uma onda senoidal $v = \lambda/T$, desta forma teremos:

$$\begin{aligned}\Delta x_i &= \frac{\lambda}{T} \Delta t_i \\ \Delta t_i &= \frac{T}{\lambda} \Delta x_i\end{aligned}\tag{7}$$

Sabendo que $\omega = 2\pi/T$, temos:

$$\begin{aligned}\omega \Delta t_i &= \frac{2\pi}{T} \cdot \frac{T}{\lambda} \Delta x_i \\ \omega \Delta t_i &= \frac{2\pi}{\lambda} \Delta x_i\end{aligned}\tag{8}$$

então:

$$y(x_i, t) = y_{\text{máx}} \cos(\omega t \pm \frac{2\pi}{\lambda} \Delta x_i)\tag{9}$$

Se mudarmos a notação, de forma que $\Delta x_i \Rightarrow x$, podemos escrever:

$$y(x, t) = y_{\text{máx}} \cos(\frac{2\pi}{T} t \pm \frac{2\pi}{\lambda} x)\tag{10}$$

Ao escrevermos desta forma, a onda tem uma crista no ponto $x = 0, t = 0$. Se desejarmos que a onda tenha um vale no ponto $x = 0, t = 0$, usamos a função seno, ou seja:

$$y(x, t) = y_{\text{máx}} \text{sen}(\frac{2\pi}{T} t \pm \frac{2\pi}{\lambda} x)\tag{11}$$

Onde:

$$2\pi/T = \omega, \quad 2\pi/\lambda = k \text{ e lembrando que } v = \lambda/T = \omega/k.$$

Assim, podemos escrever:

$$y(x, t) = y_{\text{máx}} \text{sen}(\omega t \pm kx)$$

Fazendo a derivada segunda em relação a x , obtemos:

$$\begin{aligned}\frac{\partial y}{\partial x} &= \pm y_{\text{máx}} k \cos(\omega t \pm kx) \\ \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} &= -y_{\text{máx}} k^2 \text{sen}(\omega t \pm kx) \\ \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} &= -k^2 y(x, t) \quad (\text{i})\end{aligned}$$

E agora derivando duas vezes em relação a t , obtemos:

$$\begin{aligned}\frac{\partial y}{\partial t} &= y_{\text{máx}} \omega \cos(\omega t \pm kx) \\ \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} &= -y_{\text{máx}} \omega^2 \text{sen}(\omega t \pm kx) \\ \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} &= -\omega^2 y(x, t) \quad (\text{ii})\end{aligned}$$

Dividindo as duas equações (i) e (ii):

$$\frac{\frac{\partial^2 y}{\partial x^2}}{\frac{\partial^2 y}{\partial t^2}} = \frac{k^2}{\omega^2}$$

Sabendo que $v = \omega/k$, então:

$$\frac{k^2}{\omega^2} = \frac{1}{v^2}$$

E portanto:

$$\frac{\partial^2 y}{\partial x^2} = \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} \quad (\text{Equação diferencial da onda}) \quad (12)$$

Desta forma, mostramos que a Equação 11 satisfaz a equação diferencial da onda (Rodriguez, 2025).

2.4. A VELOCIDADE E A ACELERAÇÃO NO MHS

Derivando a Equação (2), obtemos a equação para a velocidade da partícula $v(t)$ em movimento harmônico simples:

$$\begin{aligned} v(t) &= \frac{dx(t)}{dt} = \frac{d}{dt} [x_{\text{máx}} \cos(\omega t + \phi_0)] \\ v(t) &= -\omega x_{\text{máx}} \text{sen}(\omega t + \phi_0) \end{aligned} \quad (13)$$

Ao derivarmos a expressão da velocidade (Equação 13), obtemos a equação que expressa a aceleração da partícula $a(t)$ em regime de MHS:

$$\begin{aligned} a(t) &= \frac{dv(t)}{dt} = \frac{d}{dt} [-\omega x_{\text{máx}} \text{sen}(\omega t + \phi_0)] \\ a(t) &= -\omega^2 x_{\text{máx}} \cos(\omega t + \phi_0) \end{aligned} \quad (14)$$

2.5. ACÚSTICA E ONDAS SONORAS

O som, numa definição geral, é uma onda mecânica longitudinal que se propaga em um meio. O foco deste trabalho é a propagação do som no ar, apesar das ondas sonoras poderem se propagar também em meios sólidos e líquidos.

As ondas sonoras mais simples são as ondas senoidais, as quais possuem valores definidos para a amplitude, a frequência e o comprimento de onda. Os seres humanos possuem um intervalo audível com frequências compreendidas entre 20 e 20 000 Hz, mas também utilizamos a palavra som no caso de frequências abaixo (infrassom) e acima desses limites (ultrassom).

As ondas acústicas propagam-se tridimensionalmente a partir da fonte, com amplitudes que variam conforme a direção e a distância entre o ouvinte e a fonte. Como visto na Seção 2.3, ela pode ser descrita por uma função de onda $s(x, t)$, que nos dá o deslocamento instantâneo s de uma partícula em um meio para determinada posição x no instante t . No caso da onda senoidal podemos escrever:

$$s(x, t) = s_{m\acute{a}x} \cos(kx - \omega t) \quad (15)$$

Lembrando que, em ondas longitudinais os deslocamentos são paralelos à direção de propagação da onda. A amplitude de deslocamento A , é o deslocamento máximo que a partícula sofre a partir da posição de equilíbrio.

2.5.1 Ondas sonoras como flutuação de pressão

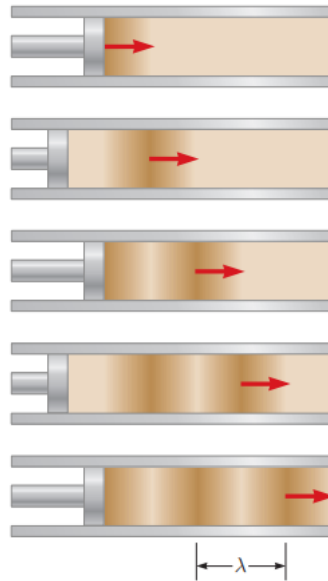
Para ilustrar a formação de uma onda sonora, consideraremos um tubo com gás e um pistão em uma das extremidades (Figura 6). Ao empurrar o pistão rapidamente, ocorre o surgimento de uma região de alta pressão que se propaga pelo tubo à medida que as moléculas adjacentes são empurradas e comprimem suas vizinhas. Ao puxar o pistão de volta, forma-se uma região de baixa pressão, que também se propaga no mesmo sentido. Este processo de compressão e rarefação gera uma onda periódica de pressão, que se propaga no mesmo sentido ao longo do meio.

Segundo Serway e Jewett (2011), a variação na pressão do gás ΔP medida a partir do valor de equilíbrio também é periódica, com o mesmo número de onda e frequência angular da Equação 15. Desta forma podemos escrever:

$$\Delta P = \Delta P_{m\acute{a}x} \sin(kx - \omega t) \quad (16)$$

onde $\Delta P_{m\acute{a}x}$ é a variação máxima do valor de equilíbrio da pressão.

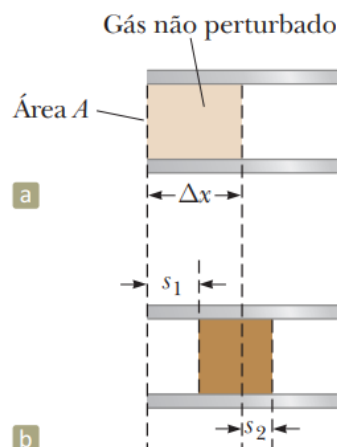
Figura 6 - Uma onda longitudinal se propagando através de um tubo cheio de gás.
A fonte da onda é um pistão oscilante, à esquerda.



Fonte: SERWAY; JEWETT, 2011, p. 56.

Observando um pequeno elemento de gás não perturbado (Figura 7a), o seu volume é dado por $V_i = A \Delta x$. Na Figura 7b temos esse elemento de gás após ser deslocado por uma onda sonora. As faces planas do disco percorrem distâncias diferentes s_1 e s_2 . Portanto, a mudança no volume do elemento na nova posição é $\Delta V = A \Delta s$.

Figura 7 - (a) Um elemento não perturbado de gás de comprimento Δx em um tubo de área de seção transversal A . (b) Quando uma onda sonora se propaga através do gás, o elemento é movido para uma nova posição e tem um comprimento diferente. Os parâmetros s_1 e s_2 descrevem os deslocamentos das extremidades do elemento de suas posições de equilíbrio.



Fonte: SERWAY; JEWETT, 2011, p. 57.

Partindo da definição de módulo volumétrico, podemos expressar a variação da pressão no elemento de gás em função da variação do seu volume:

$$\Delta P = -B \frac{\Delta V}{V_i}$$

Ao substituírmos o volume inicial e a variação no volume do elemento:

$$\Delta P = -B \frac{A \Delta s}{A \Delta x}$$

Deixemos a espessura Δx do disco atingir zero de modo que a razão $\Delta s/\Delta x$ se torne uma derivada parcial:

$$\Delta P = -B \frac{A \partial s}{A \partial x} \quad (17)$$

$$\Delta P = -B \frac{\partial}{\partial x} [s_{\text{máx}} \cos(kx - \omega t)]$$

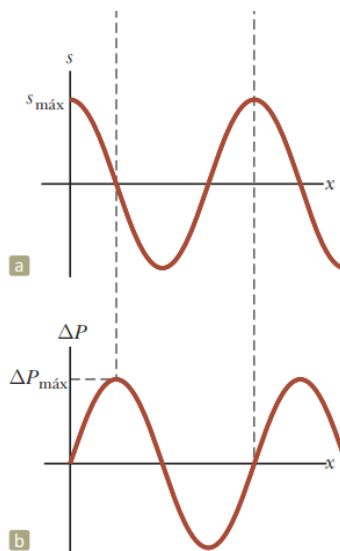
$$\Delta P = B s_{\text{máx}} k \sin(kx - \omega t) \quad (18)$$

Observe que um deslocamento descrito por uma função cosseno leva a uma pressão descrita por uma função seno e que, além disso, as amplitudes de deslocamento e pressão se relacionam por:

$$\Delta P_{\text{máx}} = B s_{\text{máx}} k \quad (19)$$

“Essa discussão mostra que uma onda sonora pode ser igualmente bem descrita tanto em termos de pressão quanto de deslocamento” (Serway; Jewett, 2011, p. 57).

Figura 8 - (a) A amplitude de deslocamento e (b) a amplitude de pressão pela posição de uma onda senoidal longitudinal.

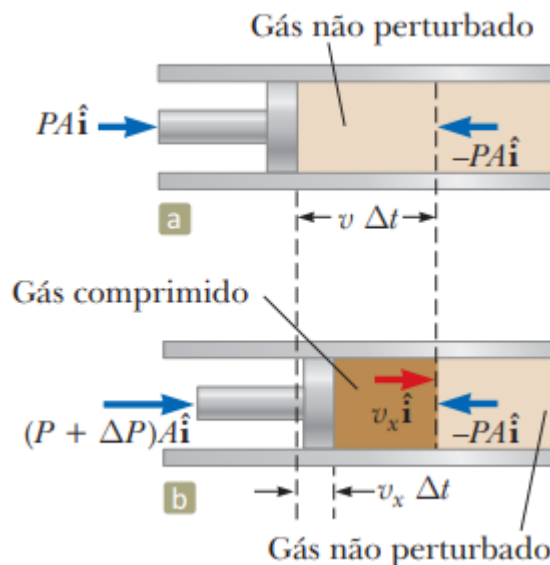


Fonte: Serway; Jewett, 2011, p. 57.

2.5.2 A velocidade do som

Expandiremos agora a discussão apresentada na seção anterior, para analisar a velocidade de propagação do som em um meio gasoso. Na Figura 9a, observamos um cilindro de gás em equilíbrio entre o pistão e uma região delimitada pela linha tracejada. Nesta situação, as forças exercidas sobre o elemento gasoso possuem mesma intensidade. O módulo dessas forças é PA , onde P representa a pressão do gás e A , a área da seção transversal do tubo.

Figura 9 - (a) Elemento não perturbado do gás de comprimento $v \Delta t$ em um tubo de área de seção transversal A . (b) Quando o pistão se move para dentro com velocidade constante v_x devido a uma força maior na esquerda, o elemento também se move com a mesma velocidade.



Fonte: Serway; Jewett, 2011, p. 58.

Após um intervalo de tempo Δt , o pistão desloca-se para a direita com velocidade constante v_x (Figura 9b), devido um aumento na força aplicada, que passa a ser $(P + \Delta P)A$. Ao final desse intervalo, todo o gás contido no elemento adquire a mesma velocidade v_x .

O comprimento inicial do elemento gasoso é definido como $v\Delta t$. Dessa forma, ao fim desse intervalo, a onda sonora terá percorrido apenas até a extremidade direita do cilindro, deixando o restante do gás inalterado, uma vez que a perturbação ainda não o atingiu (Serway e Jewett, 2011).

Em termos de momento, esse sistema é analisado como um modelo não isolado. O impulso gerado pelo pistão altera a dinâmica do elemento gasoso, permitindo assim a aplicação

do Teorema do Impulso-Momento, um princípio fundamental da mecânica que relaciona o impulso da força resultante \vec{I} e a variação do momento linear $\Delta\vec{p}$, para avaliar as variações envolvidas:

$$\vec{I} = \Delta\vec{p} \quad (20)$$

O impulso é fornecido pela força constante, devido ao aumento da pressão sobre o pistão, deste modo:

À esquerda da Equação 20, o impulso é fornecido pela força constante, ocasionada pelo aumento da pressão sobre o pistão:

$$\vec{I} = \sum \vec{F}\Delta t = (A\Delta P\Delta t)\hat{i}$$

Como:

$$\Delta P = -B \frac{\Delta V}{V_i}$$

$$\Delta P = -B \frac{(-v_x A \Delta t)}{v A \Delta t}$$

$$\Delta P = B \frac{v_x}{v}$$

Teremos:

$$\vec{I} = \left(AB \frac{v_x}{v} \Delta t \right) \hat{i} \quad (21)$$

À direita do Teorema do Impulso-Momento, a mudança que ocorre no momento do elemento de gás de massa m é a seguinte:

$$\Delta\vec{p} = m\Delta\vec{v}$$

$$\Delta\vec{p} = (\rho V_i)(v_x \hat{i} - 0)$$

$$\Delta\vec{p} = (\rho v v_x A \Delta t) \hat{i} \quad (22)$$

Substituindo as Equações 21 e 22 na equação 20

$$AB \frac{v_x}{v} \Delta t = \rho v v_x A \Delta t,$$

encontramos:

$$v = \sqrt{\frac{B}{\rho}} \quad (23)$$

É importante observar que a velocidade da onda sonora depende da propriedade elástica do meio (módulo volumétrico B) e de uma propriedade inercial do meio (densidade de volume ρ).² Isto é válido para todas as ondas mecânicas seguindo a expressão geral:

$$v = \sqrt{\frac{\text{propriedade elástica}}{\text{propriedade inercial}}}$$

2.5.3 Intensidade das ondas sonoras periódicas

Observando a Figura 9, imagine o pistão se movendo para trás e para frente em movimento harmônico simples de frequência angular ω . Vamos considerar também que o comprimento do elemento de gás se torna muito pequeno, de modo que o elemento inteiro se mova com a mesma velocidade do pistão. Então, podemos considerar o elemento como uma partícula onde o pistão está realizando trabalho. Deste modo, a taxa na qual o pistão está realizando um trabalho sobre o elemento em qualquer instante é dada por:

$$\text{Potência} = \vec{F} \cdot \vec{v}_x \quad (24)$$

onde a força \vec{F} sobre o elemento se relaciona com a pressão e a velocidade \vec{v}_x do elemento é a derivada da função de deslocamento (Equação 15). Portanto:

$$\begin{aligned} \text{Potência} &= [\Delta P(x, t)A]\hat{i} \cdot \frac{d}{dt}[s(x, t)\hat{i}] \\ \text{Potência} &= [\rho v \omega A s_{\text{máx}} \sin(kx - \omega t)] \left\{ \frac{d}{dt}[s_{\text{máx}} \cos(kx - \omega t)] \right\} \\ \text{Potência} &= [\rho v \omega A s_{\text{máx}} \sin(kx - \omega t)] [\omega s_{\text{máx}} \sin(kx - \omega t)] \\ \text{Potência} &= \rho v \omega^2 A s_{\text{máx}}^2 \sin^2(kx - \omega t) \end{aligned}$$

Agora podemos encontrar a potência média de tempo durante em um período de oscilação. Para qualquer valor de x dado, que podemos escolher para ser $x = 0$, o valor médio de $\sin^2(kx - \omega t)$ sobre um período T é:

$$\frac{1}{T} \int_0^T \sin^2(0 - \omega t) dt = \frac{1}{T} \int_0^T \sin^2(\omega t) dt = \frac{1}{T} \left(\frac{t}{2} + \frac{\sin 2\omega t}{2\omega} \right) \Big|_0^T = \frac{1}{2}$$

O que resulta em:

$$(\text{Potência})_{\text{média}} = \frac{1}{2} \rho v \omega^2 A s_{\text{máx}}^2 \quad (25)$$

² Para ondas transversais em uma corda, $v = \sqrt{T/\mu}$, onde a propriedade elástica do meio é a tensão nas cordas T e a propriedade inercial do meio é a densidade linear μ .

A definição de intensidade I de uma onda, ou a potência por unidade de área, como a taxa na qual a energia transportada pela onda se transfere através de uma unidade de área A perpendicular à direção de propagação da onda:

$$I \equiv \frac{(\text{Potência})_{\text{média}}}{A} \quad (26)$$

Assim, a intensidade fica:

$$I = \frac{1}{2} \rho v (\omega s_{\text{máx}})^2 \quad (27)$$

Essa expressão também pode ser escrita em termo de amplitude da pressão $\Delta P_{\text{máx}}$, fazendo uma pequena modificação na Equação 19:

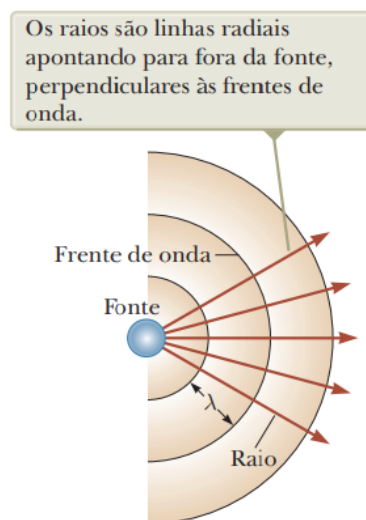
$$\Delta P_{\text{máx}} = B s_{\text{máx}} k = (\rho v^2) s_{\text{máx}} \left(\frac{\omega}{v} \right) = \rho v \omega s_{\text{máx}}$$

obtemos:

$$I = \frac{(\Delta P_{\text{máx}})^2}{2 \rho v} \quad (28)$$

Até o momento, as ondas sonoras analisadas estão limitadas a se moverem em uma dimensão ao longo do comprimento do tubo. Mas como dito anteriormente, as ondas sonoras podem se propagar tridimensionalmente. Considerando a situação ideal de uma fonte pontual emitindo ondas sonoras em todas as direções. Se o ar em torno da fonte for perfeitamente uniforme, a potência irradiada em todas as direções é a mesma, assim como a velocidade do som em todas as direções, criando, desta forma ondas esféricas.

Figura 10 - Ondas esféricas emitidas por uma fonte pontual. Os arcos circulares representam as frentes de ondas esféricas que são concêntricas com a fonte.



Fonte: Serway; Jewett, 2011, p. 60.

Cada arco presente na Figura 10, é chamado frente de onda e representa uma superfície sobre a qual a fase da onda é constante. A distância radial entre frentes de onda adjacentes, que têm a mesma fase, é o comprimento de onda λ da onda. As linhas radiais (raios) apontando para fora da fonte, representam a direção de propagação das ondas.

De acordo com Nussenzveig (2002), considerando a fonte sonora como a origem das coordenadas, o fator de propagação da fase de uma onda harmônica produzida pela fonte, deve ser da forma

$$\cos(kr - \omega t + \delta) \quad (29)$$

onde $r = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$ é a distância à fonte. A fase da onda, que é o argumento do cosseno, é constante, num dado instante, para $r = \text{constante}$, ou seja, as frentes de onda são esferas concêntricas.

A energia média por unidade de tempo emitida pela fonte deve ser constante para uma onda harmônica, de modo que o fluxo médio de energia por unidade de tempo que atravessa qualquer frente de onda deve ser constante, independente do raio r (Nussenzveig, 2002).

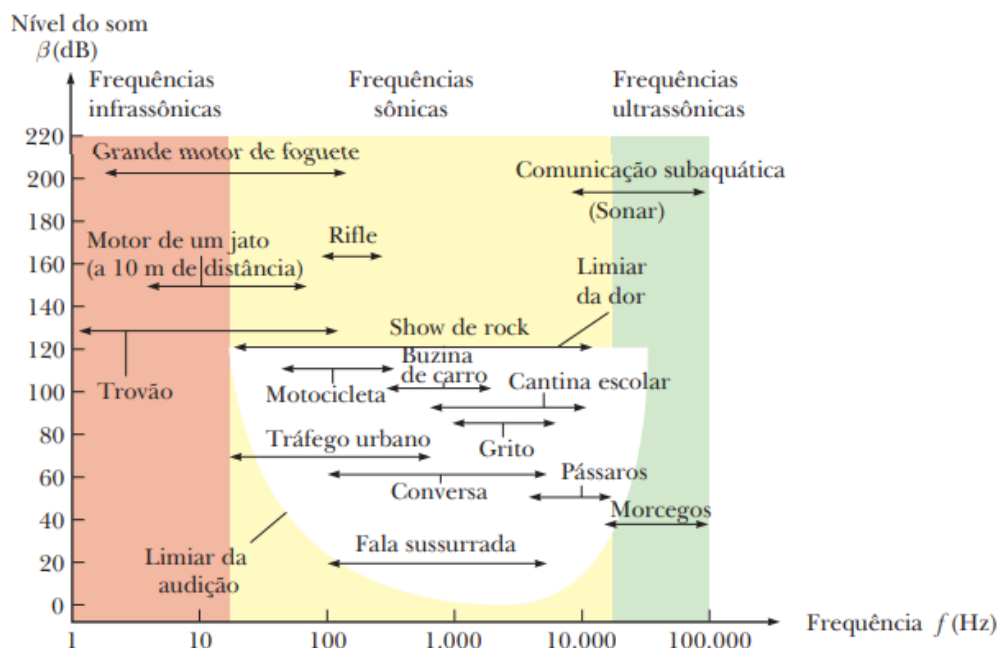
Porém, a área total de uma frente de onda cresce com o quadrado do raio. Por esse motivo, o fluxo médio por unidade de tempo (I) cai como $1/r^2$, de modo que a amplitude cai com $1/r$. Assim a função de onda que representa uma onda esférica harmônica progressiva deve ser da forma

$$\varphi(r, t) = \frac{a}{r} \cos(kr - \omega t + \delta) \quad (30)$$

A orelha humana consegue captar frequências de 1.000 Hz, correspondente a uma intensidade de cerca de $1,00 \times 10^{-12} \text{ W/m}^2$, que é conhecido como limiar da audição. O som mais alto que uma pessoa pode tolerar dentro desta frequência, corresponde a uma intensidade de aproximadamente $1,00 \text{ W/m}^2$, chamado de limiar da dor. Por possuir uma ampla gama de intensidades possíveis dentro dessa faixa, é conveniente usar uma escala logarítmica, na qual o nível do som β é definida pela equação:

$$\beta \equiv 10 \log \left(\frac{I}{I_0} \right) \quad (31)$$

Figura 11 - Intervalos aproximados de frequência e nível sonoro de várias fontes e da audição humana normal, mostrada pela área branca.



Fonte: De Reese, R. L. University Physics. Pacific Grove: Brooks/Cole, 2000, apud Serway; Jewett, 2011, P. 64.

A constante I_0 é o limiar da audição ($I_0 = 1,00 \times 10^{-12} \text{ W/m}^2$), e I é a intensidade de watts por metro quadrado que corresponde ao nível do som β , medido em decibéis (dB).

Ao discutirmos o nível sonoro estamos nos referindo à medida física da força de um som. Naturalmente não temos instrumentos em nossos corpos capazes de exibir valores de nossas reações aos estímulos, e calibrar essas reações comparando sons de referência, não é uma tarefa fácil.

Quando dizemos que a intensidade limite é 10^{-12} W/m^2 , o que corresponde a um nível de intensidade de 0 dB , na verdade estamos nos referindo a valores apenas para a frequência padrão de 1000 Hz . Na Figura 11, observamos, por exemplo, que, em uma frequência de 100 Hz , um som quase inaudível deve apresentar um nível sonoro próximo a 30 dB . Ou seja, o som de 100 Hz (30 dB) é percebido psicologicamente “igual”, em termos de volume, a um som de frequência 1000 Hz (0 dB), mas fisicamente eles não são iguais em nível sonoro ($30 \text{ dB} \neq 0 \text{ dB}$) (Serway; Jewett, 2011).

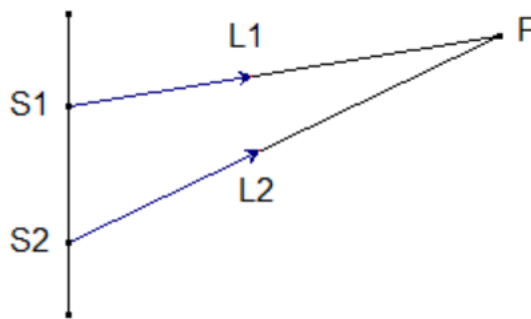
2.5.4 Interferência

As ondas sonoras, que são ondas longitudinais, podem sofrer interferência. Tome-mos como hipótese a interferência entre duas ondas sonoras idênticas que se propagam no mesmo sentido. Essa interferência pode ser produzida (Figura 12) quando duas fontes, S_1 e S_2 , emitem ondas sonoras que estão em fase e possuem o mesmo comprimento de onda λ .

Para que isso aconteça, consideremos que a distância até o ponto P seja muito maior que a distância entre as fontes, de modo que, ao chegarem ao ponto P , possamos supor que as ondas estejam aproximadamente paralelas entre si.

Se as ondas percorrerem a mesma distância para chegar no ponto P , estarão em fase nesse ponto, sofrendo dessa forma uma interferência totalmente construtiva.

Figura 12 - A interferência no ponto P depende da diferença de percurso.



Fonte: HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2012, p. 157.

Mas observando a Figura 12, vemos que o caminho L_2 é maior que o caminho L_1 , o que pode resultar em ondas fora de fase no ponto P . O que significa que a diferença de fase ϕ no ponto P depende da diferença de percurso ($\Delta L = |L_2 - L_1|$) (Halliday; Resnick; Walker, 2012).

Podemos relacionar a diferença de fase ϕ , com a diferença de percurso ΔL , levando em conta que uma diferença de fase de 2π rad equivale a um comprimento de onda e portanto podemos escrever:

$$\frac{\phi}{2\pi} = \frac{\Delta L}{\lambda} \quad (32)$$

resultando em:

$$\phi = \frac{\Delta L}{\lambda} 2\pi \quad (33)$$

Como a interferência totalmente construtiva acontece se ϕ é zero, 2π ou qualquer múltiplo inteiro de 2π . Essa condição pode ser escrita na forma:

$$\phi = m(2\pi), \text{ para } m = 0, 1, 2, 3, \dots \text{ (Interferência totalmente construtiva)} \quad (34)$$

O que de acordo com a Equação 32, acontece quando:

$$\frac{\Delta L}{\lambda} = 0, 1, 2, \dots \quad \text{(Interferência totalmente construtiva)} \quad (35)$$

Por outro lado, a interferência totalmente destrutiva acontece se ϕ é um múltiplo ímpar de π , e, portanto, temos:

$$\phi = (2m + 1)\pi, \text{ para } m = 0, 1, 2, 3, \dots \text{ (Interferência totalmente destrutiva)} \quad (36)$$

Que de acordo com a Equação 32, isso acontece quando:

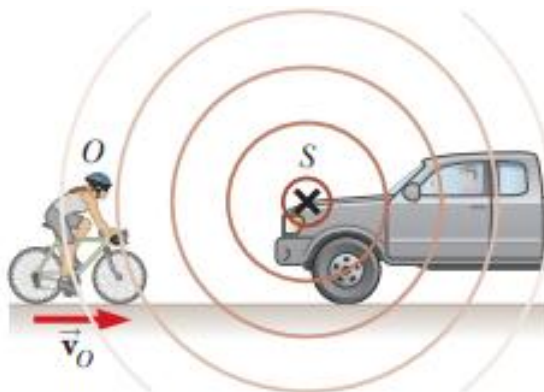
$$\frac{\Delta L}{\lambda} = 0,5, 1,5, 2,5, \dots \text{ (Interferência totalmente destrutiva)} \quad (37)$$

2.6. EFEITO DOOPLER

Existem situações em que o movimento relativo entre uma fonte sonora e um ouvinte produz uma diferença entre a frequência do som percebido pelo ouvinte e a frequência do som produzido pela fonte. Esse fenômeno foi explicado pela primeira vez pelo cientista austríaco Christian Doppler no século XIX, sendo conhecido como efeito Doopler.

Sejam, v_s e v_o as componentes da velocidade do som e da velocidade do ouvinte, respectivamente, em relação ao meio ao longo da reta que os une. Considerando positivo o sentido do ouvinte O para a fonte sonora S. a velocidade do som v em relação ao meio será sempre considerada positiva (Young; Freedman, 2008).

Figura 13 - Um observador O (ciclista) se move com velocidade v_o em direção a uma fonte pontual estacionária S. O observador ouve uma frequência f' que é maior que a da fonte.



Fonte: Serway; Jewett, 2011, p. 65.

Considerando a frequência da fonte f (Figura 13), o comprimento de onda λ , e a velocidade do som v . Se o observador O e a fonte S estiverem em repouso um em relação ao

outro, ele detectaria frentes de onda com uma frequência f . Quando o observador se move em direção à fonte, a velocidade das ondas em relação ao observador é $v' = v + v_o$, mas o comprimento de onda mantêm-se inalterado. Desta forma, usando a equação $v = \lambda f$, podemos dizer que a frequência ouvida pelo observador f' aumenta e é dada por:

$$f' = \frac{v'}{\lambda} = \frac{v + v_o}{\lambda}$$

Como $\lambda = v/f$, podemos expressar f' como:

$$f' = \left(\frac{v+v_o}{v} \right) f \quad (\text{O observador se deslocando em direção à fonte}) \quad (36)$$

Se o movimento do observador for de afastamento da fonte, a velocidade da onda em relação ao observador é $v' = v - v_o$, e a frequência ouvida pelo observador será diminuída e dada por:

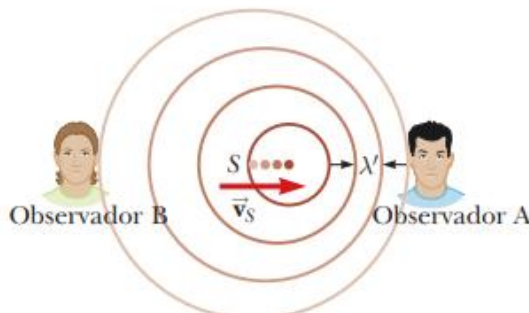
$$f' = \left(\frac{v-v_o}{v} \right) f \quad (\text{O observador se afastando da fonte}). \quad (38)$$

Ou, de forma simplificada:

$$f' = \left(\frac{v \pm v_o}{v} \right) f \quad (39)$$

Agora, vamos supor dois observadores A e B e entre eles, uma fonte sonora S em movimento da esquerda para a direita (Figura 14). Observamos que, cada nova onda é emitida a partir de uma posição à direita da origem da onda anterior. Assim, as frentes de onda ouvidas pelo observador A serão mais próximas do que seriam se a fonte não estivesse se movendo e, portanto, o comprimento de onda λ' medido pelo observador A é menor que o comprimento de onda da fonte (Serway; Jewett, 2011).

Figura 14 - Fonte S se movendo com velocidade v_s em direção ao observador A e se afastando do observador B .



Fonte: Serway; Jewett, 2011, p. 65.

Durante cada vibração, que persiste em um intervalo de tempo T (período), a fonte se move uma distância $v_s T = v_s / f$ e o comprimento de onda diminui. Então o comprimento de onda λ' observado é:

$$\lambda' = \lambda - \Delta\lambda = \lambda - \frac{v_s}{f}$$

Como $\lambda = v/f$, a frequência f' ouvida pelo observador A é:

$$f' = \frac{v}{\lambda'} = \frac{v}{\lambda - (v_s/f)}$$

$$f' = \frac{v}{\left(\frac{v}{f}\right) - \left(\frac{v_s}{f}\right)}$$

$$f' = \left(\frac{v}{v - v_s}\right) f \quad (\text{Fonte se movendo em direção ao observador}) \quad (40)$$

No caso do observador B , a fonte se afasta e, portanto, ele mede um comprimento de onda λ' que é maior que λ ouvindo assim uma frequência menor:

$$f' = \left(\frac{v}{v + v_s}\right) f \quad (\text{Fonte se afastando do observador}) \quad (41)$$

Ou, de forma simplificada:

$$f' = \left(\frac{v}{v \pm v_o}\right) f \quad (42)$$

Combinando as equações (38) e (41), obtemos a seguinte relação geral para o efeito Doppler:

$$f' = \left(\frac{v \pm v_o}{v \pm v_s}\right) f \quad (43)$$

Na equação, os sinais atribuídos a v_o (velocidade do observador) e v_s (velocidade da fonte sonora) são determinados pelo sentido do movimento. Quando o observador ou a fonte se aproximam um do outro, os valores são positivos, resultando em um aumento da frequência percebida. Por outro lado, se estiverem se afastando, os valores são negativos, levando a uma redução na frequência observada.

3 REFERENCIAL DE ENSINO-APRENDIZAGEM

A base teórica desempenha um papel muito importante no trabalho docente, independentemente da área de ensino. Ela oferece os fundamentos para que a prática pedagógica seja desenvolvida de forma consciente e produtiva, garantindo que o professor compreenda os princípios que orientam suas ações em sala de aula. De acordo com Freire (2001, p. 259) “não existe ensinar sem aprender.”

O fato, porém, de que ensinar ensina o ensinante a ensinar um certo conteúdo não deve significar, de modo algum, que o ensinante se aventure a ensinar sem competência para fazê-lo. Não o autoriza a ensinar o que não sabe. (Freire, 2012, p. 216).

Infelizmente, muitos professores em formação têm pouco ou nenhum contato com conceitos e metodologias de ensino. Geralmente, se dá muita importância aos conteúdos específicos da disciplina, deixando os aspectos pedagógicos em segundo plano. Essa abordagem pode levar à adoção de práticas educacionais baseadas em suposições, comprometendo assim a qualidade do ensino.

O ponto dominante na literatura atual aponta para uma crescente reflexão sobre qual seria o papel do professor na sociedade moderna, com uma produção de quadros teóricos que definem um novo modelo para sua formação, no qual o saber sobre o ensino deixa de ser visto pela lógica da racionalidade técnica e incorpora a dimensão do conhecimento construído e assumido responsavelmente a partir de uma prática crítico-reflexiva. (Freitas; Villani, 2021, p. 259).

A velocidade e a quantidade de informações, muitas vezes de qualidade duvidosa, nos levam a seguinte reflexão: “como evoluir para tornar-se relevante e conseguir que todos aprendam de forma competente a conhecer, a construir seus projetos de vida e a conviver com os demais” (Morán, 2015, p.15). Com efeito, essas exigências implicam em novas aprendizagens, no desenvolvimento de novas competências, em alteração de concepções, ou seja, na construção de um novo sentido ao fazer docente, imbuído das dimensões éticas e política (Bassalobre, 2013).

3.1. A APRENDIZAGEM BASEADA EM PROBLEMAS

A Aprendizagem Baseada em Problemas (Problem Based Learning) é uma metodologia de aprendizagem que se utiliza de situações-problema reais e cotidianas, podendo também, de acordo com o contexto, utilizar-se de situações fictícias, proporcionando um aprendizado com significado, ou seja, o estudante começa a perceber onde ele pode aplicar a Física nas mais diversas situações do cotidiano e desta forma, o que ele estuda começa a fazer sentido.

Os problemas utilizados na ABP, não são os tradicionalmente utilizados em exames (vestibulares, ENEM), na verdade, são situações estruturadas e com significado onde, em grupos, os estudantes são direcionados a investigar, pesquisar informações, participar ativamente de discussões e compartilhar os resultados obtidos a fim de solucionar o problema proposto.

A ABP é uma metodologia que vem demonstrando bons resultados em diversas áreas do conhecimento, promovendo o protagonismo do aluno e estimulando o desenvolvimento de competências necessárias, como o pensamento crítico, a pesquisa e o trabalho colaborativo.

A pesquisa sobre o PBL mostra uma indubitável apreciação positiva dos alunos e docentes. Ex-alunos também o avaliam positivamente e mesmo aqueles que lhe fazem críticas preferem-no ao modelo convencional de ensino (aulas expositivas). (Ribeiro, 2008, p. 29)

A ABP coloca o estudante no centro do processo de aprendizagem, desafiando-o a solucionar problemas reais, tirando-o da zona de conforto, que demandam, colaboração e aplicação prática dos conceitos teóricos. Tendo em vista isso, observamos uma acerta semelhança entre a ABP e as aulas de Física experimental, em termos de tirar o estudante da zona de conforto, a necessidade de discussão entre os alunos e a aplicação prática de conceitos. Mas a ABP vai mais além, pois leva o estudante a situações que necessitam de um pensamento mais geral entrando até em outras áreas do conhecimento.

Por este motivo, essa metodologia apresenta fortes características interdisciplinares, pois ao se utilizar de problemas abertos do cotidiano, várias possibilidades de pesquisa podem surgir, mas existem muitas adaptações deste método podendo ser utilizado em uma única disciplina, sem que haja abordagem multidisciplinar (Kelson; Distlehorst, 2000).

Para obter sucesso com esse método se faz necessário a elaboração de um bom problema ou situação-problema, com objetivos claros e, sempre que for possível, utilizar situações do cotidiano.

Mal escrito, o problema resulta em desmotivação, leitura pobre e resultados insatisfatórios. Bem escrito, puxa a corrente de significados conceituais e a espiral do aprendizado para cima, ampliando horizontes, abrindo portas interdisciplinares e despertando desejos por outros aprendizados relacionados. (Lima; Linhares, 2008, p. 198)

“E essa aprendizagem, que constitui o verdadeiro objetivo da situação-problema, se dá ao vencer obstáculos na realização da tarefa” (Meirieu, 1998, p. 192). Desta forma é possível perceber que a elaboração de uma situação-problema deve estar direcionada na promoção do estudante dentro da chamada, “Zona de Desenvolvimento Proximal”, que

...é a distância entre o nível de desenvolvimento real, que se costuma determinar através da solução independente de problemas, e o nível de desenvolvimento potencial,

determinado através da solução de problemas sob a orientação de um adulto ou em colaboração com companheiros mais capazes. (Vygotsky, 2007, p. 97)

As mudanças curriculares ocorridas nos últimos anos, na área de ciências da natureza, enfatizam a importância de promover uma educação científica integrada ao cotidiano dos alunos, destacando a necessidade de relacionar os conteúdos com a história e a filosofia da ciência. A Base Nacional Curricular Comum (BNCC) propõe que

...a superação da fragmentação radicalmente disciplinar do conhecimento, o estímulo à sua aplicação na vida real, a importância do contexto para dar sentido ao que se aprende e o protagonismo do estudante em sua aprendizagem e na construção de seu projeto de vida (Brasil, 2017, p. 15)

Em oposição aos problemas tradicionais utilizados em exames, a ABP surgiu na década de 60 como uma resposta às críticas dirigidas ao modelo comum de ensino, especialmente nas áreas de ciências médicas. A sua utilização de forma organizada surgiu na escola de medicina de McMaster, no Canadá.

Além do Canadá, universidades em diversas partes do mundo começaram a utilizar essa metodologia, como a universidade de Maastricht, na Holanda, e a Universidade de Newcastle, na Austrália. Mas, apesar de a ABP ter surgido para a formação em medicina, esta tem se ampliado para diversas áreas do conhecimento, como administração e engenharias. O uso dessa estratégia tem também se estendido com o intuito de promover a aprendizagem de alunos do Ensino Médio. A ABP é uma proposta pedagógica que consiste no ensino centrado no estudante onde a ideia é resolver problemas reais ou simulados.

3.2. SEQUÊNCIA DIDÁTICA

As sequências didáticas (SD) são ferramentas de enorme importância para o planejamento e execução de práticas pedagógicas. Segundo Pais (2016, p. 102) “uma sequência didática é formada por um certo número de aulas planejadas e analisadas previamente com a finalidade de observar situações de aprendizagem, envolvendo conceitos previstos na pesquisa didática”. As SD são “um conjunto de atividades ordenadas, estruturadas e articuladas para a realização de certos objetivos educacionais, que têm um princípio e um fim conhecidos tanto pelos professores como pelos alunos” (Zabala, 1998, p. 18).

As SD permitem ao professor organizar de forma clara e lógica o conteúdo e as estratégias pedagógicas que serão utilizadas lembrando que, podem ser adaptadas às necessidades específicas do estudante.

As sequências podem indicar a função que tem cada uma das atividades na construção do conhecimento ou da aprendizagem de diferentes conteúdos e, portanto, avaliar a pertinência ou não de cada uma delas, a falta de outras ou a ênfase que devemos lhes atribuir. (Zabala, 1998, p. 20)

No processo educacional, avaliação e planejamento são inseparáveis na atuação docente, pois tudo o que acontece nas aulas deve ter toda uma análise das intenções, previsões, expectativas e avaliação dos resultados (Zabala, 1998). Além disso, a avaliação no contexto das SD desempenha um papel formativo, orientando tanto o professor quanto os estudantes no reconhecimento de avanços e desafios ao longo do percurso. Outro aspecto importante das sequências é o potencial para promover aprendizagens com significado, conforme Ausubel (2003). A organização progressiva dos conteúdos facilita a conexão entre os conhecimentos prévios dos estudantes e os novos conceitos, garantindo uma assimilação mais profunda e duradoura.

A SD torna-se mais dinâmica com a utilização de metodologias ativas, como a ABP que incentiva o protagonismo do estudante no processo de aprendizagem aumentando o engajamento e a motivação do discente. Por fim, é importante destacar que a elaboração da sequência exige do professor não apenas domínio dos conteúdos, mas também competências pedagógicas e didáticas para selecionar, articular e avaliar as atividades de forma coerente. Desta forma, a formação docente contínua e o acesso a referenciais teóricos são fundamentais para que as SD sejam aplicadas de forma satisfatória, contribuindo para a melhoria do ensino e para o desenvolvimento integral dos alunos.

3.3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Executamos uma revisão de trabalhos relacionados ao tema, proposta metodológica e teoria de aprendizagem utilizada. O estudo baseou-se em uma revisão bibliográfica que incluiu artigos de periódicos especializados em educação, teses de mestrado e materiais provenientes de programas de pós-graduação. A seguir serão listados em ordem alfabética os principais trabalhos que consideramos pertinentes ao tema abordado nesta proposta.

Ausubel (2003), no livro *Aquisição e Retenção de Conhecimentos* faz uma abordagem cognitivista da educação, destacando a importância do conhecimento prévio, da organização do conteúdo e da atuação ativa do aluno. Esta obra possibilita uma reflexão crítica sobre a prática pedagógica tradicional e contribui para a criação de ambientes de aprendizagem mais efetivos.

Freitas e Villani (2021), no artigo *Formação de Professores de Ciências: um desafio sem limites*, analisam as dificuldades que envolvem a formação de professores de ciências,

oferecendo uma visão crítica e inspiradora sobre como formar professores capazes de refletir sobre sua prática e transformar seu fazer pedagógico.

Na Carta aos Professores, publicada na revista *Estudos Avançados*, Freire (2001) convida educadores a se engajarem de corpo e alma no processo de ensinar e aprender, reconhecendo o papel transformador da educação. Em tempos de superficialidade e desumanização do ensino, Freire reafirma a centralidade do diálogo, da escuta, da experiência e da esperança como fundamentos da prática pedagógica.

Lima e Linhares (2008), baseando-se em autores reconhecidos na literatura internacional da Aprendizagem Baseada em Problemas, discutem no artigo *Escrever Bons Problemas*, a importância do planejamento, da clareza pedagógica e a sensibilidade ética e contextual na elaboração de problemas que estimulem a curiosidade, a aprendizagem autônoma e a interdisciplinaridade. Apesar de focar na área médica, esse texto é útil, também, para o uso em currículos na área de ciências da natureza, desde que os princípios sejam adaptados aos contextos específicos.

No artigo, *Aprendizagem Baseada em Problemas (ABP) na Educação em Engenharia*, publicado na *Revista de Ensino de Engenharia*, Ribeiro (2008) trata de uma análise teórica e prática da aplicação da metodologia ABP no ensino de engenharia. O autor esclarece o que é ABP e reforça as suas principais características, além disso descreve os principais modelos, características vantagens e desvantagens deste método. Ribeiro também destaca que mesmo em aplicações parciais, a ABP se mostra uma alternativa bastante interessante para integrar conteúdos e desenvolver competências.

Zabala (1998), no seu livro, *A Prática Educativa: como ensinar*, propõe uma reflexão profunda sobre o papel do professor e os elementos que compõem o processo de ensino-aprendizagem, com a defesa de uma prática pedagógica intencional, consciente e contextualizada. No capítulo 3, o autor faz uma análise das sequências didáticas e das sequências de conteúdo.

4. IMPLEMENTAÇÃO DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA

Este capítulo traz a implementação da sequência didática (SD), que foi aplicada em uma Escola de Referência em Ensino Médio, localizada no município de Bezerros, Pernambuco, no terceiro bimestre de 2024, em uma turma do 2º ano do Ensino Médio integral, totalizando 40 estudantes, separados em cinco grupos que variaram entre 6 e 8 alunos. As aulas têm duração de 50 minutos e foram utilizadas três aulas semanais, sendo uma de Formação Geral Básica – Física e duas de Itinerários Formativos num período de duas semanas, totalizando, desta forma, seis aulas.

Esta sequência didática (SD) tem como principal objetivo trabalhar os conceitos introdutórios de acústica, utilizando a metodologia de Aprendizagem Baseada em Problemas (ABP). Essa abordagem busca promover um aprendizado mais ativo e significativo, estimulando os alunos a resolverem problemas reais relacionados ao tema, enquanto desenvolvem habilidades como o pensamento crítico e a colaboração.

A proposta foi planejada de forma a ser acessível a professores, independentemente do nível de infraestrutura disponível na escola. Para a sua implementação, são necessários apenas materiais básicos e de fácil acesso, amplamente utilizados nas atividades escolares cotidianas. Dessa forma, a sequência pode ser aplicada em diversos ambientes de ensino, garantindo flexibilidade e adaptabilidade às condições de cada instituição. Com essa abordagem, pretende-se facilitar a compreensão dos princípios fundamentais da acústica e despertar o interesse dos estudantes pela ciência, ao mesmo tempo em que se valoriza a simplicidade e a praticidade dos recursos pedagógicos.

4.1. DESENVOLVIMENTO DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA

A seguir, temos uma descrição do desenvolvimento e dos procedimentos realizados durante as aulas. Além disso, serão descritos os recursos utilizados e as estratégias pedagógicas adotadas. Os planos de aula completos estão disponíveis no Apêndice D.

4.1.1. Aula 1

A aula teve início com a aplicação de um pequeno questionário (ANEXO 1) sendo solicitado aos alunos que respondessem de forma clara e objetiva, informando-os que, a função dessa atividade, é identificar as concepções e os conhecimentos prévios que eles possuíam sobre determinados conceitos. Após essa explicação, iniciamos a aplicação do questionário, sendo concluída por todos os estudantes em cerca de 15 minutos.

Finalizado o questionário, se deu início à segunda parte da aula. Utilizando slides como recurso visual, começamos a apresentação sobre os conceitos de Aprendizagem Baseada em Problemas – ABP. Durante a explanação, procuramos contextualizar a metodologia, destacando sua importância para o desenvolvimento de habilidades como o pensamento crítico, a resolução de problemas e o trabalho em equipe. É interessante que nessa fase o professor apresente algum exemplo de outro tema, para ilustrar como a ABP funciona na prática, tendo o cuidado de escolher um exemplo que demonstre bem que, ao tentar resolver um problema real, os alunos vão descobrindo o conhecimento necessário ao longo da investigação. Para ilustrar, foi utilizado o vídeo “TÊNIA NO CÉREBRO (Neurocisticercose) - Dr. House | Diagnóstico #1³” que é um recorte da série Dr. House onde ele e sua equipe têm várias hipóteses para um problema com um paciente (SHALIN, 2022). Também foi apresentado uma reportagem do Diário de Pernambuco ⁴onde se destaca uma iniciativa do Porto Digital, o projeto “Juventude Code: Clube de programação para jovens em situação de vulnerabilidade.

Essa introdução buscou não apenas esclarecer o funcionamento da ABP, mas engajar os alunos para que compreendessem a relevância de aplicar a metodologia no processo de aprendizagem. A abordagem ocorreu de forma dinâmica, permitindo que dúvidas fossem levantadas e discutidas ao longo da explicação.

Durante a atividade, os alunos foram incentivados a refletir sobre as seguintes questões:

- Na sua opinião, como é o trabalho de um cientista? O que um cientista faz?
- A maneira como você estuda ciências se assemelha ao modo como os cientistas realmente trabalham?

Nos dez últimos minutos de aula, os alunos se organizaram em grupos entre 6 a 8 integrantes. Essa formação de grupos visa promover a colaboração e facilitar a troca de ideias durante o processo de resolução do problema. O objetivo é que cada grupo possa trabalhar de forma coletiva, compartilhando responsabilidades, dividindo tarefas e aplicando os conceitos discutidos em sala. Além disso, enfatizou-se a importância do trabalho em equipe, incentivando a participação ativa de todos os membros em cada etapa do projeto, desde a pesquisa até a proposição de soluções.

Após a organização dos grupos, realizamos a leitura do problema e discutimos rapidamente a metodologia a ser utilizada na resolução do problema.

³ https://www.youtube.com/watch?v=835o9_v_xpk.

⁴ <https://www.diariodepernambuco.com.br/noticia/vidaurbana/2021/11/iniciativa-do-porto-digital-para-jovens-em-vulnerabilidade-social-conc.html>

Problema: Melhorando a Propagação do Som da Campanha nos Diversos Ambientes da Escola

A escola onde você estuda possui grandes áreas abertas e pátios amplos, proporcionando um ambiente ideal para atividades ao ar livre. No entanto, há uma reclamação frequente: o som da campanha que sinaliza a troca de horários não é ouvido com clareza, especialmente nas salas mais afastadas. O som parece se dissipar e não alcança todos os espaços da escola.

Como parte de uma equipe técnica responsável por resolver esse problema, seu papel será investigar o que está causando essa dificuldade de propagação do som. Utilizando os conhecimentos gerais de acústica, vocês precisarão realizar pesquisas sobre o tema para propor soluções fundamentadas, que garantam que o som da campanha seja ouvido em todos os espaços da escola. E no caso de uma impossibilidade, técnica ou financeira de resolver o problema, isso também deverá ser demonstrado.

Este problema é o ponto central da sequência didática, e os estudantes têm a tarefa de investigar as causas da má acústica e sugerir soluções. Após a apresentação do problema, o aprofundamento teórico e a investigação detalhada serão deixados sob a responsabilidade dos estudantes, incentivando-os a buscar soluções de forma colaborativa e autônoma.

4.1.2. Aula 2

Realizamos o início da atividade entregando a missão aos grupos: medir a distância entre a campanha e os diversos pontos da escola, analisando em quais locais o som se tornava mais ou menos nítido e identificando possíveis variáveis que causavam essa distorção. Cada grupo recebeu materiais básicos para a tarefa, como trenas, papel e lápis, além de instruções para dividir as tarefas entre os integrantes a fim de otimizar o tempo. Por exemplo, um aluno poderia medir, outro anotar os dados e outro supervisionar a precisão das medições. Durante a atividade, a campanha foi acionada diversas vezes para que os alunos pudessem realizar suas observações e medições. Ficou evidente que alguns grupos, por iniciativa própria, realizaram pesquisas nas salas mais afastadas, perguntando aos colegas sobre a percepção do som nesses ambientes. Um dos grupos observou o movimento das árvores para identificar a direção predominante do vento, pois suspeitaram que ele poderia influenciar a propagação do som. Em seguida, foram orientados a realizar a transposição dos dados colhidos para um mapa da escola (Figura 16), entregue a cada grupo, extraído do Software Google Earth®, onde devem destacar elementos que interferem na acústica, como a presença de árvores, paredes e outros obstáculos. Além de demarcarem os pontos críticos e a localização da campanha.

Figura 15 - Estudantes fazendo a pesquisa de campo.



Fonte: autoria própria (2024).

Os alunos tiveram liberdade para realizar as medições e demarcações no mapa da forma que considerassem mais adequada, podendo escolher os métodos e estratégias que melhor se ajustassem às necessidades de cada grupo. Contudo, destacou-se a importância de organizarem as informações de maneira clara e objetiva, de forma que outras pessoas pudessem compreender facilmente os resultados e análises realizadas.

Figura 16 - Imagem da escola



Fonte: Imagem extraída de Software Google Earth® em 19 de out. 2024.

Nos últimos 20 minutos da aula, os grupos reuniram-se em sala para um momento de reflexão coletiva sobre as percepções obtidas em relação ao problema existente na escola. Esse momento, teve o objetivo de promover uma troca de informações rápida, mas significativa, entre os grupos. Após as discussões iniciais e os relatos rápidos de cada grupo, foi proposto que refletissem sobre os próximos passos a serem seguidos em suas pesquisas, destacando que o foco principal deveria ser a busca por soluções para o problema proposto. Ressaltando que seria fundamental aprofundar os conhecimentos sobre a física do som, compreendendo os aspectos teóricos que embasam o tema. Como tarefa de casa, sugeriu-se que cada estudante, individualmente, pesquisasse sobre tópicos específicos, como: "O que é o som?", "Como ocorre sua propagação?" E "Quais fatores influenciam a propagação do som em ambientes abertos?", mas que não ficassem apenas nessas perguntas e buscassem outras informações além das citadas, incentivando-os a serem curiosos e criativos, permitindo explorar diversas situações e exemplos que percebam ser relevantes e que possuam alguma relação com o tema. Durante a discussão, a maioria dos alunos concordou que a localização atual da campainha (destacada em vermelho na Figura 17) não favorece uma distribuição uniforme do som pelo ambiente escolar. O grupo A, que analisou a direção predominante do vento, observou que o som era mais nítido nos blocos onde o vento soprava a favor (Bloco III – Figura 17), enquanto, nos blocos contrários ao vento (Bloco I – Figura 17), o som era percebido como mais fraco. Já o grupo B, que investigou as salas de aula relatou que, nas salas mais afastadas de cada bloco, os estudantes só conseguiam ouvir o som da campainha quando o ambiente estava completamente silencioso, e mesmo assim com baixa intensidade. Além disso, destacaram que o ruído dos ventiladores dificultava ainda mais a percepção do som. Esses relatos enriqueceram a análise do problema, fornecendo elementos importantes para a próxima etapa do projeto. As descobertas realizadas deveriam ser registradas em um formulário criado no Google Formulários (ANEXO 2), disponibilizado para os alunos e compartilhadas com os colegas na aula seguinte, como parte da troca de informações entre os grupos.

Figura 17 - Imagem da escola com a localização dos blocos I, II, III e da campainha (em vermelho).



Fonte: Imagem extraída de Software Google Earth® em 19 de out. 2024.

4.1.3. Aula 3

Retomamos as atividades com os mesmos grupos formados na aula anterior, pedindo que cada integrante compartilhasse com os colegas as pesquisas realizadas individualmente. Para essa etapa, reservamos aproximadamente 15 minutos. Durante esse tempo, os alunos foram incentivados a discutir sobre as descobertas, relacionando-as ao problema apresentado e anotando todas as sugestões. Em seguida, solicitamos que um membro de cada grupo apresentasse os resultados obtidos. Enquanto isso, registramos no quadro os pontos principais levantados por cada equipe, destacando também possíveis equívocos ou lacunas no entendimento do tema, e orientamos sobre os próximos passos a serem seguidos na pesquisa.

Quadro 1 – Análise qualitativa dos sons produzidos por alguns materiais.

MATERIAL	Batendo com a régua	Caindo na mesa
Isopor	<input type="checkbox"/> Alto (agudo)/ <input type="checkbox"/> Baixo (grave)	<input type="checkbox"/> Alto (agudo)/ <input type="checkbox"/> Baixo (grave)
	<input type="checkbox"/> Forte/ <input type="checkbox"/> Fraco	<input type="checkbox"/> Forte/ <input type="checkbox"/> Fraco
Chapa metálica	<input type="checkbox"/> Alto (agudo)/ <input type="checkbox"/> Baixo (grave)	<input type="checkbox"/> Alto (agudo)/ <input type="checkbox"/> Baixo (grave)
	<input type="checkbox"/> Forte/ <input type="checkbox"/> Fraco	<input type="checkbox"/> Forte/ <input type="checkbox"/> Fraco
Tábua de madeira	<input type="checkbox"/> Alto (agudo)/ <input type="checkbox"/> Baixo (grave)	<input type="checkbox"/> Alto (agudo)/ <input type="checkbox"/> Baixo (grave)
	<input type="checkbox"/> Forte/ <input type="checkbox"/> Fraco	<input type="checkbox"/> Forte/ <input type="checkbox"/> Fraco
Espuma	<input type="checkbox"/> Alto (agudo)/ <input type="checkbox"/> Baixo (grave)	<input type="checkbox"/> Alto (agudo)/ <input type="checkbox"/> Baixo (grave)
	<input type="checkbox"/> Forte/ <input type="checkbox"/> Fraco	<input type="checkbox"/> Forte/ <input type="checkbox"/> Fraco

Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

Na etapa seguinte, utilizamos alguns materiais (como uma caixa de isopor, uma chapa de metal, uma tábua de madeira e um pedaço de espuma) para observar como o som se propaga nesses diferentes objetos. Inicialmente, pedimos que um representante de cada grupo deixasse cair, um de cada vez, os materiais sobre a mesa, enquanto os demais integrantes, de olhos fechados, tentavam identificar qual objeto havia sido solto. Essa atividade teve como objetivo, treinar o ouvido para o experimento a seguir. Após essa atividade inicial, distribuimos fichas (Quadro 1) para que fossem preenchidas pelos estudantes. Os grupos deveriam, primeiro, bater com uma régua em cada material, observar o som produzido e marcar as alternativas adequadas, escolhendo entre alto (agudo) ou baixo (grave) e entre forte ou fraco. Em seguida, pedimos que soltassem novamente os objetos, desta vez de uma mesma altura, e repetissem as observações.

Depois de preencherem as fichas, pedimos que realizassem mais uma vez a soltura dos objetos, mas agora encostando a orelha na mesa para perceber como o som era transmitido. Essa experiência causou surpresa em muitos alunos devido à diferença na percepção do som nessa condição. Devido à diversidade de respostas obtidas, recomendamos que os estudantes pesquisassem mais sobre as qualidades do som para aprofundarmos a discussão na próxima aula. Também sugerimos que comesçassem a esboçar uma proposta de solução para o problema apresentado, que deveria ser compartilhada na aula seguinte.

Para encerrar, solicitamos uma avaliação do trabalho realizado até o momento, bem como uma autoavaliação da equipe. Nesse momento, surgiu uma breve discussão em que ficou evidente que alguns integrantes não estavam contribuindo com a mesma dedicação que os demais. Reforçamos que o sucesso do trabalho dependia do esforço coletivo e sugerimos que cada

grupo resolvesse suas questões internas, dividindo melhor as tarefas e registrando tudo para relatar posteriormente.

Antes de finalizar a aula, informamos que seria enviado pelo grupo de WhatsApp da turma o vídeo "*Como fazer um mapa conceitual*" (Lucid Software Português, 2018), para que fosse assistido em casa e utilizado como referência na aula seguinte.

4.1.4. Aula 4

Organizamos os grupos e solicitamos que cada um fizesse um breve relato sobre suas pesquisas relacionadas às qualidades do som. Muitos alunos demonstraram surpresa ao descobrir que a altura do som (se é alto ou baixo) está diretamente ligada à frequência. Notamos que ainda havia certa confusão entre os conceitos, então lançamos a pergunta: "O que é frequência sonora?" A maioria ficou em silêncio, e apenas dois alunos, de grupos diferentes, arriscaram uma resposta, sugerindo algo como: "São as repetições que as ondas fazem."

Para esclarecer o conceito, utilizamos o aplicativo *Gerador de Som de Frequência*, desenvolvido pela LuxDelux (Figura 18), instalado no celular. Com ele, apresentamos um som contínuo em diferentes frequências, variando de 0 Hz a 22.000 Hz. Essa atividade despertou grande interesse dos alunos, que interagiram ativamente, fazendo observações como a relação entre a frequência e a percepção de sons agudos ou graves, inclusive associando essas características às vozes de alguns professores.

Na sequência, pedimos que cada grupo apresentasse rapidamente possíveis soluções para o problema da má distribuição do som produzido pela campainha na escola. Algumas equipes propuseram soluções simples, como mudar a campainha de lugar, enquanto outras sugeriram espalhar mais campainhas pelo ambiente escolar ou instalar caixas acústicas para amplificar o som. Duas equipes informaram não ter ainda, uma opinião que pudesse ser apresentada para a solução. Reforçamos que todas as ideias eram válidas, mas sugerimos que considerassem aspectos ligados à física do som, mesmo que as soluções fossem desafiadoras. Além disso, reiteramos que seria muito importante todas as equipes apresentarem algo. Assim, quem não apresentou deveria apresentar pelo menos o caminho que estava seguindo na pesquisa, para podermos traçar possíveis soluções e não haver atrasos no prazo estabelecido. Indicamos que deveriam levar em conta o fato de o som ser uma onda mecânica, e que os fenômenos ondulatórios se aplicam a ele. Também sugerimos observar elementos como as estruturas construídas na escola, a presença de árvores, a direção predominante do vento e qual seria a melhor localização para a campainha, caso decidissem movê-la.

Figura 18 - Interface do aplicativo Gerador de Som de Frequência

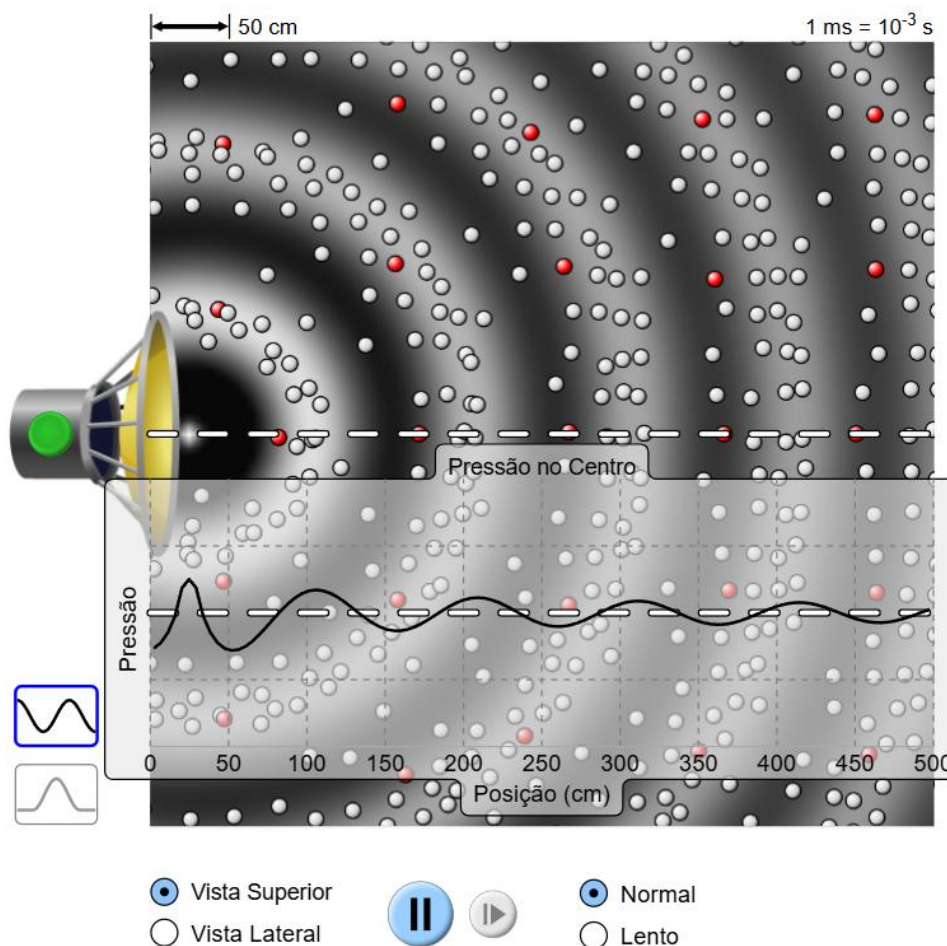


Fonte: Imagem extraída do aplicativo Gerador de Som e Frequência (2024).

Após as discussões, realizamos uma simulação utilizando o projetor multimídia e o portal *Interactive Simulations PhET*,⁵ mostramos situações que permitiam visualizar, simultaneamente, a onda sonora sendo gerada, as partículas se movimentando e o gráfico que acompanhava o comportamento dessas ondas (Figura 19).

⁵ https://phet.colorado.edu/sims/html/waves-intro/latest/waves-intro_all.html?locale=pt_BR

Figura 19 - Interface do PhET, simulando ondas sonoras.



Fonte: Interactive Simulations PhET, 2024.

Para concluir a aula, solicitamos que cada grupo iniciasse a construção de um mapa conceitual, tendo como conceito central as ondas sonoras e que, para a confecção do mesmo utilizassem as informações sugeridas no vídeo "*Como fazer um mapa conceitual*"⁶ proposto na aula anterior. Nos minutos finais, questionamos os alunos sobre o andamento das atividades, se estavam gostando da experiência e o que poderia ser melhorado na aplicação da metodologia. Recebemos respostas bastante positivas da maioria da turma, embora alguns alunos tenham mencionado que seria importante mais dedicação por parte de colegas menos comprometidos.

4.1.5. Aula 5

Iniciamos a aula dando a chance para os grupos que ainda não haviam apresentado suas ideias de compartilhar suas propostas com a turma. Um dos grupos trouxe uma ideia criativa: construir uma estrutura tubular que se espalharia por toda a escola, com o objetivo de

⁶ <https://www.youtube.com/watch?v=F54SWctP7-E>

melhorar e uniformizar a propagação do som da campainha. Durante a apresentação, pedimos que eles pensassem em quais materiais poderiam ser usados nesse projeto. Além disso, sugerimos que considerassem fatores como a durabilidade dos materiais, os custos, e até a facilidade de instalação. Essa reflexão gerou uma discussão interessante, em que outros grupos também contribuíram com ideias para aperfeiçoar a proposta.

Figura 20 - Confeção e apresentação de mapas conceituais



Fonte: Colagem autoria própria (2024).

Depois disso, pedimos para todos os grupos finalizarem seus mapas conceituais e se prepararem para apresentá-los à turma (Figura 20). Durante essa etapa, percebemos que muitos alunos estavam confundindo mapa conceitual com mapa mental. Por isso, explicamos novamente a diferença entre eles, destacando que o mapa conceitual deve organizar as informações de forma hierárquica, conectando os conceitos com clareza e lógica. Fizemos várias intervenções para orientar os grupos, ajudando-os a organizar melhor o que haviam aprendido.

O resultado foi muito positivo. Durante as apresentações, ficou claro que os alunos conseguiram resumir e organizar bem o que pesquisaram. Eles mostraram que estavam entendendo melhor os conceitos e as conexões entre eles. Alguns relataram que o processo de montar o mapa conceitual foi uma experiência muito útil, pois os ajudou a enxergar relações entre os temas que antes não haviam percebido. Isso reforçou o aprendizado e trouxe novas ideias para a solução do problema.

Essa etapa do trabalho foi muito importante, pois ajudou os alunos a consolidarem o que aprenderam. Finalizamos essa parte parabenizando os grupos pelo esforço e incentivando-os a continuarem se dedicando ao projeto, lembrando que essas habilidades serão muito úteis para os próximos desafios.

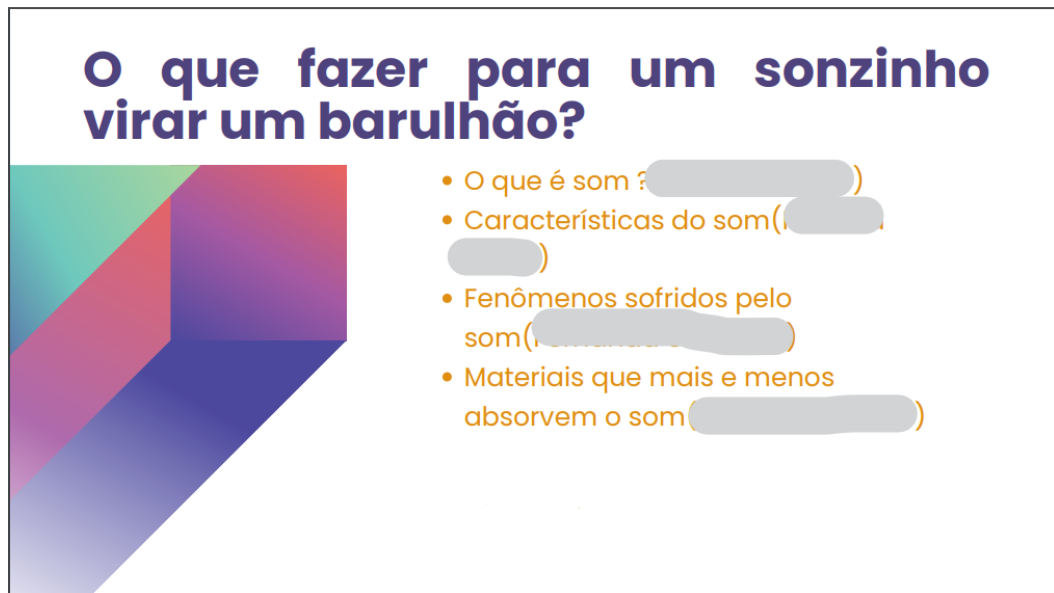
4.1.6. Aula 6

Chegamos à nossa última aula, na qual cada equipe apresentou suas propostas para melhorar a propagação do som da sirene da escola. Cada grupo teve cerca de 5 minutos para a apresentação, começando com uma breve explicação do problema identificado. Os alunos puderam escolher a forma de apresentação que preferissem, como slides, maquetes, cartazes ou outros recursos que considerassem adequados para expor suas ideias.

4.1.6.1. Equipe 1

A equipe 1 iniciou a apresentação com uma breve contextualização do problema, utilizando slides para expor suas ideias. Eles explicaram como organizaram a pesquisa, destacando que houve uma divisão de tarefas entre os integrantes para facilitar o trabalho (Figura 21).

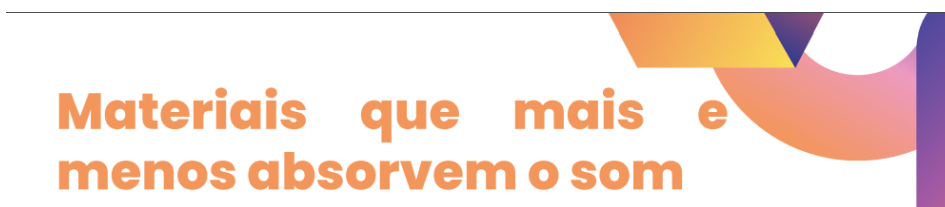
Figura 21 - Distribuição das pesquisas a serem realizadas (nomes suprimidos).



Fonte: Extraído do slide produzidos pelos estudantes (2024).

Primeiro, abordaram o conceito de som, explicando suas principais características, como **frequência**, **timbre** e **intensidade**. Depois, discutiram os fenômenos relacionados ao som, incluindo **reflexão**, **refração**, **difração**, **interferência**, **absorção** e o **efeito Doppler**. Para complementar, mostraram materiais que absorvem o som em diferentes níveis (Figuras 22 e 23), comparando suas propriedades.

Figura 22 - Materiais que mais absorvem o som.



Materiais que mais e menos absorvem o som


Materiais que mais absorvem o som (bons isolantes acústicos):

- Espuma acústica (poliuretano): Amplamente usada em estúdios, tem alta capacidade de absorção sonora devido à sua estrutura porosa.
- Lã de rocha ou lã de vidro: Muito utilizadas em paredes e tetos, absorvem frequências médias e altas.
- Tapetes e carpetes: Especialmente os mais grossos, ajudam a reduzir eco e reverberação.
- Painéis de madeira perfurada: Quando combinados com materiais absorventes, são ótimos para controle de som.
- Cortiça: Usada para pisos e revestimentos de paredes, é eficiente em absorver vibrações sonoras.
- Cortinas acústicas: Feitas de materiais densos e pesados, como veludo, reduzem a transmissão do som.

Fonte: Extraído do slide produzidos pelos estudantes (2024).

Na parte final, o grupo apresentou a solução proposta (Figura 24). Eles descreveram uma estrutura em formato cônico, construída com materiais que refletem melhor o som. O objetivo dessa estrutura é direcionar a propagação sonora, evitando a dispersão e garantindo maior alcance e qualidade.

Figura 23 - Materiais que menos absorvem o som.



Materiais que mais e menos absorvem o som

Materiais que menos absorvem o som (refletem ou transmitem som):

- Vidro: Suas superfícies lisas refletem grande parte do som, criando reverberações.
- Concreto: Por ser denso e não poroso, reflete ondas sonoras em vez de absorvê-las.
- Metal: Materiais como aço ou alumínio também refletem som e conduzem vibrações.
- Cerâmica: Usada em pisos e revestimentos, é rígida e reflete o som facilmente.
- Plásticos duros: Como os usados em móveis ou painéis, têm baixa absorção sonora.
- Paredes de gesso liso: Quando não combinadas com materiais porosos, refletem som.

Fonte: Extraído do slide produzidos pelos estudantes (2024).

Figura 24 - Apresentação da solução para o problema - equipe 1.



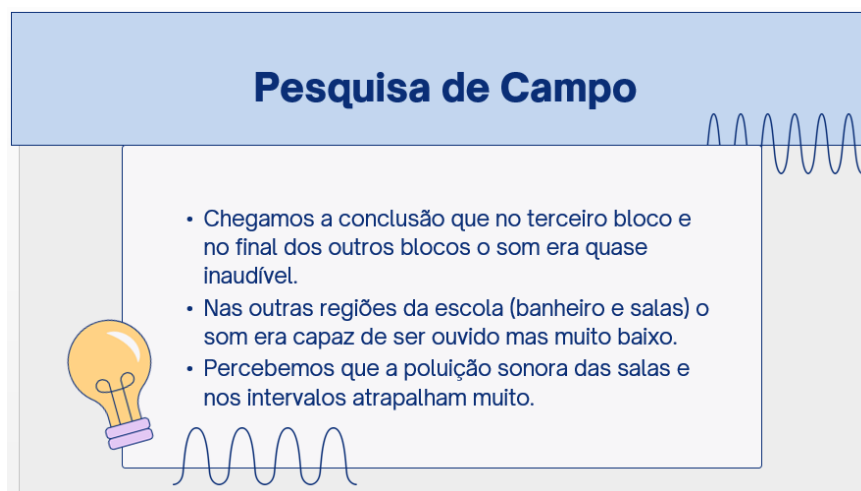
Fonte: autoria própria (2024).

De maneira geral, a apresentação foi bastante clara e objetiva, com informações organizadas e fundamentadas. Ficou explícito o esforço conjunto da equipe na realização das pesquisas, o que resultou em uma proposta coerente para solucionar o problema.

4.1.6.2. Equipe 2

O grupo 2 começou com a leitura do problema para a turma e em seguida, utilizando slides, apresentou algumas observações (Figura 25) da pesquisa de campo realizada na escola.

Figura 25 - Observações feitas durante a pesquisa de campo - equipe 2



Fonte: equipe 2 (2024).

A partir desse momento, a equipe começou a apresentar duas propostas para solucionar o problema. A primeira ideia foi substituir o gongo da campainha por outro feito de titânio ou berílio, argumentando que esses materiais, segundo eles, produzem um som mais agudo (Figura 26). Questionamos se haviam pesquisado as propriedades desses materiais, mas ficou evidente que não realizaram tal investigação. Diante disso, solicitamos que toda a turma realizasse uma pesquisa aprofundada sobre as características e a viabilidade do uso desses materiais para esta finalidade.

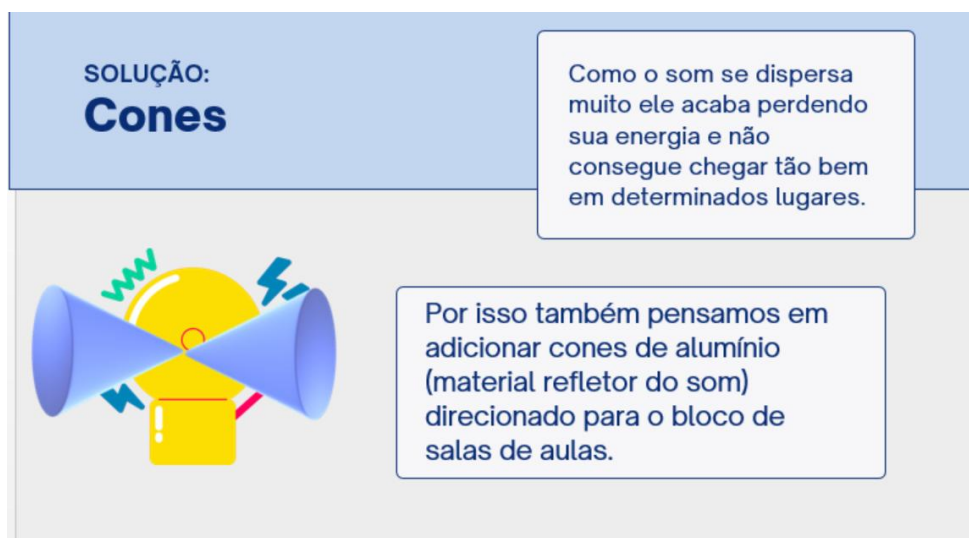
Figura 26 - Solução 1



Fonte: equipe 2 (2024).

A segunda solução apresentada foi a inclusão de dois cones de metal (Figura 27), com o objetivo de direcionar o som para os blocos de salas, na tentativa de reduzir sua dispersão. Durante a apresentação, um dos estudantes levantou um questionamento: seria possível evitar completamente a dispersão do som? A equipe teve dificuldades em responder, o que levou a um breve debate entre todos os presentes. Com a nossa mediação, discutimos os aspectos físicos do comportamento do som e concluímos que, embora seja possível reduzir a dispersão por meio de direcionamento, é praticamente impossível eliminá-la completamente.

Figura 27 - Solução 2



Fonte: equipe 2 (2024).

4.1.6.3. Equipe 3

Com uma explanação totalmente oral, esta equipe fez a sua apresentação respondendo perguntas elaboradas por eles:

O que impede a propagação do som da campainha?

Alguns materiais absorvem ondas sonoras, atuando como abafadores, no nosso caso por exemplo tem as portas de madeira e as paredes, as janelas e o barulho interno (se referindo ao barulho dentro da sala de aula).

Em quais áreas o som da campainha é mais fraco? Qual o motivo?

Nas salas do 1º ano D e C, 2º ano B, C e D, 3º ano D e biblioteca. Porque as salas são mais distantes da campainha, além de existirem muitas paredes até chegar nessas salas, cortando assim as ondas sonoras.

Dentro das salas de aula, o que dificulta escutar o som da campainha?

O ruído dos alunos, as portas de madeira, as paredes, as janelas, os ventiladores (informação verbal).¹

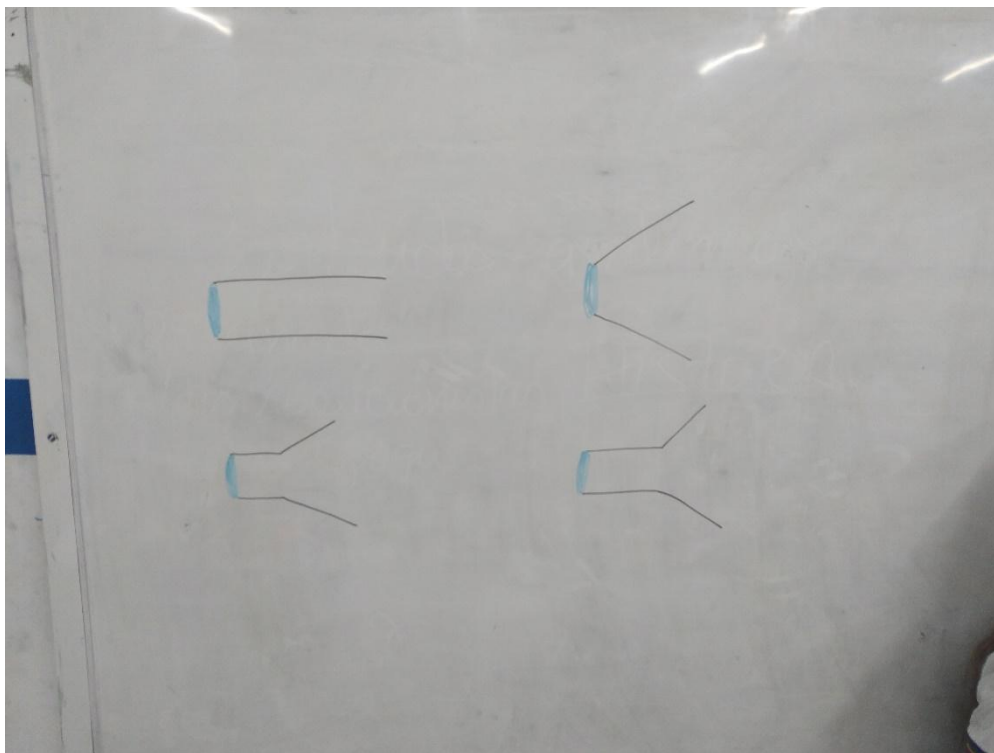
Em seguida fizeram a leitura do problema e da solução escolhida pelo grupo:

Pensamos em fazer um cone em volta da campainha, para o som se propagar de forma que chegue em todas as salas de aula. O cone seria feito com papelão e coberto com papel alumínio onde a velocidade do som é maior (5 150 m/s) do que apenas no ar (340 m/s) ou fazer

esse cone todo em alumínio, o que teria um gasto maior, mas a propagação seria melhor. Produzindo um som com uma frequência maior e melhoria na amplitude (informação verbal).⁷

Na sequência, utilizando desenhos feitos no quadro (Figura 28), explicaram os testes realizados com diversos formatos pensados para colocar na campainha, chegando à conclusão que o formato cônico seria o melhor a ser utilizado. Para isso utilizaram cartolina e um aplicativo que simula o toque da campainha, construíram as estruturas e testaram qual produzia um som de percepção mais intensa.

Figura 28 - Desenhos das estruturas a serem colocadas na campainha.



Fonte: equipe 3 (2024).

Apesar de alguns erros conceituais, a equipe demonstrou um bom domínio do conteúdo e soube apresentar suas ideias com clareza. Embora a explicação tenha sido, em sua maior parte, realizada de forma oral, os integrantes conseguiram expor as informações de maneira organizada e coerente, o que facilitou o entendimento dos colegas.

Seria interessante se a equipe tivesse utilizado outros recursos visuais, como slides, diagramas ou até mesmo materiais físicos, para enriquecer ainda mais a apresentação. Isso poderia ter ajudado a ilustrar melhor alguns conceitos e evitar confusões que surgiram durante a explanação.

⁷ Fala dos estudantes da equipe 3 durante a apresentação do trabalho, EREM Bezerras, em 06 de nov. 2024.

4.1.6.4. Equipe 4

Com uma apresentação simples e com explicação apenas oral, o grupo iniciou lendo o problema e, como solução, propôs a utilização de uma rede de tubulações, que eles denominaram “dutos acústicos”. Essa estrutura seria fixada na parte superior dos corredores e se estenderia por toda a escola (Figura 29). Segundo a equipe, o objetivo desses dutos seria distribuir o som de maneira mais uniforme em todos os ambientes escolares, garantindo que fosse ouvido claramente em todos os blocos.

Figura 29 - Explicação sobre "dutos acústicos".



Fonte: autoria própria (2024).

O grupo sugeriu que o material ideal para construir esses dutos fosse madeira, justificando que as caixas de ressonância dos violões, feitas de madeira, amplificam o som de forma eficiente. No entanto, devido a questões econômicas e de durabilidade, propuseram que os dutos também poderiam ser fabricados em materiais como ABS (acrilonitrila butadieno estireno) ou polipropileno, que são mais acessíveis e resistentes.

Embora a proposta tenha sido criativa, observamos uma falta de aprofundamento na pesquisa sobre as propriedades acústicas dos materiais mencionados. Questionamos, por exemplo, se os materiais escolhidos apresentariam diferenças significativas na propagação do som ou se atenderiam às necessidades da escola em termos de custo-benefício e facilidade de instalação. Apesar disso, a ideia trouxe um conceito interessante de engenharia acústica, que merece ser explorado e refinado.

Para complementar, seria interessante ter apresentado maquetes ou desenhos facilitando a visualização do projeto. Mesmo com as limitações apresentadas, a solução proposta demonstrou criatividade e esforço por parte da equipe.

4.1.6.5. Equipe 5

A última apresentação foi realizada com o auxílio de cartazes e uma maquete, destacando o empenho da equipe em trazer recursos visuais que ajudassem na compreensão da proposta (Figura 30). O grupo iniciou explicando, de forma breve, como conduziu a pesquisa de campo. Durante as entrevistas realizadas com funcionários mais antigos da escola, descobriram que, quando a campainha foi instalada, o número de blocos de salas era bem menor. Com o crescimento da escola ao longo dos anos, o local da campainha permaneceu o mesmo, o que passou a dificultar a propagação do som para os pontos mais afastados.

Figura 30 - Apresentação da equipe 5.

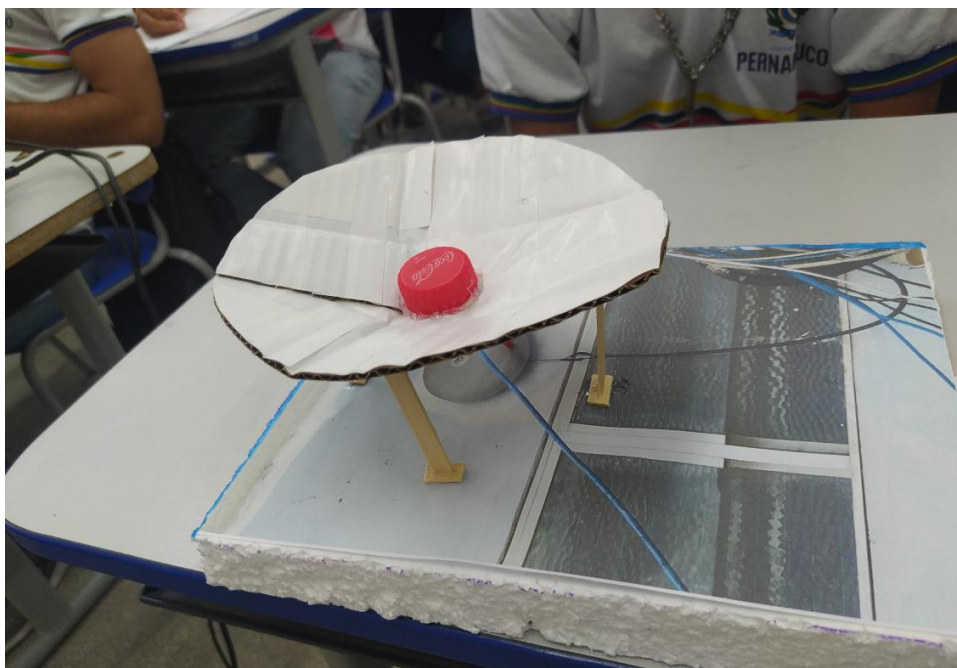


Fonte: autoria própria (2024).

Em seguida, a equipe apresentou um resumo de conceitos fundamentais relacionados ao problema, como frequência, comprimento de onda, amplitude e as propriedades de reflexão e absorção do som. Esses conceitos foram conectados à solução proposta, demonstrando

um bom entendimento teórico. Após essa explanação, a equipe introduziu a maquete criada, que se destacou pela criatividade e pela conexão direta com o problema.

Figura 31 - Maquete apresentada a estrutura a ser montada no local onde está a campainha.



Fonte: autoria própria (2024).

A maquete foi construída com papelão e palitos sobre uma fotografia da campainha atual, representando a estrutura de um espelho côncavo (Figura 31) feito de material metálico. Baseando-se nos conceitos de óptica, a equipe sugeriu que a campainha fosse reposicionada no ponto equivalente ao foco do espelho côncavo. Segundo eles, essa configuração concentraria as ondas sonoras, permitindo que elas se propagassem de forma mais direcionada, alcançando as áreas mais distantes da escola.

A proposta foi considerada criativa e bem fundamentada nos conceitos estudados. O esforço em aplicar conhecimentos de física em uma solução real foi evidente, e a ideia trouxe uma abordagem interessante para o problema.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados incluirão uma análise completa, começando pelo questionário diagnóstico, no qual serão apresentadas as questões e as respostas fornecidas pelos alunos. Em seguida, serão detalhados os resultados do questionário final, acompanhados de gráficos que ilustram a evolução e o desempenho dos alunos ao longo da sequência didática. Também serão discutidas as principais tendências observadas, as mudanças no nível de compreensão dos alunos e os aspectos que indicam o impacto das estratégias adotadas no processo de ensino-aprendizagem.

5.1 QUESTIONÁRIO DIAGNÓSTICO

Os primeiros resultados foram extraídos da análise das respostas do questionário diagnóstico (Apêndice A). Como foi utilizado questões subjetivas, analisamos as questões por grupos de respostas com alguma semelhança.

Questão 1) O que é o som?

Tabela 1 – Grupo de respostas semelhantes da questão 1

Alunos	O que é o som?
A1	Conjunto de barulhos
A2	Ondas sonoras (o que escutamos e o que não escutamos também)
A3	O som é uma vibração
A4	É um tipo de onda mecânica, pois precisa de um meio para se propagar
A5	São ondas invisíveis que saem de seres ou objetos

Fonte: Elaborada pelo autor (2024)

As respostas fornecidas pelos estudantes refletem diferentes níveis de entendimento sobre o tema, enraizados em suas vivências. Contudo, há espaço para aprofundar essas percepções, explorando até que ponto o conhecimento cotidiano se aproxima ou diverge do científico, identificando suas potencialidades e limitações. Essa análise é essencial para orientar estratégias pedagógicas que ampliem e conectem os conceitos prévios dos alunos a uma compreensão mais fundamentada e sistemática.

As respostas do grupo A1 reflete uma concepção cotidiana e limitada sobre o som, associando-o a ruídos ou incômodos. Embora essa visão seja comum, ela não explora a natureza física ou científica do fenômeno, demonstrando uma compreensão superficial do tema. Isso pode ser atribuído à falta de contato prévio com explicações mais aprofundadas sobre o conceito

de som, o que é esperado em um questionário diagnóstico. Essa atividade inicial serve justamente para revelar que os alunos, em geral, baseiam seu entendimento no cotidiano, destacando a necessidade de ampliar e sistematizar esses conhecimentos ao longo das aulas.

Já as respostas do grupo A2 demonstram um conhecimento um pouco mais técnico, mas ainda apresentando indícios de conhecimentos da sua vivência, reconhecendo o som como uma onda sonora e incluindo tanto frequências audíveis quanto as inaudíveis. No entanto carece de maior detalhamento sobre as características do som, como frequência, amplitude ou propagação. Apesar disso é um bom ponto de partida para discutir conceitos mais avançados.

O grupo A3 apresenta uma resposta correta, mas algo superficial. Reconhecer o som como vibração demonstra um entendimento básico e fundamental do tema. No entanto, a resposta não esclarece como essas vibrações se transformam em ondas sonoras ou como são percebidas pelos nossos ouvidos. Isso indica uma compreensão inicial do conceito, que ainda carece de maior aprofundamento e conexão com os aspectos físicos.

As respostas do grupo A4 são mais precisas, demonstrando um entendimento mais avançado sobre o tema. Os alunos reconhecem que o som é uma onda mecânica e destacam sua dependência de um meio material para se propagar. Contudo, a explicação poderia ser enriquecida com exemplos ou descrições mais detalhadas sobre o processo de propagação. Esse aprofundamento será abordado ao longo das aulas, conforme o desenvolvimento da sequência didática.

Os alunos do grupo A5 apresentam respostas que combinam uma concepção científica com elementos mais intuitivos, baseados principalmente em suas vivências cotidianas. Embora seja correto afirmar que o som é invisível e gerado por objetos ou seres, a explicação se mostra incompleta e um pouco imprecisa, pois não aborda características físicas do som ou o conceito de ondas mecânicas. Essa lacuna reflete a necessidade de aprofundar o conhecimento durante as aulas, para que os alunos compreendam plenamente os aspectos científicos envolvidos.

Esses resultados reforçam a importância de conectar os conhecimentos prévios dos alunos às explicações científicas, utilizando suas percepções como ponto de partida para ampliar e sistematizar o entendimento sobre o som. A sequência didática proposta vem para abordar as lacunas identificadas, explorando conceitos físicos como amplitude, frequência, propagação e interação com o meio. Assim, é possível promover uma aprendizagem significativa e desenvolver uma visão mais integrada e científica do som.

Assim, os alunos se familiarizarão com os processos que integram a metodologia científica como uma forma privilegiada para conhecer a realidade – aprendendo a desenvolver

competências fundamentais à sua emancipação como ser pensante: capacidade de argumentação, habilidade para observar/olhar o ambiente à sua volta, capturando sensivelmente aspectos que os ajude a perceber e interpretar a realidade com maior independência de crítica.

É fundamental que haja um equilíbrio entre a autonomia dos alunos e o suporte oferecido pelo professor, garantindo um progresso adequado durante a aplicação da metodologia. Para isso, é essencial que os professores estejam disponíveis para fornecer feedback construtivo e que os alunos se mostrem receptivos a esse retorno. Dessa forma, será possível corrigir eventuais equívocos e promover um desenvolvimento mais consistente ao longo da sequência didática.

Questão 2) O que é necessário para um som ser ouvido a uma grande distância?

Tabela 2 – Grupo de respostas semelhantes da questão 2

Alunos	O que é necessário para um som ser ouvido a uma grande distância?
A1	Som alto
A2	Ondas sonoras maiores
A3	Ter poucos obstáculos no caminho
A4	Eco
A5	Amplificador

Fonte: Elaborada pelo autor (2024)

As respostas dos grupos A1 e A2 indicam que, para o som ser ouvido a uma grande distância, ele precisa “estar alto” ou possuir “ondas maiores”. Embora essa ideia reflita uma concepção intuitiva e cotidiana, pode estar associada à amplitude das ondas sonoras, o que faz sentido, já que a amplitude está relacionada ao volume e à energia transportada pela onda. No entanto, essa explicação também pode gerar confusão com outros parâmetros, como o comprimento de onda ou a frequência, evidenciando uma compreensão inicial e limitada. Além disso, os alunos não mencionam outros fatores físicos essenciais para a propagação do som, como as características do meio em que ele se propaga. Essas respostas, baseadas em vivências cotidianas, servem como ponto de partida, mas precisam ser aprofundadas para alcançar uma compreensão mais precisa e científica.

É feita uma observação válida pelo grupo de alunos A3 onde eles mostram a percepção sobre como o ambiente influencia a propagação do som. Pois obstáculos podem absorver, refletir ou dispersar as ondas sonoras, diminuindo sua intensidade ao longo do percurso. No entanto, a resposta poderia ser mais completa se incluísse explicações sobre os fenômenos físicos envolvidos, como reflexão, absorção e difração.

Embora o eco seja um fenômeno relacionado à reflexão do som, ele não responde diretamente à questão sobre a propagação a grandes distâncias. A resposta apresentada pelo grupo A4 indica uma confusão conceitual, sugerindo a necessidade de orientação para que os alunos compreendam a diferença entre o fenômeno do eco e os fatores que realmente influenciam a propagação do som.

Por outro lado, o grupo A5 demonstra uma compreensão mais prática do tema, mencionando que um amplificador aumenta a energia das ondas sonoras, permitindo que o som alcance maiores distâncias. Embora a resposta não aborde diretamente os aspectos físicos da propagação do som, ela é positiva por mostrar que os alunos conseguem conectar o tema a aplicações reais e tecnológicas. Essa conexão prática pode ser utilizada como ponto de partida para aprofundar o entendimento dos conceitos científicos envolvidos.

As respostas variam de observações cotidianas e práticas nos grupos A1, A3, A5 a tentativas mais técnicas, mas pouco imprecisas A2, A4. Isso evidencia que os alunos possuem diferentes níveis de entendimento sobre o tema. Nenhuma das respostas menciona explicitamente os fatores físicos essenciais para a propagação do som a grandes distâncias, como amplitude (intensidade) da onda sonora, condições do meio de propagação ou até mesmo a redução de perdas de energia devido à absorção ou dispersão.

Questão 3) Utilizando os seus conhecimentos, descreva as características do som produzido pela campainha da escola.

Tabela 3 – Grupo de respostas semelhantes da questão 3

Alunos	Descreva as características, utilizando os seus conhecimentos, do som produzido pela campainha da escola
A1	Vibrações
A2	É um som com uma “entonação” bem alta, onde pode ser ouvida de quase todas as partes da escola
A3	Som estridente, alto, agudo e fino
A4	Som de alta frequência
A5	Som parecido com o chocalho de uma vaca, ou chocalho de bicicleta, só que mais rápido

Fonte: Elaborada pelo autor (2024)

Essa questão foi elaborada com o objetivo de avaliar se os alunos conseguem relacionar os conceitos de som às características específicas do som produzido pela campainha da

escola. Além de estimular a observação, ela também busca identificar como os estudantes aplicam conhecimentos prévios, tanto do cotidiano quanto de conceitos científicos, para descrever o fenômeno. Essa abordagem permite compreender o nível de entendimento dos alunos sobre aspectos como frequência, intensidade e timbre, ao mesmo tempo que revela possíveis lacunas que podem ser abordadas durante a sequência didática.

Na questão P3 onde pede para o aluno descrever as características, utilizando os seus conhecimentos, do som produzido pela campainha da escola, as respostas apresentam certa diversidade, abordando conceitos como frequência, vibrações e até mesmo a entonação do som. No caso do grupo A1, observa-se um entendimento básico e genérico, associando o som às vibrações que realmente o originam. No entanto, essa descrição é bastante limitada, pois não aprofunda as características específicas do som da campainha, como sua frequência, intensidade ou timbre, deixando de explorar aspectos mais detalhados e técnicos do fenômeno.

As descrições dos grupos A2 e A5 refletem observações práticas dos alunos no ambiente escolar, além de utilizarem comparações válidas para ilustrar o timbre ou o ritmo do som. No entanto, essas respostas carecem de um aprofundamento em aspectos como a intensidade do som e sua capacidade de alcançar diferentes espaços da escola. Embora não utilizem termos científicos, como "amplitude" para descrever o volume, elas demonstram uma percepção inicial sobre uma característica importante do som.

A criatividade e o esforço para conectar o som a experiências familiares são aspectos positivos dessas respostas. No entanto, elas poderiam ser enriquecidas com conceitos técnicos, como os relacionados à propagação e ao alcance das ondas sonoras, para promover uma compreensão mais fundamentada e precisa.

A descrição do grupo A3 é mais precisa, destacando-se por ser a mais detalhada e qualitativa entre as respostas. Termos como "estridente" e "agudo" indicam uma compreensão de que o som da campainha possui alta frequência, estabelecendo uma conexão entre as propriedades físicas do som e suas características percebidas. Essa resposta demonstra um bom nível de observação e entendimento inicial, embora ainda possa ser enriquecida com conceitos técnicos adicionais.

O grupo A4 apresenta um conceito técnico correto, mas limitado. Embora o som da campainha geralmente tenha uma alta frequência, essa característica poderia ser contextualizada com outras propriedades, como timbre, intensidade ou duração. A resposta mostra que os alunos desse grupo têm algum conhecimento técnico, mas como nos grupos anteriores ainda precisa ampliar a explicação para torná-la mais completa.

As respostas variam de observações básicas e genéricas (A1) a descrições mais detalhadas e técnicas (A3 e A4). Isso evidencia níveis heterogêneos de compreensão sobre o tema. A maioria dos alunos baseou suas respostas em características perceptíveis, como intensidade, frequência e timbre, mas poucos utilizaram conceitos científicos para fundamentar suas observações. Apenas A4 menciona um conceito técnico específico (alta frequência), enquanto outras respostas se concentram em descrições qualitativas ou comparações do cotidiano. Isso aponta para a necessidade de ampliar o vocabulário científico dos alunos e aprofundar a compreensão dos fenômenos sonoros.

5.2 QUESTIONÁRIO FINAL

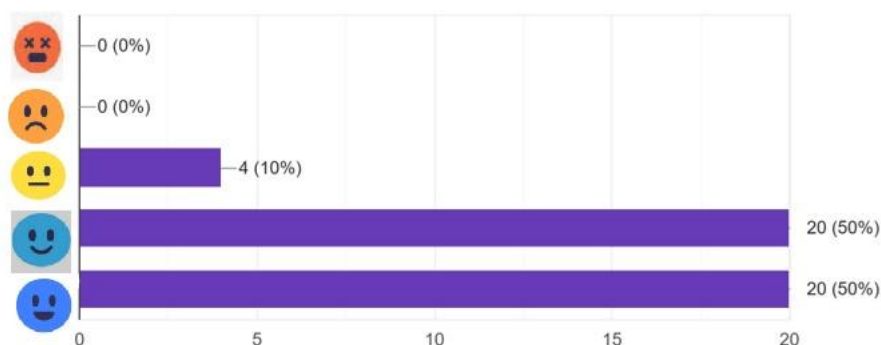
Ao final das seis aulas, realizamos uma atividade avaliativa por meio do Google Formulários (Apêndice D). Solicitamos aos estudantes que respondessem de forma honesta e sem se preocuparem com erros ou acertos, pois o principal objetivo era avaliar como foi o processo de aprendizagem. A avaliação contou com a participação de 40 alunos. Algumas perguntas permitiam múltiplas respostas, e esse aviso estava presente na maioria das questões. No entanto, na primeira pergunta, devido a um erro, não foi informado que não era permitido marcar mais de uma alternativa, o que fez com que alguns poucos estudantes escolhessem dois emoji como resposta.

A primeira seção do questionário continha três perguntas voltadas para avaliar o nível de satisfação dos alunos em relação à atividade realizada. Os resultados demonstraram uma boa aceitação da metodologia utilizada. Em relação à primeira pergunta, no gráfico da Figura 32, é possível observar que houve quatro menções à satisfação “razoável”, enquanto as opções “bom” e “ótimo” receberam, respectivamente, 20 indicações cada. Esses dados indicam um bom nível de aceitação e engajamento com a atividade proposta.

Figura 32 - Nível de satisfação com a metodologia utilizada.

1. Utilizamos um problema como ponto de partida para o desenvolvimento do conhecimento. Com base nessa experiência, qual é o seu nível de satisfação?

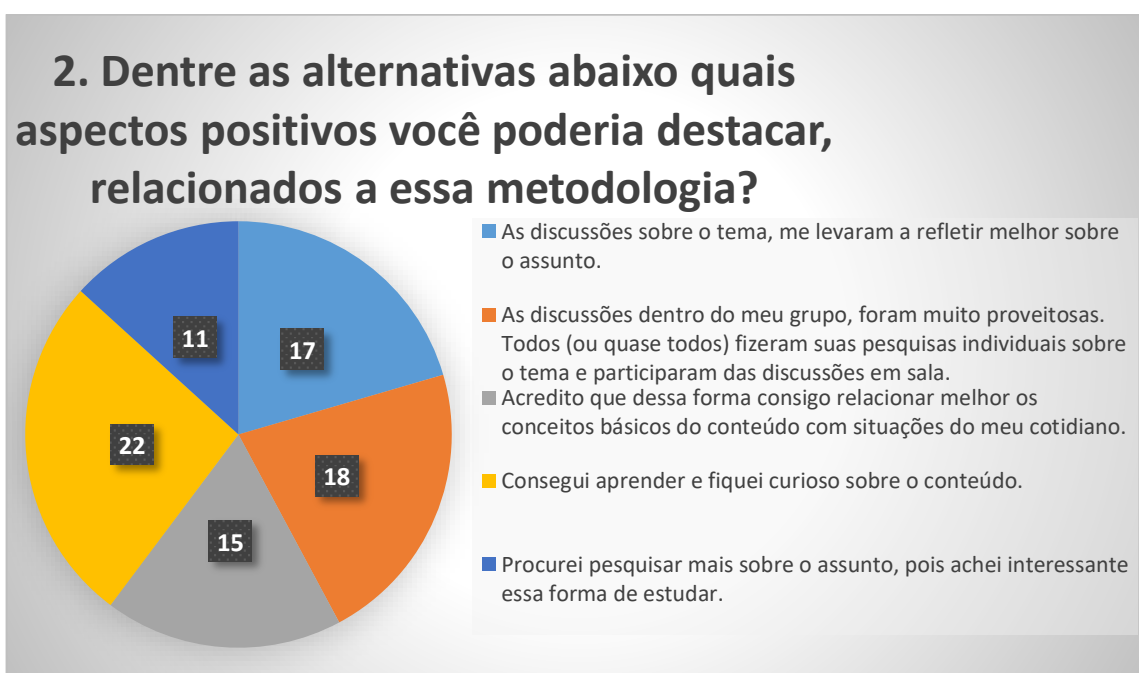
40 respostas



Fonte: autoria própria (2024).

A questão 2, apresentada no gráfico da Figura 33, analisou os aspectos positivos da metodologia utilizada. Nesta pergunta, os alunos podiam marcar mais de uma alternativa, permitindo uma avaliação mais ampla. As respostas ficaram bem equilibradas, tivemos 22 votos destacando como o ponto mais positivo da experiência, que conseguiram aprender e ficaram curiosos sobre o conteúdo. Além disso, foi possível perceber que houve um bom nível de participação na elaboração dos trabalhos, o que reforça a eficácia da proposta em promover o engajamento e a colaboração entre os estudantes.

Figura 33 - Aspectos positivos em relação à metodologia utilizada.



Fonte: autoria própria (2024).

Além das respostas objetivas, deixamos um espaço livre para colocarem algo de positivo, que não foi citado, mas que gostaria de acrescentar, desta forma, muitos estudantes expressaram em seus comentários que a metodologia aplicada tornou o aprendizado mais leve, dinâmico e envolvente. Relatos como "foi uma forma divertida de aprender", "as discussões em grupo ajudaram muito a entender o tema", e "sair do comum para algo diferente despertou meu interesse" foram recorrentes. Alguns alunos destacaram que, pela primeira vez, sentiram-se realmente curiosos em relação ao conteúdo, chegando até a buscar mais informações fora do ambiente de aula. Outros afirmaram que o trabalho em equipe e o compartilhamento de ideias foram fundamentais para melhorar a comunicação e a compreensão dos conceitos.

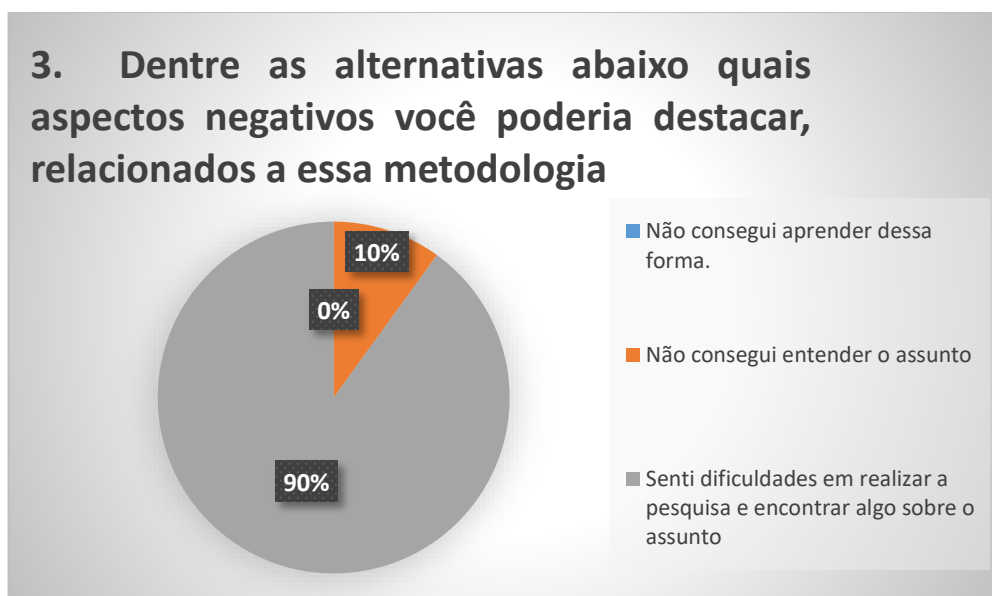
Ademais, sugestões construtivas também surgiram, como a inclusão de exemplos e testes mais práticos relacionados ao cotidiano, para reforçar a aplicação dos conceitos estudados. Alguns propuseram o uso de desenhos, maquetes e até experimentos que permitissem uma vivência mais concreta do conteúdo. Houve quem apontasse que um maior tempo para discussões e uma orientação mais detalhada sobre as pesquisas poderiam tornar a experiência ainda mais rica.

Solicitamos também que avaliassem os aspectos negativos relacionados a atividade, o que é apresentado no gráfico da Figura 34. Destacam-se aqui dois fatos: vinte estudantes deixaram todas as alternativas sem marcar e a maioria dos que marcaram sentiu dificuldades em realizar a pesquisa e encontrar algo sobre o assunto; esse fato é positivo para a metodologia ABP, pois o problema não pode ser óbvio e fácil de encontrar numa simples pesquisa via internet.

Solicitamos aos estudantes que comentassem algo que não foi legal ou que faltou na atividade e que eles gostariam de acrescentar à metodologia aplicada. Muitos afirmaram não ter nada de negativo a comentar, destacando que a experiência foi bastante positiva. No entanto alguns estudantes relataram que nem todos os integrantes dos grupos se esforçaram igualmente, o que acabou sobrecarregando outros membros. Relataram também que, encontrar propostas diferenciadas para o problema foi um desafio. Aliás, alguns sentiram dificuldade em compreender e aplicar conceitos mais complexos relacionados ao tema.

Apesar das barreiras mencionadas, muitos estudantes destacaram que os desafios enfrentados reforçaram a importância do trabalho em equipe, da persistência e da curiosidade. Mesmo as dificuldades iniciais contribuíram para o aprendizado e para um maior envolvimento com o conteúdo.

Figura 34 - Aspectos negativos em relação à metodologia utilizada.

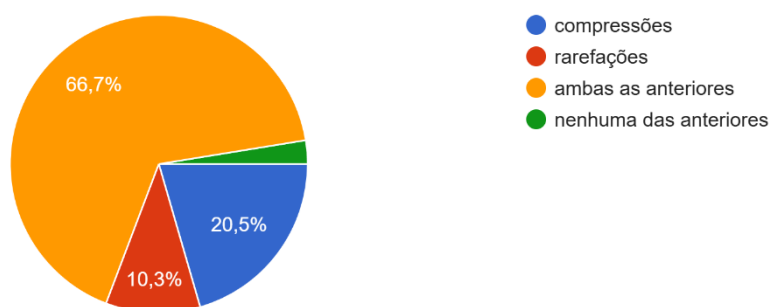


Fonte: autoria própria (2024).

Na seção 2, nas questões 4 a 10, abordamos alguns conceitos básicos de acústica. Nas questões 4, 5, 6 e 7 trata de modo geral da propagação do som. Na questão 4 (Figura 35) a maioria dos estudantes (66,7%) respondeu corretamente que o som se propaga no ar por uma série de compressões e rarefações. Um número considerável de alunos (20,5%) acredita que a propagação ocorre apenas por compressões, e uma minoria (10,3%) acredita que nenhuma das opções está correta. Esses erros podem indicar uma compreensão superficial do conceito de onda sonora.

Figura 35 - Questão sobre como ocorre a propagação do som.

4. O som se propaga no ar por uma série de
39 respostas



Fonte: autoria própria (2024).

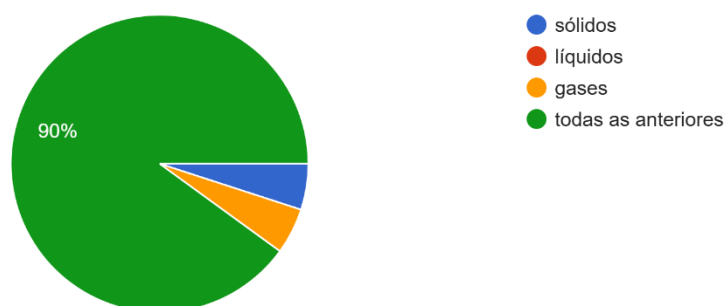
O som necessita de um meio material para se propagar, e ele consegue se propagar em qualquer estado da matéria. A grande maioria (90%) respondeu corretamente (Figura 36)

que o som se propaga em sólidos, líquidos e gases, indicando que os discentes possuem um bom entendimento desse conceito básico.

Figura 36 - Questão sobre meios de propagação do som

5. O som se propaga em

40 respostas



Fonte: autoria própria (2024).

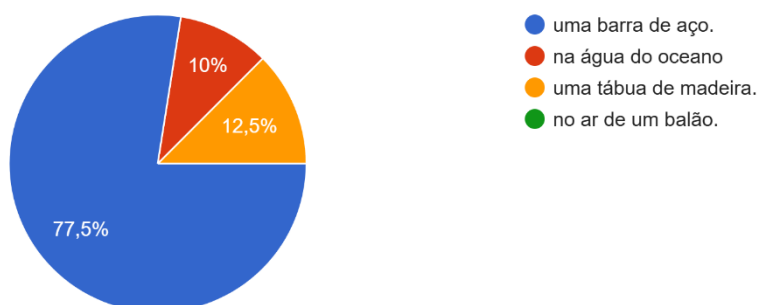
Uma pequena parcela dos participantes acredita que o som se propaga apenas em um dos estados da matéria, o que indica que podem ter alguma confusão sobre a natureza da propagação do som.

O gráfico da Figura 37, nos mostra que 77,5% identificaram corretamente que o som se propaga mais rápido em uma barra de aço, demonstrando assim a compreensão de que a velocidade do som varia de acordo com o meio de propagação, sendo maior nos sólidos do que em líquidos e gases.

Figura 37 - Questão sobre velocidade do som.

6. O som se propagará mais rápido em

40 respostas



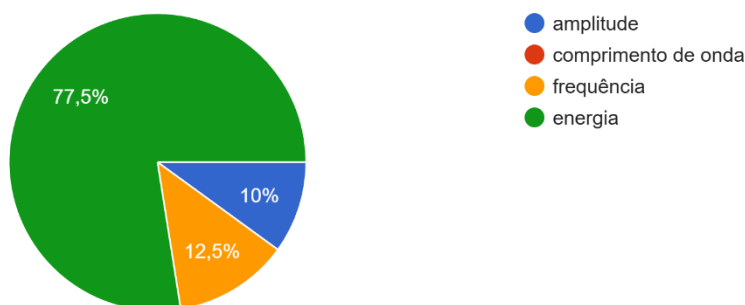
Fonte: autoria própria (2024).

A maioria dos estudantes (77,5%) associou corretamente a energia à característica transferida por uma onda (Figura 38), o que nos leva a perceber um entendimento básico sobre a natureza das ondas e a forma como elas transportam energia.

Figura 38 - Questão sobre transferência de energia.

7. Uma onda transfere consigo

40 respostas



Fonte: autoria própria (2024).

De modo geral em relação a essas quatro questões, os estudantes demonstram um bom domínio dos conceitos básicos sobre a propagação do som, incluindo a identificação dos meios de propagação, do mecanismo de compressões e rarefações, a relação entre o estado da matéria e a velocidade do som, e a compreensão de que as ondas transportam energia.

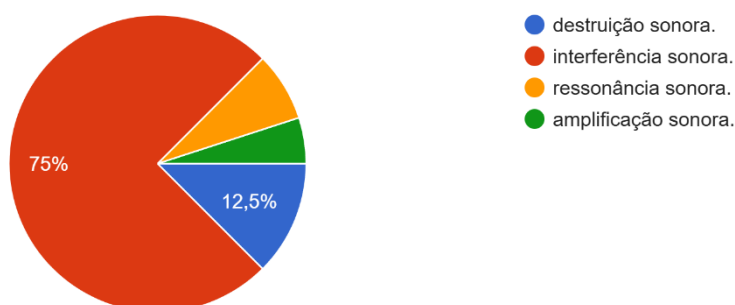
Embora a compreensão seja boa, ainda há espaço para aprofundar o conhecimento sobre o mecanismo de propagação no ar e as características específicas das ondas sonoras. O uso de simulações e a realização de atividades que permitam aos alunos observarem a propagação do som em diferentes meios, pode melhorar a compreensão desses conceitos.

A questão 8, busca avaliar a compreensão dos alunos sobre o funcionamento dos dispositivos de cancelamento de ruído, que são cada vez mais comuns em fones de ouvido e outros dispositivos audiovisuais (Figura 39). Boa parte dos estudantes (75%) respondeu corretamente que esses dispositivos fazem uso da interferência sonora. Esse resultado nos indica um bom entendimento do princípio básico por trás dessa tecnologia, que é gerar uma onda sonora com a mesma frequência e amplitude, mas com fase oposta à onda sonora indesejada, resultando assim no seu cancelamento.

Quanto à minoria que não escolheu a alternativa correta, pode ter sido influenciada por confusão com outros conceitos, tais como a ressonância ou à amplificação e até mesmo não ter tido contato com o funcionamento interno dos dispositivos de cancelamento de ruído e, portanto, não conseguiram associar o conceito de interferência sonora a essa aplicação.

Figura 39 - Questão sobre dispositivos de cancelamento de ruído.

8. Os dispositivos de cancelamento do ruído fazem uso da
40 respostas

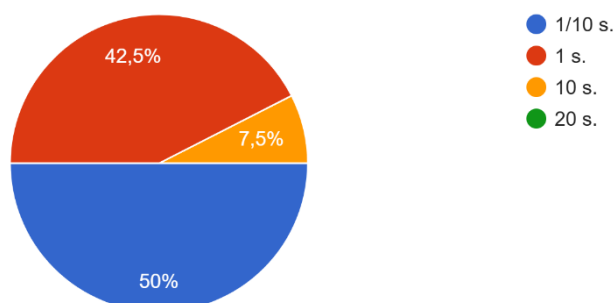


Fonte: autoria própria (2024).

A questão 9 (Figura 40) buscou avaliar a compreensão sobre a relação entre frequência e período de uma onda. A metade dos estudantes demonstrou compreender a relação inversa entre frequência e período de uma onda. Uma parcela significativa dos discentes (42,5%) confundiu frequência com período demonstrando uma falta de clareza sobre esses conceitos fundamentais da ondulatória. Já a escolha da opção 10s, sugere que uma pequena parcela dos alunos pode ter dificuldades em realizar cálculos simples envolvendo frações ou em aplicar a relação entre frequência e período.

Figura 40 - Período de uma onda de 10 Hz.

9. O período de uma onda de 10 Hz é de
40 respostas



Fonte: autoria própria (2024).

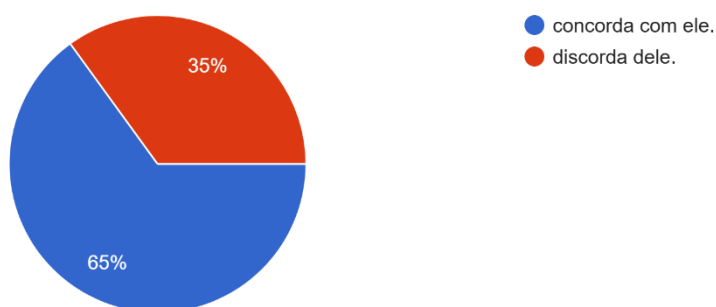
A questão 10 (Figura 41) buscou avaliar o entendimento dos alunos em relação à velocidade de propagação de diferentes tipos de onda. Quanto à declaração de que as ondas de rádio se propagam mais rapidamente que as ondas sonoras em todas as condições, 65% concordaram com essa afirmação, o que sugere uma boa compreensão da diferença entre as velocidades de propagação das ondas de rádio e sonoras, fato que pode ser relacionado à experiência

diária com a comunicação instantânea, como rádio e televisão. Quanto aos que discordaram da afirmativa (35%), revela uma falta de conhecimento da natureza das ondas e da distinção entre ondas mecânicas e ondas eletromagnéticas.

Figura 41 - Diferença entre ondas sonoras e ondas de rádio.

10. Um colega de turma afirma que, sob todas as condições, qualquer onda de rádio se propaga mais rapidamente do que qualquer onda sonora. Você

40 respostas



Fonte: autoria própria (2024).

Para finalizar, na seção 3 temos três questões extraídas do Enem, para avaliar a desenvoltura dos estudantes quanto a questões mais contextualizadas e com mais detalhes.

5.2 CONCLUSÕES – PERSPECTIVAS FUTURAS

A aplicação da metodologia de ensino Aprendizagem Baseada em Problemas no ensino de acústica mostrou-se capaz de transformar a relação dos alunos com a Física. Ao colocar o estudante no centro do processo de aprendizagem, a ABP favorece o desenvolvimento de competências que vão além da memorização de conceitos, estimulando a autonomia, a capacidade de argumentação e o trabalho coletivo.

Durante a implementação da sequência didática, observou-se que os estudantes assumiram um papel ativo na construção do conhecimento. Aqueles que, em aulas tradicionais, tendiam a permanecer em silêncio, mostraram-se mais participativos, questionando, debatendo e contribuindo na proposta de solução do problema apresentado.

Além disso, a ABP permitiu que os estudantes percebessem a Física como uma ciência contextualizada e aplicável ao cotidiano. Partindo de um problema real da escola na qual estudam – a dificuldade de propagação do som da campanha escolar – os alunos foram conduzidos a investigar fenômenos acústicos, relacionando teorias com situações concretas.

Os resultados dos questionários diagnóstico e final, bem como as observações durante as atividades, indicaram uma evolução conceitual significativa. A maioria dos alunos não

apenas ampliaram seu conhecimento sobre acústica, mas também desenvolveram habilidades como pesquisa, análise crítica e comunicação de ideias. A construção de mapas conceituais e a apresentação de soluções demonstraram que os estudantes foram capazes de organizar e sintetizar informações de maneira coerente e criativa.

Entretanto, a implementação da ABP também apresentou desafios. A necessidade de um planejamento cuidadoso por parte do professor, a gestão de tempo e a garantia de participação equitativa dos membros dos grupos são aspectos que demandam atenção. Além disso, a resistência inicial de alguns alunos, acostumados a um modelo tradicional de ensino, precisou ser superada por meio de incentivo e orientação contínuos.

É importante selecionar os conceitos que se adequem à metodologia ABP. Existem momentos em que a complexidade matemática inerente a certos princípios físicos frequentemente demanda uma intervenção mais direta do docente, especialmente para estudantes do ensino médio. Nesses contextos, o professor pode integrar a ABP com outras metodologias ativas ou valer-se de ferramentas que promovam a interação e a colaboração entre estudantes.

Como perspectivas futuras, recomendamos a ampliação do uso da ABP em outros temas da Física e em diferentes contextos educacionais. A metodologia mostra-se adequada para abordar conteúdos que permitam conexões com problemas reais e interdisciplinares. Sugerimos ainda, a realização de formações docentes que capacitem os professores na elaboração e aplicação de sequências didáticas baseadas em ABP, enfatizando o papel do educador como mediador e facilitador do processo de aprendizagem.

Por fim, destaca-se que a ABP não é perfeita, não é a solução para a aprendizagem, mas é uma proposta pedagógica que valoriza o estudante como sujeito ativo e crítico. Seu potencial para promover uma educação com significado a torna uma alternativa viável para os desafios do ensino de Física.

REFERÊNCIAS

AUSUBEL, D. P. *Aquisição e retenção de conhecimentos: Uma perspectiva cognitiva*. Lisboa: Editora Plátano, 2003.

BASSALOBRE, Janete. Ética, Responsabilidade Social e Formação de Educadores. *Educação em Revista*, Belo Horizonte, v. 29, n. 01, p. 311-317, mar. 2013.

BRASIL; Base Nacional Comum Curricular. Versão final. Ministério da Educação e Cultura – MEC; Brasília – DF, 2017.

DE FREITAS, Denise; VILLANI, Alberto. Formação de professores de ciências: um desafio sem limites. *Investigações em Ensino de Ciências*, v. 7, n. 3, p. 215-230, 2002.

FEYNMAN, R. P.; LEIGHTON, R. B.; SANDS, M. *Lições de física de Feynman: mecânica, radiação e calor*. Tradução de Adriana Válio Roque da Silva, Kaline Rabelo Coutinho. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2008. v. 1.

FREIRE, Paulo. Carta de Paulo Freire aos professores. *Estudos Avançados*, v. 15, p. 259-268, 2001.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. *Fundamentos de física: Oscilações e ondas, termodinâmica*. Vol. 2. 9. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012.

INICIATIVA do Porto Digital para jovens em vulnerabilidade social concorre a prêmio em votação popular. *Diário de Pernambuco*, Recife, 29 de nov. de 2021. Disponível em: <https://www.diariodepernambuco.com.br/noticia/vidaurbana/2021/11/iniciativa-do-porto-digital-para-jovens-em-vulnerabilidade-social-conc.html>. Acesso em: 13 de set. de 2024.

KELSON, Ann C. M.; DISTLEHORST, Linda H. Groups in Problem-Based Learning (PBL): essential elements in theory and practice. In: EVENSEN, Dorothy H.; HMELO, Cindy E. (eds.). *Problem Based Learning: a research perspective on learning interactions*. New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates, 2000. p. 167-184.

LIMA, G. Z. DE; LINHARES, R. E. C. Escrever bons problemas. *Revista Brasileira de Educação Médica*, v. 32, n. 2, p. 197–201, abr. 2008.

LUCID SOFTWARE PORTUGUÊS. Como fazer um mapa conceitual. *Youtube*, 12 de junho de 2018. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=F54SWctP7-E>. Acesso em: 08 de dez. de 2024.

MARCOM, Guilherme Stecca. *O ENEM, indicadores formativos e ensino de física*. 2019. 130 f. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Física Gleb Wataghin, Campinas, SP, 2019. Disponível em: <https://hdl.handle.net/20.500.12733/1636896>. Acesso em: 26 fev. de 2025.

MARINO, Leonardo Freire. A falência do modelo escolar tradicional e a necessária construção de uma educação integral e comunitária. *Revista Giramundo*, Rio de Janeiro, v. 5, n. 10, p. 19-30, 2018.

MORÁN, José et al. Mudando a educação com metodologias ativas. *Coleção Mídias Contemporâneas. Convergências Midiáticas, Educação e Cidadania: Aproximações Jovens*, v. 2, n. 1, p. 15-33, 2015.

NETO, J. A. da S. Pontes. Sobre a aprendizagem significativa na escola. In: MARTINS, E. J. et al. *Diferentes faces da educação*. São Paulo: Arte & Ciência, 2001. p. 13-37.

NUSSENZVEIG, H. M. **Curso de Física Básica: fluidos, oscilações e ondas, calor.** 4. ed. rev. São Paulo: Edgard Blücher, 2002. v. 2.

PAIS, Luiz Carlos. *Didática da Matemática: uma análise da influência francesa*. Belo Horizonte: Autêntica, 2016.

PELIZZARI, Adriana; KRIEGL, Maria de Lurdes; BARON, Márcia Pirih; FINCK, Nelcy Teresinha Lubi; DOROCINSKI, Solange Inês. Teoria da aprendizagem significativa segundo Ausubel. *Revista PEC*, Curitiba, v. 2, n. 1, p. 39-42, jul. 2001-jul. 2002.

RIBEIRO, Luis Roberto de Camargo. Aprendizagem baseada em problemas (PBL) na educação em engenharia. *Revista de Ensino de Engenharia*, v. 27, n. 2, p. 23-32, 2008.

RODRIGUEZ, Ernesto Arcenio Valdés. *Notas de aula da disciplina Física 3*. Aula ministrada no curso de Licenciatura em Física da Universidade Federal de Pernambuco – Campus do Agreste, Caruaru, 2025. Comunicação pessoal.

SANTOS, Manoel Felix Pessoa dos; RODRIGUES, Kátia Calligaris. Metodologia em Cinco Passos: metodologia ativa no ensino de Magnetismo. *Experiências em Ensino de Ciências*, v. 18, n. 1, p. 335-350, 2023.

SERWAY, R. A.; JEWETT, J. W. *Física para cientistas e engenheiros: oscilação, ondas e termodinâmica*. Vol. 2. 8. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2011.

SHALIN. Tênia no cérebro (Neurocisticercose) - Dr. House | Diagnóstico #1. *Youtube*, 29 de março de 2022. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=835o9_v_xpk. Acesso em: 12 de set. de 2024.

SILVA, M. M. L. Crimes da era digital. *Net*, Rio de Janeiro, nov. 1998. Seção Ponto de Vista. Disponível em: <http://www.brazilnet.com.br/contexts/brasilrevistas.htm>. Acesso em: 28 nov. de 1998.

TAVARES, Romero. Aprendizagem significativa. *Revista Conceitos*, v. 10, n. 55, p. 55-60, 2004.

VYGOTSKY, L. S. (1984) *A Formação Social da Mente*. São Paulo: Martins Fontes

YOUNG, H. D.; FREEDMAN, R. A. *Física II: Termodinâmica e Ondas*. 12. ed. Tradução de Cláudia Santana Martins. São Paulo: Pearson, 2008.

ZABALA, A. *A Prática educativa: como ensinar*. Porto Alegre: Artmed, 1998.

APÊNDICE A – Questionário diagnóstico

ESCOLA - XXXX

Física – Professor Flaviano da Silva Felix

Nome completo: _____

QUESTIONÁRIO DIAGNÓSTICO

ATENÇÃO! Responda às questões de acordo com o que você sabe sobre o tema. Sinta-se à vontade para responder da maneira que achar mais adequada.

1. O que é som?

2. O que é necessário para um som ser ouvido a uma grande distância?

3. Utilizando os seus conhecimentos, descreva as características do som produzido pela campainha da escola.

APÊNDICE B – Mapa da escola

MAPA DA ESCOLA

GRUPO: _____



APÊNDICE C – Formulário para anotações gerais da pesquisa

Diretrizes: Nesta ficha você irá registrar individualmente suas ideias iniciais para resolver o problema e as pesquisas realizadas. Responda de forma natural e objetiva.

1. Seu nome completo
2. O que eu entendi sobre o problema apresentado?
3. O que eu preciso saber para resolver este problema?
4. Quais os conceitos de física relacionados ao problema que você conhece?
5. Liste aqui sua (s) hipótese (s) (possíveis soluções) para o problema apresentado.

APÊNDICE D – Planos de Aula

CIÊNCIAS DA NATUREZA Prof. Flaviano da Silva Felix	Aula 1 – Metodologia ABP, ondulatória.
Público Alvo: Estudantes do 2º ano – Ensino Médio Duração da aula: 50 min.	

- **OBJETIVO GERAL**

Apresentar as ideias básicas da Aprendizagem Baseada em Problemas.

- **COMPETÊNCIA GERAL**

07 - Argumentar com base em fatos, dados e informações confiáveis, para formular, negociar e defender ideias, pontos de vista e decisões comuns que respeitem e promovam os direitos humanos, a consciência socioambiental e o consumo responsável em âmbito local, regional e global, com posicionamento ético em relação ao cuidado de si mesmo, dos outros e do planeta. (BRASIL, 2018).

- **COMPETÊNCIA ESPECÍFICA**

3. Analisar situações-problema e avaliar aplicações do conhecimento científico e tecnológico e suas implicações no mundo, utilizando procedimentos e linguagens próprios das Ciências da Natureza, para propor soluções que considerem demandas locais, regionais e/ou globais, e comunicar suas descobertas e conclusões a públicos variados, em diversos contextos e por meio de diferentes mídias e tecnologias digitais de informação e comunicação (TDIC). (Brasil, 2018).

- **OBJETO DO CONHECIMENTO**

Ondulatória.

- **HABILIDADE**

(EM13CNT301) Construir questões, elaborar hipóteses, previsões e estimativas, empregar instrumentos de medição e representar e interpretar modelos explicativos, dados e/ou resultados experimentais para construir, avaliar e justificar conclusões no enfrentamento de situações-problema sob uma perspectiva científica.

(EM13CNT304) Analisar e debater situações controversas sobre a aplicação de conhecimentos da área de Ciências da Natureza, com base em argumentos consistentes, éticos e responsáveis, distinguindo diferentes pontos de vista.

- **OBJETIVOS DA AULA:**

Factual: apresentar a metodologia a ser utilizada (Aprendizagem Baseada em Problemas) e as funções de cada aluno no grupo.

Conceitual: apresentar os princípios fundamentais da Aprendizagem Baseada em Problemas.

Procedimental: responder o questionário diagnóstico, observar e analisar os slides sobre o tema e fazer o levantamento inicial de hipóteses sobre o problema apresentado.

Atitudinal: abertura e receptividade a uma nova metodologia, colaborar e respeitar as opiniões durante as discussões, observar o engajamento com o problema apresentado.

- **ESTRATÉGIAS DE ENSINO**

Métodos didáticos de ensino

- ✓ Exposição dialogada com uso de imagens;

Desenvolvimento das atividades

- ✓ Aplicação do questionário diagnóstico (ANEXO 1);
- ✓ Apresentação dos conceitos básicos da Aprendizagem Baseada em Problemas – ABP;
- ✓ Divisão das equipes;
- ✓ Apresentação do problema a ser trabalhado na SD.

- **Recursos Audiovisuais**

- ✓ Datashow;
- ✓ Quadro Branco.

- **PROCEDIMENTOS DE AVALIAÇÃO:**

Participação nas discussões e nas atividades em grupo.

CIÊNCIAS DA NATUREZA Prof. Flaviano da Silva Felix	Aula 2 – Metodologia ABP, acústica.
Público Alvo: Estudantes do 2º ano – Ensino Médio Duração da aula: 50 min.	

- **OBJETIVO GERAL**

Compreender a distribuição espacial da estrutura física da escola e localizar os pontos críticos da distribuição sonora da campainha.

- **COMPETÊNCIA GERAL**

07 - Argumentar com base em fatos, dados e informações confiáveis, para formular, negociar e defender ideias, pontos de vista e decisões comuns que respeitem e promovam os direitos humanos, a consciência socioambiental e o consumo responsável em âmbito local, regional e global, com posicionamento ético em relação ao cuidado de si mesmo, dos outros e do planeta. (BRASIL, 2018).

- **COMPETÊNCIA ESPECÍFICA**

3. Analisar situações-problema e avaliar aplicações do conhecimento científico e tecnológico e suas implicações no mundo, utilizando procedimentos e linguagens próprios das Ciências da Natureza, para propor soluções que considerem demandas locais, regionais e/ou globais, e comunicar suas descobertas e conclusões a públicos variados, em diversos contextos e por meio de diferentes mídias e tecnologias digitais de informação e comunicação (TDIC). (Brasil, 2018).

- **OBJETO DO CONHECIMENTO**

Som, leitura de mapa, medidas.

- **HABILIDADE**

(EM13CNT301) Construir questões, elaborar hipóteses, previsões e estimativas, empregar instrumentos de medição e representar e interpretar modelos explicativos, dados e/ou resultados experimentais para construir, avaliar e justificar conclusões no enfrentamento de situações-problema sob uma perspectiva científica.

(EM13CNT304) Analisar e debater situações controversas sobre a aplicação de conhecimentos da área de Ciências da Natureza, com base em argumentos consistentes, éticos e responsáveis, distinguindo diferentes pontos de vista.

- **OBJETIVOS DA AULA:**

Factual: realizar medidas e utilizar o mapa da escola.

Conceitual: verificar de forma intuitiva, os conceitos de potência sonora, distribuição do som no ambiente, medidas de distâncias e leitura de mapas.

Procedimental: percorrer a escola, realizar medidas e observar os pontos onde o som da campainha é pouco audível.

Atitudinal: tomar decisões, observar e discutir ideias.

- **ESTRATÉGIAS DE ENSINO**

Métodos didáticos de ensino

- ✓ Investigação prática;

Desenvolvimento das atividades

- ✓ Distribuição dos mapas e orientações da atividade;
- ✓ Discussão coletiva dos dados obtidos;
- ✓ Registro dos dados na planilha.

- **Recursos Audiovisuais**

- ✓ Mapa impresso;

- **PROCEDIMENTOS DE AVALIAÇÃO:**

Participação nas discussões e nas atividades em grupo.

CIÊNCIAS DA NATUREZA Prof. Flaviano da Silva Felix	Aula 3 – Metodologia ABP, acústica.
Público Alvo: Estudantes do 2º ano – Ensino Médio Duração da aula: 50 min.	

- **OBJETIVO GERAL**

Aprofundar e compreender os conhecimentos adquiridos.

- **COMPETÊNCIA GERAL**

03 - Exercitar a curiosidade intelectual e recorrer à abordagem própria das ciências, incluindo a investigação, a reflexão, a análise crítica, a imaginação e a criatividade, para investigar causas, elaborar e testar hipóteses, formular e resolver problemas e inventar soluções com base nos conhecimentos das diferentes áreas. (BRASIL, 2018).

- **COMPETÊNCIA ESPECÍFICA**

3. Analisar situações-problema e avaliar aplicações do conhecimento científico e tecnológico e suas implicações no mundo, utilizando procedimentos e linguagens próprios das Ciências da Natureza, para propor soluções que considerem demandas locais, regionais e/ou globais, e comunicar suas descobertas e conclusões a públicos variados, em diversos contextos e por meio de diferentes mídias e tecnologias digitais de informação e comunicação (TDIC). (Brasil, 2018).

- **OBJETO DO CONHECIMENTO**

Absorção e reflexão de ondas sonoras em diversos materiais.

- **HABILIDADE**

(EM13CNT307) Analisar as propriedades dos materiais para avaliar a adequação de seu uso em diferentes aplicações (industriais, cotidianas, arquitetônicas ou tecnológicas) e/ ou propor soluções seguras e sustentáveis considerando seu contexto local e cotidiano.

- **OBJETIVOS DA AULA:**

Factual: observar o som produzido por diferentes materiais.

Conceitual: verificar de forma intuitiva, os conceitos de transmissão, absorção e reflexão do som.

Procedimental: produzir sons em materiais diversos e perceber os diferentes sons produzidos.

Atitudinal: observar e discutir ideias.

- **ESTRATÉGIAS DE ENSINO**

- Métodos didáticos de ensino**

- ✓ Investigação prática e discussão das pesquisas.

- Desenvolvimento das atividades**

- ✓ Discussão coletiva dos dados obtidos;
 - ✓ Observação do som produzido por diversos materiais;
 - ✓ Ideias básicas de mapa conceitual.

- **Recursos Audiovisuais**

- ✓ Planilha.

- **PROCEDIMENTOS DE AVALIAÇÃO:**

- Autoavaliação do trabalho realizado e da equipe.

CIÊNCIAS DA NATUREZA Prof. Flaviano da Silva Felix	Aula 4 – Metodologia ABP, acústica.
Público Alvo: Estudantes do 2º ano – Ensino Médio Duração da aula: 50 min.	

- **OBJETIVO GERAL**

Aprofundar e compreender os conhecimentos adquiridos.

- **COMPETÊNCIA GERAL**

03 - Exercitar a curiosidade intelectual e recorrer à abordagem própria das ciências, incluindo a investigação, a reflexão, a análise crítica, a imaginação e a criatividade, para investigar causas, elaborar e testar hipóteses, formular e resolver problemas e inventar soluções com base nos conhecimentos das diferentes áreas. (BRASIL, 2018).

- **COMPETÊNCIA ESPECÍFICA**

3. Analisar situações-problema e avaliar aplicações do conhecimento científico e tecnológico e suas implicações no mundo, utilizando procedimentos e linguagens próprios das Ciências da Natureza, para propor soluções que considerem demandas locais, regionais e/ou globais, e comunicar suas descobertas e conclusões a públicos variados, em diversos contextos e por meio de diferentes mídias e tecnologias digitais de informação e comunicação (TDIC). (Brasil, 2018).

- **OBJETO DO CONHECIMENTO**

Qualidades do som.

- **HABILIDADE**

(EM13CNT307) Analisar as propriedades dos materiais para avaliar a adequação de seu uso em diferentes aplicações (industriais, cotidianas, arquitetônicas ou tecnológicas) e/ ou propor soluções seguras e sustentáveis considerando seu contexto local e cotidiano.

- **OBJETIVOS DA AULA:**

Factual: observar e medir as diferenças entre os diversos sons produzidos.

Conceitual: perceber os diferentes conceitos físicos e suas diferenças com termos utilizados no cotidiano.

Procedimental: utilizar aplicativo de alteração da frequência sonora e de modelagem experimental.

Atitudinal: observar e discutir ideias.

- **ESTRATÉGIAS DE ENSINO**

- Métodos didáticos de ensino**

- ✓ Investigação prática e discussão das pesquisas.

- Desenvolvimento das atividades**

- ✓ Discussão coletiva dos dados obtidos sobre qualidades do som;
 - ✓ Utilização de aplicativo de reprodução de frequência sonora;
 - ✓ Utilização de aplicativo de modelagem experimental
 - ✓ Construção de esboços de mapa conceitual com o tema acústica.

- **Recursos Audiovisuais**

- ✓ Aplicativos.

- **PROCEDIMENTOS DE AVALIAÇÃO:**

- Observação da participação e engajamento.

CIÊNCIAS DA NATUREZA Prof. Flaviano da Silva Felix	Aula 5 – Metodologia ABP, acústica.
Público Alvo: Estudantes do 2º ano – Ensino Médio Duração da aula: 50 min.	

- **OBJETIVO GERAL**

Aprofundar, compreender e organizar os conhecimentos adquiridos.

- **COMPETÊNCIA GERAL**

03 - Exercitar a curiosidade intelectual e recorrer à abordagem própria das ciências, incluindo a investigação, a reflexão, a análise crítica, a imaginação e a criatividade, para investigar causas, elaborar e testar hipóteses, formular e resolver problemas e inventar soluções com base nos conhecimentos das diferentes áreas. (BRASIL, 2018).

- **COMPETÊNCIA ESPECÍFICA**

3. Analisar situações-problema e avaliar aplicações do conhecimento científico e tecnológico e suas implicações no mundo, utilizando procedimentos e linguagens próprios das Ciências da Natureza, para propor soluções que considerem demandas locais, regionais e/ou globais, e comunicar suas descobertas e conclusões a públicos variados, em diversos contextos e por meio de diferentes mídias e tecnologias digitais de informação e comunicação (TDIC). (Brasil, 2018).

- **OBJETO DO CONHECIMENTO**

Acústica.

- **HABILIDADE**

(EM13CNT303) Interpretar textos de divulgação científica que tratem de temáticas das Ciências da Natureza, disponíveis em diferentes mídias, considerando a apresentação dos dados, tanto na forma de textos como em equações, gráficos e/ou tabelas, a consistência dos argumentos e a coerência das conclusões, visando construir estratégias de seleção de fontes confiáveis de informações.

- **OBJETIVOS DA AULA:**

Factual: construir mapa conceitual.

Conceitual: organizar os conceitos de acústica pesquisados.

Procedimental: produzir mapas conceituais sobre os princípios básicos de acústica, discutir os principais conceitos de acústica.

Atitudinal: observar, construir e discutir ideias.

- **ESTRATÉGIAS DE ENSINO**

- Métodos didáticos de ensino**

- ✓ Construção de mapas conceituais.

- Desenvolvimento das atividades**

- ✓ Discussão coletiva dos dados obtidos;
 - ✓ Construção dos mapas conceituais.

- **Recursos Audiovisuais**

- ✓ Mapas conceituais.

- **PROCEDIMENTOS DE AVALIAÇÃO:**

- Participação nas discussões e engajamento.

CIÊNCIAS DA NATUREZA Prof. Flaviano da Silva Felix	Aula 6 – Metodologia ABP, acústica.
Público Alvo: Estudantes do 2º ano – Ensino Médio Duração da aula: 50 min.	

- **OBJETIVO GERAL**

Apresentar os resultados obtidos.

- **COMPETÊNCIA GERAL**

03 - Exercitar a curiosidade intelectual e recorrer à abordagem própria das ciências, incluindo a investigação, a reflexão, a análise crítica, a imaginação e a criatividade, para investigar causas, elaborar e testar hipóteses, formular e resolver problemas e inventar soluções com base nos conhecimentos das diferentes áreas. (BRASIL, 2018).

- **COMPETÊNCIA ESPECÍFICA**

3. Analisar situações-problema e avaliar aplicações do conhecimento científico e tecnológico e suas implicações no mundo, utilizando procedimentos e linguagens próprios das Ciências da Natureza, para propor soluções que considerem demandas locais, regionais e/ou globais, e comunicar suas descobertas e conclusões a públicos variados, em diversos contextos e por meio de diferentes mídias e tecnologias digitais de informação e comunicação (TDIC). (Brasil, 2018).

- **OBJETO DO CONHECIMENTO**

Ondulatória e acústica.

- **HABILIDADE**

(EM13CNT302) Comunicar, para públicos variados, em diversos contextos, resultados de análises, pesquisas e/ou experimentos, elaborando e/ou interpretando textos, gráficos, tabelas, símbolos, códigos, sistemas de classificação e equações, por meio de diferentes linguagens, mídias, tecnologias digitais de informação e comunicação (TDIC), de modo a participar e/ou promover debates em torno de temas científicos e/ou tecnológicos de relevância sociocultural e ambiental.

- **OBJETIVOS DA AULA:**

Factual: apresentar os resultados.

Conceitual: apresentar os conceitos de acústica utilizados na solução do problema.

Procedimental: utilizar slides, cartazes, maquetes para apresentar as soluções dos problemas.

Atitudinal: apresentar as ideias da equipe.

- **ESTRATÉGIAS DE ENSINO**

Métodos didáticos de ensino

- ✓ Apresentação dialogada com uso de imagens.

Desenvolvimento das atividades

- ✓ Apresentação e discussão coletiva dos resultados obtidos;

- **Recursos Audiovisuais**

- ✓ Slides, cartazes, maquetes.

- **PROCEDIMENTOS DE AVALIAÇÃO:**

Participação e engajamento nas discussões.

APÊNDICE E – Questionário Final

Questionário

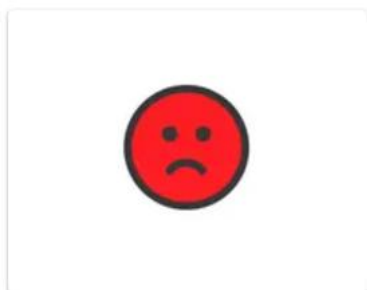
* Indica uma pergunta obrigatória

E-mail *

Nome Completo *

SEÇÃO 1

1. Utilizamos um problema como ponto de partida para o desenvolvimento do conhecimento. Com base nessa experiência, qual é o seu nível de satisfação?



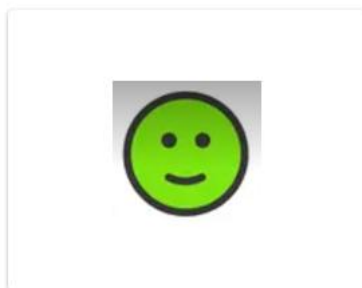
☐ Opção 1



☐ Opção 2



☐ Opção 3



☐ Opção 4



☐ Opção 5

2. Dentre as alternativas abaixo quais aspectos positivos você poderia destacar, que estão relacionados à essa metodologia (Lembrando que pode marcar mais de uma alternativa)

- ☐ As discussões sobre o tema, me levaram a refletir melhor sobre o assunto.
 - ☐ As discussões dentro do meu grupo, foram muito proveitosas. Todos (ou quase todos) fizeram suas pesquisas individuais sobre o tema e participaram das discussões em sala.
 - ☐ Acredito que dessa forma consigo relacionar melhor os conceitos básicos do conteúdo com situações do meu cotidiano.
 - ☐ Consegui aprender e fiquei curioso sobre o conteúdo.
 - ☐ Procurei pesquisar mais sobre o assunto, pois achei interessante essa forma de estudar.
- Coloque aqui algo de positivo que você gostaria de acrescentar a metodologia aplicada.
-
-
-

3. Dentre as alternativas abaixo quais aspectos negativos você poderia destacar, que estão relacionados à essa metodologia (Lembrando que pode marcar mais de uma alternativa)

- ☐ Não consegui aprender dessa forma.
- ☐ Não consegui entender o assunto.
- ☐ Senti dificuldades em realizar a pesquisa e encontrar algo sobre o assunto

Coloque aqui algo que não foi legal ou que faltou e você gostaria de acrescentar à metodologia aplicada.

SEÇÃO 2

Responda de acordo com o que você pesquisou. (Marcar apenas uma alternativa)

4. O som se propaga no ar por uma série de

- ☐ compressões
- ☐ rarefações
- ☐ ambas as anteriores
- ☐ nenhuma das anteriores

5. O som se propaga em

- ☐ sólidos
- ☐ líquidos

- gases
- todas as anteriores

6. O som se propagará mais rápido em

- uma barra de aço.
- na água do oceano
- uma tábua de madeira.
- no ar de um balão.

7. Uma onda transfere consigo

- amplitude
- comprimento de onda
- frequência
- energia

8. Os dispositivos de cancelamento do ruído fazem uso da

- destruição sonora.
- interferência sonora.
- ressonância sonora.
- amplificação sonora.

9. O período de uma onda de 10 Hz é de

- $1/10$ s.
- 1 s.
- 10 s.
- 20 s.

10. Um colega de turma afirma que, sob todas as condições, qualquer onda de rádio se propaga mais rapidamente do que qualquer onda sonora. Você

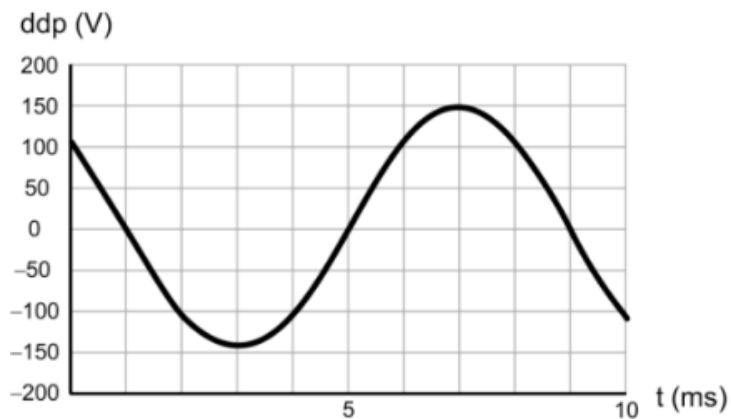
- concorda com ele.
- discorda dele.

SEÇÃO 3

Pense com calma sobre o que você estudou e responda.

11. O osciloscópio é um instrumento que permite observar uma diferença de potencial (ddp) em um circuito elétrico em função do tempo ou em função de outra ddp. A leitura do sinal e

feita em uma tela sob a forma de um gráfico tensão X tempo. A frequência de oscilação do circuito elétrico estudado é mais próxima de



BOMFIM, M. Disponível em: www.ufpr.br.

Acesso em: 14 ago. 2012 (adaptado).

- ☐ 300 Hz
- ☐ 250 Hz
- ☐ 200 Hz
- ☐ 150 Hz
- ☐ 125 Hz

12. A ultrassonografia, também chamada ecografia, é uma técnica de geração de imagens muito utilizada em medicina. Ela se baseia na reflexão que ocorre quando um pulso de ultrassom, emitido pelo aparelho colocado em contato com a pele, atravessa a superfície que separa um órgão de outro, produzindo ecos que podem ser captados de volta pelo aparelho. Para a observação de detalhes no interior do corpo, os pulsos sonoros emitidos têm frequências altíssimas, de até 30 MHz, ou seja, 30 milhões de oscilações a cada segundo.

A determinação de distâncias entre órgãos do corpo humano feita com esse aparelho fundamenta-se em duas variáveis imprescindíveis:

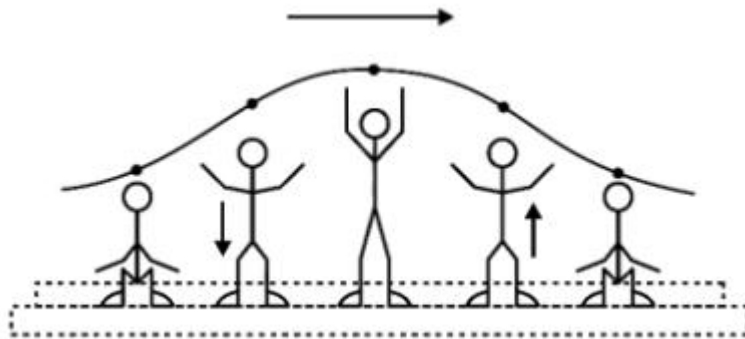
- ☐ A intensidade do som produzido pelo aparelho e a frequência desses sons.
- ☐ A quantidade de luz usada para gerar as imagens no aparelho e a velocidade do som nos tecidos.
- ☐ A quantidade de pulsos emitidos pelo aparelho a cada segundo e a frequência dos sons emitidos pelo aparelho.

- Da velocidade do som no interior dos tecidos e o tempo entre os ecos produzidos pelas superfícies dos órgãos.
- O tempo entre os ecos produzidos pelos órgãos e a quantidade de pulsos emitidos a cada segundo pelo aparelho.

13. Uma manifestação comum das torcidas em estádios de futebol é a *ola mexicana*. Os espectadores de uma linha, sem sair do lugar e sem se deslocarem lateralmente, ficam de pé e se sentem, sincronizados com os da linha adjacente. O efeito coletivo se propaga pelos espectadores do estádio, formando uma onda progressiva, conforme a ilustração.

Calcula-se que a velocidade de propagação dessa “onda humana” é de 45 km/h e que cada período de oscilação contém 16 pessoas, que se levantam e sentam organizadamente distanciadas entre si por 80 cm.

Nessa *ola mexicana*, a frequência da onda, em hertz, é um valor próximo de



- 0,3
- 0,5
- 1,0
- 1,9
- 3,7

14. Referente às questões 11, 12 e 13 responda sua experiência em resolver essas questões. (Pode marcar mais de uma alternativa)

- Sentiu confiança em responder, pois a pesquisa relacionada ao trabalho ajudou na sua resposta.
- Sentiu dificuldade em responder, pois nada está relacionado ao que foi pesquisado.

- A pesquisa não contribuiu em nada; assim, respondi com base no que acredito ser correto.
- Simplesmente chutei a alternativa, pois não tenho ideia de como seria a resposta correta.
- Achei fácil, e entendi o que foi perguntado. Percebi que existe bastante relação entre as pesquisas e as discussões realizadas.

APÊNDICE F – Produto Educacional



UNIVERSIDADE
FEDERAL
DE PERNAMBUCO



MNPEF
N
P
E

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA
POLO 46

PRODUTO EDUCACIONAL

**APRENDIZAGEM BASEADA EM PROBLEMAS NO ENSINO DE
ACÚSTICA: uma sequência didática**

AUTORES: Flaviano da Silva Felix, Ernesto Arcenio Valdés Rodriguez

Caruaru
2025
Flaviano da Silva Felix

APRESENTAÇÃO

Prezado professor,

O presente trabalho faz parte da dissertação de mestrado de Flaviano da Silva Felix, orientada pelo Prof. Dr. Ernesto Arcenio Valdés Rodriguez, intitulada APRENDIZAGEM BASEADA EM PROBLEMAS NO ENSINO DE ACÚSTICA: UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA PARA ESTUDANTES DO ENSINO MÉDIO. Esta pesquisa foi desenvolvida no âmbito do Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), polo 46 – UFPE/CAA, como requisito para a obtenção do título de mestre em Ensino de Física.

Esta sequência didática foi elaborada para professores de física do ensino médio e pode ser aplicada em seis aulas. Ela propõe uma abordagem contemporânea para o ensino de acústica, utilizando a metodologia da Aprendizagem Baseada em Problemas (ABP). O objetivo principal é promover a participação ativa dos estudantes, estimulando o desenvolvimento de habilidades como investigação, autonomia e a aplicação prática do conhecimento.

A sequência didática parte de um problema real: como fazer para que o som de uma campainha (tipo gongo) seja ouvido em todos os pontos da escola? Para responder a essa pergunta, os alunos, divididos em grupos, realizam pesquisas de campo na escola e consultam os conceitos de Física relacionados à acústica. Dessa forma, eles são incentivados a desenvolver soluções criativas e eficazes para o problema proposto.

É fundamental destacar que este produto educacional é flexível e pode ser adaptado para se encaixar na realidade de qualquer escola. O professor é convidado a personalizar as atividades e exemplos, de modo a torná-los mais interessantes para seus alunos.

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

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	3
2 APRENDIZAGEM BASEADA EM PROBLEMAS	4
3. SEQUÊNCIA DIDÁTICA	6
4. A SEQUÊNCIA DIDÁTICA SOBRE CONCEITOS BÁSICOS DE ACÚSTICA	7
AULA 1	7
Objetivos.....	7
Atividade executada	7
AULA 2	9
Objetivos.....	9
Atividade executada	9
AULA 3	10
Objetivos.....	10
Atividade executada	10
AULA 4	12
Objetivos.....	12
Atividade executada	12
AULA 5	12
Objetivos.....	12
Atividade executada	12
AULA 6	13
Objetivos.....	13
Atividade executada	13
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	14
5.1 QUESTIONÁRIO DIAGNÓSTICO	14
5.2 QUESTIONÁRIO FINAL	19
REFERÊNCIAS	30
APÊNDICE A – Questionário diagnóstico	31
APÊNDICE B – Mapa da escola	32
APÊNDICE C – Formulário para anotações gerais da pesquisa	33
APÊNDICE D – Questionário Final	34

1 INTRODUÇÃO

Fruto de uma pesquisa de mestrado realizada no programa Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF – UFPE/CAA), este material didático foi concebido com base em experiências pedagógicas e tem como propósito orientar os professores de Física na construção de saberes junto a seus alunos oferecendo um recurso prático para o ensino dos conceitos básicos da Acústica. A partir de atividades e estratégias didáticas contemporâneas, este produto busca contribuir para a melhoria da qualidade do ensino e para o desenvolvimento de habilidades essenciais para a formação dos estudantes.

Este produto educacional contém uma proposta metodológica que debate estratégias para despertar nos estudantes o interesse pelas aulas de Física, por meio de métodos que aproximam o conteúdo do cotidiano dos alunos. Com isso, é possível contextualizar o ensino-aprendizagem da Acústica a partir de conhecimentos prévios e de formas de construção do saber pouco utilizadas. Dentro desse contexto a Aprendizagem Baseada em Problemas surge como uma ferramenta de ensino eficiente no âmbito escolar.

A atividade proposta neste material é flexível e pode ser adaptadas para atender às necessidades específicas de cada professor e instituição escolar. A Aprendizagem Baseada em Problemas (ABP) é apresentada como uma estratégia suficiente para promover a construção de conhecimento de forma colaborativa e contextualizada, conectando a teoria à prática. Ao resolver problemas do dia a dia, os alunos desenvolvem habilidades essenciais para o século XXI, como pensamento crítico, criatividade e trabalho em equipe.

A ideia geral desse material pode ser aplicada em qualquer ano do ensino médio na íntegra ou adaptado à realidade de cada docente, dentro de qualquer assunto, pois entrega diretrizes com significado para a melhoria dos processos de ensino-aprendizagem.

2 APRENDIZAGEM BASEADA EM PROBLEMAS

A transmissão de conhecimento acumulado tem sido parâmetro de aprendizagem de uma disciplina nas escolas do ensino básico, mas a evolução tecnológica vem trazendo mudanças estruturais no ensino em todos os níveis, o que exige renovação e aprofundamento no ensino.

Dentro dessas mudanças na maneira de ensinar, apresenta-se a Aprendizagem Baseada em Problemas (Problem Based Learning) considerada uma metodologia de aprendizagem que se utiliza de situações-problema reais e cotidianas, podendo também, de acordo com o contexto, utilizar-se de situações fictícias, proporcionando um aprendizado com significado. Os problemas utilizados na ABP, não são os tradicionalmente utilizados em exames (vestibulares, ENEM), são situações estruturadas e com significado nas quais, em grupos, os estudantes são direcionados a investigar, pesquisar informações, participar ativamente de discussões e compartilhar os resultados obtidos a fim de solucionar o problema proposto.

A ABP é uma metodologia que vem demonstrando bons resultados em diversas áreas do conhecimento, promovendo o protagonismo do aluno e estimulando o desenvolvimento de competências necessárias, como o pensamento crítico, a pesquisa e o trabalho colaborativo.

A pesquisa sobre o PBL mostra uma indubitável apreciação positiva dos alunos e docentes. Ex-alunos também o avaliam positivamente e mesmo aqueles que lhe fazem críticas preferem-no ao modelo convencional de ensino (aulas expositivas). (Ribeiro, 2008, p. 29)

A ABP coloca o estudante no centro do processo de aprendizagem, desafiando-o a solucionar problemas reais, que demandam, colaboração e aplicação prática dos conceitos teóricos.

Esta metodologia apresenta fortes características interdisciplinares, pois ao se utilizar de problemas abertos do cotidiano, várias possibilidades de pesquisa podem surgir, mas existem muitas adaptações deste método podendo ser utilizado em uma única disciplina, sem que haja abordagem multidisciplinar (Kelson; Distlehorst, 2000).

Para obter sucesso com esse método se faz necessário a elaboração de um bom problema ou situação-problema, com objetivos claros e, sempre que for possível, utilizar situações do cotidiano.

Mal escrito, o problema resulta em desmotivação, leitura pobre e resultados insatisfatórios. Bem escrito, puxa a corrente de significados conceituais e a espiral do aprendizado para cima, ampliando horizontes,

abrindo portas interdisciplinares e despertando desejos por outros aprendizados relacionados. (Lima; Linhares, 2008, p. 198)

“E essa aprendizagem, que constitui o verdadeiro objetivo da situação-problema, se dá ao vencer obstáculos na realização da tarefa” (Meirieu, 1998, p. 192). Desta forma é possível perceber que a elaboração de uma situação-problema deve estar direcionada na promoção do estudante dentro da chamada, “Zona de Desenvolvimento Proximal”, que

...é a distância entre o nível de desenvolvimento real, que se costuma determinar através da solução independente de problemas, e o nível de desenvolvimento potencial, determinado através da solução de problemas sob a orientação de um adulto ou em colaboração com companheiros mais capazes. (Vygotsky, 2007, p. 97)

As mudanças curriculares ocorridas nos últimos anos, na área de ciências da natureza, enfatizam a importância de promover uma educação científica integrada ao cotidiano dos alunos, destacando a necessidade de relacionar os conteúdos com a história e a filosofia da ciência. A Base Nacional Curricular Comum (BNCC) propõe que

...a superação da fragmentação radicalmente disciplinar do conhecimento, o estímulo à sua aplicação na vida real, a importância do contexto para dar sentido ao que se aprende e o protagonismo do estudante em sua aprendizagem e na construção de seu projeto de vida (Brasil, 2017, p. 17)

Em oposição aos problemas tradicionais utilizados em exames, a ABP surgiu na década de 60 como uma resposta às críticas dirigidas ao modelo comum de ensino, especialmente nas áreas de ciências médicas. A sua utilização de forma organizada surgiu na escola de medicina de McMaster, no Canadá.

Além do Canadá, universidades em diversas partes do mundo começaram a utilizar essa metodologia, como a universidade de Maastricht, na Holanda, e a Universidade de Newcastle, na Austrália. Mas, apesar de a ABP ter surgido para a formação em medicina, esta tem se ampliado para diversas áreas do conhecimento, como administração e engenharias. O uso dessa estratégia tem também se estendido com o intuito de promover a aprendizagem de alunos do Ensino Médio. A ABP é uma proposta pedagógica que consiste no ensino centrado no estudante em que a ideia é resolver problemas reais ou simulados.

3. SEQUÊNCIA DIDÁTICA

As sequências didáticas (SD) são ferramentas de enorme importância para o planejamento e execução de práticas pedagógicas. Segundo Pais (2016, p. 102) “uma sequência didática é formada por um certo número de aulas planejadas e analisadas previamente com a finalidade de observar situações de aprendizagem, envolvendo conceitos previstos na pesquisa didática”. As SD são “um conjunto de atividades ordenadas, estruturadas e articuladas para a realização de certos objetivos educacionais, que têm um princípio e um fim conhecidos tanto pelos professores como pelos alunos” (Zabala, 1998, p. 18).

As SD permitem ao professor organizar de forma clara e lógica o conteúdo e as estratégias pedagógicas que serão utilizadas; lembrando que, podem ser adaptadas às necessidades específicas do estudante.

As sequências podem indicar a função que tem cada uma das atividades na construção do conhecimento ou da aprendizagem de diferentes conteúdos e, portanto, avaliar a pertinência ou não de cada uma delas, a falta de outras ou a ênfase que devemos lhes atribuir. (Zabala, 1998, p. 20)

No processo educacional, avaliação e planejamento são inseparáveis na atuação docente, pois tudo o que acontece nas aulas deve ter toda uma análise das intenções, previsões, expectativas e avaliação dos resultados (Zabala, 1998). Além disso, a avaliação no contexto das SD desempenha um papel formativo, orientando tanto o professor quanto os estudantes no conhecimento de avanços e desafios ao longo do percurso. Outro aspecto importante das sequências é o potencial para promover aprendizagens com significado, conforme Ausubel (2003). A organização progressiva dos conteúdos facilita a conexão entre os conhecimentos prévios dos estudantes e os novos conceitos, garantindo uma assimilação mais profunda e duradoura.

A SD torna-se mais dinâmica com a utilização de metodologias ativas, como a ABP que incentiva o protagonismo do estudante no processo de aprendizagem aumentando o engajamento e a motivação do discente. Por fim, é importante destacar que a elaboração da sequência exige do professor não apenas domínio dos conteúdos, mas também competências pedagógicas e didáticas para selecionar, articular e avaliar as atividades de forma coerente. Desta forma, a formação docente contínua e o acesso a referenciais teóricos são fundamentais para que as SD sejam aplicadas de forma satisfatória, contribuindo para a melhoria do ensino e para o desenvolvimento integral dos alunos.

4. A SEQUÊNCIA DIDÁTICA SOBRE CONCEITOS BÁSICOS DE ACÚSTICA

Como professor de Física há mais de quinze anos, tenho observado ao longo desse tempo a dificuldade que os estudantes do ensino médio enfrentam para relacionar a aprendizagem de conceitos e conteúdos científicos ao cotidiano. Essa desconexão, muitas vezes, limita o entendimento mais amplo da ciência e sua aplicabilidade prática.

Os conceitos relacionados à Acústica estão presentes em diversas áreas do conhecimento, como medicina, engenharia, meio ambiente, entre outras. No entanto, a maioria das pessoas desconhece a vasta gama de aplicações desses conceitos, o que reforça a necessidade de abordá-los de forma mais contextualizada no ambiente escolar.

Nesse sentido, este produto educacional propõe uma sequência didática voltada ao estudo dos conceitos básicos de Acústica, como onda sonora, comprimento de onda, frequência, velocidade de propagação, potência sonora, entre outros. A proposta busca não apenas apresentar os conceitos, mas também aproximá-los da realidade dos estudantes, promovendo uma aprendizagem com mais significado.

Esta SD foi elaborada para ser realizada em uma turma do 2º ano do ensino médio em 6 aulas de 50 minutos. Para isso, utilizamos uma aula de Física e duas aulas de trilha formativas, ao longo de duas semanas.

AULA 1

Objetivos

- Verificar os conhecimentos prévios dos estudantes;
- Apresentar as ideias gerais da ABP;
- Apresentação do problema a ser trabalhado na SD.

Atividade executada

Inicia-se a aula com a aplicação de um pequeno questionário (Apêndice A), explicando aos estudantes qual será a função desse questionário e que respondam de forma clara e objetiva.

Em seguida, deve apresentar aos alunos o que é a ABP e para isso, pode utilizar vídeos, slides ou qualquer outra forma que o professor achar necessário. É interessante destacar nesta apresentação que essa é uma metodologia ativa na qual os estudantes aprendem buscando a solução de problemas complexos e reais; que deverão trabalhar em equipe para investigar o

problema, buscar soluções e aprender conceitos necessários ao longo do processo; e por fim, que este método promove habilidades tais como, colaboração, pensamento crítico e resolução de problemas.

Para reforçar esse entendimento o professor pode apresentar algum exemplo de aplicação prática da ABP, tendo o cuidado de escolher um exemplo que demonstre bem a principal característica dessa metodologia que é, ao investigar a resolução de um problema real, o aluno aprende com as pesquisas, com as discussões. No nosso caso utilizamos um recorte da série Dr. House, que destaca bem as discussões entre os profissionais da saúde para resolver o problema de um paciente, e apresentamos um trecho de uma reportagem do jornal Diário de Pernambuco onde se destaca uma iniciativa do Porto Digital, o projeto “Juventude Code: Clube de programação para jovens em situação de vulnerabilidade.

A iniciativa do Porto Digital pretende criar um clube de programação com 30 jovens da escola técnica da instituição e que vivem em vulnerabilidade social. O objetivo é desenvolver, por meio da aprendizagem baseada em problemas, o pensamento computacional deles e estimular que mapeiem as dificuldades existentes na comunidade do Pilar, no Bairro do Recife, e consigam criar soluções. (DIÁRIO DE PERNAMBUCO, 2021)

Em nossa abordagem apresentamos duas perguntas incentivando os estudantes a refletir e discutir brevemente sobre:

- Na sua opinião, como é o trabalho de um cientista? O que um cientista faz?
- A maneira como você estuda ciências se assemelha ao modo como os cientistas realmente trabalham?

Após essa apresentação inicial, os alunos serão orientados a se organizar em grupos (de 6 a 8 integrantes está de bom tamanho). Essa formação visa promover a colaboração e facilitar a troca de ideias durante o processo de resolução do problema. O objetivo é que cada grupo possa trabalhar de forma coletiva, compartilhando responsabilidades, dividindo tarefas e aplicando os conceitos discutidos em sala. Além disso, é necessário sempre enfatizar a importância do trabalho em equipe, incentivando a participação ativa de todos os membros em cada etapa do projeto, desde a pesquisa até a proposição de soluções.

Para finalizar a aula, será feita a apresentação do problema, podendo utilizar diversos meios para isso: impresso, slides ou vídeo. Ficando a critério do professor. É bom lembrar que o problema deve ser elaborado de acordo com a realidade escolar e social do estudante. A nossa escola por possuir uma grande área, apresenta um problema relacionado ao toque da campanha que por vezes não é ouvido por todos e a partir disso elaboramos o seguinte desafio:

Melhorando a Propagação do Som da Campanha nos Diversos Ambientes da Escola

A escola onde você estuda possui grandes áreas abertas e pátios amplos, proporcionando um ambiente ideal para atividades ao ar livre. No entanto, há uma reclamação frequente: o som da campainha que sinaliza a troca de horários não é ouvido com clareza, especialmente nas salas mais afastadas. O som parece se dissipar e não alcança todos os espaços da escola.

Como parte de uma equipe técnica responsável por resolver esse problema, seu papel será investigar o que está causando essa dificuldade de propagação do som. Utilizando os conhecimentos gerais de acústica, vocês precisarão realizar pesquisas sobre o tema para propor soluções fundamentadas, que garantam que o som da campainha seja ouvido em todos os espaços da escola. E no caso de uma impossibilidade, técnica ou financeira de resolver o problema, isso também deverá ser demonstrado.

Este problema é o ponto central da sequência didática, e os estudantes têm a tarefa de investigar as causas da má acústica e sugerir propostas de solução. Após a apresentação do problema, o aprofundamento teórico e a investigação detalhada serão deixados sob a responsabilidade dos estudantes, incentivando-os a buscar soluções de forma colaborativa e autônoma.

AULA 2

Objetivos

- Compreender a distribuição espacial da estrutura física da escola e localizar os pontos críticos da distribuição sonora da campainha.

Atividade executada

Inicialmente entregamos a missão de cada equipe: medir a distância entre a campainha e os diversos pontos da escola, analisando em quais locais o som se tornava mais audível ou menos audível identificando quais os motivos para essa diferença de sensação. Cada grupo recebeu materiais básicos para a tarefa, como trena, papel e lápis, além de instruções para dividir as tarefas entre os integrantes a fim de otimizar o tempo. Durante a atividade, a campainha foi acionada diversas vezes para que os alunos pudessem realizar suas observações e medições. Alguns grupos, por iniciativa própria, realizaram pesquisas nas salas mais afastadas, perguntando aos colegas sobre a percepção do som nesses ambientes, outro observou o movimento das árvores para identificar a direção predominante do vento, pois suspeitaram que ele poderia influenciar a propagação do som. O que demonstra que os próprios estudantes começam a criar situações que os levam a pensar sobre os possíveis obstáculos referentes ao problema. Em seguida, foram orientados a realizar a transposição dos dados colhidos para um

mapa da escola (Apêndice B), entregue a cada grupo, extraído do Software Google Earth®, onde devem destacar elementos que interferem na acústica, como a presença de árvores, paredes e outros obstáculos. Além de demarcarem os pontos críticos e a localização da campainha.

Nos últimos 20 minutos da aula, os grupos reúnem-se em sala para um momento de reflexão coletiva sobre as percepções obtidas em relação ao problema existente na escola. Esse momento, tem o objetivo de promover uma troca de informações rápida, mas com significado, entre os grupos. Após as discussões iniciais e os relatos rápidos de cada grupo, propõe-se que reflitam sobre os próximos passos a serem seguidos em suas pesquisas, destacando que o foco principal deve ser a busca por soluções para o problema proposto. Ressaltando que seria fundamental aprofundar os conhecimentos sobre a física do som, compreendendo os aspectos teóricos que embasam o tema. Como tarefa de casa, sugere-se que cada estudante, individualmente, pesquise sobre tópicos específicos, tais como: "O que é o som?", "Como ocorre sua propagação?" e "Quais fatores influenciam a propagação do som em ambientes abertos?", mas que não fiquem apenas nessas perguntas e busquem outras informações além das citadas, incentivando-os a serem curiosos e criativos, permitindo explorar diversas situações e exemplos que percebam ser relevantes e que possuam alguma relação com o tema.

AULA 3

Objetivos

- Compartilhar os conhecimentos adquiridos.

Atividade executada

Com os grupos formados na aula anterior, pede-se para que cada integrante compartilhe com os colegas da equipe as pesquisas realizadas individualmente. Para essa etapa, reservamos aproximadamente 15 minutos. Durante esse tempo, os alunos são incentivados a discutir as descobertas, relacionando-as ao problema apresentado e anotando todas as sugestões. Em seguida, solicitamos que um membro de cada grupo apresentasse os resultados obtidos. Enquanto isso, registramos no quadro os pontos principais levantados por cada equipe, destacando também possíveis equívocos ou lacunas no entendimento do tema, e orientamos sobre os próximos passos a serem seguidos na pesquisa.

Na etapa seguinte, utilizamos alguns materiais (como uma caixa de isopor, uma chapa de metal, uma tábua de madeira e um pedaço de espuma) para observar como o som se propaga nesses diferentes objetos. Inicialmente, pedimos que um representante de cada grupo

deixe cair, um de cada vez, os materiais sobre a mesa, enquanto os demais integrantes, de olhos fechados, tentam identificar qual objeto foi solto. Essa atividade teve como objetivo, treinar o ouvido para o experimento a seguir. Após essa atividade inicial, distribuímos fichas (Quadro 1) para que fossem preenchidas pelos estudantes.

Quadro 1 – Análise qualitativa dos sons produzidos por alguns materiais.

MATERIAL	Batendo com a régua	Caindo na mesa
Isopor	<input type="checkbox"/> Alto (agudo)/ <input type="checkbox"/> Baixo (grave)	<input type="checkbox"/> Alto (agudo)/ <input type="checkbox"/> Baixo (grave)
	<input type="checkbox"/> Forte/ <input type="checkbox"/> Fraco	<input type="checkbox"/> Forte/ <input type="checkbox"/> Fraco
Chapa metálica	<input type="checkbox"/> Alto (agudo)/ <input type="checkbox"/> Baixo (grave)	<input type="checkbox"/> Alto (agudo)/ <input type="checkbox"/> Baixo (grave)
	<input type="checkbox"/> Forte/ <input type="checkbox"/> Fraco	<input type="checkbox"/> Forte/ <input type="checkbox"/> Fraco
Tábua de madeira	<input type="checkbox"/> Alto (agudo)/ <input type="checkbox"/> Baixo (grave)	<input type="checkbox"/> Alto (agudo)/ <input type="checkbox"/> Baixo (grave)
	<input type="checkbox"/> Forte/ <input type="checkbox"/> Fraco	<input type="checkbox"/> Forte/ <input type="checkbox"/> Fraco
Espuma	<input type="checkbox"/> Alto (agudo)/ <input type="checkbox"/> Baixo (grave)	<input type="checkbox"/> Alto (agudo)/ <input type="checkbox"/> Baixo (grave)
	<input type="checkbox"/> Forte/ <input type="checkbox"/> Fraco	<input type="checkbox"/> Forte/ <input type="checkbox"/> Fraco

Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

Os grupos devem, primeiro, bater com uma régua em cada material, observar o som produzido e marcar as alternativas adequadas, escolhendo entre alto (agudo) ou baixo (grave) e entre forte ou fraco. Em seguida, pedimos que soltem novamente os objetos, desta vez de uma mesma altura, e repitam as observações na ficha.

Depois do preenchimento das fichas, pedimos que realizassem mais uma vez a soltura dos objetos, mas agora encostando a orelha na mesa para perceber como o som era transmitido. Essa experiência causa surpresa em muitos alunos devido à diferença na percepção do som nessa condição. Questionamos o motivo, mas devido à diversidade de respostas obtidas, recomendamos que os estudantes pesquisassem mais sobre as qualidades do som para aprofundarmos a discussão na próxima aula. Também sugerimos que comesçassem a esboçar uma proposta de solução para o problema apresentado, que deveria ser compartilhada na aula seguinte.

Se ainda houver tempo, realiza-se uma rápida uma avaliação do trabalho realizado e uma autoavaliação da equipe. Informamos também que será enviado um vídeo no grupo de Whatsapp da sala – *"Como fazer um mapa conceitual"* (Lucid Software Português, 2018), para ser assistido em casa e ser utilizado na aula seguinte.

AULA 4

Objetivos

- Compartilhar as propostas de solução para o problema proposto;
- Debater as pesquisas realizadas e os caminhos a serem seguidos.

Atividade executada

Solicitamos que cada equipe fizesse um breve relato sobre suas pesquisas relacionadas às qualidades do som. Durante essa atividade inicial, o professor deve estimular os estudantes fazendo perguntas relacionadas, para motivar principalmente os mais tímidos, com o objetivo de obter o máximo de interação.

Na sequência, discutimos um pouco sobre o problema proposto e sugerimos que cada equipe apresentasse, de forma sucinta, possíveis soluções. Com isso, geramos discussões acerca do problema, estimulando assim o raciocínio e a troca de ideias entre as equipes. Neste momento da aula é bom utilizar algo que desperte a atenção e o interesse do estudante. Em nossa atividade utilizamos um aplicativo gerador de frequências que, através de um som contínuo, produz frequências entre 0 Hz e 22 000 Hz. Mas cabe ao professor, dependendo do conteúdo que esteja a utilizar, escolher as ferramentas necessárias para cada situação, podendo utilizar desde os diversos aplicativos existentes até pequenos experimentos em sala de aula.

Para concluir a aula. Solicitamos às equipes a construção de mapas conceituais, utilizando como base o vídeo “Como Fazer um Mapa Conceitual⁸”, proposto na aula anterior, buscando assim uma melhor organização dos conhecimentos compartilhados até o momento.

AULA 5

Objetivos

- Organizar os conhecimentos adquiridos;
- Construir mapas conceituais.

Atividade executada

Após a distribuição das equipes na sala, deu-se início a etapa de finalização dos mapas conceituais, etapa muito importante para a sistematização do conhecimento trabalhado.

⁸ <https://www.youtube.com/watch?v=F54SWctP7-E>

Enquanto os alunos se organizavam, reforçamos, mais uma vez, as diferenças fundamentais entre mapa mental e mapa conceitual. Durante essa etapa, deve-se reforçar a diferença entre mapa mental e mapa conceitual, buscando evitar a confusão que os estudantes fazem entre essas ferramentas de organização visual. Mais uma vez o professor deve estar atento, acompanhando o progresso de cada grupo, sanando dúvidas pontuais e intervindo quando necessário para garantir que os mapas demonstrem uma boa compreensão do tema abordado.

Alguns alunos, que nunca haviam tido contato com mapas conceituais, surpreenderam-se de forma positiva com a ferramenta, destacando a intenção de aplicar a técnica em outras disciplinas, como forma de organizar conteúdos. Quanto às dificuldades apresentadas pelos estudantes, a maioria estava relacionada em estabelecer relações claras entre os conceitos, tendendo a listar informações em vez de estrutura-las. Para contornar isso, fornecemos exemplos práticos no quadro, modelando a construção de proposições. Além disso sugerimos o uso de softwares como Cmap Tools, apesar de alguns preferirem realizar a construção de forma manual.

Esta aula reforçou a importância de atividades que vão além da memorização, incentivando a construção ativa do conhecimento. Como próximo passo, planejamos uma socialização dos mapas entre as equipes, promovendo a troca de perspectivas.

AULA 6

Objetivos

- Apresentar as soluções ao problema proposto;
- Avaliar as propostas apresentadas.

Atividade executada

Nessa aula as equipes deverão apresentar suas propostas de solução para o problema proposto. Cada grupo terá 5 minutos para apresentação, com mais 5 minutos para discussões. A forma de apresentação é livre, mas deverá conter recursos que favoreçam o entendimento dos colegas.

Durante as apresentações recomendamos que o professor anote todas as observações pertinentes, para posterior discussão com os estudantes. É também muito recomendado que busque manter o clima de positividade, elogiando bem os pontos positivos de cada projeto, evitando, assim, que as outras equipes se sintam desmotivadas a apresentar seus projetos.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 QUESTIONÁRIO DIAGNÓSTICO

Os primeiros resultados foram extraídos da análise das respostas do questionário diagnóstico (Apêndice A). Como foi utilizado questões subjetivas, analisamos as questões por grupos de respostas com alguma semelhança.

Tabela 1 – Grupo de respostas semelhantes da questão 1

Alunos	O que é o som?
A1	Conjunto de barulhos – 10
A2	Ondas sonoras (o que escutamos e o que não escutamos também) – 21
A3	O som é uma vibração – 13
A4	É um tipo de onda mecânica, pois precisa de um meio para se propagar – 2
A5	São ondas invisíveis que saem de seres ou objetos – 5

Fonte: Elaborada pelo autor (2024)

As respostas fornecidas pelos estudantes refletem diferentes níveis de entendimento sobre o tema, enraizados em suas vivências. Contudo, há espaço para aprofundar essas percepções, explorando até que ponto o conhecimento cotidiano se aproxima ou diverge do científico, identificando suas potencialidades e limitações. Essa análise é essencial para orientar estratégias pedagógicas que ampliem e conectem os conceitos prévios dos alunos a uma compreensão mais fundamentada e sistemática.

As respostas do grupo A1 (Tabela 1) reflete uma concepção cotidiana e limitada sobre o som, associando-o a ruídos ou incômodos. Embora essa visão seja comum, ela não explora a natureza física ou científica do fenômeno, demonstrando uma compreensão superficial do tema. Isso pode ser atribuído à falta de contato prévio com explicações mais aprofundadas sobre o conceito de som, o que é esperado em um questionário diagnóstico. Essa atividade inicial serve justamente para revelar que os alunos, em geral, baseiam seu entendimento no cotidiano, destacando a necessidade de ampliar e sistematizar esses conhecimentos ao longo das aulas.

Já as respostas do grupo A2 demonstram um conhecimento um pouco mais técnico, mas ainda apresentando indícios de conhecimentos da sua vivência, reconhecendo o som como uma onda sonora e incluindo tanto frequências audíveis quanto as inaudíveis. No entanto carece de maior detalhamento sobre as características do som, como frequência, amplitude ou propagação. Apesar disso é um bom ponto de partida para discutir conceitos mais avançados.

O grupo A3 apresenta uma resposta correta, mas algo superficial. Reconhecer o som como vibração demonstra um entendimento básico e fundamental do tema. No entanto, a resposta não esclarece como essas vibrações se transformam em ondas sonoras ou como são percebidas pelos nossos ouvidos. Isso indica uma compreensão inicial do conceito, que ainda carece de maior aprofundamento e conexão com os aspectos físicos.

As respostas do grupo A4 são mais precisas, demonstrando um entendimento mais avançado sobre o tema. Os alunos reconhecem que o som é uma onda mecânica e destacam sua dependência de um meio material para se propagar. Contudo, a explicação poderia ser enriquecida com exemplos ou descrições mais detalhadas sobre o processo de propagação. Esse aprofundamento será abordado ao longo das aulas, conforme o desenvolvimento da sequência didática.

Os alunos do grupo A5 apresentam respostas que combinam uma concepção científica com elementos mais intuitivos, baseados principalmente em suas vivências cotidianas. Embora seja correto afirmar que o som é invisível e gerado por objetos ou seres, a explicação se mostra incompleta e um pouco imprecisa, pois não aborda características físicas do som ou o conceito de ondas mecânicas. Essa lacuna reflete a necessidade de aprofundar o conhecimento durante as aulas, para que os alunos compreendam plenamente os aspectos científicos envolvidos.

Esses resultados reforçam a importância de conectar os conhecimentos prévios dos alunos às explicações científicas, utilizando suas percepções como ponto de partida para ampliar e sistematizar o entendimento sobre o som. A sequência didática proposta vem para abordar as lacunas identificadas, explorando conceitos físicos como amplitude, frequência, propagação e interação com o meio. Assim, é possível promover uma aprendizagem significativo e desenvolver uma visão mais integrada e científica do som.

Assim, os alunos se familiarizarão com os processos que integram a metodologia científica como uma forma privilegiada para conhecer a realidade – aprendendo a desenvolver competências fundamentais à sua emancipação como ser pensante: capacidade de argumentação, habilidade para observar/olhar o ambiente à sua volta, capturando sensivelmente aspectos que os ajude a perceber e interpretar a realidade com maior independência de crítica.

É fundamental que haja um equilíbrio entre a autonomia dos alunos e o suporte oferecido pelo professor, garantindo um progresso adequado durante a aplicação da metodologia. Para isso, é essencial que os professores estejam disponíveis para fornecer feedback construtivo e que os alunos se mostrem receptivos a esse retorno. Dessa forma, será possível corrigir

eventuais equívocos e promover um desenvolvimento mais consistente ao longo da sequência didática.

Tabela 2 – Grupo de respostas semelhantes da questão 2

Alunos	O que é necessário para um som ser ouvido a uma grande distância?
A1	Som alto – 32
A2	Ondas sonoras maiores – 8
A3	Ter poucos obstáculos no caminho – 3
A4	Eco – 3
A5	Amplificador – 3

Fonte: Elaborada pelo autor (2024)

As respostas dos grupos A1 e A2 (Tabela 2) indicam que, para o som ser ouvido a uma grande distância, ele precisa “estar alto” ou possuir “ondas maiores”. Embora essa ideia reflita uma concepção intuitiva e cotidiana, pode estar associada à amplitude das ondas sonoras, o que faz sentido, já que a amplitude está relacionada ao volume e à energia transportada pela onda. No entanto, essa explicação também pode gerar confusão com outros parâmetros, como o comprimento de onda ou a frequência, evidenciando uma compreensão inicial e limitada. Além disso, os alunos não mencionam outros fatores físicos essenciais para a propagação do som, como as características do meio em que ele se propaga. Essas respostas, baseadas em vivências cotidianas, servem como ponto de partida, mas precisam ser aprofundadas para alcançar uma compreensão mais precisa e científica.

É feita uma observação válida pelo grupo de alunos A3 onde eles mostram a percepção sobre como o ambiente influencia a propagação do som. Pois obstáculos podem absorver, refletir ou dispersar ondas sonoras, diminuindo sua intensidade ao longo do percurso. No entanto, a resposta poderia ser mais completa se incluísse explicações sobre os fenômenos físicos envolvidos, como reflexão, absorção e difração.

Embora o eco seja um fenômeno relacionado à reflexão do som, ele não responde diretamente à questão sobre a propagação a grandes distâncias. A resposta apresentada pelo grupo A4 indica uma confusão conceitual, sugerindo a necessidade de orientação para que os alunos compreendam a diferença entre o fenômeno do eco e os fatores que realmente influenciam a propagação do som.

Por outro lado, o grupo A5 demonstra uma compreensão mais prática do tema, mencionando que um amplificador aumenta a energia das ondas sonoras, permitindo que o som alcance maiores distâncias. Embora a resposta não aborde diretamente os aspectos físicos da propagação do som, ela é positiva por mostrar que os alunos conseguem conectar o tema a

aplicações reais e tecnológicas. Essa conexão prática pode ser utilizada como ponto de partida para aprofundar o entendimento dos conceitos científicos envolvidos.

As respostas variam de observações cotidianas e práticas nos grupos A1, A3, A5 a tentativas mais técnicas, mas pouco imprecisas (A2 e A4). Isso evidencia que os alunos possuem diferentes níveis de entendimento sobre o tema. Nenhuma das respostas menciona explicitamente os fatores físicos essenciais para a propagação do som a grandes distâncias, como amplitude (intensidade) da onda sonora, condições do meio de propagação ou até mesmo a redução de perdas de energia devido à absorção ou dispersão.

Tabela 3 – Grupo de respostas semelhantes da questão 3

Alunos	Descreva as características, utilizando os seus conhecimentos, do som produzido pela campainha da escola
A1	Vibrações – 9
A2	É um som com uma “entonação” bem alta, onde pode ser ouvida de quase todas as partes da escola – 9
A3	Som estridente, alto, agudo e fino – 2
A4	Som de alta frequência – 2
A5	Som parecido com o chocalho de uma vaca, ou chocalho de bicicleta, só que mais rápido – 3

Fonte: Elaborada pelo autor (2024)

Essa questão foi elaborada com o objetivo de avaliar se os alunos conseguem relacionar os conceitos de som às características específicas do som produzido pela campainha da escola. Além de estimular a observação, ela também busca identificar como os estudantes aplicam conhecimentos prévios, tanto do cotidiano quanto de conceitos científicos, para descrever o fenômeno. Essa abordagem permite compreender o nível de entendimento dos alunos sobre aspectos como frequência, intensidade e timbre, ao mesmo tempo que revela possíveis lacunas que podem ser abordadas durante a sequência didática.

Na questão 3 (Tabela 3) onde pede para o aluno descrever as características, utilizando os seus conhecimentos, do som produzido pela campainha da escola, as respostas apresentam certa diversidade, abordando conceitos como frequência, vibrações e até mesmo a entonação do som. No caso do grupo A1, observa-se um entendimento básico e genérico, associando o som às vibrações que realmente o originam. No entanto, essa descrição é bastante limi-

tada, pois não aprofunda as características específicas do som da campainha, como sua frequência, intensidade ou timbre, deixando de explorar aspectos mais detalhados e técnicos do fenômeno.

As descrições dos grupos A2 e A5 refletem observações práticas dos alunos no ambiente escolar, além de utilizarem comparações válidas para ilustrar o timbre ou o ritmo do som. No entanto, essas respostas carecem de um aprofundamento em aspectos como a intensidade do som e sua capacidade de alcançar diferentes espaços da escola. Embora não utilizem termos científicos, como "amplitude" para descrever o volume, elas demonstram uma percepção inicial sobre uma característica importante do som.

A criatividade e o esforço para conectar o som a experiências familiares são aspectos positivos dessas respostas. No entanto, elas poderiam ser enriquecidas com conceitos técnicos, como os relacionados à propagação e ao alcance das ondas sonoras, para promover uma compreensão mais fundamentada e precisa.

A descrição do grupo A3 é mais precisa, destacando-se por ser a mais detalhada e qualitativa entre as respostas. Termos como "estridente" e "agudo" indicam uma compreensão de que o som da campainha possui alta frequência, estabelecendo uma conexão entre as propriedades físicas do som e suas características percebidas. Essa resposta demonstra um bom nível de observação e entendimento inicial, embora ainda possa ser enriquecida com conceitos técnicos adicionais.

O grupo A4 apresenta um conceito técnico correto, mas limitado. Embora o som da campainha geralmente tenha uma alta frequência, essa característica poderia ser contextualizada com outras propriedades, como timbre, intensidade ou duração. A resposta mostra que os alunos desse grupo têm algum conhecimento técnico, mas como nos grupos anteriores ainda precisa ampliar a explicação para torná-la mais completa.

As respostas variam de observações básicas e genéricas A1 a descrições mais detalhadas e técnicas A3, A4. Isso evidencia níveis heterogêneos de compreensão sobre o tema. A maioria dos alunos baseou suas respostas em características perceptíveis, como intensidade, frequência e timbre, mas poucos utilizaram conceitos científicos para fundamentar suas observações. Apenas A4 menciona um conceito técnico específico (alta frequência), enquanto outras respostas se concentram em descrições qualitativas ou comparações do cotidiano. Isso aponta para a necessidade de ampliar o vocabulário científico dos alunos e aprofundar a compreensão dos fenômenos sonoros.

5.2 QUESTIONÁRIO FINAL

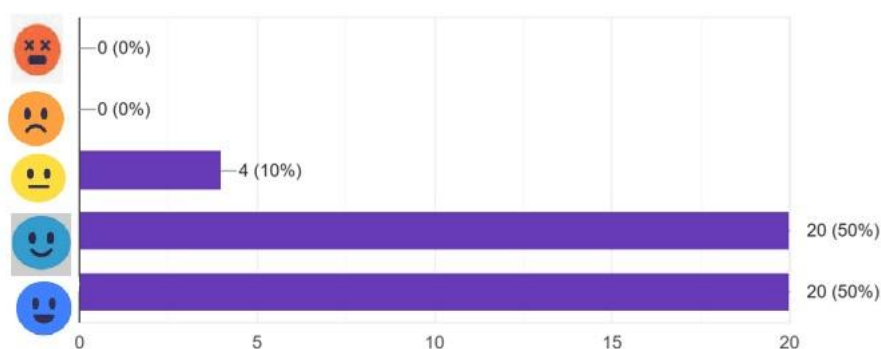
Ao final das seis aulas, realizamos uma atividade avaliativa por meio do Google Formulários (Apêndice D). Solicitamos aos estudantes que respondessem de forma honesta e sem se preocuparem com erros ou acertos, pois o principal objetivo era avaliar como foi o processo de aprendizagem. A avaliação contou com a participação de 40 alunos. Algumas perguntas permitiam múltiplas respostas, e esse aviso estava presente na maioria das questões. No entanto, na primeira pergunta, devido a um erro, não foi informado que não era permitido marcar mais de uma alternativa, o que fez com que alguns poucos estudantes escolhessem dois emoji como resposta.

A primeira seção do questionário continha três perguntas voltadas para avaliar o nível de satisfação dos alunos em relação à atividade realizada. Os resultados demonstraram uma boa aceitação da metodologia utilizada. Em relação à primeira pergunta, no gráfico da Figura 30, é possível observar que houve quatro menções à satisfação “razoável”, enquanto as opções “bom” e “ótimo” receberam, respectivamente, 20 indicações cada. Esses dados indicam um bom nível de aceitação e engajamento com a atividade proposta.

Figura 30 – Nível de satisfação com a metodologia utilizada.

1. Utilizamos um problema como ponto de partida para o desenvolvimento do conhecimento. Com base nessa experiência, qual é o seu nível de satisfação?

40 respostas

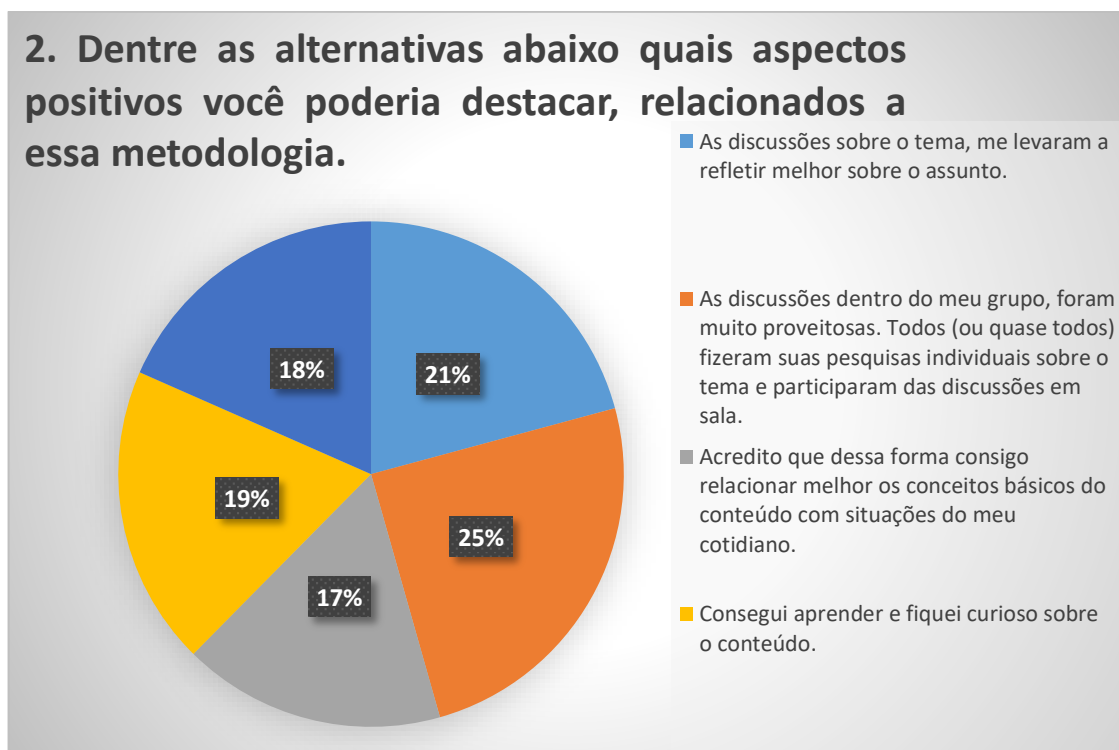


Fonte: autoria própria (2024).

A questão 2, apresentada no gráfico da Figura 31, analisou os aspectos positivos da metodologia utilizada. Nesta pergunta, os alunos podiam marcar mais de uma alternativa, permitindo uma avaliação mais ampla. Observamos que as respostas ficaram bem equilibradas, com 25% dos participantes destacando as discussões realizadas entre eles como o ponto mais

positivo da experiência. Além disso, foi possível perceber que houve um bom nível de participação na elaboração dos trabalhos, o que reforça a eficácia da proposta em promover o engajamento e a colaboração entre os estudantes.

Figura 31 – Aspectos considerados positivos pelos estudantes em relação à metodologia utilizada.



Fonte: autoria própria (2024).

Além das respostas objetivas, deixamos um espaço livre para colocarem algo de positivo, que não foi citado mas que gostaria de acrescentar, desta forma, muitos estudantes expressaram em seus comentários que a metodologia aplicada tornou o aprendizado mais leve, dinâmico e envolvente. Relatos como "foi uma forma divertida de aprender", "as discussões em grupo ajudaram muito a entender o tema", e "sair do comum para algo diferente despertou meu interesse" foram recorrentes. Alguns alunos destacaram que, pela primeira vez, sentiram-se realmente curiosos em relação ao conteúdo, chegando até a buscar mais informações fora do ambiente de aula. Outros afirmaram que o trabalho em equipe e o compartilhamento de ideias foram fundamentais para melhorar a comunicação e a compreensão dos conceitos.

Sobretudo, sugestões construtivas também surgiram, como a inclusão de exemplos e testes mais práticos relacionados ao cotidiano, para reforçar a aplicação dos conceitos estudados. Alguns propuseram o uso de desenhos, maquetes e até experimentos que permitissem uma

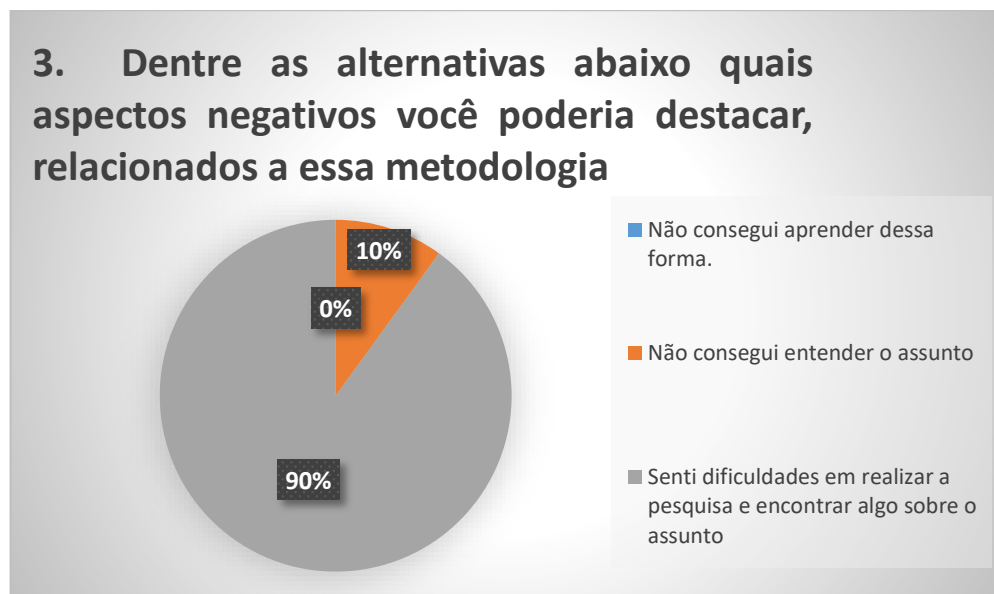
vivência mais concreta do conteúdo. Houve quem apontasse que um maior tempo para discussões e uma orientação mais detalhada sobre as pesquisas poderiam tornar a experiência ainda mais rica.

Solicitamos também que avaliassem os aspectos negativos relacionados a atividade, o que é apresentado no gráfico da Figura 32. Destacam-se aqui dois fatos: vinte estudantes deixaram todas as alternativas sem marcar e a maioria dos que marcaram sentiu dificuldades em realizar a pesquisa e encontrar algo sobre o assunto; esse fato é positivo para a metodologia ABP pois o problema não pode ser óbvio e fácil de encontrar numa simples pesquisa via internet.

Foi solicitado aos estudantes que comentassem algo que não foi legal ou que faltou na atividade e que eles gostariam de acrescentar à metodologia aplicada. Muito afirmaram não ter nada de negativo a comentar, destacando que a experiência foi bastante positiva. No entanto alguns estudantes relataram que nem todos os integrantes dos grupos se esforçaram igualmente, o que acabou sobrecarregando outros membros. Foi relatado também que, encontrar propostas diferenciadas para o problema foi um desafio. Além disso, alguns sentiram dificuldade em compreender e aplicar conceitos mais complexos relacionados ao tema. Uma sugestão apontada foi a utilização de temas diferentes para cada grupo, estimulando uma maior diversidade nas soluções apresentadas.

Apesar das barreiras mencionadas, muitos estudantes destacaram que os desafios enfrentados reforçaram a importância do trabalho em equipe, da persistência e da curiosidade. Mesmo as dificuldades iniciais contribuíram para o aprendizado e para um maior envolvimento com o conteúdo.

Figura 32 – Aspectos considerados negativos pelos estudantes em relação à metodologia utilizada

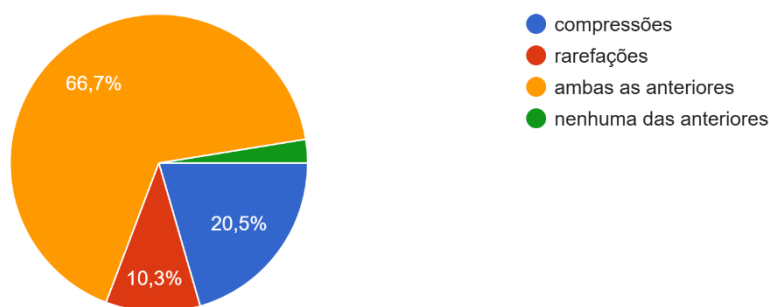


Fonte: autoria própria (2024).

Na seção 2, nas questões 4 a 10, abordamos alguns conceitos básicos de acústica. Nas questões 4, 5, 6 e 7 trata de modo geral da propagação do som. Na questão 4 a maioria dos estudantes (66,7%) respondeu corretamente que o som se propaga no ar por uma série de compressões e rarefações. Um número considerável de alunos (20,5%) acredita que a propagação ocorre apenas por compressões, e uma minoria (10,3%) acredita que nenhuma das opções está correta. Esses erros podem indicar uma compreensão superficial do conceito de onda sonora.

Figura 33 – Questão sobre como ocorre a propagação do som.

4. O som se propaga no ar por uma série de
39 respostas



Fonte: autoria própria (2024).

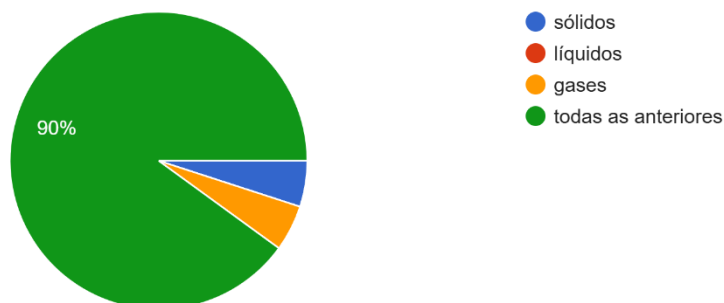
O som necessita de um meio material para se propagar, e ele consegue se propagar em qualquer estado da matéria. A grande maioria (90%) respondeu corretamente (Figura 34)

que o som se propaga em sólidos, líquidos e gases, indicando que os discentes possuem um bom entendimento desse conceito básico.

Figura 34 – Questão sobre meios de propagação do som.

5. O som se propaga em

40 respostas



Fonte: autoria própria (2024).

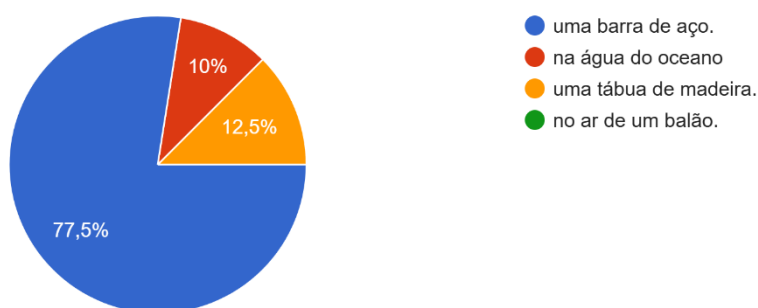
Uma pequena parcela dos participantes acredita que o som se propaga apenas em um dos estados da matéria, o que indica que podem ter alguma confusão sobre a natureza da propagação do som.

O gráfico da Figura 35, nos mostra que 77,5% identificou corretamente que o som se propaga mais rápido em uma barra de aço, demonstrando assim a compreensão de que a velocidade do som varia de acordo com o meio de propagação, sendo maior nos sólidos do que em líquidos e gases.

Figura 34 – Questão sobre velocidade do som.

6. O som se propagará mais rápido em

40 respostas



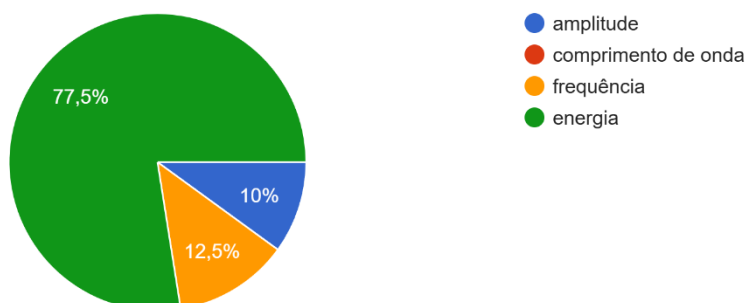
Fonte: autoria própria (2024).

A maioria dos estudantes (77,5%) associou corretamente a energia à característica transferida por uma onda (Figura 35), o que nos leva a perceber um entendimento básico sobre a natureza das ondas e a forma como elas transportam energia.

Figura 34 – Questão sobre velocidade do som.

7. Uma onda transfere consigo

40 respostas



Fonte: autoria própria (2024).

De modo geral em relação a essas quatro questões, os estudantes demonstram um bom domínio dos conceitos básicos sobre a propagação do som, incluindo aí a identificação dos meios de propagação, do mecanismo de compressões e rarefações, a relação entre o estado da matéria e a velocidade do som, e a compreensão de que as ondas transportam energia.

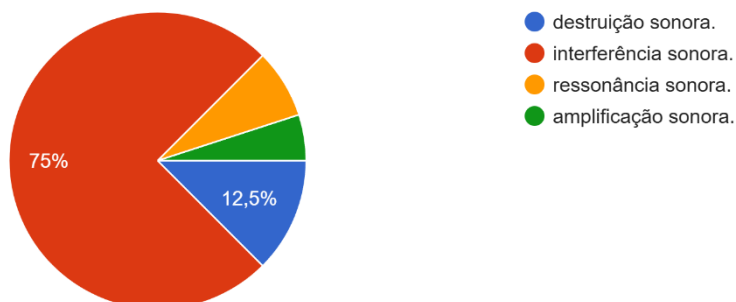
Embora a compreensão seja boa, ainda há espaço para aprofundar o conhecimento sobre o mecanismo de propagação no ar e as características específicas das ondas sonoras. O uso de simulações e a realização de atividades que permitam aos alunos observarem a propagação do som em diferentes meios, pode melhorar a compreensão desses conceitos.

Boa parte dos estudantes (75%) respondeu corretamente que esses dispositivos fazem uso da interferência sonora. Esse resultado nos indica um bom entendimento do princípio básico por trás dessa tecnologia, que é gerar uma onda sonora com a mesma frequência e amplitude, mas com fase oposta à onda sonora indesejada, resultando assim no seu cancelamento.

Quanto à minoria que não escolheu a alternativa correta, pode ter sido influenciada por confusão com outros conceitos, tais como a ressonância ou à amplificação e até mesmo não ter tido contato com o funcionamento interno dos dispositivos de cancelamento de ruído e, portanto, não conseguiram associar o conceito de interferência sonora a essa aplicação.

Figura 35 – Questão sobre dispositivos de cancelamento de ruído.

8. Os dispositivos de cancelamento do ruído fazem uso da
40 respostas

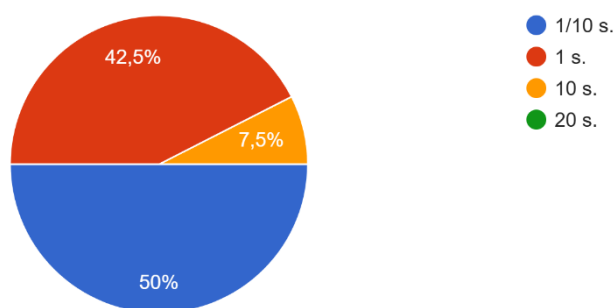


Fonte: autoria própria (2024).

A questão 9 (Figura 36) buscou avaliar a compreensão sobre a relação entre frequência e período de uma onda. A metade dos estudantes demonstrou compreender a relação inversa entre frequência e período de uma onda. Uma parcela significativa dos discentes (42,5%) confundiu frequência com período demonstrando uma falta de clareza sobre esses conceitos fundamentais da ondulatória. Já a escolha da opção 10s, sugere que uma pequena parcela dos alunos pode ter dificuldades em realizar cálculos simples envolvendo frações ou em aplicar a relação entre frequência e período.

Figura 36 – Período de uma onda de 10 Hz.

9. O período de uma onda de 10 Hz é de
40 respostas



Fonte: autoria própria (2024).

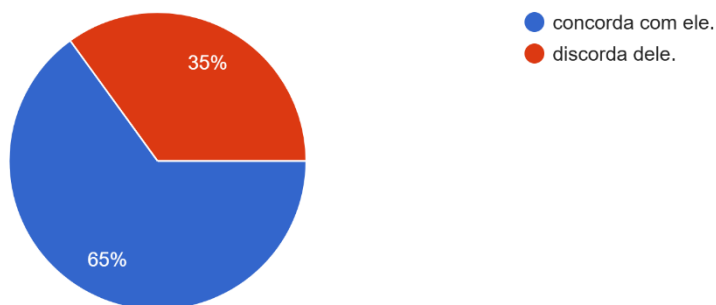
A questão 10 (Figura 37) buscou avaliar o entendimento dos alunos em relação à velocidade de propagação de diferentes tipos de onda. Quanto à declaração de que as ondas de rádio se propagam mais rapidamente que as ondas sonoras em todas as condições, 65% concordaram com essa afirmação, o que sugere uma boa compreensão da diferença entre as velocidades de propagação das ondas de rádio e sonoras, fato que pode ser relacionado à experiência

diária com a comunicação instantânea, como rádio e televisão. Quanto aos que discordaram da afirmativa (35%), revela uma falta de conhecimento da natureza das ondas e da distinção entre ondas mecânicas e ondas eletromagnéticas.

Figura 37 – Diferença de entre ondas sonoras e ondas de rádio.

10. Um colega de turma afirma que, sob todas as condições, qualquer onda de rádio se propaga mais rapidamente do que qualquer onda sonora. Você

40 respostas



Fonte: autoria própria (2024).

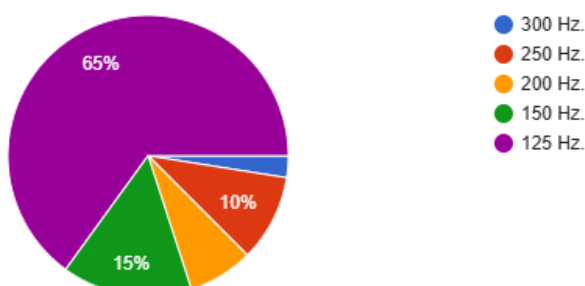
Para finalizar, na seção 3 temos três questões extraídas do Enem, para avaliar a desenvoltura dos estudantes quanto a questões contextualizadas, com mais detalhes e com um nível de dificuldade maior. Na questão 15, queremos avaliar a compreensão dos alunos sobre o conceito de frequência e a capacidade de interpretá-la a partir de um gráfico tensão \times tempo (Figura 38). Observamos que 65% dos estudantes apresentaram uma boa capacidade de interpretar o gráfico. No entanto, alguns não conseguiram assinalar a resposta correta, o fato da questão mencionar diferença de potencial (ddp), conceito ainda não estudado por eles, pode ter criado uma confusão de conceitos gerando assim um índice considerável de respostas erradas.

Figura 38 – Questão extraída do Enem PPL 2017.

11. O osciloscópio é um instrumento que permite observar uma diferença de potencial (ddp) em um circuito elétrico em função do tempo ou em função de outra ddp. A leitura do sinal é feita em uma tela sob a forma de um gráfico tensão \times tempo.

A frequência de oscilação do circuito elétrico estudado é mais próxima de

40 respostas



Fonte: autoria própria (2024).

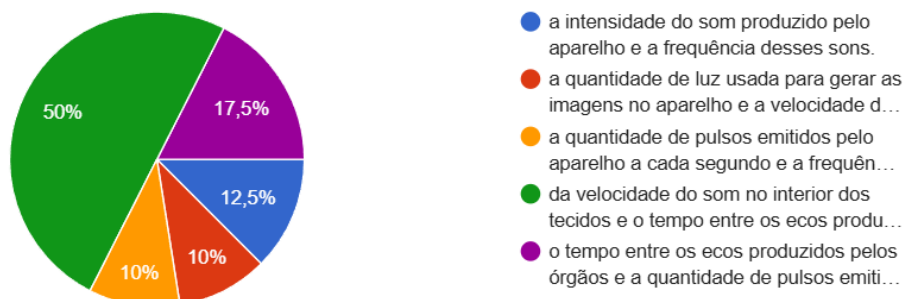
No gráfico da Figura 39 temos as respostas obtidas na questão 12, que foi extraída do Enem 2009, prova que foi cancelada por vazamento. Essa questão trata do conceito de eco e suas grandezas (tempo do eco), além do conceito de distância (relação entre a velocidade da onda e o tempo do eco). Tivemos um índice de acerto de 50% demonstrando um entendimento básico dos princípios da ultrassonografia. Eles entenderam que a técnica se baseia na emissão de pulsos sonoros e na recepção de ecos, e que a medida do tempo entre emissão e recepção desses ecos é fundamental para determinar a distância.

Figura 39 – Questão extraída do Enem 2019 (cancelado).

12. A ultrassonografia, também chamada de ecografia, é uma técnica de geração de imagens muito utilizada em medicina. Ela se baseia na reflexão que ocorre quando um pulso de ultrassom, emitido pelo aparelho colocado em contato com a pele, atravessa a superfície que separa um órgão do outro, produzindo ecos que podem ser captados de volta pelo aparelho. para a observação de detalhes no interior do corpo, os pulsos sonoros emitidos tem frequências altíssimas, de até 30MHz, ou seja, 30 milhões de oscilações a cada segundo.

A determinação de distâncias entre órgãos do corpo humano feita com esse aparelho fundamenta-se em duas variáveis imprescindíveis:

40 respostas



Fonte: autoria própria (2024).

Por outro lado, a dispersão das respostas nas outras opções mostrou que muitos alunos ainda têm dificuldades em diferenciar as variáveis que influenciam a formação da imagem ultrassonográfica. Outro motivo, é que os alunos podem ter confundido a ultrassonografia com outras técnicas de imagem, com a radiografia ou a tomografia computadorizada.

A questão 13 buscou observar a capacidade dos alunos de aplicar o conceito de frequência a um fenômeno que pode ser aplicado na própria sala de aula: a *ola mexicana*. A questão exige que os estudantes relacionem a velocidade de propagação da onda, o comprimento de onda e o período para calcular a frequência. Observamos pelo gráfico (Figura 40) que 70% dos discentes acertou a questão, demonstrando assim que entenderam que a *ola mexicana*

é um exemplo de onda mecânica e que sua frequência pode ser calculada a partir de grandezas como velocidade e comprimento de onda.

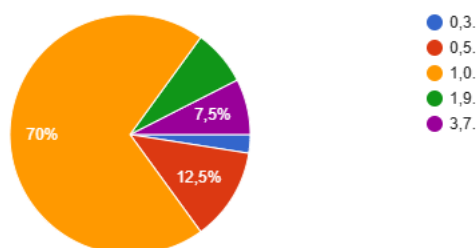
Figura 39 – Questão extraída do Enem 2013.

13. Uma manifestação comum das torcidas em estádios de futebol é a ola mexicana. Os espectadores de uma linha, sem sair do lugar e sem se deslocarem lateralmente, ficam de pé e se sentam, sincronizados com os da linha adjacente. O efeito coletivo se propaga pelos espectadores do estádio, formando uma onda progressiva, conforme ilustração.

Calcula-se que a velocidade de propagação dessa "onda humana" é 45km/h e que cada período de oscilação contém 16 pessoas, que se levantam e sentam organizadamente distanciadas entre si por 80cm.

Nessa ola mexicana, a frequência da onda, em hertz, é um valor mais próximo de

40 respostas



Fonte: autoria própria (2024).

Uma pequena parcela dos estudantes teve dificuldade em resolver essa questão evidenciando uma deficiência na precisão dos cálculos e na análise crítica das respostas, gerando pequenas confusões entre os conceitos evidenciando a necessidade de uma intervenção mais objetiva e detalhada.

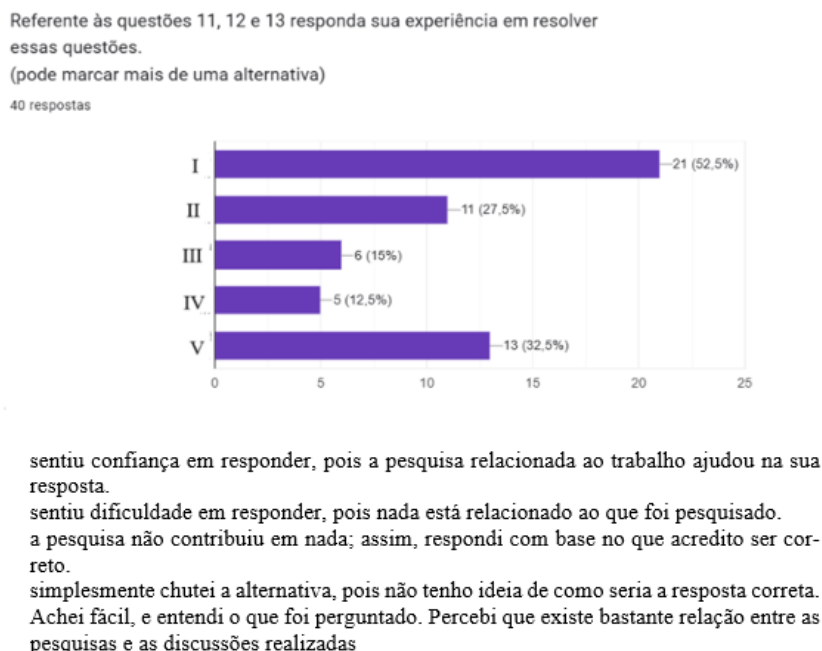
Para avaliar a efetividade da atividade, os estudantes foram convidados a refletir sobre o processo de resolução das questões 11, 12 e 13. Os resultados apresentados na Figura 40, revelam que a maioria dos participantes (52,5%) se sentiu confiante ao responder, destacando a relevância da pesquisa realizada para a construção do conhecimento. Além disso, 32,5% dos estudantes consideraram as questões fáceis e compreenderam os objetivos da atividade, indicando um bom nível de compreensão dos conceitos abordados.

No entanto, um percentual significativo de alunos (27,5%) relatou dificuldades na resolução das questões. Dentre os motivos apontados, destacam-se a complexidade do conteúdo e a falta de clareza de alguns pontos. Além disso, 15% dos participantes consideraram que a pesquisa não contribuiu significativamente para a resolução das questões, sugerindo a necessidade de reforçar a relação entre a teoria e a prática.

Para aprofundar a compreensão dos alunos e auxiliar na identificação de possíveis lacunas, foi realizada uma dinâmica em sala de aula na semana seguinte. A atividade consistiu

em uma discussão em grupo sobre as respostas das questões, com o objetivo de promover a troca de ideias e a construção colaborativa do conhecimento. Observou-se que, inicialmente, alguns alunos demonstraram timidez e dificuldade em participar ativamente das discussões. No entanto, com a mediação do professor e o estímulo à participação, foi possível promover um ambiente mais colaborativo e engajador.

Figura 40 – Análise das questões da seção 3.



Fonte: autoria própria (2024).

A análise das discussões em grupo revelou que a maioria dos estudantes conseguiu estabelecer conexões entre os conceitos teóricos da acústica e a situação prática apresentada nas questões. No entanto, alguns alunos ainda apresentaram dificuldades na interpretação de textos e na realização de cálculos.

Os resultados obtidos indicam que a atividade ABP foi eficaz em promover a aprendizagem significativa, mas também evidenciam a necessidade de um acompanhamento mais individualizado dos alunos que apresentaram maiores dificuldades. Além disso, sugere-se a realização de atividades complementares para aprofundar o estudo de conceitos específicos e fortalecer a capacidade dos alunos de aplicar os conhecimentos adquiridos em diferentes contextos.

REFERÊNCIAS

AUSUBEL, D. P. *Aquisição e retenção de conhecimentos: Uma perspectiva cognitiva*. Lisboa: Editora Plátano, 2003.

INICIATIVA do Porto Digital para jovens em vulnerabilidade social concorre a prêmio em votação popular. *Diário de Pernambuco*, Recife, 29 de nov. de 2021. Disponível em: <https://www.diariodepernambuco.com.br/noticia/vidaurbana/2021/11/iniciativa-do-porto-digital-para-jovens-em-vulnerabilidade-social-conc.html>. Acesso em: 13 de set. de 2024.

KELSON, Ann C. M.; DISTLEHORST, Linda H. Groups in Problem-Based Learning (PBL): essential elements in theory and practice. In: EVENSEN, Dorothy H.; HMELO, Cindy E. (eds.). *Problem Based Learning: a research perspective on learning interactions*. New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates, 2000. p. 167-184.

LIMA, G. Z. DE; LINHARES, R. E. C. Escrever bons problemas. *Revista Brasileira de Educação Médica*, v. 32, n. 2, p. 197–201, abr. 2008.

LUCID SOFTWARE PORTUGUÊS. Como fazer um mapa conceitual. *Youtube*, 12 de junho de 2018. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=F54SWctP7-E>. Acesso em: 08 de dez. de 2024.

PAIS, Luiz Carlos. *Didática da Matemática: uma análise da influência francesa*. Belo Horizonte: Autêntica, 2016.

RIBEIRO, Luis Roberto de Camargo. Aprendizagem baseada em problemas (PBL) na educação em engenharia. *Revista de Ensino de Engenharia*, v. 27, n. 2, p. 23-32, 2008.

VYGOTSKY, L. S. (1984) *A Formação Social da Mente*. São Paulo: Martins Fontes

ZABALA, A. *A Prática educativa: como ensinar*. Porto Alegre: Artmed, 1998.

APÊNDICE A – Questionário diagnóstico

ESCOLA - XXXX

Física – Professor Flaviano da Silva Felix

Nome completo: _____

QUESTIONÁRIO DIAGNÓSTICO

ATENÇÃO! Responda às questões de acordo com o que você sabe sobre o tema. Sinta-se à vontade para responder da maneira que achar mais adequada.

4. O que é som?

5. O que é necessário para um som ser ouvido a uma grande distância?

6. Utilizando os seus conhecimentos, descreva as características do som produzido pela campainha da escola.

APÊNDICE B – Mapa da escola

MAPA DA ESCOLA

GRUPO: _____



APÊNDICE C – Formulário para anotações gerais da pesquisa

Diretrizes: Nesta ficha você irá registrar individualmente suas ideias iniciais para resolver o problema e as pesquisas realizadas. Responda de forma natural e objetiva.

6. Seu nome completo
7. O que eu entendi sobre o problema apresentado?
8. O que eu preciso saber para resolver este problema?
9. Quais os conceitos de física relacionados ao problema que você conhece?
10. Liste aqui sua (s) hipótese(s) (possíveis soluções) para o problema apresentado.

APÊNDICE D – Questionário Final

Questionário

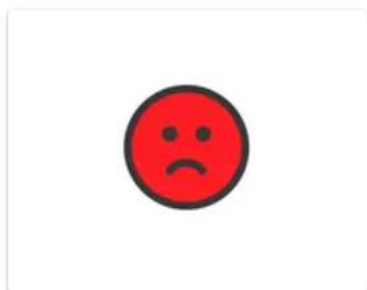
* Indica uma pergunta obrigatória

E-mail *

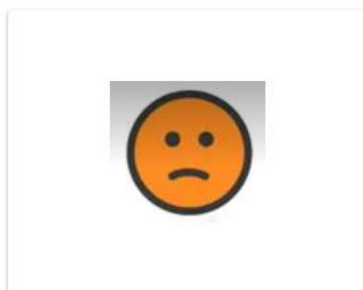
Nome Completo *

SEÇÃO 1

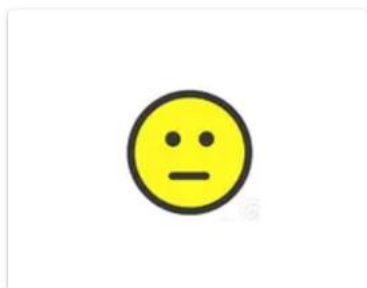
2. Utilizamos um problema como ponto de partida para o desenvolvimento do conhecimento. Com base nessa experiência, qual é o seu nível de satisfação?



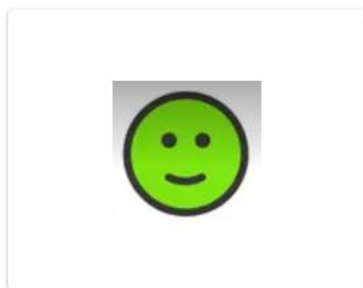
☐ Opção 1



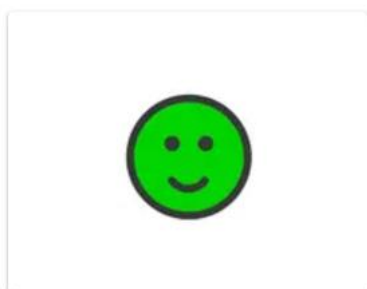
☐ Opção 2



☐ Opção 3



☐ Opção 4



☐ Opção 5

2. Dentre as alternativas abaixo quais aspectos positivos você poderia destacar, que estão relacionados à essa metodologia (Lembrando que pode marcar mais de uma alternativa)

- ☐ As discussões sobre o tema, me levaram a refletir melhor sobre o assunto.
 - ☐ As discussões dentro do meu grupo, foram muito proveitosas. Todos (ou quase todos) fizeram suas pesquisas individuais sobre o tema e participaram das discussões em sala.
 - ☐ Acredito que dessa forma consigo relacionar melhor os conceitos básicos do conteúdo com situações do meu cotidiano.
 - ☐ Consegui aprender e fiquei curioso sobre o conteúdo.
 - ☐ Procurei pesquisar mais sobre o assunto, pois achei interessante essa forma de estudar.
- Coloque aqui algo de positivo que você gostaria de acrescentar a metodologia aplicada.
-
-
-

3. Dentre as alternativas abaixo quais aspectos negativos você poderia destacar, que estão relacionados à essa metodologia (Lembrando que pode marcar mais de uma alternativa)

- ☐ Não consegui aprender dessa forma.
- ☐ Não consegui entender o assunto.
- ☐ Senti dificuldades em realizar a pesquisa e encontrar algo sobre o assunto

Coloque aqui algo que não foi legal ou que faltou e você gostaria de acrescentar à metodologia aplicada.

SEÇÃO 2

Responda de acordo com o que você pesquisou. (Marcar apenas uma alternativa)

4. O som se propaga no ar por uma série de

- ☐ compressões
- ☐ rarefações
- ☐ ambas as anteriores
- ☐ nenhuma das anteriores

5. O som se propaga em

- ☐ sólidos
- ☐ líquidos

- gases
- todas as anteriores

6. O som se propagará mais rápido em

- uma barra de aço.
- na água do oceano
- uma tábua de madeira.
- no ar de um balão.

7. Uma onda transfere consigo

- amplitude
- comprimento de onda
- frequência
- energia

8. Os dispositivos de cancelamento do ruído fazem uso da

- destruição sonora.
- interferência sonora.
- ressonância sonora.
- amplificação sonora.

9. O período de uma onda de 10 Hz é de

- $1/10$ s.
- 1 s.
- 10 s.
- 20 s.

10. Um colega de turma afirma que, sob todas as condições, qualquer onda de rádio se propaga mais rapidamente do que qualquer onda sonora. Você

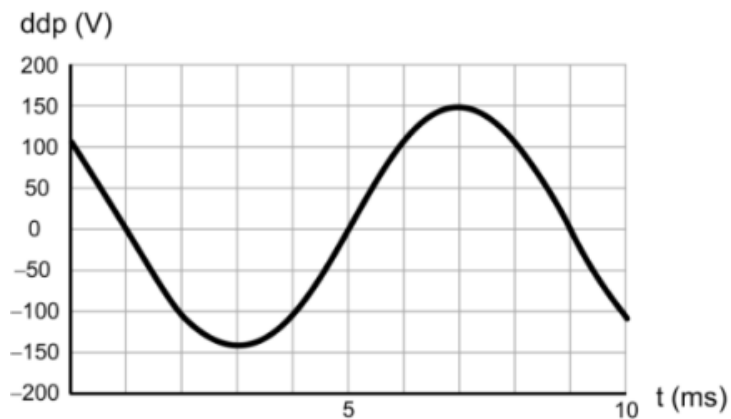
- concorda com ele.
- discorda dele.

SEÇÃO 3

Pense com calma sobre o que você estudou e responda.

15. O osciloscópio é um instrumento que permite observar uma diferença de potencial (ddp) em um circuito elétrico em função do tempo ou em função de outra ddp. A leitura do sinal e

feita em uma tela sob a forma de um gráfico tensão X tempo. A frequência de oscilação do circuito elétrico estudado é mais próxima de



BOMFIM, M. Disponível em: www.ufpr.br.

Acesso em: 14 ago. 2012 (adaptado).

- ☐ 300 Hz
- ☐ 250 Hz
- ☐ 200 Hz
- ☐ 150 Hz
- ☐ 125 Hz

16. A ultrassonografia, também chamada ecografia, é uma técnica de geração de imagens muito utilizada em medicina. Ela se baseia na reflexão que ocorre quando um pulso de ultrassom, emitido pelo aparelho colocado em contato com a pele, atravessa a superfície que separa um órgão de outro, produzindo ecos que podem ser captados de volta pelo aparelho. Para a observação de detalhes no interior do corpo, os pulsos sonoros emitidos têm frequências altíssimas, de até 30 MHz, ou seja, 30 milhões de oscilações a cada segundo.

A determinação de distâncias entre órgãos do corpo humano feita com esse aparelho fundamenta-se em duas variáveis imprescindíveis:

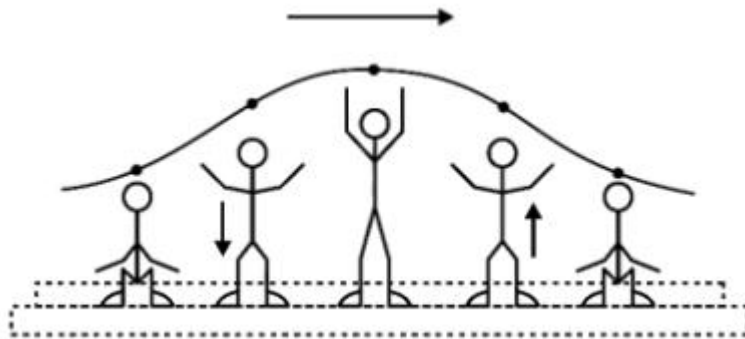
- ☐ A intensidade do som produzido pelo aparelho e a frequência desses sons.
- ☐ A quantidade de luz usada para gerar as imagens no aparelho e a velocidade do som nos tecidos.
- ☐ A quantidade de pulsos emitidos pelo aparelho a cada segundo e a frequência dos sons emitidos pelo aparelho.

- Da velocidade do som no interior dos tecidos e o tempo entre os ecos produzidos pelas superfícies dos órgãos.
- O tempo entre os ecos produzidos pelos órgãos e a quantidade de pulsos emitidos a cada segundo pelo aparelho.

17. Uma manifestação comum das torcidas em estádios de futebol é a *ola mexicana*. Os espectadores de uma linha, sem sair do lugar e sem se deslocarem lateralmente, ficam de pé e se sentem, sincronizados com os da linha adjacente. O efeito coletivo se propaga pelos espectadores do estádio, formando uma onda progressiva, conforme a ilustração.

Calcula-se que a velocidade de propagação dessa “onda humana” é de 45 km/h e que cada período de oscilação contém 16 pessoas, que se levantam e sentam organizadamente distanciadas entre si por 80 cm.

Nessa *ola mexicana*, a frequência da onda, em hertz, é um valor próximo de



- 0,3
- 0,5
- 1,0
- 1,9
- 3,7

18. Referente às questões 11, 12 e 13 responda sua experiência em resolver essas questões. (Pode marcar mais de uma alternativa)

- Sentiu confiança em responder, pois a pesquisa relacionada ao trabalho ajudou na sua resposta.
- Sentiu dificuldade em responder, pois nada está relacionado ao que foi pesquisado.

- A pesquisa não contribuiu em nada; assim, respondi com base no que acredito ser correto.
- Simplesmente chutei a alternativa, pois não tenho ideia de como seria a resposta correta.
- Achei fácil, e entendi o que foi perguntado. Percebi que existe bastante relação entre as pesquisas e as discussões realizadas.

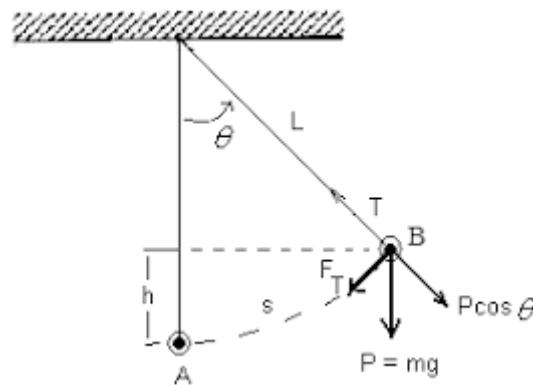
ANEXO A – Notas de Aula da Disciplina Física 3

DESCRIÇÃO MATEMÁTICA DA EQUAÇÃO DA ONDA

Segundo Rodriguez (2025), a compreensão dos fenômenos ondulatórios tem como base o estudo do oscilador harmônico simples. O pêndulo simples é um exemplo clássico: uma massa presa a um fio ideal, oscilando sob a ação da gravidade.

O movimento de um pêndulo ocorre num arco de circunferência de raio L , e o deslocamento da massa ao longo do arco é $s = \theta(t)L$.

Figura 1 – Exemplo esquemático de um pêndulo simples.



Fonte: <https://encurtador.com.br/MyJNE>

Na forma rotacional, a segunda lei de Newton é escrita como:

$$T = I \cdot \alpha \quad (1)$$

onde $I = mL^2$ é o momento de inércia da massa puntiforme em relação ao ponto de suspensão e $\alpha = \frac{d^2\theta}{dt^2} = \ddot{\theta}$ é a aceleração angular.

Considerando que a única força que produz torque é a componente tangencial da força peso (Figura 1), tem-se:

$$F_{\text{tangencial}} = -mg \sin \theta$$

Logo, o torque T pode ser determinado por:

$$T = F_{\text{tangencial}} \cdot L$$

$$T = (-mg \sin \theta) \cdot L$$

$$T = -mgL \sin \theta \quad (2)$$

O sinal negativo indica que o torque é restaurador, ou seja, atua no sentido oposto ao deslocamento angular.

Substituindo as equações (1) e (2), temos:

$$-mgL \sin \theta = mL^2 \ddot{\theta}$$

Dividindo ambos os membros por mL :

$$\begin{aligned}
 -g \sin \theta &= L\ddot{\theta} \\
 \ddot{\theta} + \frac{g}{L} \sin \theta &= 0
 \end{aligned} \tag{3}$$

Para pequenas oscilações ($\theta < 10^\circ$), usamos a aproximação:

$$\sin \theta \approx \theta \text{ (em radianos)}$$

Substituindo essa aproximação na equação (3), obtemos:

$$\ddot{\theta} + \frac{g}{L} \theta = 0 \tag{4}$$

A equação (4) representa um oscilador harmônico simples sem amortecimento, com os parâmetros:

$$k_1 = 0 \text{ (sem amortecimento)}$$

$$k_2 = \frac{g}{L}.$$

Considerando agora a presença de uma força de amortecimento viscoso, de acordo com a lei de Stokes, a força resistiva é proporcional à velocidade angular $\dot{\theta}$, com constante de proporcionalidade $k_1 > 0$. Essa força origina um torque dissipativo da forma:

$$\tau_{amort.} = -k_1 \dot{\theta}$$

Para $k_1 > 0$ (com amortecimento), a equação do movimento angular do pêndulo fica:

$$\ddot{\theta} + k_1 \dot{\theta} + k_2 \theta = 0 \tag{5}$$

Onde:

$$k_1 = C \text{ (coeficiente de Stokes)}$$

$$k_2 = \frac{g}{L} \text{ (gravidade e comprimento)}$$

Para resolver, usamos a técnica da equação característica, assumindo que

- $\theta = e^{\lambda t}$
- $\dot{\theta} = \lambda e^{\lambda t} = \lambda \theta$
- $\ddot{\theta} = \lambda^2 e^{\lambda t} = \lambda^2 \theta$

Substituindo na equação (5), temos:

$$\lambda^2 \theta + k_1 \lambda \theta + k_2 \theta = 0$$

Dividindo ambos os membros por θ :

$$\lambda^2 + k_1 \lambda + k_2 = 0 \text{ (equação característica)}$$

Como soluções, temos:

$$\text{Discriminante: } \Delta = k_1^2 - 4k_2$$

$$\lambda_1 = \frac{1}{2} \left(k_1 + \sqrt{k_1^2 - 4k_2} \right)$$

$$\lambda_2 = \frac{1}{2} \left(k_1 - \sqrt{k_1^2 - 4k_2} \right)$$

Os coeficientes k_1 e k_2 dependem de grandezas físicas e geométricas, tais como, gravidade g , comprimento do pêndulo L , raio da bolinha r , viscosidade do fluido η . O que vai acontecer fisicamente, depende destes coeficientes e da relação entre eles.

Para uma esfera de raio r movendo-se em um fluido de viscosidade η , a lei de Stokes nos dá a força de arrasto:

$$k_1 = F_{\text{arrasto}} = -6\pi\eta r v \quad (6)$$

A equação diferencial do movimento, na direção angular θ , é dada por:

$$mL\ddot{\theta} - F_{\text{arrasto}} + mg \sin\theta = 0 \quad (7)$$

Como, para ângulos pequenos ($\sin\theta \approx \theta$) e considerando $v = L\dot{\theta}$, podemos escrever:

$$mL\ddot{\theta} + 6\pi r\eta(L\dot{\theta}) + mg \theta = 0$$

Dividindo os dois membros por mL :

$$\ddot{\theta} + \frac{6\pi r\eta}{m} \dot{\theta} + \frac{g}{L} \theta = 0$$

Assim, os coeficientes k_1 e k_2 são $k_1 = 6\pi r\eta/m$ e $k_2 = g/L$, onde L é o comprimento do pêndulo e m é a massa da partícula.

O comportamento ideal do sistema ocorre quando o fluido circundante não exerce força de atrito sobre a esfera, ou seja, quando a viscosidade dinâmica é nula ($\eta = 0$) o que implica na anulação do coeficiente k_1 . Nessas condições o pêndulo apresenta oscilações periódicas de amplitude constante, caracterizando um movimento harmônico simples não amortecido.

Desta forma, temos as soluções:

$$\lambda_1 = \frac{1}{2} \left(k_1 + \sqrt{k_1^2 - 4k_2} \right) = \sqrt{-k_2} = i\sqrt{g/L}$$

$$\lambda_2 = \frac{1}{2} \left(k_1 - \sqrt{k_1^2 - 4k_2} \right) = -\sqrt{-k_2} = -i\sqrt{g/L}$$

A equação (4) é uma equação diferencial linear homogênea de segunda ordem com coeficientes constantes, para resolvê-la usamos a equação característica, assumindo que:

$$\theta(t) = e^{\lambda t}$$

Substituímos na equação diferencial e calculando, temos

$$\frac{d^2}{dt^2}(e^{\lambda t}) + \sqrt{\frac{g}{L}} e^{\lambda t} = 0$$

$$\lambda^2 e^{\lambda t} + \sqrt{\frac{g}{L}} e^{\lambda t} = 0$$

$$e^{\lambda t} \left(\lambda^2 + \sqrt{\frac{g}{L}} \right) = 0$$

Como $e^{\lambda t} \neq 0$, temos a equação característica

$$\lambda^2 + \sqrt{\frac{g}{L}} = 0 \Rightarrow \lambda = \pm i \sqrt{\frac{g}{L}}$$

As raízes complexas da equação característica são $\lambda_1 = i\sqrt{g/L}$ e $\lambda_2 = -i\sqrt{g/L}$.

A solução geral é uma combinação linear dessas duas soluções

$$\begin{aligned} \theta(t) &= A e^{\lambda_1 t} + B e^{\lambda_2 t} \\ \theta(t) &= A e^{i\sqrt{g/L}t} + B e^{-i\sqrt{g/L}t} \end{aligned} \quad (8)$$

Usando a identidade de Euler

$$e^{i\theta} = \cos(\theta) + i \operatorname{sen}(\theta)$$

$$e^{i\sqrt{g/L}t} = \cos(\sqrt{g/L}t) + i \operatorname{sen}(\sqrt{g/L}t) \quad (I)$$

$$e^{-i\sqrt{g/L}t} = \cos(\sqrt{g/L}t) - i \operatorname{sen}(\sqrt{g/L}t) \quad (II)$$

Somando (I) e (II)

$$\begin{aligned} e^{i\sqrt{g/L}t} + e^{-i\sqrt{g/L}t} &= \\ &= [\cos(\sqrt{g/L}t) + i \operatorname{sen}(\sqrt{g/L}t)] + [\cos(\sqrt{g/L}t) - i \operatorname{sen}(\sqrt{g/L}t)] \\ e^{i\sqrt{g/L}t} + e^{-i\sqrt{g/L}t} &= 2 \cos(\sqrt{g/L}t) \\ \cos(\sqrt{g/L}t) &= \frac{e^{i\sqrt{g/L}t} + e^{-i\sqrt{g/L}t}}{2} \end{aligned} \quad (9)$$

Subtraindo (I) e (II)

$$\begin{aligned} e^{i\sqrt{g/L}t} - e^{-i\sqrt{g/L}t} &= \\ &= [\cos(\sqrt{g/L}t) + i \operatorname{sen}(\sqrt{g/L}t)] - [\cos(\sqrt{g/L}t) - i \operatorname{sen}(\sqrt{g/L}t)] \\ e^{i\sqrt{g/L}t} - e^{-i\sqrt{g/L}t} &= 2i \operatorname{sen}(\sqrt{g/L}t) \\ \operatorname{sen}(\sqrt{g/L}t) &= \frac{e^{i\sqrt{g/L}t} - e^{-i\sqrt{g/L}t}}{2i} \end{aligned} \quad (10)$$

Desta forma, qualquer combinação de $e^{\pm i\sqrt{g/L}t}$ pode ser escrita como uma combinação de seno e cosseno reais. Logo, a solução geral (Equação 8) também pode ser escrita como;

$$\theta(t) = A \cos(\sqrt{g/L}t) + B \operatorname{sen}(\sqrt{g/L}t) \quad (11)$$

onde A e B são constantes reais que dependem das condições iniciais.

Utilizando a identidade trigonométrica

$$\cos(\sqrt{g/L}t + \phi) = \cos(\sqrt{g/L}t)\cos(\phi) - \sin(\sqrt{g/L}t)\sin(\phi)$$

Multiplicando por θ_m

$$\theta_m \cos(\sqrt{g/L}t + \phi) = \theta_m \cos(\phi) \cos(\sqrt{g/L}t) - \theta_m \sin(\phi) \sin(\sqrt{g/L}t)$$

Comparando com a equação (11), observamos que

$$A = \theta_m \cos(\phi)$$

$$B = -\theta_m \sin(\phi)$$

Assim a equação (11) pode ser reescrita como

$$\theta(t) = \theta_m \cos(\sqrt{g/L}t + \phi) \quad (12)$$

Lembrando que $\sqrt{\frac{g}{L}} = \omega$, temos

$$\theta(t) = \theta_m \cos(\omega t + \phi) \quad (13)$$

Em situação real, com viscosidade ($\eta > 0$), a equação (13) não funciona, pois, o termo de amortecimento ($k_1 \dot{\theta}$) introduz dissipação de energia no sistema, alterando sua dinâmica. Nessa condição. A solução apropriada passa a ser uma oscilação cuja amplitude decresce exponencialmente ao longo do tempo, refletindo a perda gradual de energia mecânica. Partindo da equação do movimento amortecido, temos:

$$\ddot{\theta} + k_1 \dot{\theta} + k_2 \theta = 0$$

Que como visto anteriormente:

$$\lambda = \frac{1}{2} \left(k_1 \pm \sqrt{k_1^2 - 4k_2} \right),$$

desta forma temos três possibilidades de sistema:

- Subamortecido: $k_1^2 < 4k_2 \rightarrow$ raízes complexas conjugadas;
- Criticamente amortecido: $k_1^2 = 4k_2 \rightarrow$ raiz real dupla;
- Superamortecido: $k_1^2 > 4k_2 \rightarrow$ raízes reais distintas.

Em uma situação real, a viscosidade do ar se aproxima do caso subamortecido ($k_1^2 < 4k_2$), assim temos:

$$\lambda = \frac{-k_1 \pm \sqrt{k_1^2 - 4k_2}}{2}$$

$$\lambda = -\frac{k_1}{2} \pm \sqrt{\frac{k_1^2}{4} - k_2}$$

definindo $\gamma = k_1/2$ e lembrando que $k_2 = \omega^2$ a equação fica:

$$\lambda = -\gamma \pm \sqrt{\gamma^2 - \omega^2}$$

$$\lambda = -\gamma \pm i\sqrt{\omega^2 - \gamma^2},$$

podemos também definir a frequência angular amortecida:

$$\omega_a = \sqrt{\omega^2 - \gamma^2},$$

e portanto,

$$\lambda = -\gamma \pm i\omega_a$$

Assim:

$$\theta(t) = e^{-\gamma t} [A \cos(\omega_a t) + B \sin(\omega_a t)],$$

aplicando a identidade trigonométrica

$$A \cos(\omega_a t) + B \sin(\omega_a t) = \theta_m \cos(\omega_a t + \phi),$$

onde:

$$\theta_m = \sqrt{A^2 + B^2}$$

$$\phi = \tan^{-1} \left(-\frac{B}{A} \right)$$

e recolocando o fator $e^{-\gamma t}$, temos:

$$\theta(t) = e^{-\gamma t} [A \cos(\omega_a t) + B \sin(\omega_a t)] = \theta_m e^{-\gamma t} \cos(\omega_a t + \phi)$$

ou de forma compacta:

$$\theta(t) = \theta_m e^{-\gamma t} \cos(\omega_a t + \phi) \quad (14)$$

O ângulo ϕ (Equação 14) é chamado constante de fase, ou ainda, ângulo de fase inicial. Sendo determinado apenas pela posição e velocidade da partícula em $t = 0$. Ou seja, ele nos diz em que ponto do ciclo o movimento se encontrava em $t = 0$. Substituindo $t = 0$ na equação (14), obtemos:

$$\begin{aligned} \theta(0) &= \theta_m e^{-\gamma \cdot 0} \cos(\omega_a \cdot 0 + \phi) \\ \theta(0) &= \theta_m \cos(\phi) \end{aligned} \quad (15)$$

Se $\phi = 0$, então $\theta(0) = \theta_m \cos(0) = \theta_m$, iniciando assim em seu deslocamento positivo máximo. $\phi = \pi$, então $\theta(0) = \theta_m \cos(\pi) = -\theta_m$, e o corpo inicia em seu deslocamento negativo máximo. Se $\phi = \pi/2$, então $\theta(0) = \theta_m \cos(\pi/2) = 0$, estando assim, o corpo inicialmente na origem.