

RECONSTRUÇÃO DE UMA CAIXA ACÚSTICA PARA IMPLEMENTAÇÃO DE ENSINO EXPERIMENTAL DE ONDULATÓRIA NO ENSINO MÉDIO

Lucas Pacca e Silva ¹
Paloma Alinne Alves Rodrigues ²

RESUMO

Este trabalho investiga uma abordagem inovadora para apresentar o tema das ondas aos alunos do ensino médio. Foi reconstruído um experimento interativo de caixa acústica, utilizando a temática de instrumentos musicais, para demonstrar o comportamento das ondas sonoras. O experimento visava elucidar sua propagação e como elas interagem em diversos meios, tendo em vista a ausência dessa temática, de forma profunda, na educação básica. Essa experiência prática foi implementada durante uma visita pedagógica ao espaço InterCiências da Universidade Federal de Itajubá. O InterCiências é um centro interativo de divulgação científica. Os alunos de graduação dos cursos de licenciatura em Física e Matemática atuam como tutores, guiando os visitantes por seis salas temáticas que incluem a temática de mecânica clássica, termodinâmica, ondas mecânicas, ótica, probabilidade, astronomia e combinatória, todos demonstrados por meio de experimentos. Com o intuito de compreender se os alunos conseguiriam entender os conceitos básicos de ondas, foi aplicado um questionário de 8 perguntas após a realização do experimento. Os resultados obtidos demonstraram o aproveitamento em relação ao tema e objetivo, além de mostrar uma significativa eficiência na abordagem temática. Observou-se também que os alunos conseguiram compreender o tema, respondendo às questões de forma coerente. O estudo demonstrou que metodologias experimentais interdisciplinares potencializam a compreensão dos fundamentos da ondulatória. Isso demonstra a relevância do uso de experimentos em cenários nos quais os alunos não têm contato com determinados conteúdos.

Palavras-chave: Ensino de ondas, Caixa acústica, Experimento Interativo, Educação em Física

INTRODUÇÃO

A aprendizagem é um processo dinâmico e contínuo que vai além da simples aquisição de informações, envolvendo a organização e reorganização constante do

¹Graduando do Curso de Física Licenciatura da Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI, lucaspacca@hotmail.com.

² Professora Orientadora: Doutora em educação pela Universidade de São Paulo - USP, palomaraap@unifei.edu.br.





pensamento (VYGOTSKY, 1978). Esse processo se dá pela interação entre experiências prévias, erros e acertos, e reflexões críticas, permitindo ao sujeito reelaborar suas formas de compreender o mundo. No campo científico, aprender não significa apenas memorizar conceitos, mas também desenvolver capacidades de análise, argumentação e aplicação dos conhecimentos a diferentes situações do cotidiano (FREIRE, 1983; 2002).

Contudo, a ausência de estudo sistemático em determinadas áreas do conhecimento científico pode gerar lacunas que se manifestam em concepções alternativas. Essas concepções, ainda que possam parecer lógicas à primeira vista ou coerentes com a experiência cotidiana, não se alinham ao conhecimento científico consolidado. No caso da Física, exemplos comuns incluem a crença de que o som pode se propagar no vácuo ou que ondas são “objetos” que se deslocam sem meio material. Tais ideias equivocadas se perpetuam justamente pela falta de contato dos estudantes com abordagens experimentais e explicações que favoreçam a transposição didática – processo essencial para tornar o saber científico acessível e significativo (CARVALHO, s.d.).

A importância da transposição didática no ensino de ciências é reforçada quando se considera que a BNCC (BRASIL, 2018), embora proponha competências gerais de raciocínio científico, apresenta uma cobertura limitada em relação ao ensino de ondas. O documento contempla apenas menções superficiais a fenômenos sonoros e luminosos, com foco em aspectos aplicados, como a saúde auditiva ou a transmissão de luz por diferentes materiais. Em contrapartida, temas centrais da ondulatória, como a propagação de ondas mecânicas, a relação entre frequência, comprimento de onda e velocidade, ou ainda fenômenos como ressonância e interferência, são pouco explorados ao longo do ensino médio. Essa lacuna gera um desafio significativo, pois esses conteúdos são fundamentais para a compreensão de conceitos posteriores em Física Moderna, como ondas eletromagnéticas, espectro da luz e tecnologias de comunicação.

Além da relevância curricular, o estudo das ondas é essencial por sua forte presença no cotidiano. O simples ato de ouvir música, desde manifestações populares como o samba até concertos sinfônicos, envolve fenômenos ondulatórios relacionados à produção, propagação e recepção do som. Historicamente, a música desempenhou papel pedagógico no Brasil, tendo sido utilizada desde o século XVI como recurso para atrair e engajar indivíduos em diferentes práticas culturais e educativas (BOLEIZ JÚNIOR, 2008). No contexto escolar contemporâneo, a música pode ser compreendida como um dispositivo interdisciplinar que





une arte e ciência, permitindo que os alunos associem experiências sensíveis e afetivas a conceitos físicos abstratos, favorecendo o engajamento e a compreensão.

Nesse sentido, diferentes estudos têm ressaltado a potência da música como ferramenta pedagógica. Para Barros, Zanella e Araújo-Jorge (2013), por exemplo, o uso da música em aulas de ciências naturais amplia as possibilidades de contextualização e estimula conexões significativas entre os conceitos escolares e as vivências cotidianas dos alunos. De forma semelhante, Cabral Rios e Araújo (2021) demonstram que a música, quando utilizada em rodas de conversa mediadas, pode contribuir para a ressignificação de concepções alternativas e para a consolidação de noções mais próximas do conhecimento científico.

Considerando tais aspectos, o presente estudo busca responder à seguinte questão: como a utilização de um experimento interativo baseado em instrumentos musicais pode contribuir para a introdução do ensino de ondas no ensino médio? Para isso, foi reconstruída e aplicada uma caixa acústica experimental, projetada para demonstrar conceitos fundamentais de ondulatória, como frequência, ressonância e propagação sonora. O experimento foi desenvolvido no contexto do espaço InterCiências, da Universidade Federal de Itajubá, ambiente de divulgação científica que promove práticas interativas em diferentes áreas da Física e da Matemática.

METODOLOGIA

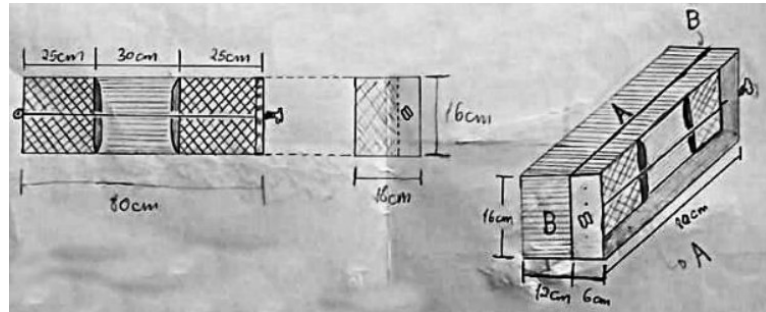
Na Sala de Mecânica 1 do espaço InterCiências, são trabalhados conceitos de cinemática com experimentos como a plataforma de Prandtl, o pêndulo de Newton e loopings. Além disso, a sala conta com uma variedade de experimentos relacionados à ondulatória, como tubos sonoros e diapasões. Assim, a criação de um novo experimento, alinhado aos demais e abordando outros aspectos das ondas mecânicas, facilitará a integração dos alunos com o tema.

Dessa maneira, fugindo da abordagem tradicional, foi reconstruído um experimento de caixa acústica. O experimento consiste em 2 duas caixas de madeira, com 80 centímetros de largura, 12 centímetros de comprimento e 16 centímetros de altura. No meio das caixas é feito um buraco de 30 centímetros para que o som seja projetado de dentro das mesmas, e em suas laterais são parafusadas tarraxas de violão e baixo para que sejam colocadas, e afinadas, respectivamente: 3 cordas de violão, sendo duas de mesma nota e uma diferente, e na outra



caixa 3 cordas de baixo de diferentes notas.

Figura 1: Esquema - dimensões e formas das caixas - madeiras tarraxas e cordas



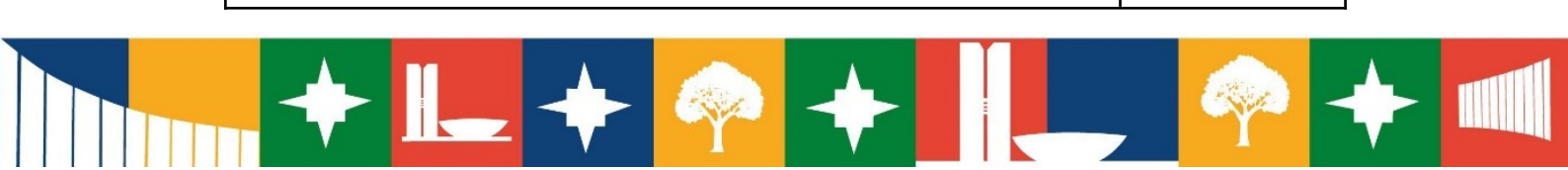
Fonte: Soares et. al. (2021)

Esse experimento aborda ativamente conceitos como: frequência de onda (onde é posicionado um frequencímetro perto das cordas a fim de captar o som), ressonância (a partir das duas cordas iguais de violão), interferência (tocado as três cordas de baixo ao mesmo tempo), e propagação do som, com o intuito de instigar o interesse dos alunos. O experimento apresentava alguns desgastes de uso, assim foi realizado uma manutenção no experimento, colocando cordas novas e trocando as tarraxas que não estavam mais girando, o que atrapalhava na afinação das cordas.

Com base nisso, após a reconstrução do experimento, formulou-se um questionário quali-quantitativo, que combina a coleta e análise de dados qualitativos e quantitativos, foi concebido para aliar a profundidade das percepções e justificativas dos participantes à abrangência dos dados mensuráveis, buscando uma compreensão mais holística dos processos de aprendizagem e da percepção dos alunos. O questionário foi montado com oito perguntas voltadas para o estudo de ondulatórias, para mediar a conexão entre o interesse dos alunos e os conhecimentos adquiridos durante a visita.

Tabela 1: questionário avaliativo aplicado após a visita

Pergunta	Tipo de Resposta
Questão 1 (Q1) Você acredita que tem física na música? Se sim, justifique.	Texto de resposta curta
Questão 2 (Q2) Conhece algum conceito de física no	Texto de



contexto/universo musical?	resposta longa
Questão 3 (Q3) Quando você escuta o som de um violão ou baixo, como você acha que ele se forma e chega até seus ouvidos?	Texto de resposta longa
Questão 4 (Q4) Após ver o experimento, você pode dizer quais foram os pontos que mais chamaram sua atenção?	Texto de resposta longa
Questão 5 (Q5) Você acha que após o experimento, deu para entender bem sobre ondas mecânicas no dia a dia?	Múltipla escolha
Questão 6 (Q6) Quais outras aplicações do seu dia a dia você enxerga como ações de ondas mecânicas?	Múltipla escolha
Questão 7 (Q7) Com suas palavras: o que é ressonância? Pode dar um exemplo?	Texto de resposta longa
Questão 8 (Q8) Por que a caixa de madeira do experimento amplifica o som das cordas, enquanto uma corda solta no ar quase não se escuta?	Texto de resposta longa

O questionário foi estruturado em duas etapas:

- **Avaliação de conhecimentos prévios:** Identificação de concepções alternativas, como a percepção da física no cotidiano (ex.: "Você acredita que há física na música?").
- **Perguntas progressivas:** À medida que os alunos avançavam, questões mais complexas sobre ondulatória eram introduzidas (ex.: "Como você define ressonância?").

REFERENCIAL TEÓRICO

Segundo Creswell (2014), “a pesquisa de métodos mistos é uma abordagem que combina ou associa métodos quali-quantitativos e quantitativos. Ela envolve a coleta, análise e integração de ambos os tipos de dados em um único estudo ou série de estudos”. Essa abordagem multifacetada é particularmente valiosa em estudos educacionais, pois permite explorar a complexidade dos fenômenos de aprendizagem e percepção de maneira mais completa. Ao integrar dados numéricos (quantitativos), que podem revelar padrões e





tendências, com dados textuais e interpretativos (qualitativos), que aprofundam as razões e os significados por trás desses padrões, a pesquisa de métodos mistos oferece uma compreensão mais robusta e matizada. Isso possibilita ir além do "o quê" acontece para investigar o "porquê" e o "como", enriquecendo a análise e fornecendo insights mais acionáveis.

Dessa forma, para este trabalho e diante dos objetivos propostos, a pesquisa adota uma abordagem **qualitativa**, seguindo modelos aplicados em estudos de educação científica (ex.: SILVA, 2020). Essa metodologia permite aliar a profundidade da análise das percepções e justificativas dos participantes à abrangência dos dados numéricos, possibilitando uma compreensão mais completa e robusta dos fenômenos investigados, ao explorar tanto o 'o quê' (quantitativo) quanto o 'o porquê' e 'como' (qualitativo) dos processos de aprendizagem e percepção.

O artigo "Uma Metodologia de Pesquisa para Estudar os Processos de Ensino e Aprendizagem em Salas de Aula", de Anna Maria Pessoa de Carvalho, apresenta uma metodologia de pesquisa qualitativa focada no estudo dos processos de ensino e aprendizagem em salas de aula. A pesquisa destaca a importância de entender "como" o aluno aprende, indo além do "quanto" se aprende. Embora o texto original enfatize a vídeo gravação como principal fonte de dados para a análise dos processos de ensino e aprendizagem em sala de aula, a metodologia qualitativa proposta permite a interpretação de outras formas de dados, como a escrita, que seria relevante na análise de questões abertas de um questionário.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A pesquisa foi aplicada em uma turma de 7 alunos do ensino médio da Escola Estadual de Marmelópolis, após a visita ao experimento da caixa acústica no Espaço InterCiências. Durante a visita, houve um questionamento prévio aos alunos se eles já possuíam algum tipo de conhecimento acerca do tema, e todos os alunos responderam que não. Através desse retorno, a apresentação dos experimentos pode ser realizada de forma mais natural e seguindo o plano de aula base, sem que houvesse alguma adaptação de imediato.

Dessa forma, foi explorado o máximo de contextualização possível aos alunos, trazendo exemplos do cotidiano que condizem com a física apresentada nos experimentos sonoros. A construção da teoria se deu a partir dos tubos sonoros, apresentando aos alunos o conceito de frequência de onda, demonstrando como a onda se propaga em diferentes meios e como sua frequência é afetada pelo comprimento dos tubos.





Assim, foi-se moldando um conhecimento inicial dos alunos sobre a temática de ondas, o quais durante a visita demonstraram interesse e grande participação durante a aplicação dos experimentos.

Após a introdução do tema, enfim os alunos conheceram a caixa acústica. Inicialmente foi-lhes apresentado sobre o conceito de ressonância, tocando uma das duas cordas de mesma frequência, a fim de fazer a outra corda entrar em ressonância (para demonstrar a frequência, foi utilizado um aplicativo de afinar cordas no celular). Dando sequência, também foi abordado sobre a propagação de onda e interferência utilizando cordas mais grossas.

Seguindo modelos aplicados em estudos de educação científica, conforme a metodologia de pesquisa em ensino e aprendizagem proposta por Anna Maria Pessoa de Carvalho. Essa metodologia permite aliar a profundidade da análise das percepções e justificativas dos participantes à abrangência dos dados numéricos, possibilitando uma compreensão mais completa e robusta dos fenômenos investigados.

Após a aplicação do questionário, foram elaboradas três categorias de análise, fundamentadas na metodologia qualitativa de pesquisa em ensino e aprendizagem descrita por Anna Maria Pessoa de Carvalho: 1) Compreensão de frequência de onda, avaliando se o aluno apreendeu o conceito básico de medida do som; 2) Aprendizado sobre ressonância, verificando se os alunos assimilaram o conceito; e 3) Eficácia do experimento, analisando a satisfação dos alunos com a integração do tema. Para a apresentação dos dados, serão utilizadas siglas (exemplo: R1 para Resposta do Aluno 1), permitindo o desenvolvimento de uma análise textual discursiva a partir das respostas obtidas. Vale ressaltar que as respostas transcritas não terão alteração alguma, a fim de manter a fidelidade dos dados.

A primeira categoria de análise buscou avaliar se os alunos assimilaram o conceito de medida do som, focando na compreensão da composição e propagação das ondas sonoras.

R1: “Sim. Porque músicas possuem som, que são ondas sonoras”.

R2: “Sim, pois na música existe som e eles possuem ondas sonoras e faz parte da física”

R3: “Sim, na vibração do ar”.

É evidente que os alunos reconhecem o som como uma forma de onda e, notavelmente, associam a música às ondas sonoras. Essa percepção foi significativamente construída não apenas com os experimentos físicos da sala de mecânica 1, mas também através do uso de um frequencímetro em celular, que permitiu a visualização das frequências geradas nas notas





musicais. Essa abordagem prática e visual foi crucial para solidificar a compreensão dos alunos sobre a natureza ondulatória do som.

R1: “As ondas sonoras se propagam até nós”

R2: “As cordas são tocadas e o som se propaga dentro do violão depois é emitido para fora”.

R3: “Por meio da vibração do ar”

Levando em conta o que foi questionado aos alunos em Q3, os instrumentos musicais auxiliam em reforçar o aprendizado de frequência, facilitando a visualização do conteúdo que até então demonstra-se abstrato.

Partindo agora para a segunda categoria de análise, o objetivo desta parte demonstra-se mais complexo por ter o intuito de apresentar um tema complexo para os alunos que ainda estão se inteirando da temática de ondas. Entretanto, a aplicação pode ser realizada com êxito levando em consideração os experimentos dispostos no espaço InterCencias. Levando em consideração a pergunta levantada em Q7, é possível observar que:

R1: “Ressonância é quando um som ressoa em outro, por exemplo, as cordas do violão vibrarem a outra”.

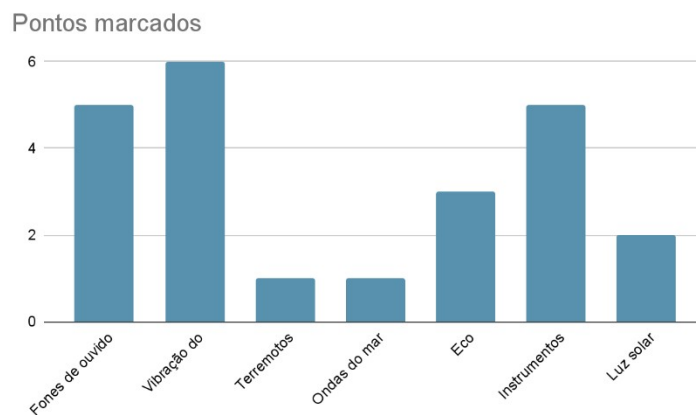
R3: “É quando os objetos emitem a mesma frequência na vibração”

Através destas respostas é possível observar que a maioria não soube explicar ressonância, exceto dois alunos que citaram vibração na mesma frequência e citaram de exemplo as cordas de violão, observadas durante a aplicação do experimento da caixa acústica. Mesmo sendo um tópico avançado e de difícil compreensão, com estas respostas é possível observar que adaptar a explicação teórica em experimental, desconsiderando o pouco tempo de visita dos alunos ao espaço, mostrou-se eficiente em integrá-los ao tema.

A última categoria de análise buscou validar a eficácia dos experimentos e o nível de integração dos alunos com o conteúdo, avaliando sua capacidade de identificar tipos de ondas mecânicas presentes no cotidiano, conforme a questão Q6 do questionário. A coleta de dados resultou no Gráfico 1: Coleta de dados - existência de ondas mecânicas no dia a dia, apresentado a seguir:

Gráfico 1: Coleta de dados - existência de ondas mecânicas no dia a dia





A análise do Gráfico 1 revela que os alunos demonstraram maior reconhecimento de ondas mecânicas em contextos diretamente explorados ou facilmente associáveis ao experimento e ao seu dia a dia. As categorias "Vibração do" (provavelmente referindo-se à vibração do som ou instrumentos) e "Instrumentos" (musicais) obtiveram o maior número de menções, com 6 e 5 pontos, respectivamente. Isso sugere uma forte assimilação dos conceitos abordados na visita, especialmente aqueles relacionados à produção e propagação do som por meio de instrumentos e vibrações. "Fones de ouvido" também se destacou com 5 pontos, indicando que os alunos conseguem conectar a teoria das ondas sonoras ao uso de tecnologias cotidianas. Em contraste, fenômenos como "Terremotos" e "Ondas do mar" tiveram apenas 1 ponto cada, e "Luz solar" (que não é uma onda mecânica) obteve 2 pontos, mostrando que, embora o conceito geral de onda possa ter sido percebido, a distinção entre ondas mecânicas e eletromagnéticas, ou a aplicação em contextos menos diretos, ainda necessita de maior reforço. O item "Eco" obteve 3 pontos, o que é relevante por ser um fenômeno diretamente ligado à reflexão de ondas sonoras, indicando uma compreensão intermediária desse conceito.

Após a coleta de dados, foi possível sintetizar as respostas obtidas na tabela seguinte:

Tabela 2: dados coletados após aplicação do questionário

Compreensão de Frequência de Onda	Aprendizado sobre Ressonância	Eficácia do Experimento
Reconhecem que o som é propagado por ondas (Q3) e associam música a ondas sonoras (Q1).	A maioria não soube explicar ressonância (Q7), exceto dois alunos que citaram vibração na mesma frequência e	Todos afirmaram entender as ondas mecânicas no dia a dia após o experimento



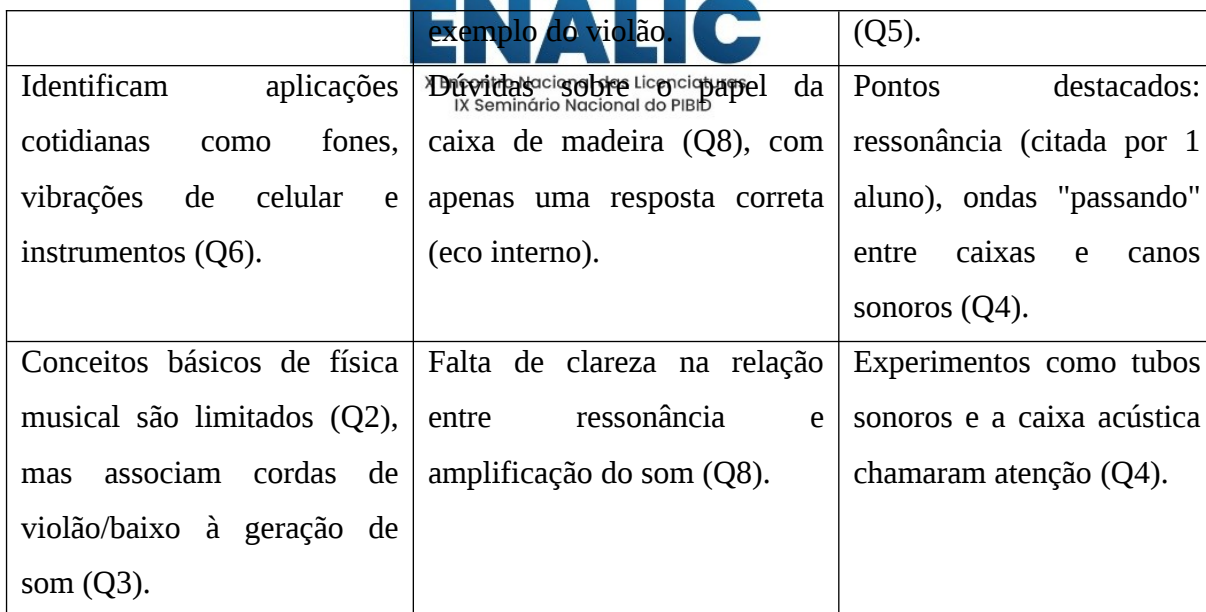


Tabela 3: Síntese das Respostas dos Alunos e Transposições didáticas

Eixo de Análise	Resultados Observados	Transposições didáticas
Frequência de Onda	<ul style="list-style-type: none"> - 100% associaram com a ondas, mas com respostas genéricas (Q1, Q3). - Aplicações cotidianas citadas (Q6), mas sem relação com fórmulas ou cálculos. 	<ul style="list-style-type: none"> - Uso de medições de frequência como apps (ex.: Afinador) durante o experimento. - Relacionar altura do som (agudo/grave) a frequências específicas.
Ressonância	<ul style="list-style-type: none"> - 71% não souberam definir (Q7). - Apenas 1 aluno vinculado à amplificação na caixa (Q8). 	<ul style="list-style-type: none"> - Demonstrar ressonância com diapasões ou cordas de violão afinadas. - Usar analogias como "balanço empurrado no ritmo certo".
Eficácia do Experimento	<ul style="list-style-type: none"> - 100% entenderam ondas no cotidiano (Q5). - Elementos visuais (ex.: pêndulo) chamaram atenção (Q4), mas sem aprofundamento teórico. 	<ul style="list-style-type: none"> - Incluir uma etapa de "predição e teste" (ex.: "O que acontece se mudarmos o comprimento da corda?"). - Vincular o experimento a



Evidentemente, por se tratar de uma única visita curta, não foi possível abordar sobre a temática de ondas de forma aprofundada. Entretanto, tendo o intuito base de apresentação do tema, a fim de despertar o interesse dos alunos, foi possível notar uma reação bem positiva através dos dados coletados. Demonstrando que, apresentar o tema desta forma, foi eficaz.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo demonstrou que abordagens experimentais interdisciplinares facilitam a assimilação de conceitos básicos de ondulatória, especialmente em contextos onde a BNCC negligencia o tema. Os resultados revelaram que os estudantes assimilam facilmente noções intuitivas (como a propagação do som por ondas). Contudo, os resultados apontam desafios, sendo um deles a ressonância como conceito crítico, visto que a falta de familiaridade prévia com o termo (evidenciada pelas respostas "não sei") sugere a necessidade de atividades específicas para vincular o fenômeno a exemplos tangíveis (ex: ajuste de cordas de violão).

A transposição didática aplicada no experimento da caixa acústica cumpriu seu papel de mediadora entre o concreto e o teórico, conforme preconizado por Vygotsky (1978). No entanto, a análise destaca três desafios críticos:

1. Ressonância como barreira conceitual: A maioria dos alunos não conseguiu defini-la ou relacioná-la ao experimento, indicando a necessidade de atividades específicas.
2. Frequência de onda desvinculada da prática: Embora reconhecessem o som como onda, a falta de conexão com grandezas físicas (Hz, amplitude) sugere a utilização de tecnologias acessíveis (como apps de medição) para tornar o abstrato mensurável.
3. Experimento como ponto de partida, não fim: O engajamento com elementos visuais (tubos sonoros, caixas de ressonância) foi alto, mas a ausência de problematização teórica limitou a profundidade do aprendizado.

Dessa forma, é possível adaptar a apresentação integrando etapas de investigação científica, propondo questões como: "Por que a caixa amplifica o som?" antes e após o experimento, incentivando a construção de hipóteses. Também é válido aplicar a Interdisciplinaridade com Matemática introduzindo gráficos de ondas ou cálculos simples, como a velocidade de propagação da onda utilizando os dados coletados pelos alunos durante o experimento.





Em síntese, a pesquisa reforça que o ensino de ondulatória exige equilíbrio entre ludicidade e rigor científico. A música mostrou-se uma aliada poderosa para contextualizar fenômenos físicos, mas sua eficácia plena depende de estratégias que articulem observação, medição e reflexão crítica essenciais para formar aprendizes autônomos e críticos, conforme os ideais de uma educação científica transformadora.

REFERÊNCIAS

BARROS, Marcelo Diniz Monteiro de; ZANELLA, Priscilla Guimarães; ARAÚJO-JORGE, Tania Cremonini de. A música pode ser uma estratégia para o ensino de ciências naturais? Analisando concepções de professores da educação básica. **Revista Ensaio**, Belo Horizonte, v. 15, n. 01, p. 81-94, jan-abr. 2013.

BRASIL. Ministério da Educação. **Base Nacional Comum Curricular**. Brasília, DF: MEC, 2018. Disponível em: http://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/BNCC_EI_EF_110518_versaofinal_site.pdf.

CABRAL RIOS, Lucianno; ALVES DE ARAÚJO, Neuton. A RODA DE CONVERSA COMO ESTRATÉGIA MEDIADORA NO ENSINO DE ONDULATÓRIA: UTILIZANDO A MÚSICA “CERTAS COISAS” PARA RESSIGNIFICAR CONCEPÇÕES. **Revista Prática Docente**, [s. l.], v. 6, n. 3, p. e092, 2021.

CARVALHO, A. M. P. **Uma metodologia de pesquisa para estudar os processos de ensino e aprendizagem em salas de aula**. (s.d.).

CRESWELL, J. W. (2014). **Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches**. Sage publications.

Física Contexto & Aplicações 3 Ensino Médio 2a Ed. 2016 Antônio Máximo / Beatriz Alvarenga / Carla Guimarães.

GALIZIA, Fernando Stanzione. Educação musical nas escolas de ensino fundamental e médio: considerando as vivências musicais dos alunos e as tecnologias digitais. **Revista da ABEM**, Porto Alegre, V. 21, p. 76-83, mar. 2009.

GÜNTHER, Hartmut. Pesquisa Qualitativa Versus Pesquisa Quantitativa: Esta É a Questão? **Psicologia: Teoria e Pesquisa**, v. 22, n. 2, p. 201-210, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0102-37722006000200010>.

