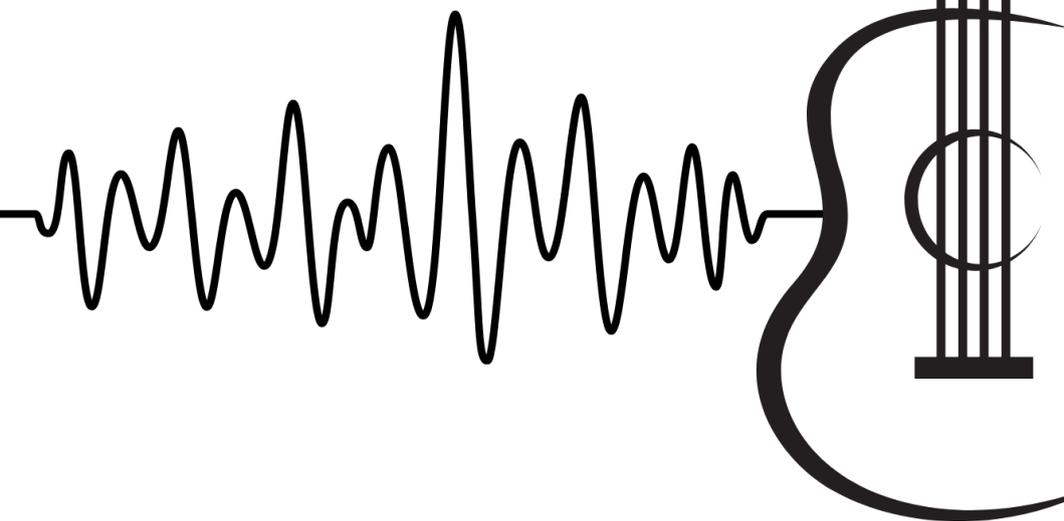


Antônio Henrique Reginaldo da Trindade, Antonio
Marques dos Santos, Emanuel Jessé Fernandes de
Melo, Larissa Costa de Faria e
Nayara Valentin Marques Meireles

Desvendando os segredos **do violão:**

uma jornada prática
atráves da **física do som**



Antônio Henrique Reginaldo da Trindade

Antonio Marques dos Santos

Emanuel Jessé Fernandes de Melo

Larissa Costa de Faria

Nayara Valentin Marques Meireles

**DESVENDANDO OS SEGREDOS DO VIOLÃO:
UMA JORNADA PRÁTICA ATRAVÉS DA FÍSICA
DO SOM**



Copyright © 2025 TODOS OS DIREITOS RESERVADOS À FACULDADE METROPOLITANA NORTE RIOGRANDENSE – FAMEN. De acordo com a Lei n. 9.610, de 19/2/1998, nenhuma parte deste livro pode ser fotocopiada, gravada, reproduzida ou armazenada num sistema de recuperação de informações ou transmitida sob qualquer forma ou por qualquer meio eletrônico ou mecânico sem o prévio consentimento do detentor dos direitos autorais. O conteúdo desta publicação é de inteira responsabilidade dos autores.

DOI: <https://doi.org/10.36470/famen.2025114>

FICHA CATALOGRÁFICA

Dados Internacionais de Catalogação na Fonte

T883d Trindade, Antônio Henrique Reginado da.

Desvendando os segredos do violão : uma jornada prática através da física do som / Antônio Henrique Reginado da Trindade ; Antonio Marques dos Santos ; Emanuel Jessé Fernandes de Melo ; Larissa Costa de Faria ; Nayara Valentim Marques Meireles . – Natal, RN: Editora FAMEN, 2025.

4.9 Mb ; PDF ; il.

ISBN: 978-65-87028-71-2

DOI: <https://doi.org/10.36470/famen.2025114>

1. Física – Estudo e ensino. 2. Física – Som. I. Santos, Antonio Marques dos. II. Melo, Emanuel Jessé Fernandes de Melo. III. Faria, Larissa Costa de. IV. Meireles, Nayara Valentim Marques. V. Título.

CDD: 530

CDU: 53 : 37

Elaborada pelo Bibliotecário Miqueias Alex de Souza Pereira CRB – 15/925

Índice para Catálogo Sistemático:

1. Física – 530

2. Física – Ensino – 53 : 37



Rua São Severino, n. 18, Bairro Bom Pastor, Natal/RN, CEP: 59060-040 CNPJ:
23.552.793/0001-57, Inscrição Estadual: 204392322, Inscrição Municipal: 2142633,
editora@famen.edu.br e telefone: (84) 3653-6770.



Rua São Severino, 18 – Bom Pastor, Natal – RN, 59060-040

Diretoria Geral
Valdete Batista do Nascimento

Coordenação de Pesquisa e de pós-graduação
Wendella Sara Costa da Silva

Conselho Editorial da FAMEN

Editora Chefe

Profa. Dra. Andrezza M. B. Do N. Tavares – Instituto Federal de Ciências e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN). Natal, RN, Brasil.

Link para o Currículo Lattes: <http://lattes.cnpq.br/5187018279016366>.

Editora Adjunto

Prof. Dr. Fábio Alexandre Araújo dos Santos – Instituto Federal de Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN). Natal, RN, Brasil.

Link para o Currículo Lattes: <http://lattes.cnpq.br/8334261197856331>.

Conselho Editorial Internacional

Presidente: Dr. Bento Duarte da Silva
Dr. Manuel Tavares
Dr. Dionísio Luís Tumbo
Dr. Gabriel Linari
Dra. Cristina Rafaela Riccì
Me. Gustavo Adólfo Fernández Díaz
Dr. Manuel Teixeira

Dra. Antonia Dalva França Carvalho
Dra. Elda Silva do Nascimento Melo
Dra. Karla Cristina Silva Sousa
Dr. Márcia Adelino da Silva Dias
Dr. Adir Luiz Ferreira
Dra. Giovana Carla Cardoso Amorim
Dra. Lucila Maria Pesce de Oliveira

Comitê Científico Interdisciplinar

Presidente: Dr. Rylanneive L. P. Teixeira
Dra. Juliana Alencar de Souza
Dr. Júlio Ribeiro Soares
Dra. Leila Salim Leal
Dra. Christiane M. T. de M. Gameleira
Dr. José R. Lopes de Paiva Cavalcanti
Dra. Kadydja Karla Nascimento Chagas
Dr. Avelino de Lima Neto

Dr. Sérgio Luiz Bezerra Trindade
Dr. Eduardo Henrique Cunha de Farias
Dr. Bruno Lustosa de Moura
Dra. Maria da C. Monteiro Cavalcanti
Dr. José Moisés Nunes da Silva
Dra. Francinaide de L. Silva Nascimento
Dr. José Paulino Filho
Dr. Marcos Torres Carneiro
Dr. Bernardino Galdino de Sena Neto

Dr. José Flávio da Paz
Dra. Laércia Maria Bertulino de Medeiros
Dra. Maria das Graças de A. Baptista
Dr. Antonio Marques dos Santos
Dr. Luiz Antonio da Silva dos Santos
Dra. Wendella Sara Costa da Silva

Ma. Valdete Batista do Nascimento
Ma. Maria Judivanda da Cunha
Me. João Maria de Lima
Me. Eric Mateus Soares Dias
Me. Adriel Felipe de Araújo Bezerra
Me. Rayssa Cyntia Baracho Lopes Souza

Bibliotecário / Diagramação
Miqueias Alex de Souza Pereira

Projeto Gráfico, diagramação e Capa
Eddean Riquemberg C. Xavier

Revisão de Textos
Prof. Dr. Dayvyd Lavanierly Marques de Medeiros

Prefixo editorial: Editora FAMEN
Linha editorial: Acadêmica

Disponível para download em: <https://editorafamen.com.br/>



sobre o autor



ANTÔNIO HENRIQUE REGINALDO DA TRINDADE

Concluí a graduação em Licenciatura em Física no ano de 2024, pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN – Campus Natal Central). Durante a formação, integrei programas voltados à iniciação e ao aperfeiçoamento da prática docente, como o Programa Institucional de Bolsas de Iniciação à Docência (PIBID) e o Programa Residência Pedagógica (PRP). Atualmente, exerço a docência na educação básica na rede privada de ensino. Minhas áreas de interesse e pesquisa concentram-se no Ensino de Física, com ênfase em abordagens experimentais.

sobre o autor



ANTONIO MARQUES DOS SANTOS

Graduei-me em Licenciatura em Física pela Universidade Federal do Maranhão em 2007. Concluí meu mestrado em Física pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte em 2010, seguido pelo doutorado na mesma área e instituição em 2014. Em 2023-2024, finalizei meu estágio pós-doutoral no Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física da Universidade de Brasília (UnB). No momento, ocupo a posição de professor no Instituto Federal de Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte Campus Natal Central. Além disso, sou docente no Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, no IFRN Campus Natal Central, Polo 10. Meus estudos concentram-se em Física Estatística, com interesse particular em Transições de Fase e Fenômenos Críticos, com atuação principal em Sistemas Complexos e Redes Complexas.

sobre o autor



EMANUEL JESSÉ FERNANDES DE MELO

Graduei-me em Licenciatura em Física pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte em 2022. Conclui meu mestrado em Ensino de Física em 2024 pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte no programa de Mestrado Profissional em Ensino de Física. No momento ocupo a posição de professor da rede privada de ensino na educação básica e profissional. Meus estudos concentram-se em Ensino de Física, com interesse em particular em Ensino de Física Moderna e Contemporânea, Física Experimental e Astronomia.

sobre a autora



LARISSA COSTA DE FARIA

Graduanda em Licenciatura em Física pelo Instituto Federal do Rio Grande do Norte (IFRN – Campus Natal Central), com atuação destacada na formação docente e em pesquisa científica. Atualmente é bolsista do Programa de Educação Tutorial (PET), onde desenvolve atividades de monitoria, tutoria acadêmica e investigação científica. Integra um projeto de iniciação científica voltado ao estudo da dinâmica da ionosfera marciana, com enfoque em aspectos da geofísica espacial. Possui experiência em práticas de ensino de Física, com interesse voltado para a interface entre educação científica e ciências espaciais.

sobre a autora



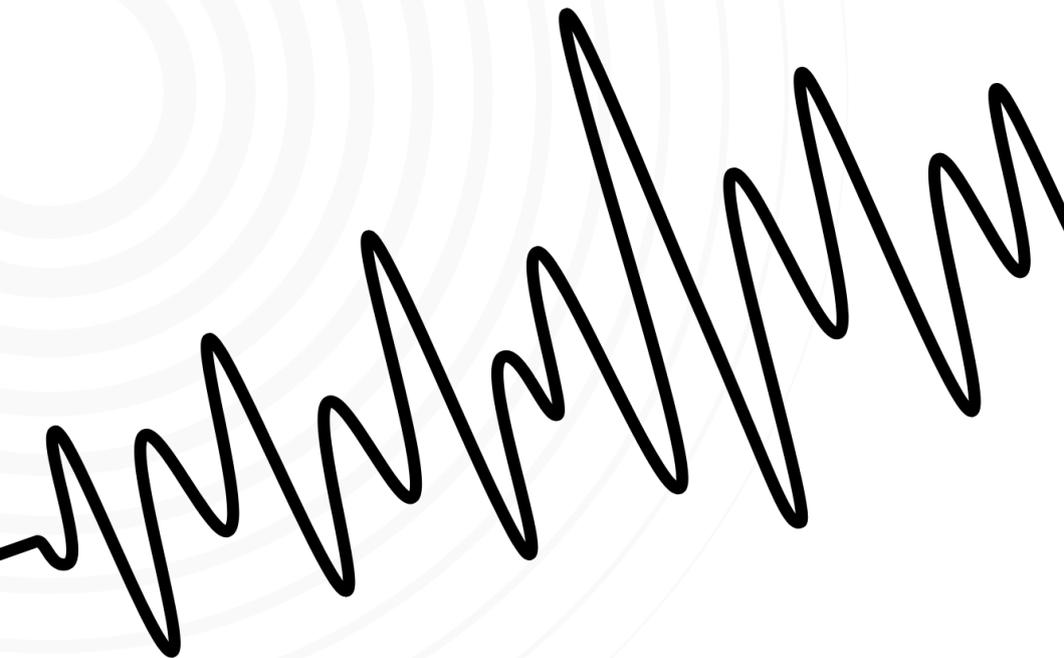
NAYARA VALENTIN MARQUES MEIRELES

Graduanda do curso de Licenciatura em Física (7º período) no Instituto Federal do Rio Grande do Norte – Campus Natal Central. Sua trajetória acadêmica é marcada pelo engajamento em iniciativas voltadas à formação docente e à promoção da ciência. Atuou como bolsista no Programa Institucional de Bolsa de Iniciação à Docência (PIBID) entre novembro de 2022 e abril de 2024, desenvolvendo atividades voltadas à prática pedagógica na educação básica. Desde novembro de 2024, integra o Programa de Educação Tutorial (PET) como bolsista, participando de ações que articulam ensino, pesquisa e extensão.

PREFÁCIO

Antonio Marques dos Santos

Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia do Rio Grande do Norte



PREFÁCIO

O presente e-book nasce do desejo de unir duas áreas que, embora à primeira vista pareçam distintas, compartilham fundamentos profundamente interligados: a música e a física. Ao propor uma abordagem didática que utiliza o violão como ferramenta experimental para o ensino dos fenômenos ondulatórios e acústicos, este trabalho busca oferecer uma alternativa prática, significativa e acessível ao ensino tradicional da Física, especialmente no contexto da Educação de Jovens e Adultos (EJA).

A escolha metodológica pautada na experimentação não é aleatória. Parte-se da premissa de que a aprendizagem torna-se mais sólida quando o discente é protagonista do processo, vivenciando e manipulando os conceitos teóricos no ambiente real. Assim, a música, expressão sensível e universal da experiência humana, torna-se ponte para a compreensão da ciência, revelando os sons não apenas como arte, mas como resultado direto de leis físicas que podem, e devem, ser compreendidas.

Este material é fruto de uma prática aplicada em sala de aula, refletida à luz de referências consolidadas da área, sendo, portanto, não apenas uma proposta pedagógica, mas um convite à reflexão sobre os caminhos possíveis para o ensino de ciências em contextos escolares diversos. Espera-se que esta obra inspire

docentes a explorarem novas possibilidades e que desperte nos estudantes o encantamento tanto pela música quanto pela ciência.

Antonio Marques dos Santos

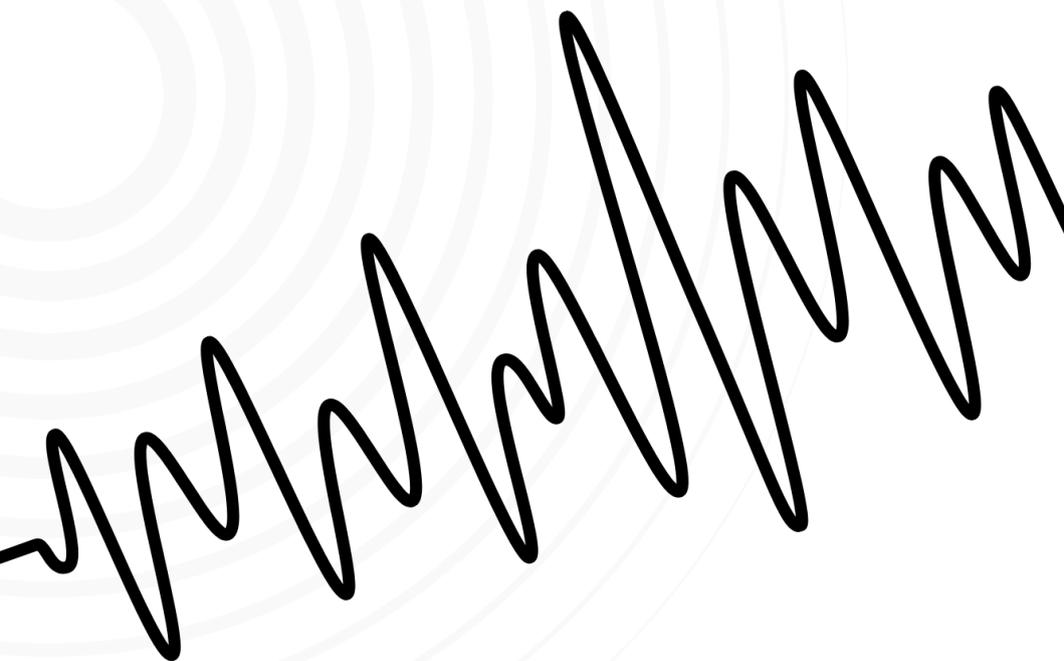
**Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio
Grande do Norte.**

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	19
REVISÃO TEÓRICA.....	23
ESTRUTURA DAS AULAS	34
EXPERIMENTOS	44
RESULTADOS E DISCUSSÃO	59
CONSIDERAÇÕES FINAIS	87
REFERÊNCIAS.....	89

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO



INTRODUÇÃO

A música, como uma manifestação universal da expressão humana, transcende fronteiras culturais e emocionais, sendo um fenômeno que pode ser compreendido sob diferentes perspectivas. O violão, em particular, destaca-se como um dos instrumentos mais versáteis e acessíveis, desempenhando um papel central na produção musical em diversas culturas. No entanto, o domínio completo desse instrumento não se limita à habilidade técnica do músico, mas requer uma compreensão aprofundada dos princípios físicos que regem a produção do som (Fletcher; Rossing, 1998; Campbell; Greated, 1994). Essa análise permite não apenas a otimização do desempenho musical, mas também uma maior percepção sobre os fatores que influenciam a sonoridade do instrumento.

A interação entre as propriedades físicas do violão e a qualidade sonora resultante é um aspecto fundamental a ser explorado. O som produzido por um violão é influenciado por uma complexa combinação de fatores, incluindo a tensão, espessura e composição das cordas, bem como a geometria e os materiais utilizados na construção do corpo do instrumento

(Berg, 1995). Cada um desses elementos desempenha um papel crucial na definição do timbre e da projeção sonora, evidenciando a interdependência entre aspectos físicos e musicais.

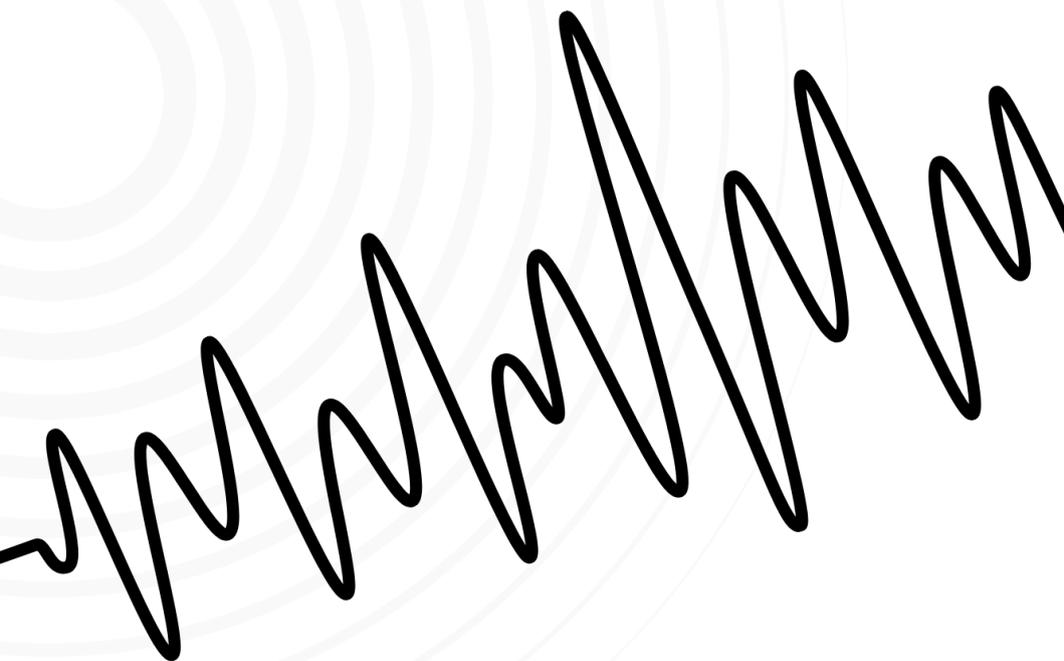
Dessa forma, a compreensão da física do som aplicada ao violão permite ao músico atuar como um arquiteto sonoro, manipulando conscientemente variáveis físicas para aprimorar sua expressão musical. A propagação das ondas sonoras, a vibração das cordas e a ressonância do corpo do violão constituem princípios fundamentais que, quando bem compreendidos, possibilitam a otimização da performance musical (Rossing, 2016; Pierce, 1981). Esse conhecimento não apenas aperfeiçoa a execução técnica, mas também fortalece a conexão entre músico, instrumento e audiência, tornando a experiência musical mais imersiva e significativa.

Este estudo tem como objetivo principal investigar os elementos físicos que influenciam a produção sonora no violão, destacando a importância da relação entre teoria e prática na aprendizagem musical. Através de uma abordagem experimental, serão analisados fenômenos como a relação entre tensão e frequência das notas, a influência da forma e dos materiais do instrumento na qualidade sonora e os efeitos da interação entre diferentes componentes estruturais. Ao proporcionar uma base sólida para a compreensão desses aspectos, espera-se que este estudo contribua para a formação de músicos mais conscientes e tecnicamente refinados.

Por fim, a investigação empírica aliada ao embasamento teórico permite não apenas um aprofundamento acadêmico sobre a física do som no contexto do violão, mas também a ampliação das possibilidades artísticas e expressivas do músico. A experimentação prática e a exploração individual surgem como ferramentas essenciais na descoberta de novas possibilidades sonoras, consolidando o conhecimento científico como um elemento fundamental para a evolução musical.

CAPÍTULO II

REVISÃO TEÓRICA



REVISÃO TEÓRICA

Breve explicação da física do som, destacando conceitos como frequência, amplitude e comprimento de onda

O som é uma forma de energia que se propaga através de meios materiais, como ar, água ou sólidos, na forma de ondas longitudinais, caracterizadas pela oscilação das partículas do meio na mesma direção da propagação da onda (Pierce, 1981). A compreensão dos fenômenos acústicos requer o estudo de grandezas fundamentais, como frequência, amplitude e comprimento de onda, que determinam as propriedades físicas e perceptuais do som.

A frequência, expressa em Hertz (Hz), representa o número de oscilações completas da onda sonora por unidade de tempo. Esse parâmetro é diretamente responsável pela percepção da altura do som: frequências mais elevadas correspondem a tons agudos, enquanto frequências mais baixas resultam em tons graves (Fletcher; Rossing, 1998). Assim, a variação da frequência influencia diretamente a experiência auditiva e está associada a

fenômenos como a afinação de instrumentos musicais e a distinção entre diferentes vozes e timbres.

A amplitude da onda sonora está relacionada à intensidade do som, refletindo a quantidade de energia transportada pela onda. Maiores amplitudes correspondem a sons mais intensos, enquanto menores amplitudes resultam em sons mais suaves (Berg, 1995; Campbell; Greated, 1994). Esse parâmetro é crucial para a análise de fenômenos como a propagação do som em diferentes ambientes e a percepção da dinâmica musical.

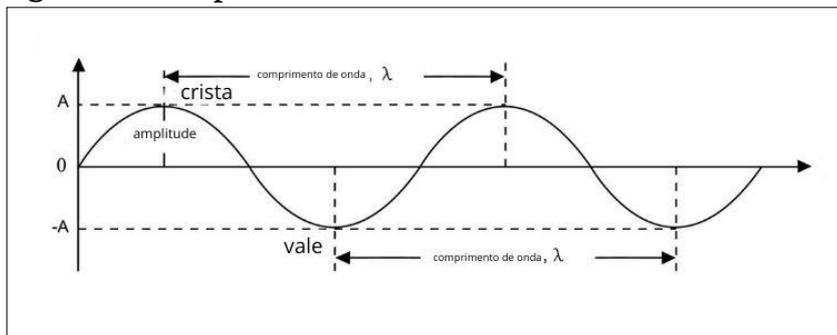
Por fim, o comprimento de onda, definido como a distância entre dois pontos consecutivos em fase na onda (como cristas ou vales), possui uma relação inversa com a frequência: quanto maior a frequência, menor o comprimento de onda, e vice-versa (Giancoli, 2008). Essa relação é fundamental para a compreensão de fenômenos como a interferência e a difração do som, bem como para a análise da acústica de espaços e do funcionamento de instrumentos musicais.

Dessa forma, o estudo integrado dessas grandezas fornece uma base sólida para a compreensão da física do som, permitindo a aplicação desses conceitos em áreas como engenharia acústica, música e comunicação sonora.

A relação inversa entre frequência e comprimento de onda é descrita pela equação $c = f \cdot \lambda$, onde c é a velocidade do som, f é a frequência e λ é o comprimento de onda.

A figura 1 a seguir mostra o exemplo simples de uma onda evidenciando os conceitos até aqui trabalhados.

Figura 1 – Exemplo de uma onda e seus elementos



Fonte: Mundo Educação (2024).

Além da natureza oscilatória do som, a velocidade de propagação das ondas sonoras está diretamente relacionada às propriedades do meio em que se deslocam. Em geral, o som se propaga mais rapidamente em sólidos e líquidos do que em gases, devido à maior densidade e elasticidade desses meios (Halliday; Resnick; Walker, 2010). Em condições padrão de temperatura e pressão no ar, a velocidade do som é aproximadamente 343 metros por segundo. No entanto, em meios mais densos, como a água, essa velocidade aumenta significativamente, o que influencia tanto a percepção auditiva quanto a compreensão dos fenômenos acústicos (Tipler; Mosca, 2008; Rossing, 2016).

A análise quantitativa desses fenômenos requer a formulação matemática das relações fundamentais que regem a propagação das ondas em diferentes meios. No caso das ondas estacionárias em cordas vibrantes, a determinação das forças atuantes nessas estruturas é essencial para compreender o comportamento oscilatório. Para isso, utilizam-se duas equações fundamentais. A primeira delas é a equação da onda, que descreve a relação entre o comprimento de onda, a frequência e a velocidade de propagação. A segunda equação estabelece a velocidade de propagação em cordas vibrantes, levando em consideração a densidade linear da corda e a tensão aplicada. Juntas, essas equações permitem quantificar e prever as características das ondas mecânicas, fornecendo uma base teórica sólida para os experimentos que exploram a acústica e os princípios da ondulatória.

$$v = \lambda f \quad (1)$$

$$\mu(\lambda f)^2 = F \quad (2)$$

Dessa forma, ao combinar as equações (3) e (4) e aplicar manipulações algébricas adequadas, pode-se isolar a variável correspondente à força. Esse procedimento permite reescrevê-la em uma forma mais convencional, conduzindo à expressão final apresentada na equação (5).

$$\lambda f = \sqrt{\frac{F}{\mu}} \quad (3)$$

$$\mu(\lambda f)^2 = F \quad (4)$$

$$\mu v^2 = F \quad (5)$$

Outras relações essenciais para a equação previamente definida referem-se ao comprimento de onda e ao comprimento da corda vibrante, conforme descrito nas equações (6) e (7). Estas expressões, por sua vez, estão interligadas à densidade linear da corda, que depende da sua massa e do seu comprimento, conforme estabelecido na equação (8). A conexão entre essas variáveis é fundamental para uma compreensão abrangente do comportamento vibracional da corda e das ondas que nela se propagam, permitindo uma análise mais precisa das propriedades físicas envolvidas.

$$l = \lambda/2 \quad (6)$$

$$\lambda = 2l \quad (7)$$

$$\mu = \frac{m}{L} \quad (8)$$

O comprimento da corda vibrante, representado por l , e o comprimento total da corda, simbolizado por L , são parâmetros essenciais para a compreensão dos fenômenos acústicos envolvidos. Para o presente estudo, assume-se que a espessura

das cordas é desprezível, considerando apenas a densidade linear, em vez da densidade volumétrica. Este pressuposto é fundamental para simplificar a análise e facilitar a aplicação dos conceitos em contextos diversos.

Compreender esses parâmetros e conceitos é de grande relevância em várias áreas do conhecimento. Na acústica musical, por exemplo, o comportamento vibracional das cordas influencia diretamente as frequências produzidas, o que tem implicações significativas para a construção e a afinação de instrumentos. Além disso, em campos como a engenharia de áudio, a manipulação precisa de frequências e amplitudes é essencial para criar experiências sonoras imersivas e de alta qualidade (Laburu, 2005; Peruzzo, 2012). No campo médico, a ultrassonografia utiliza ondas sonoras de alta frequência para gerar imagens do interior do corpo humano, o que depende de um entendimento aprofundado das propriedades das ondas sonoras. Igualmente, na engenharia de som e na construção de espaços acústicos, como salas de concertos e estúdios de gravação, o conhecimento da velocidade do som e das características acústicas dos materiais é crucial para otimizar a qualidade sonora do ambiente (Veiga, 1991). Assim, o estudo detalhado desses aspectos é indispensável para a aplicação efetiva dos princípios acústicos em diversos domínios.

Conceito da acústica e a produção de som em instrumentos musicais

A expressão musical transcende barreiras culturais e temporais, desempenhando um papel central em diversas sociedades ao redor do mundo. A complexidade envolvida na produção sonora dos instrumentos musicais está intrinsecamente ligada à interação entre conceitos fundamentais, como acústica, materiais e tecnologia, sendo esses fatores cruciais na busca pela excelência sonora (Campbell; Greated, 1994; Fletcher; Rossing, 1998). Nesse contexto, a acústica emerge como um ramo da física dedicado ao estudo do som, essencial para compreender como os instrumentos musicais geram e propagam ondas sonoras.

Por exemplo, a configuração e o tamanho de uma caixa de ressonância têm impacto direto na qualidade e no timbre dos instrumentos de cordas, como violinos ou violões. A teoria acústica também elucidada a importância das ondas estacionárias na formação de tons e harmônicos, elementos fundamentais na sonoridade de instrumentos de sopro (Pierce, 1981; Fletcher; Rossing, 1998). Esse entendimento permite uma análise mais profunda dos aspectos físicos envolvidos na produção sonora e como diferentes componentes, como a ressonância e a propagação de ondas, determinam a percepção musical.

Além disso, os materiais utilizados na construção de instrumentos musicais desempenham um papel significativo na definição de suas características sonoras. No caso dos violinos, por exemplo, a escolha cuidadosa da madeira, com suas propriedades acústicas únicas, influencia diretamente a ressonância, a durabilidade e a resposta tonal do instrumento. Esse cuidado com os materiais não é limitado aos instrumentos tradicionais; a pesquisa em novos materiais continua a ser um campo de interesse, com o objetivo de otimizar as propriedades acústicas sem comprometer a durabilidade do instrumento (Berg, 1995; Rossing, 2016).

A tecnologia moderna também desempenha um papel vital na produção sonora, ampliando as possibilidades dos instrumentos musicais. A aplicação de técnicas avançadas de modelagem acústica, utilizando softwares especializados, permite aos fabricantes simular e aprimorar o design dos instrumentos antes de sua produção física, melhorando a precisão na concepção sonora. Além disso, a integração da eletrônica em instrumentos como guitarras e teclados modifica e amplifica o som original, oferecendo novas dimensões sonoras para os músicos (Tipler; Mosca, 2008; Giancoli, 2008).

A sinergia entre acústica, materiais e tecnologia na produção de instrumentos musicais é evidente ao se observar a evolução dessa prática ao longo dos séculos. Desde os famosos violinos Stradivarius, que se destacam por sua qualidade

acústica, até os sintetizadores modernos, que exploram novas fronteiras sonoras, é possível perceber como esses elementos se entrelaçam para moldar a música ao longo de diferentes períodos históricos (Halliday; Resnick; Walker, 2001; Laburu, 2005). Dessa forma, a interação entre teoria acústica, materiais e inovações tecnológicas continua a ser fundamental para o desenvolvimento da música e dos instrumentos que a tornam possível.

Respectiva metodológica adotada

A metodologia adotada neste estudo fundamenta-se em uma abordagem experimental que utiliza o violão como ferramenta central para a exploração dos fenômenos ondulatórios e acústicos presentes no som. Para complementar o violão, são incorporados outros recursos tecnológicos, como aplicativos de celular e instrumentos de medição, que possibilitam a coleta de dados precisos. O objetivo principal é realizar uma análise profunda e significativa das informações obtidas, tanto de forma quantitativa quanto qualitativa, alinhando-as aos parâmetros físicos relacionados ao comportamento das ondas sonoras.

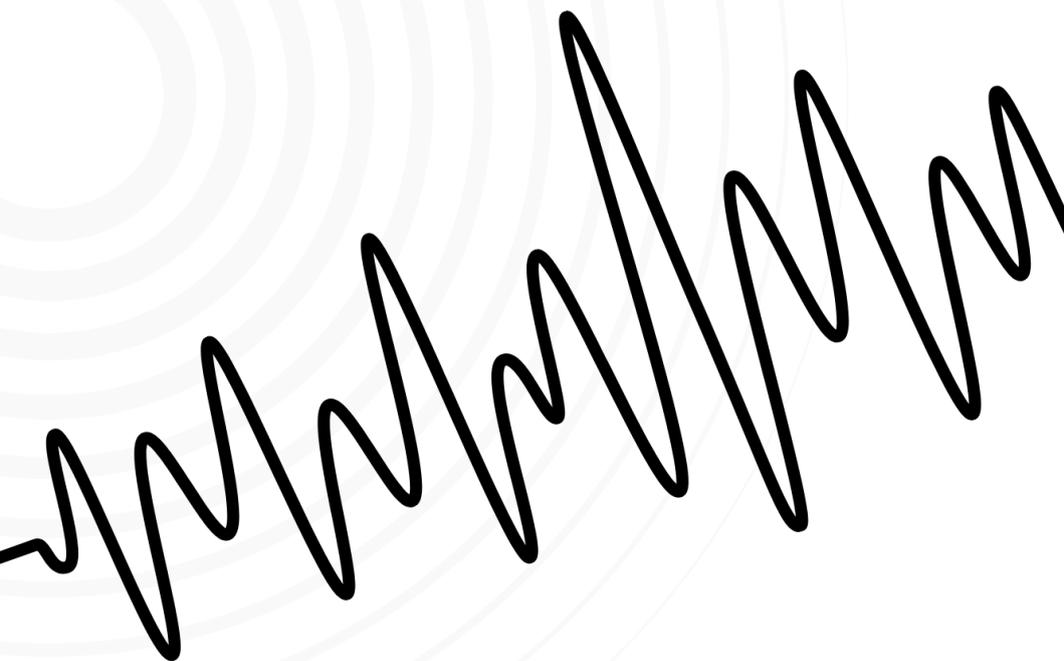
Esse enfoque experimental é essencial, pois resgata a natureza da Física como uma ciência empírica, como destacado por Peruzzo (2012, p. 9), que afirma: “Apesar de conter aspectos filosóficos, teóricos e matemáticos, a física é essencialmente uma

ciência experimental. Portanto, a realização de experiências é uma parte essencial para o ensino de física.” Através da experimentação, busca-se não apenas transmitir os conceitos, mas também proporcionar uma vivência prática dos fenômenos estudados, promovendo uma aprendizagem mais concreta.

A escolha dessa metodologia é sustentada por fortes motivações instrucionais e epistemológicas. Sob a ótica instrucional, como Laburu (2005) destaca, ela possibilita a demonstração clara e acessível de conceitos complexos, tornando o aprendizado mais simples e didático: “possibilita verificar, ver ou demonstrar, de maneira simples e didática, os conceitos difíceis de entender” (Laburu, 2005, p. 165). Do ponto de vista epistemológico, ela permite que os alunos observem os fenômenos na prática, conectando a teoria à realidade concreta: “prova, mostra o fenômeno (para o aluno) e não fica só no abstrato; consegue-se ver na realidade o que se aprende na teoria ou dos velhos exemplos dos livros” (Laburu, 2005, p. 165). Assim, a metodologia não só facilita a compreensão dos conceitos, mas também oferece uma experiência imersiva que reforça a aprendizagem de forma profunda e significativa.

CAPÍTULO III

ESTRUTURA DAS AULAS



ESTRUTURA DAS AULAS

Nesta seção, serão apresentadas de forma sequencial as etapas que compõem a aplicação da sequência didática em questão, de maneira a garantir uma organização clara e coesa do processo de ensino. A estrutura das atividades foi cuidadosamente planejada para assegurar que o objetivo proposto fosse alcançado de forma eficaz. Nesse sentido, como aponta Veiga (1991, p. 139), as atividades de caráter experimental devem ser organizadas em três momentos interligados, os quais são definidos como etapas de preparação, realização e avaliação. Essas fases, embora distintas, são interdependentes e contribuem para o desenvolvimento contínuo e sistemático da aprendizagem, favorecendo a construção do conhecimento de maneira integradora.

Preparação

A preparação para a intervenção didática exige uma organização cuidadosa dos materiais e a definição clara dos procedimentos metodológicos a serem seguidos, conforme

proposto por Berg (1995) e Campbell e Greated (1994). Inicialmente, foi aplicada uma avaliação diagnóstica por meio de um questionário, que abordou aspectos teóricos essenciais relacionados ao tema de estudo. Essa etapa visou identificar o nível de conhecimento prévio dos participantes e possibilitar uma abordagem mais direcionada ao conteúdo.

Em seguida, foi realizada uma aula expositiva com o objetivo de revisar os conceitos fundamentais de ondulatória e acústica, que são indispensáveis para a compreensão dos fenômenos que seriam explorados durante a intervenção. Esse momento teórico serviu como base para o desenvolvimento dos experimentos subsequentes, garantindo que os participantes estivessem preparados para aplicar os conceitos em um contexto prático.

Realização

A realização dos experimentos e práticas segue os procedimentos descritos por Fletcher e Rossing (1998) e Halliday, Resnick e Walker (2001), configurando uma etapa fundamental na interação dos alunos com o método experimental. Neste momento, os estudantes têm a oportunidade de se envolver diretamente com a prática, manipulando o violão e aplicando os conceitos aprendidos. Para isso, eles utilizam um roteiro de experimentação, além de ferramentas que facilitam o registro e

análise dos dados, como aplicativos de celular e instrumentos de medição simples, incluindo balança de precisão, trena e calculadora.

É importante ressaltar que essa fase do processo é acompanhada de perto pelo docente responsável, garantindo a orientação e supervisão necessárias para o bom desenvolvimento das atividades. A experiência de tentativa e erro, característica dessa etapa, desempenha um papel crucial no processo de aprendizagem, permitindo que os alunos compreendam melhor os conceitos em questão. A descrição detalhada dos experimentos realizados encontra-se na seção 4 deste trabalho, onde os procedimentos metodológicos são expostos de maneira mais aprofundada.

Aplicativos

Nesta seção, apresentaremos os aplicativos utilizados durante os procedimentos experimentais, os quais desempenharam um papel crucial na coleta de dados e na análise dos fenômenos envolvidos. Ao todo, foram empregados três aplicativos distintos, cada um com funções específicas que contribuíram para o desenvolvimento e a precisão dos experimentos realizados.

O primeiro aplicativo utilizado foi o *Afinador Cifra Club*, cuja principal função é identificar a nota musical emitida,

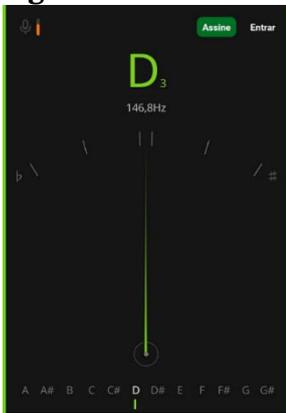
fornecendo informações detalhadas sobre sua frequência e sua posição na escala musical. Este aplicativo foi essencial para o monitoramento e controle das frequências sonoras geradas durante os experimentos. As Figuras 2 e 3 ilustram, respectivamente, o ícone do aplicativo e sua interface, evidenciando a facilidade de uso e a precisão das medições realizadas.

Figura 1 – Ícone do Aplicativo Afinador Cifra Club



Fonte: Elaboração Própria (2024).

Figura 3 – Interface do Aplicativo Cifra Club



Fonte: Elaboração Própria (2024).

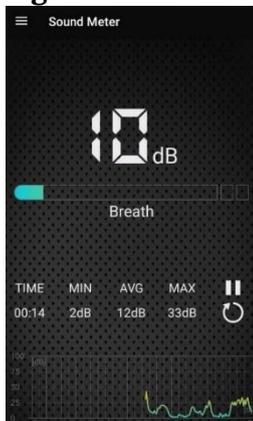
Outro aplicativo utilizado na pesquisa foi o Sound Meter: Medidor Decibéis, que se configura como um decibelímetro digital, fornecendo valores numéricos associados à intensidade sonora. Esse aplicativo desempenha um papel crucial na medição quantitativa dos níveis de pressão sonora, permitindo uma análise precisa das variações de intensidade ao longo dos experimentos. As figuras 4 e 5 ilustram, respectivamente, o layout do ícone do aplicativo e a interface de usuário, evidenciando suas funcionalidades e a interação do usuário com o dispositivo.

Figura 4– Ícone do Aplicativo Sound Meter



Fonte: Elaboração Própria (2024).

Figura 5 – Interface do aplicativo Sound Meter



Fonte: Elaboração Própria (2024).

O aplicativo Decibel X – Sonómetro Pro desempenha a função de decibelímetro, permitindo o registro da intensidade sonora de maneira quantitativa, com a apresentação dos valores em decibéis. Além disso, o aplicativo oferece uma visualização gráfica dinâmica do espectro da onda sonora, proporcionando uma análise detalhada das frequências envolvidas. As Figuras 6 e 7 ilustram, respectivamente, o ícone do aplicativo e a interface de usuário, permitindo uma compreensão visual de suas funcionalidades. Dessa forma, o Decibel X se configura como uma ferramenta útil para medições precisas e análise do comportamento acústico.

Figura 6 – Ícone do Aplicativo Decibel X



Fonte: Elaboração Própria (2024).

Figura 7 – Interface do Aplicativo Decibel X



Fonte: Elaboração Própria (2024).

Avaliação

A avaliação, enquanto processo de análise dos resultados e reflexão sobre o caminho percorrido, é fundamental para a

compreensão do desenvolvimento do aprendizado, como discutido por Giancoli (2008) e Tipler e Mosca (2008). Nesse contexto, a avaliação foi organizada em duas frentes complementares que permitiram uma abordagem abrangente e aprofundada.

A primeira frente avaliativa consistiu na aplicação de uma nova versão da avaliação diagnóstica, com um caráter formativo. Nessa etapa, os discentes foram convidados a responder novamente às mesmas questões iniciais, proporcionando a oportunidade de comparar os conceitos assimilados ao longo do processo de aprendizagem. Esse procedimento possibilitou uma visão clara da evolução do grupo, evidenciando as mudanças no entendimento dos tópicos abordados.

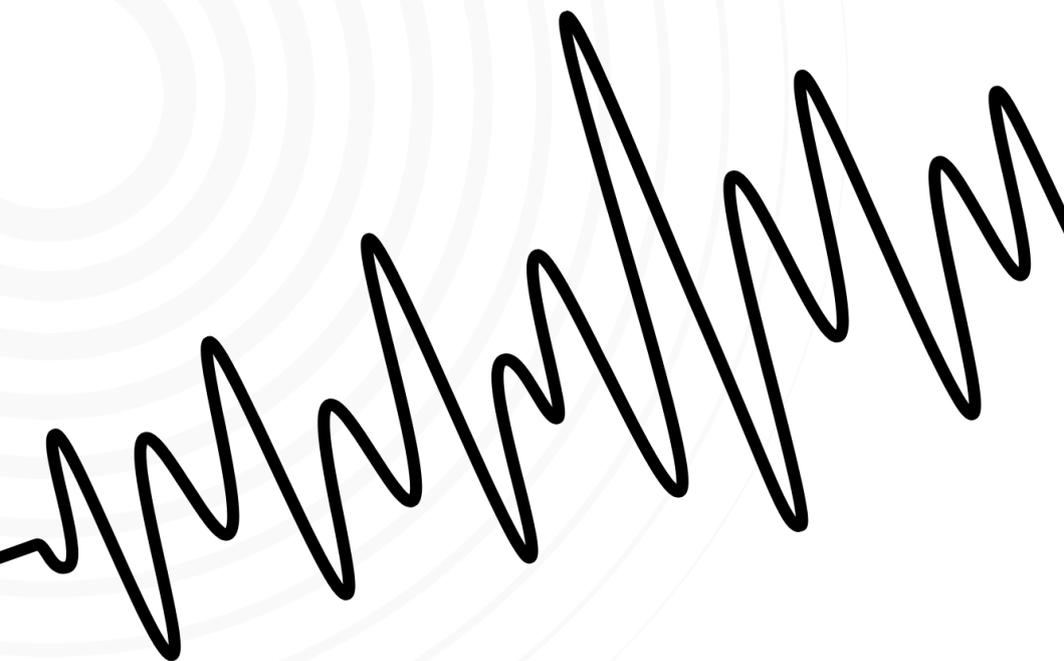
A segunda frente focou na coleta, análise e interpretação dos dados provenientes dos experimentos realizados. Após a execução das atividades, os resultados foram registrados e discutidos em um momento posterior, permitindo uma investigação mais detalhada e quantitativa da aprendizagem. Essa abordagem permitiu avaliar de forma precisa a compreensão dos alunos sobre as relações entre as grandezas físicas envolvidas, oferecendo uma visão aprofundada do seu progresso.

Dessa forma, ao integrar essas duas abordagens avaliativas, foi possível obter uma visão completa e detalhada do

processo de ensino-aprendizagem, promovendo uma reflexão crítica e contínua sobre o desenvolvimento conceitual dos discentes.

CAPÍTULO IV

EXPERIMENTOS



EXPERIMENTOS

Nesta seção, detalha-se a metodologia experimental adotada na intervenção educativa, cujo objetivo foi aprofundar a compreensão dos conceitos de ondulatória e acústica por meio da prática experimental com o violão. Para isso, descrevem-se, de forma sistemática, os experimentos conduzidos, incluindo a listagem dos materiais utilizados e a explicitação das etapas seguidas em cada procedimento.

A escolha do violão como ferramenta central fundamenta-se na sua capacidade de ilustrar, de maneira acessível e empírica, os princípios físicos subjacentes ao comportamento ondulatório e às propriedades acústicas do som. Além disso, a abordagem experimental foi estruturada de modo a integrar teoria e prática, permitindo aos alunos estabelecer conexões diretas entre os conceitos abstratos e sua manifestação concreta.

Os resultados obtidos evidenciaram a coerência entre os fenômenos observados e os modelos teóricos descritos na literatura, reforçando a eficácia da estratégia adotada. Assim, a análise dos experimentos conduzidos não apenas validou a

aplicabilidade da abordagem proposta, mas também demonstrou seu potencial para promover um aprendizado significativo e fundamentado em evidências científicas.

Mediação da frequência das cordas

A análise da frequência fundamental de cordas vibrantes constitui um experimento clássico da física, permitindo a verificação empírica da relação entre frequência, comprimento, massa e tensão. Quando realizada com instrumentos musicais, como o violão, essa abordagem experimental não apenas reforça os conceitos de ondulatória e acústica, mas também estabelece uma conexão direta entre teoria e prática. Manipulando os parâmetros das cordas e analisando os padrões de vibração, é possível determinar com precisão a frequência fundamental, validando os modelos teóricos e proporcionando uma aprendizagem significativa sobre os fenômenos estudados.

Objetivos

O principal objetivo deste experimento é determinar a força de tensão presente em cada uma das cordas vibrantes do violão, considerando elementos como a frequência fundamental, o comprimento e a massa da corda. Além disso, busca-se validar as equações físicas que descrevem os fenômenos ondulatórios e

acústicos, fornecendo uma base experimental robusta para a compreensão desses conceitos. Esse modelo experimental não apenas reforça o aprendizado teórico, mas também desenvolve habilidades de investigação científica e análise de dados.

Aspectos fundamentais do Experimento

- **Observação e análise dos padrões de vibração das cordas:**

A utilização do violão como ferramenta experimental permite a visualização dos modos de vibração das cordas, estabelecendo uma conexão direta entre os conceitos teóricos de ondulatória e acústica e sua manifestação prática.

- **Exploração da relação entre frequência, comprimento, massa e tensão:** O experimento permite investigar a interdependência dessas variáveis físicas, fornecendo uma compreensão mais aprofundada das equações que regem o comportamento das cordas vibrantes.

- **Verificação experimental da equação fundamental da frequência:** A partir da medição das grandezas envolvidas e da análise dos dados coletados, é possível validar empiricamente a equação fundamental que descreve a frequência de vibração das cordas, corroborando os modelos teóricos.

- **Desenvolvimento de habilidades de investigação científica e análise de dados:** A realização do experimento proporciona um ambiente prático para a aplicação do método

científico, incentivando a coleta, a organização e a interpretação de dados experimentais.

Materiais Necessários

- **Violão (cordas de aço ou nylon):** Utilizado como ferramenta principal para a análise dos fenômenos ondulatórios e acústicos.

- **Afinador digital (app no smartphone):** Essencial para garantir a precisão na afinação do violão, assegurando a consistência dos resultados experimentais.

- **Trena ou fita métrica:** Necessária para medir com precisão as dimensões do violão e as distâncias envolvidas nos experimentos, fundamental para a análise da relação entre comprimento de onda e frequência.

- **Balança de precisão:** Utilizada para medir a massa das cordas, permitindo uma análise detalhada das propriedades físicas envolvidas.

Procedimento Experimental

1. Posicione o afinador digital próximo à boca do violão.
2. Toque a primeira corda e ajuste sua tensão por meio da tarraxa até que esteja afinada na nota padrão.
3. Registre a frequência correspondente à nota afinada.

4. Utilize a trena para medir o comprimento da corda, considerando as extremidades fixas.
5. Repita os passos anteriores para as demais cordas do violão.
6. Utilize a balança de precisão para medir a massa de cada corda e registre os valores.
7. A partir dos dados coletados, calcule a força de tensão de cada corda, utilizando a equação fundamental da frequência das cordas vibrantes.

Análise de Dados

- Para o comprimento de cada corda, calcule o comprimento de onda (λ) usando a seguinte equação:

$$L = \lambda/2$$

- Calcule a velocidade de propagação das ondas em cada corda, utilizando a equação

$$v = \lambda \cdot f$$

- Determine a densidade das cordas por meio dos dados obtidos. onde $\mu = m/L$

- Calcule a força de tensão presente em cada corda por meio da equação $v = \sqrt{\frac{F}{\mu}}$

- Analise os resultados e identifique as relações entre frequência, comprimento, massa e tensão da corda.

- Compare os resultados experimentais com a equação fundamental da frequência de cordas vibrantes.
- Calcule o erro experimental e discuta as fontes de erro.

Discussão

A medição da frequência das cordas no contexto do ensino da ondulatória e acústica permite investigar, de forma empírica, a relação entre a frequência fundamental de uma corda vibrante e seus parâmetros físicos. Utilizando o violão como ferramenta central, os dados experimentais corroboram a equação fundamental das cordas vibrantes, evidenciando a dependência da frequência em relação ao comprimento, à tensão e à densidade linear da corda.

Além de validar teoricamente os modelos matemáticos, essa abordagem experimental possibilita a análise quantitativa da influência de cada variável, favorecendo uma compreensão mais aprofundada dos fenômenos ondulatórios. A mediação por instrumentos musicais não apenas contextualiza os conceitos físicos em uma aplicação concreta, mas também promove um aprendizado mais significativo, consolidando o entendimento das leis que regem a vibração das cordas e sua relação com a produção sonora.

Variação da amplitude e seus efeitos sonoros no som produzido

A relação entre a amplitude de uma onda sonora e a intensidade do som percebida pelo ouvido humano pode ser investigada de maneira concreta por meio de experimentos práticos utilizando instrumentos musicais, como o violão. A amplitude de uma onda sonora está diretamente associada à sua energia, e, conseqüentemente, à percepção de intensidade sonora. A partir da manipulação dessa variável durante a execução do violão, é possível verificar empiricamente essa relação e sua conformidade com a lei de Weber-Fechner, que descreve a percepção humana em resposta a estímulos físicos.

Objetivo

Este experimento tem como principal objetivo analisar a relação entre a amplitude da onda sonora e a intensidade do som percebida. Para isso, diferentes técnicas de ataque serão aplicadas às cordas do violão, variando deliberadamente a amplitude da onda sonora gerada. Além disso, a intensidade do som será medida quantitativamente por meio de um decibelímetro, permitindo uma correlação entre os valores obtidos e a percepção auditiva do som.

A partir dessa abordagem experimental, busca-se não apenas compreender os conceitos fundamentais da ondulatória e

da acústica, mas também desenvolver habilidades de investigação científica e análise de dados, essenciais para a formação em ciências exatas. Os objetivos específicos incluem:

- Observar e analisar os efeitos da amplitude na intensidade do som;
- Compreender a relação entre amplitude e intensidade sonora;
- Verificar experimentalmente a validade da lei de Weber-Fechner;
- Desenvolver competências em investigação científica e análise de dados experimentais.

Materiais e Instrumentos

Para a realização do experimento, serão utilizados os seguintes materiais:

- **Violão (cordas de aço ou nylon):** O violão será o principal instrumento para a geração de ondas sonoras. A escolha entre cordas de aço ou nylon pode influenciar as propriedades acústicas e, conseqüentemente, os resultados obtidos.

- **Decibelímetro:** Aplicativos como *Sound Meter* e *Decibel X* serão empregados para medir a intensidade do som gerado. Essas ferramentas permitem a quantificação dos parâmetros acústicos e a análise da relação entre amplitude e intensidade sonora.

Para garantir a precisão dos dados coletados, cada medição será repetida diversas vezes, permitindo a obtenção de valores médios confiáveis. O procedimento seguirá a seguinte sequência:

1. Registro da Intensidade sonora por corda

- Com o violão devidamente afinado, toque a primeira corda utilizando a técnica de **ataque simples** e registre a intensidade sonora indicada pelo decibelímetro.

- Repita esse procedimento para todas as cordas do instrumento, garantindo medições consistentes.

2. Variação da técnica de ataque

- Utilize a técnica de **ataque com apoio** para tocar a primeira corda e registre novamente a intensidade sonora.

- Repita esse procedimento para todas as cordas, permitindo comparar a variação na amplitude da onda sonora entre as diferentes técnicas.

3. Análise da intensidade em acordes

- Utilize a técnica de **ataque com apoio** para tocar a primeira corda e registre novamente a intensidade sonora.

- Repita esse procedimento para todas as cordas, permitindo comparar a variação na amplitude da onda sonora entre as diferentes técnicas.

- Finalmente, toque o mesmo acorde com força e registre os valores correspondentes.

Análise de dados

- Converta a intensidade dos dados obtidos em decibéis para W/m^2 utilizando para isso a equação $\beta = 10 \text{Log} \frac{I}{I_0}$

- Compare a variação do aumento da intensidade em consequência das técnicas utilizadas.

- Para a execução do acorde compare os valores obtidos com o gráfico dos espectros de onda registrados.

- Estabeleça a relação entre intensidade e amplitude da onda sonora.

Discussão

A investigação da variação da amplitude e seus efeitos no som permite compreender a relação entre a amplitude da onda sonora e a intensidade percebida pelo ouvido humano. De acordo com a lei de Weber-Fechner, a percepção da intensidade sonora não é linear, mas proporcional ao logaritmo da amplitude da onda.

Ao analisar experimentalmente essa relação, verifica-se que a amplitude influencia diretamente a intensidade do som, enquanto a percepção auditiva segue um padrão logarítmico,

conforme descrito pela referida lei. Além disso, ao considerar a interação entre amplitude, intensidade e frequência, o experimento reforça a aplicabilidade desses conceitos à psicoacústica, evidenciando a correspondência entre fenômenos físicos e sua interpretação pelo sistema auditivo humano.

Influência do comprimento da corda na altura do som

A frequência de uma onda sonora está diretamente relacionada à altura do som, que corresponde à percepção da frequência pelo ouvido humano. A investigação experimental da influência do comprimento da corda na altura do som permite compreender como a frequência da onda sonora produzida está associada ao comprimento da corda vibrante, consolidando conceitos fundamentais da física ondulatória e da acústica.

Objetivo

Este experimento tem como objetivo principal analisar a relação entre o comprimento da corda vibrante e a frequência da onda sonora gerada. A partir da manipulação do comprimento da corda e da medição da frequência correspondente, busca-se validar a equação fundamental da frequência para cordas vibrantes. Utilizando o violão como ferramenta didática, este estudo também visa proporcionar uma compreensão prática dos

princípios da ondulatória, alinhando-se com a abordagem experimental no ensino da física. Os resultados esperados incluem a confirmação experimental das relações teóricas propostas, bem como a contribuição para o aprimoramento das estratégias de ensino e aprendizagem.

Os objetivos específicos incluem:

- Observar e analisar os efeitos do comprimento da corda na altura do som;
- Compreender a relação entre comprimento e frequência sonora;
- Verificar experimentalmente a equação fundamental da frequência de cordas vibrantes;
- Desenvolver habilidades de investigação científica e análise de dados.

Materiais Necessários

- Violão de aço ou nylon;
- Trena ou fita métrica;
- Smartphone com aplicativo Cifra Club Afinador.

Procedimento Experimental

1. Afinar o violão de acordo com a afinação padrão.
2. Posicionar o afinador próximo à boca do violão.

3. Tocar a corda solta cinco vezes, permitindo a propagação do som e repetindo o procedimento se necessário.

4. Registrar a nota e a frequência indicadas pelo afinador.

5. Medir o comprimento da corda vibrante (L), considerando suas extremidades.

6. Repetir os passos anteriores para cada casa da referida corda até a décima segunda casa.

7. Anotar os dados em uma tabela, incluindo frequência (f) e comprimento (L).

8. Para cada comprimento da corda, calcular o comprimento de onda (λ) usando a equação:

9. Construir um gráfico de frequência versus casas da escala do violão.

10. Construir um gráfico de comprimento de onda versus casas da escala do violão.

Análise de Dados

- Analisar o gráfico e identificar a relação entre comprimento e frequência da corda vibrante.

- Comparar os resultados experimentais com a equação fundamental da frequência de cordas vibrantes.

- Calcular o erro experimental e discutir suas fontes potenciais.

Discussão

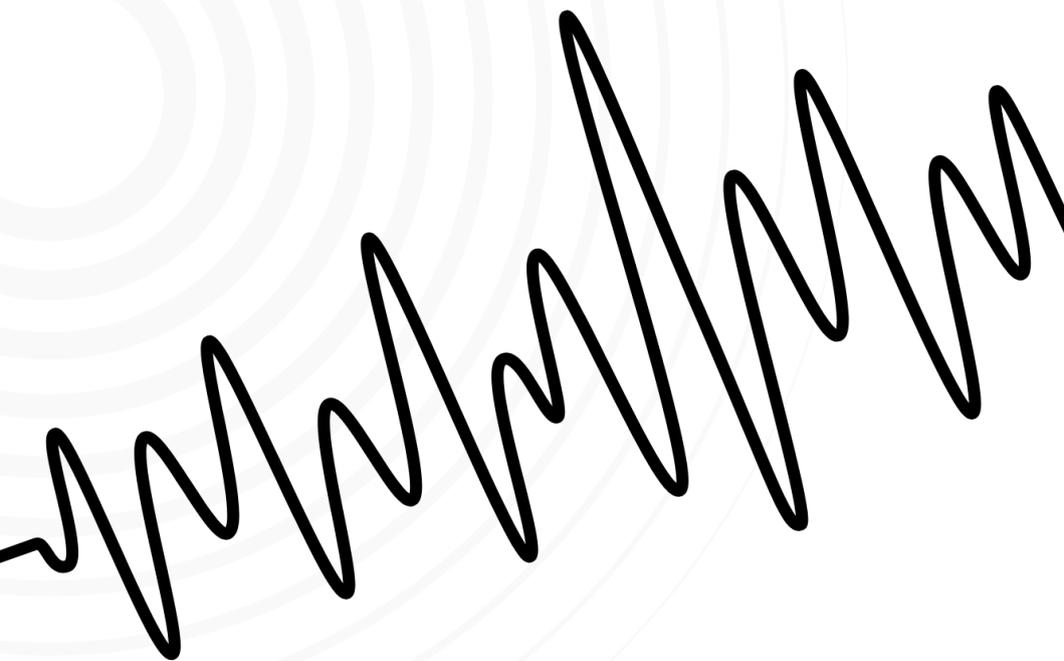
Os resultados obtidos demonstram uma relação inversa entre o comprimento da corda vibrante e a frequência da onda sonora gerada, conforme previsto pela equação fundamental da frequência para cordas vibrantes. Com a diminuição do comprimento da corda, a frequência aumenta, o que impacta diretamente na altura do som percebido.

Esse experimento evidencia a relevância da prática experimental para a compreensão de conceitos de ondulatória e acústica. No contexto do ensino de física, a utilização do violão como ferramenta didática permite uma abordagem interativa e significativa, na qual os princípios teóricos podem ser observados e verificados de forma empírica.

A metodologia aplicada neste estudo, baseada na experimentação sistemática e na análise quantitativa dos dados, reforça a integração entre teoria e prática no ensino de física. Os resultados obtidos corroboram as previsões teóricas e validam a abordagem experimental como uma estratégia eficaz para o aprendizado dos fenômenos ondulatórios e acústicos.

CAPÍTULO V

RESULTADOS E DISCUSSÃO



RESULTADOS E DISCUSSÃO

A sequência didática foi aplicada na **Escola Estadual Professor Otto de Brito Guerra (Caic)**, localizada em Ceará-Mirim/RN, no dia 23 de maio de 2024, em uma turma do 2º ano do Ensino Médio na modalidade de Educação de Jovens e Adultos (EJA). A intervenção, conduzida ao longo de três aulas consecutivas, contou com a colaboração e autorização do professor de Física da instituição, **professor Yuri**.

Para a realização dos experimentos, a turma foi organizada em três grupos, sendo cada um responsável pelo registro detalhado das informações referentes ao experimento que lhe foi designado. Essa divisão permitiu uma abordagem mais estruturada da atividade experimental, garantindo que todos os estudantes participassem ativamente do processo investigativo. Durante a execução dos experimentos, a mediação do docente foi essencial para orientar os alunos quanto aos procedimentos exigidos, incluindo o uso adequado dos aplicativos e a correta manipulação dos instrumentos de medição.

A dinâmica da intervenção foi estruturada de forma que, enquanto um grupo realizava seu experimento, os demais acompanhavam atentamente os procedimentos, permitindo a observação e a análise coletiva dos fenômenos físicos em estudo. Nesse contexto, o docente desempenhou um papel fundamental ao contextualizar os princípios físicos envolvidos em cada etapa, favorecendo uma compreensão mais aprofundada dos conceitos abordados.

As subseções seguintes apresentam os resultados obtidos em cada experimento, acompanhados de suas respectivas análises, evidenciando a relação entre a prática experimental e a fundamentação teórica.

Figura 8 – Apresentação do funcionamento do violão



Fonte: elaboração própria (2024).

Figura 9 – Momento inicial da prática com a turma



Fonte: elaboração própria (2024).

Resultado do primeiro experimento

O primeiro experimento tem como objetivo determinar a tensão nas cordas do violão quando tocadas soltas, ou seja, sem serem pressionadas contra as casas do braço do instrumento. A análise dessa tensão é fundamental para compreender a relação entre as propriedades físicas das cordas, como densidade linear e comprimento, e a frequência do som produzido.

Os dados obtidos nesta etapa estão apresentados nas Tabelas 1 e 2. A Tabela 1 contém informações específicas sobre as cordas devidamente instaladas e afinadas no violão, enquanto a Tabela 2 apresenta uma visão geral do encordoamento, permitindo uma análise comparativa entre os diferentes parâmetros físicos envolvidos. Essa organização dos resultados

possibilita uma investigação detalhada das forças atuantes nas cordas e sua influência direta na acústica do instrumento.

Tabela 1 – Frequência e comprimento das cordas vibrantes

Corda	Nota Musical	Frequência (Hz)	Cumprimento l (m)
1 ^a	Mí 4	329,6	0,648
2 ^a	Sí 3	246,9	0,650
3 ^a	Sol 3	196,0	0,646
4 ^a	Ré 3	146,8	0,647
5 ^a	Lá 2	110,2	0,648
6 ^a	Mí 2	82,4	0,650

Fonte: Elaboração Própria (2024).

Tabela 2 – Dados gerais do encordoamento

Corda	Comprimento total L (m)	Massa (kg)
1 ^a	1,022	$2,5 \times 10^{-4}$
2 ^a	0,994	$5,0 \times 10^{-4}$
3 ^a	1,016	$2,0 \times 10^{-3}$
4 ^a	1,007	$3,0 \times 10^{-3}$
5 ^a	1,017	$5,0 \times 10^{-3}$
6 ^a	1,031	$7,0 \times 10^{-3}$

Fonte: Elaboração Própria (2024).

Dessa forma, a partir dos dados experimentais organizados na Tabela 1 e aplicados à equação (7), foi possível calcular os comprimentos de onda correspondentes às cordas do instrumento. Os valores obtidos estão apresentados na Tabela 3, permitindo uma análise quantitativa das relações entre frequência, comprimento de onda e as propriedades físicas das cordas.

Tabela 3 – Valores dos comprimentos de onda das cordas

Corda	Nota Musical	Comprimento da corda vibrante l (m)	Comprimento de onda λ (m)
1ª	Mí 4	0,648	1,296
2ª	Sí 3	0,650	1,300
3ª	Sol 3	0,646	1,292
4ª	Ré 3	0,647	1,294
5ª	Lá 2	0,648	1,296
6ª	Mí 2	0,650	1,300

Fonte: Elaboração Própria (2024).

Com base nos dados obtidos e apresentados na Tabela 3, é possível determinar as velocidades de propagação das ondas nas cordas do violão por meio da aplicação da equação fundamental da ondulatória (Equação 1). Essa relação matemática permite quantificar a velocidade de propagação a partir dos parâmetros experimentais medidos, proporcionando uma análise mais precisa do comportamento ondulatório no sistema estudado.

Os valores calculados para as velocidades de propagação das ondas estão sintetizados na Tabela 4, permitindo a comparação entre os resultados experimentais e os valores teóricos previstos. Essa etapa é fundamental para validar a coerência dos dados obtidos e verificar a aderência dos resultados às previsões teóricas, contribuindo para uma compreensão mais aprofundada dos fenômenos acústicos e ondulatórios envolvidos.

Tabela 4 – Valores dos comprimentos de onda das cordas

Corda	Nota Musical	Comprimento de onda λ (m)	Frequência (Hz)	Velocidade (m/s)
1 ^a	Mí 4	1,296	329,6	427,16
2 ^a	Sí 3	1,300	246,9	320,97
3 ^a	Sol 3	1,292	196,0	253,23
4 ^a	Ré 3	1,294	146,8	189,96
5 ^a	Lá 2	1,296	110,0	142,56
6 ^a	Mí 2	1,300	82,4	107,12

Fonte: Elaboração Própria (2024).

Agora, determinam-se os valores das densidades lineares das cordas por meio da aplicação da equação (8), conforme os dados apresentados na Tabela 5. Essa etapa é fundamental para a análise do comportamento ondulatório no instrumento, uma vez que a densidade linear influencia diretamente a frequência das oscilações.

A partir desses valores, torna-se possível estabelecer relações quantitativas entre a densidade das cordas e os parâmetros acústicos do som produzido, permitindo uma comparação entre os resultados experimentais e os modelos teóricos previstos na literatura. Essa abordagem contribui para a validação dos conceitos físicos envolvidos, reforçando a importância da experimentação na compreensão dos fenômenos ondulatórios.

Tabela 5 – Densidade Linear das cordas

Corda	Comprimento total (m)	Massa (kg)	Densidade μ (kg/m)
1ª	1,022	$2,5 \times 10^{-4}$	$2,45 \times 10^{-4}$
2ª	0,994	$5,0 \times 10^{-4}$	$5,03 \times 10^{-4}$
3ª	1,016	$2,0 \times 10^{-3}$	$1,96 \times 10^{-3}$
4ª	1,007	$3,0 \times 10^{-3}$	$2,98 \times 10^{-3}$
5ª	1,017	$5,0 \times 10^{-3}$	$4,91 \times 10^{-3}$
6ª	1,031	$7,0 \times 10^{-3}$	$6,79 \times 10^{-3}$

Fonte: Elaboração Própria (2024).

Com a quantificação de todas as variáveis envolvidas, torna-se viável determinar a força aplicada em cada corda por meio da relação matemática expressa na equação (5). A aplicação dessa equação permite calcular com precisão a tensão em cada uma das cordas do instrumento, possibilitando uma análise quantitativa do comportamento dessas forças.

Os valores obtidos para a força de tensão em cada corda estão sistematicamente organizados na Tabela 6, proporcionando uma visão comparativa e facilitando a interpretação dos dados experimentais. Essa abordagem não apenas valida os modelos teóricos previamente discutidos, mas também permite uma correlação direta entre os parâmetros físicos envolvidos na produção do som.

Tabela 6 – Força de Tensão

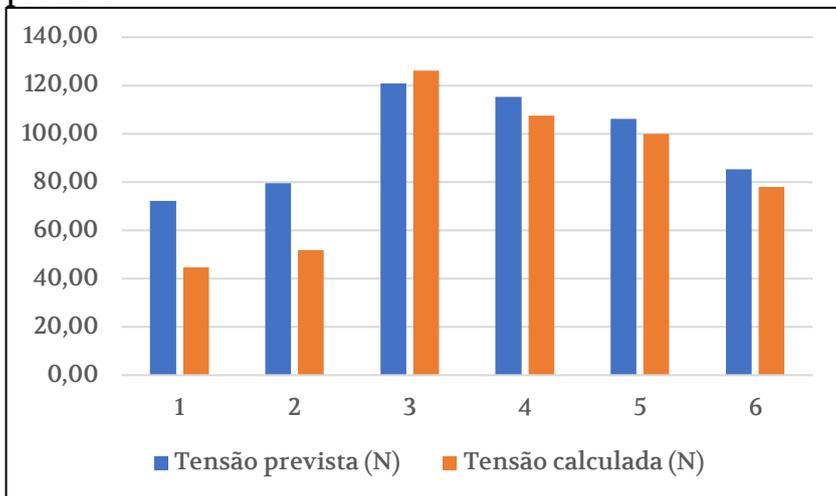
Corda	Nota musical	Densidade μ (kg/m)	Velocidade (m/s)	Força (N)
1ª	Mí 4	$2,45 \times 10^{-4}$	427,16	44,63
2ª	Sí 3	$5,03 \times 10^{-4}$	320,97	51,82
3ª	Sol 3	$1,96 \times 10^{-3}$	253,23	126,23
4ª	Ré 3	$2,98 \times 10^{-3}$	189,96	107,50
5ª	Lá 2	$4,91 \times 10^{-3}$	142,56	99,92
6ª	Mí 2	$6,79 \times 10^{-3}$	107,12	77,91

Fonte: Elaboração Própria (2024).

Para a realização deste experimento, utilizou-se um encordoamento D'Addario de calibre 0.10 para violão de cordas de aço. O encarte do produto fornece informações sobre a tensão aplicada em cada corda quando afinadas no padrão convencional, porém os valores estão expressos em libras. Para garantir a consistência das análises, os valores foram convertidos para Newtons e repassados aos discentes.

Ao comparar as tensões obtidas experimentalmente com as especificadas pelo fabricante, observa-se uma discrepância entre os valores, indicando a presença de uma margem de erro. Essa variação, contudo, não é uniforme para todas as cordas, sugerindo que fatores como elasticidade do material, precisão da afinação e condições experimentais podem influenciar os resultados. A discrepância é ilustrada no Gráfico 1, que apresenta a relação entre as forças calculadas e as forças previstas, evidenciando as variações observadas.

Gráfico 1 – Comparação entre as forças calculadas versus forças previstas



Fonte: Elaboração Própria (2024).

Dentre os fatores que contribuíram para a divergência nos resultados, destaca-se a dificuldade nas medições, especialmente na etapa de aferição das massas das cordas. A imprecisão foi particularmente evidente na determinação da massa das duas cordas mais finas (primeira e segunda cordas), cuja leveza tornou o processo desafiador. Essa limitação instrumental comprometeu a exatidão dos valores experimentais, influenciando diretamente a análise dos parâmetros físicos associados.

Além disso, a modelagem adotada nos cálculos considerou a densidade linear das cordas sem levar em conta sua geometria cilíndrica, o que pode ter introduzido discrepâncias

nos resultados. Essa simplificação pode ter impactado a precisão das previsões teóricas, uma vez que a distribuição de massa real das cordas difere do modelo idealizado.

Diante dessas limitações, a obtenção de medidas mais precisas exigiria o uso de equipamentos de maior sensibilidade, capazes de aferir massas extremamente pequenas com maior confiabilidade. A Tabela 7 apresenta a taxa de porcentagem de erro dos resultados obtidos, evidenciando o impacto dessas incertezas na análise experimental.

Tabela 7 – Comparação entre as forças e taxa de erros

Corda	Tensão prevista (N)	Tensão calculada (N)	Taxa de erro (%)
1 ^a	72,18	44,63	-38,2
2 ^a	79,43	51,82	-34,8
3 ^a	120,95	126,23	4,4
4 ^a	115,34	107,50	-6,8
5 ^a	106,09	99,92	-5,8
6 ^a	85,40	77,91	-8,8

Fonte: Elaboração Própria (2024).

No entanto, para uma compreensão rigorosa dos fenômenos ondulatórios e acústicos, é essencial analisar as forças atuantes nas cordas do instrumento e as grandezas físicas envolvidas na produção do som. A interação entre tensão, densidade linear e comprimento das cordas determina suas frequências de vibração, enquanto aspectos estruturais do violão,

como a ressonância da caixa acústica, influenciam diretamente a propagação e a qualidade sonora.

Essa abordagem permite investigar, de forma sistemática, as sutilezas da física por trás do funcionamento do instrumento musical, correlacionando os princípios teóricos com a experiência prática. Dessa maneira, o estudo experimental do violão não apenas valida os modelos matemáticos da ondulatória e da acústica, mas também favorece uma aprendizagem mais significativa ao demonstrar, na prática, como os conceitos físicos se manifestam no cotidiano.

Resultados do segundo experimento

Este experimento tem como objetivo analisar a intensidade sonora gerada por diferentes técnicas e dinâmicas musicais aplicadas ao violão, investigando como variações na execução influenciam a amplitude do som produzido. Para a obtenção dos dados experimentais, foi utilizado um smartphone equipado com os aplicativos **Sound Meter** e **Decibel X**, permitindo medições precisas dos níveis de pressão sonora.

A investigação iniciou-se com a análise da intensidade sonora resultante da execução de uma única nota, considerando as frequências associadas às cordas soltas do violão. Esse procedimento possibilitou a obtenção de um conjunto inicial de dados para a comparação entre diferentes técnicas. A **Tabela 8**

apresenta os valores registrados para cada corda quando tocada utilizando a técnica de **toque sem apoio com os dedos**, escolhida por proporcionar uma intensidade sonora intermediária no instrumento. Essa escolha metodológica permitiu um controle inicial das variáveis envolvidas, garantindo maior confiabilidade na análise dos efeitos de outras técnicas executivas nos experimentos subsequentes.

Tabela 8 – Comparação entre as forças e taxa de erros

Corda	Nota Musical	Intensidade (dB)
1 ^a	Mí	56
2 ^a	Sí	64
3 ^a	Sol	63
4 ^a	Ré	65
5 ^a	Lá	62
6 ^a	Mí	65

Fonte: Elaboração Própria (2024).

Em seguida, a análise foi conduzida utilizando a técnica de **toque com apoio**, um método que envolve o uso dos dedos para exercer pressão adicional sobre as cordas. Essa abordagem permite ao violonista não apenas aumentar a intensidade das notas executadas, mas também aprimorar o controle dinâmico da melodia.

A aplicação dessa técnica influencia diretamente a propagação das ondas sonoras no instrumento, modificando parâmetros físicos como amplitude e timbre. Dessa forma, a relação entre a mecânica da execução e os fenômenos

ondulatórios envolvidos pode ser explorada de maneira mais sistemática.

Os resultados dessa análise forneceram evidências concretas sobre a interação entre os fatores biomecânicos e acústicos, permitindo uma compreensão mais aprofundada dos princípios físicos que regem a produção do som no violão. Essa investigação reforça a importância da prática experimental no estudo da acústica musical, proporcionando uma conexão direta entre teoria e aplicação.

Tabela 9 – Intensidade sonora do toque com apoio

Corda	Nota Musical	Intensidade (dB)
1 ^a	Mí	61
2 ^a	Sí	67
3 ^a	Sol	67
4 ^a	Ré	69
5 ^a	Lá	68
6 ^a	Mí	70

Fonte: Elaboração Própria (2024).

Com base nos dados obtidos, a intensidade de cada evento pode ser determinada por meio da equação (9), possibilitando uma análise quantitativa dos fenômenos observados. Essa abordagem não apenas permite uma comparação mais precisa das variações nas intensidades registradas, mas também aprofunda a compreensão dos princípios ondulatórios e acústicos envolvidos.

$$\beta = 10 \text{Log} \frac{I}{I_0} \quad (9)$$

Ao aplicar essa metodologia no contexto da intervenção experimental com o violão, torna-se viável estabelecer correlações entre os resultados obtidos e os modelos teóricos descritos na literatura. Dessa forma, a análise das intensidades medidas contribui para a validação dos conceitos físicos explorados, evidenciando a relevância do uso de instrumentos musicais como ferramentas didáticas no ensino de ondulatória e acústica.

Tabela 10 apresenta os valores da intensidade sonora, expressos em W/m^2 , para ambos os processos de execução analisados. Além disso, são exibidas as relações percentuais que comparam a intensidade do ataque com apoio em relação ao ataque simples. Essa comparação permite quantificar as diferenças entre as técnicas utilizadas, fornecendo uma base objetiva para a análise das variações na emissão sonora.

Tabela 10 – Valores e comparação das intensidades das técnicas de ataque

Corda	Nota Musical	Toque simples (W/m^2)	Toque com apoio (W/m^2)	Valor excedente (%)
1 ^a	Mí 4	$10^{-6,4}$	$10^{-5,9}$	216,23
2 ^a	Sí 3	$10^{-5,6}$	$10^{-5,3}$	99,53
3 ^a	Sol 3	$10^{-5,7}$	$10^{-5,3}$	151,19
4 ^a	Ré 3	$10^{-5,5}$	$10^{-5,1}$	151,16
5 ^a	Lá 2	$10^{-5,8}$	$10^{-5,2}$	298,11

6ª	Mí 2	$10^{-5,5}$	10^{-5}	216,23
----	------	-------------	-----------	--------

Fonte: Elaboração Própria (2024).

Dando continuidade à investigação, a segunda etapa consistiu na análise das dinâmicas musicais aplicadas à harmonia, com o objetivo de compreender a influência da intensidade sonora na percepção e na estrutura do acorde. Para isso, foi realizada a execução do acorde de dó maior em três diferentes intensidades: inicialmente em um nível baixo (piano), seguido por uma execução moderada (*mezzo forte*) e, por fim, em uma intensidade elevada (*forte*).

A variação da dinâmica permitiu a observação de possíveis modificações na ressonância e na superposição harmônica, aspectos fundamentais para a caracterização acústica do acorde. Os dados obtidos nessa etapa da pesquisa estão sintetizados na Tabela 11, apresentada a seguir.

Tabela 11 – Valores da intensidade utilizando a dinâmica musical no acorde

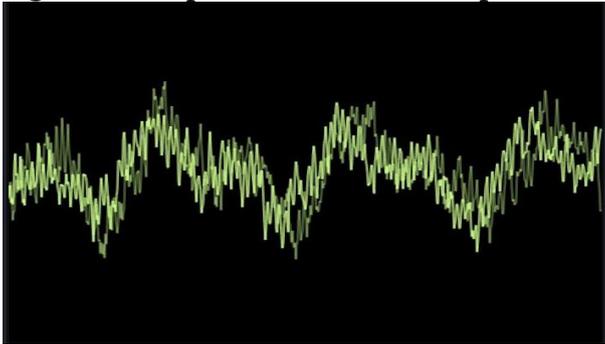
Acorde	<i>Piano</i> (dB)	<i>Mezzo forte</i> (dB)	<i>Forte</i> (dB)
Dó Maior	61,8	71,2	81,3

Fonte: Elaboração Própria (2024).

As Figuras 10, 11 e 12 apresentam os gráficos gerados pelo aplicativo, os quais representam as intensidades das variáveis listadas na Tabela 11. Esses gráficos são obtidos a partir dos dados

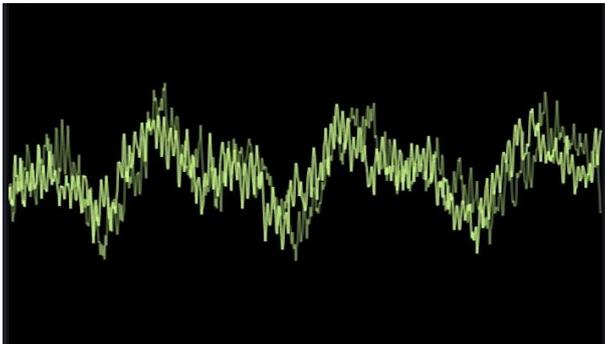
experimentais coletados durante as atividades práticas realizadas com o violão, conforme detalhado nos procedimentos metodológicos da pesquisa. Dessa forma, os resultados visuais permitem uma análise quantitativa das relações entre as grandezas envolvidas, possibilitando a validação empírica dos modelos teóricos discutidos anteriormente.

Figura 10 – Espectro da onda sonora para o ataque forte: 81,3dB



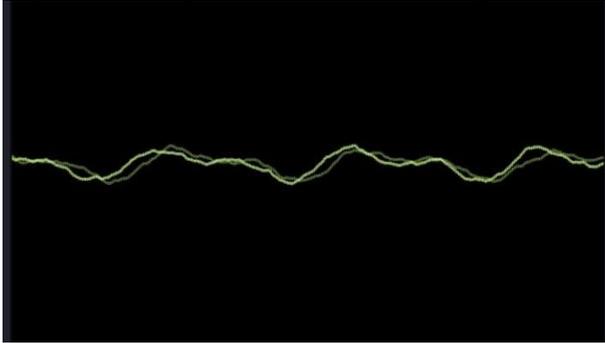
Fonte: elaboração própria (2024).

Figura 11 – Espectro da onda sonora para o ataque moderado: 71,2dB



Fonte: elaboração própria (2024).

Figura 12 – Espectro da onda sonora para o ataque fraco: 61,8 dB



Fonte: elaboração própria (2024).

Ao aplicar a equação (9) aos valores da Tabela 11, foram obtidas as intensidades em W/m^2 apresentadas na Tabela 12. Essa conversão não apenas quantifica as grandezas envolvidas, mas também possibilita uma análise mais precisa dos fenômenos físicos investigados. Dessa forma, os resultados obtidos fornecem suporte empírico para a compreensão dos conceitos abordados na intervenção educacional, permitindo a validação experimental das relações teóricas previamente discutidas.

Tabela 12 – Valores das intensidades na execução das dinâmicas musicais

Acorde	<i>Piano</i> (W/m^2)	<i>Mezzo forte</i> (W/m^2)	<i>Forte</i> (W/m^2)
Dó Maior	$10^{-5,82}$	$10^{-4,88}$	$10^{-3,87}$

Fonte: Elaboração Própria (2024).

Dessa maneira, é viável analisar quantitativamente o aumento da intensidade sonora nas diferentes dinâmicas

musicais empregadas, conforme apresentado na Tabela 13. Essa comparação permite identificar padrões de variação da amplitude da onda sonora em resposta às alterações na execução musical, fornecendo subsídios para a compreensão dos princípios físicos envolvidos.

Além disso, a correlação entre os dados experimentais e os modelos teóricos da acústica possibilita uma avaliação mais precisa dos fenômenos ondulatórios em estudo. A Tabela 13, ao apresentar a evolução da intensidade sonora em função das variações dinâmicas, evidencia a coerência dos resultados obtidos com as previsões teóricas, reforçando a validade do método experimental adotado.

Assim, a abordagem experimental não apenas ilustra os conceitos fundamentais da ondulatória e da acústica, mas também contribui para o desenvolvimento de uma compreensão mais aprofundada sobre as relações entre os parâmetros físicos do som e sua manifestação musical.

Tabela 13 – Taxa de aumento da intensidade entre as dinâmicas

Taxa de aumento: <i>piano/ Mezzo forte</i> (%)	Taxa de aumento: <i>Mezzo forte/Forte</i> (%)
770,96	923,3

Fonte: Elaboração Própria (2024).

Os sinais dinâmicos nas práticas musicais estão intrinsecamente relacionados à intensidade do som, que, por sua vez, está diretamente associada à amplitude da onda sonora. Em

termos físicos, quanto maior a intensidade de um som, maior será a amplitude da onda e, conseqüentemente, a quantidade de energia envolvida no processo de propagação do som. Essa relação fundamental foi explorada por meio de experimentação prática, permitindo observar o comportamento real da intensidade sonora, especialmente no contexto da escala de decibéis, a qual, ao contrário de uma escala linear, segue um padrão logarítmico.

A partir dessa abordagem experimental, foi possível validar a relação entre intensidade e amplitude, demonstrando que essas grandezas são diretamente proporcionais. A comparação dos valores obtidos nas medições experimentais com os gráficos dos espectros de amplitude das ondas sonoras evidenciou essa correlação, corroborando os princípios teóricos estabelecidos. Dessa forma, a intensidade sonora foi caracterizada como o parâmetro que define o volume do som produzido, consolidando sua relevância no estudo das propriedades acústicas e da percepção sonora.

Resultados do terceiro experimento

O principal objetivo deste experimento é investigar a relação entre a altura do som e a frequência, bem como a influência do comprimento da corda na variação da frequência e no comprimento de onda das cordas de um instrumento musical.

Para tal, selecionou-se a quinta corda do violão afinada na nota “Lá” (110 Hz) como base para a medição das frequências das notas ao longo do braço do instrumento, desde a corda solta até a décima segunda casa, abrangendo assim a escala cromática completa. Este procedimento permitiu observar as variações de frequência associadas à mudança na posição da mão sobre o braço do violão.

Além disso, foi possível analisar a influência do comprimento da corda vibrante nas alterações das frequências, medindo as variações do comprimento da corda para cada nota produzida. As medições foram realizadas com o auxílio de uma trena para determinar o comprimento da corda e de um smartphone com o aplicativo de afinador Cifra Club para registrar as frequências das notas.

Esses dados, apresentados na Tabela 14, fornecem uma análise quantitativa das relações entre comprimento de corda e frequência, permitindo uma compreensão mais aprofundada das propriedades físicas envolvidas na produção sonora do violão.

Tabela 14 – Informações das notas musicais ao longo da quinta corda

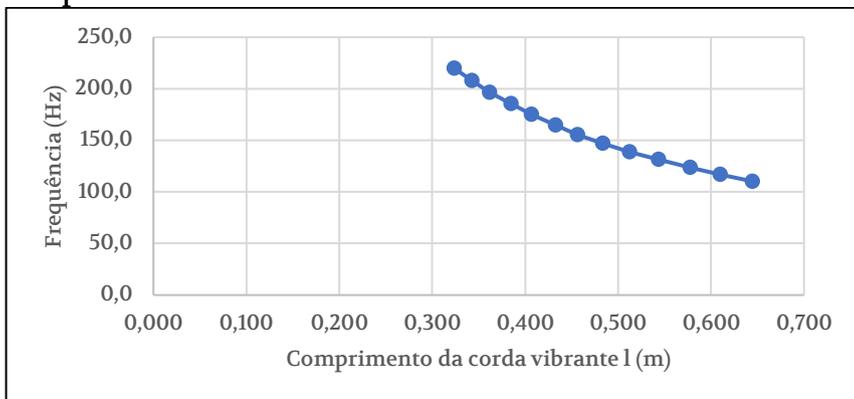
Nº da casa	Nota Musical	Frequência (Hz)	Comprimento (m)
0 (Solta)	Lá	110,2	0,645
1ª	Lá#	116,7	0,610
2ª	Sí	123,7	0,578
3ª	Dó	131,2	0,544
4ª	Dó#	138,7	0,513

5 ^a	Ré	147,0	0,484
6 ^a	Ré#	155,5	0,457
7 ^a	Mí	164,8	0,433
8 ^a	Fá	174,8	0,407
9 ^a	Fá#	185,3	0,385
10 ^a	Sol	196,2	0,362
11 ^a	Sol#	207,7	0,343
12 ^a	Lá	219,6	0,324

Fonte: Elaboração Própria (2024).

A partir dos dados obtidos, é possível investigar a relação entre a variação da frequência e o comprimento da corda vibrante à medida que se percorre as casas do violão. Os resultados indicam que o aumento da frequência das notas musicais está diretamente relacionado à diminuição do comprimento da corda, o que estabelece uma relação inversamente proporcional entre essas duas grandezas. Essa correlação é ilustrada de forma clara no Gráfico 2, que apresenta visualmente essa interação entre a frequência e o comprimento da corda à medida que se avançam pelas diferentes casas do instrumento.

Gráfico 2 – Relação da frequência versus a variação do comprimento da corda vibrante



Fonte: Elaboração Própria (2024).

Dando continuidade ao tratamento dos dados, é essencial considerar as relações descritas pelas equações (1) e (7) para a determinação dos valores dos comprimentos de onda e suas velocidades associadas. Esses cálculos permitem estabelecer uma compreensão mais precisa do comportamento das ondas em questão, cujos resultados são apresentados na tabela 15. A análise das informações contidas nesta tabela fornece uma base quantitativa robusta para validar as teorias subjacentes e comparar com os resultados experimentais obtidos, permitindo assim uma avaliação mais aprofundada dos fenômenos em estudo.

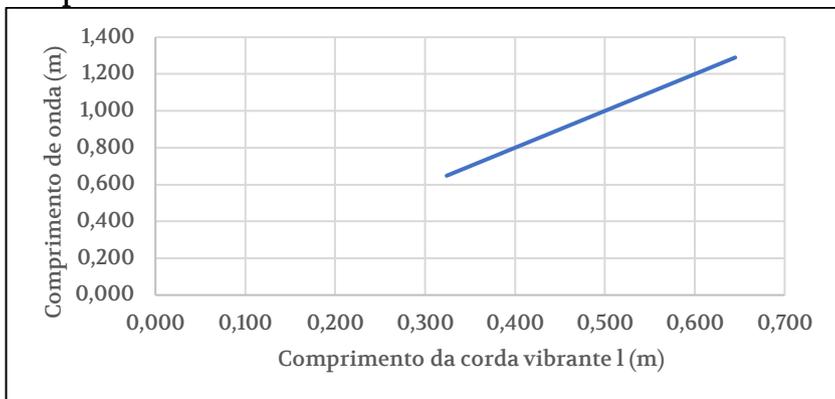
Tabela 15 – Comprimento de onda e velocidade das notas ao longo da corda

Nº da casa	Nota Musical	Comprimento de onda λ (m)	Frequência (Hz)	Velocidade (m/s)
0 Solta	Lá	1,290	110,2	142,16
1 ^a	Lá#	1,220	116,7	142,37
2 ^a	Sí	1,156	123,7	143,00
3 ^a	Dó	1,088	131,2	142,75
4 ^a	Dó#	1,026	138,7	142,31
5 ^a	Ré	0,968	147,0	142,30
6 ^a	Ré#	0,914	155,5	142,13
7 ^a	Mí	0,866	168,8	142,72
8 ^a	Fá	0,814	174,8	142,29
9 ^a	Fá#	0,770	185,3	142,68
10 ^a	Sol	0,724	196,2	142,05
11 ^a	Sol#	0,686	207,7	142,48
12 ^a	Lá	0,648	219,6	142,30

Fonte: Elaboração Própria (2024).

Ao analisar o comportamento do comprimento de onda de cada nota ao longo das casas do violão, observa-se que o comprimento de onda diminui à medida que o comprimento da corda vibrante também é reduzido. Essa tendência é consistente com a relação prevista pela equação (7), que estabelece uma dependência diretamente proporcional entre essas grandezas. Em outras palavras, à medida que o ponto de apoio da corda se desloca, a frequência da vibração aumenta, o que resulta na diminuição do comprimento de onda. Essa conexão é claramente ilustrada no Gráfico 3, que evidência a correspondência entre a variação do comprimento da corda e a redução do comprimento de onda.

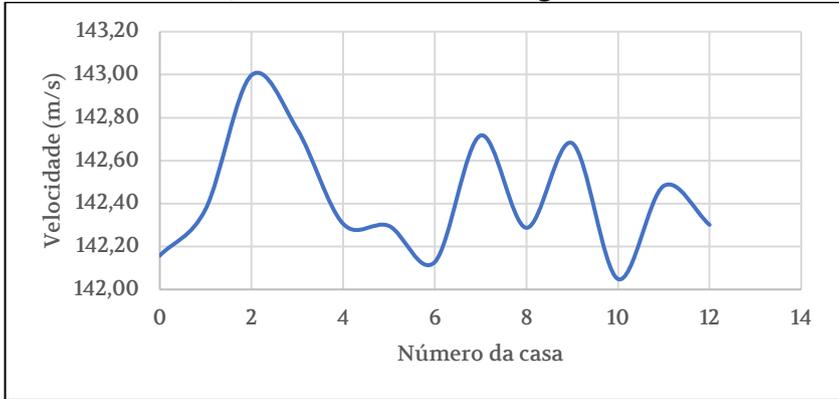
Gráfico 3 – Relação entre comprimento de onda versus comprimento da corda vibrante



Fonte: Elaboração Própria (2024).

Por fim, ao analisar a velocidade a partir da equação fundamental da ondulatória, observa-se uma variação mínima ao longo do processo, o que indica uma tendência de estabilidade. Esse comportamento é consistente com as previsões teóricas estabelecidas pela equação, que sugere que, sob determinadas condições, a velocidade deve se manter praticamente constante. Essa estabilidade é evidenciada no Gráfico 4, que ilustra de forma clara a constância da velocidade durante o experimento, corroborando a validade do modelo teórico aplicado.

Gráfico 4 – Variação da velocidade ao longo das casas do violão



Fonte: Elaboração Própria (2024).

A relação entre a variação do comprimento da corda vibrante e os parâmetros da equação fundamental da ondulatória é clara, uma vez que essa variação está diretamente relacionada ao comprimento de onda e inversamente à frequência da nota musical. Esse comportamento físico sublinha a interação entre as propriedades do sistema vibrante e as características do som produzido.

Ademais, a altura das notas musicais, fator crucial para a percepção sonora, está intimamente associada ao aumento da frequência. Conforme o parâmetro sonoro da altura, notas de baixa frequência são percebidas como graves, enquanto notas de alta frequência são percebidas como agudas. Este conceito fundamenta a estrutura da escala cromática, que, ao ser analisada em termos das frequências das notas, se organiza progressivamente do grave para o agudo.

Dessa forma, a execução da escala cromática no violão segue um padrão claro: à medida que se avança pelas casas do instrumento em direção à boca, as notas tornam-se progressivamente mais agudas; inversamente, ao retroceder nas casas, as notas se tornam mais graves. Esse fenômeno reflete a conexão entre a teoria ondulatória e a prática musical, evidenciando como as propriedades físicas da corda influenciam diretamente a percepção das notas musicais.

Sobre as avaliações

Conforme mencionado anteriormente, foi adotado um modelo de avaliação que compreendeu duas fases distintas: uma fase diagnóstica antes da prática experimental e uma fase formativa após a realização da intervenção. Em ambas as etapas, as questões abordadas tiveram um caráter essencialmente conceitual, com o mesmo conjunto de questões sendo trabalhado em cada fase. O objetivo dessa abordagem foi avaliar o progresso dos participantes ao longo do processo, permitindo uma comparação entre o desempenho inicial e os resultados após a intervenção.

A seguir, apresentamos uma tabela que resume as médias da turma em dois momentos distintos, evidenciando o impacto da intervenção sobre o aproveitamento dos alunos. A análise dessas médias fornece uma visão clara da relação de melhoria no

desempenho, corroborando a eficácia do modelo de avaliação adotado. Detalhes adicionais sobre a metodologia e as questões utilizadas podem ser consultados no Apêndice A.

Tabela 16 – Comparativo de aproveitamento da turma

Média da turma (antes)	Média da turma (depois)	Aproveitamento (%)
45	70	55,56

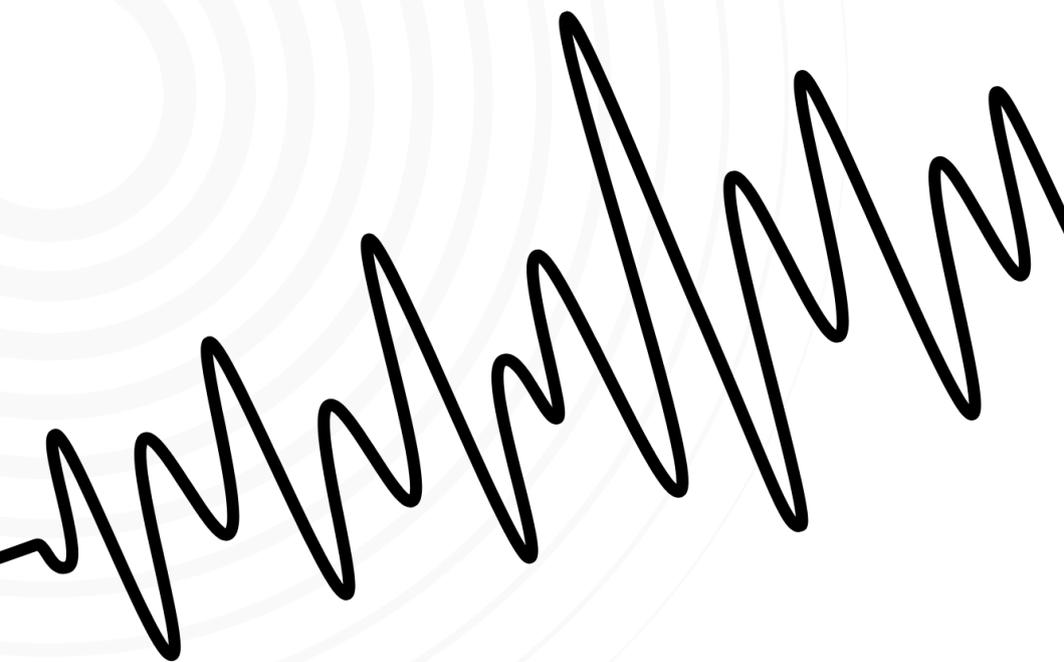
Fonte: Elaboração Própria (2024).

Observou-se que os discentes demonstraram uma significativa assimilação dos conceitos abordados durante a intervenção, alcançando um maior sucesso na identificação desses conceitos nas questões, com respostas mais conscientes após a realização das práticas. Esse progresso pode ser atribuído ao contínuo trabalho com os elementos conceituais ao longo de toda a intervenção, o que favoreceu a compreensão e a resolução das dúvidas dos alunos.

A constante revisão e aprofundamento dos conceitos permitiram que os discentes não apenas esclarecessem suas questões, mas também desenvolvessem uma compreensão mais robusta dos fenômenos, a partir das situações que trouxeram e das especulações realizadas sobre os exemplos analisados. Dessa forma, a intervenção não apenas facilitou a aprendizagem, mas também estimulou uma reflexão crítica sobre o conteúdo. Informações detalhadas sobre a aplicação individual por aluno estão disponíveis nos Apêndices E e F.

CAPÍTULO VI

CONSIDERAÇÕES FINAIS



CONSIDERAÇÕES FINAIS

De maneira geral, o processo de aprendizagem proposto por este estudo seguiu conforme o esperado, embora com algumas limitações. A principal dificuldade observada foi a dificuldade dos alunos com manipulações algébricas no tratamento dos dados por meio das equações. Apesar disso, a compreensão conceitual das relações abordadas foi bem interpretada, o que pode ser evidenciado pelos resultados obtidos, conforme mostrado na tabela.

Em relação aos objetivos propostos, que incluíam o estudo dos elementos de uma onda, o funcionamento de uma corda vibrante e os parâmetros do som, estes foram alcançados de forma satisfatória. A metodologia adotada foi bem recebida pelos alunos, pois possibilitou um contato direto com a prática experimental, por meio da observação, manipulação e constatação dos fenômenos estudados. Essa abordagem integrou teoria e prática, resultando em um aprendizado mais sólido e eficaz.

Entretanto, a limitação dos discentes em lidar com as equações e a interpretação de dados, bem como na criação de

gráficos e tabelas, representou um desafio significativo. Esse ponto de dificuldade gerou um desvio em relação à perspectiva inicial, sinalizando a necessidade de uma maior orientação sobre o comportamento das equações. Em função disso, foi necessária a intervenção do docente responsável para garantir a conclusão do registro dos dados presentes neste trabalho.

Para futuras intervenções, algumas melhorias são sugeridas. A aquisição de mais recursos metodológicos, como violão, balança, fita métrica, entre outros, contribuiria para enriquecer a abordagem. Além disso, a realização da intervenção em mais de um momento permitiria a obtenção de resultados mais detalhados e uma aprendizagem mais gradual, favorecendo o desenvolvimento contínuo dos alunos.

Apesar das dificuldades encontradas, os resultados obtidos por meio das avaliações, somados à participação ativa dos alunos na prática experimental, aquisição de dados e resolução de dúvidas, indicam que a intervenção foi positiva e gerou um impacto satisfatório no processo de aprendizagem.

REFERÊNCIAS

BERG, R. E. **Physics and music: the science of musical sound**. Institute of Physics Publishing, 1995.

CAMPBELL, M.; GREATED, C. **Musical acoustics**. Oxford University Press, 1994.

FLETCHER, N. H.; ROSSING, T. D. **The physics of musical instruments**. Springer, 1998.

GIANCOLI, D. C. **Física: princípios com aplicações**. 6. ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2008.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de física**, LTC Editora, 2001. (Vol. 2).

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de física: mecânica**. 8. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2010.

LABURU, C. E. Seleção de experimentos de física no ensino médio: uma investigação a partir da fala dos professores. **Investigações em ensino de Ciências**, v. 10, n. 2, 2005.

MUNDO EDUCAÇÃO. Partes-onda.jpg (750 x 299). Disponível em: <https://static.mundoeducacao.uol.com.br/mundoeducacao/2021/07/partes-onda.jpg>. Acesso em: 22 set. 2024.

PERUZZO, J. **Experimentos de física básica: mecânica**. São Paulo: Livraria da Física, 2012.

PIERCE, A. **Acoustics: an introduction to it physical principles and applications.** Acoustical Society of America, 1981.

ROSSING, T. D. **Science of percussion instruments.** World Scientific Publishing, 2016.

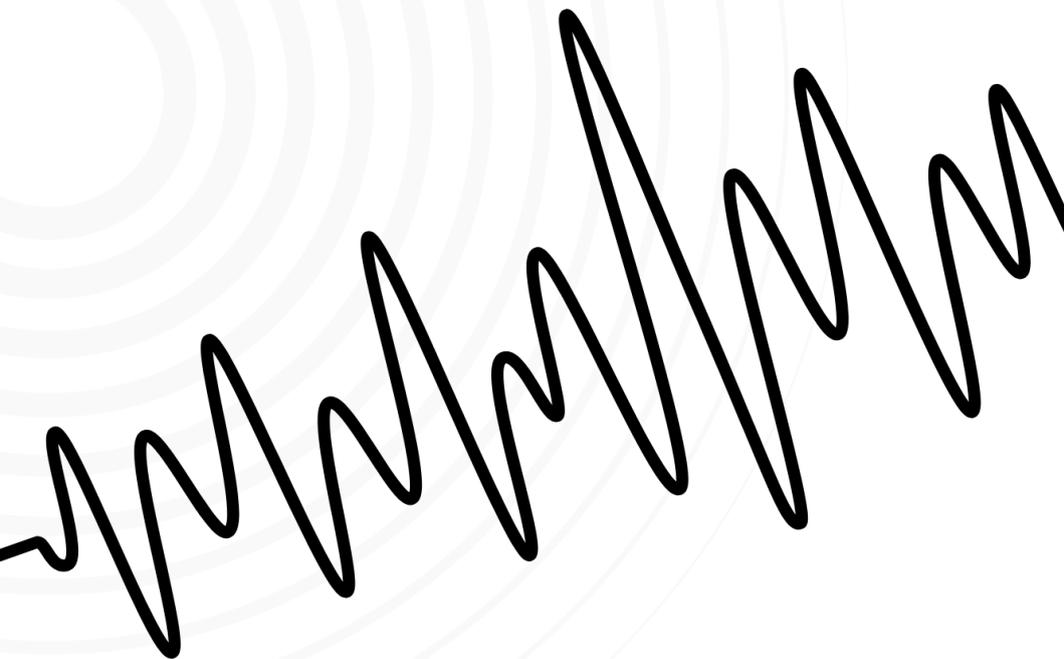
TIPLER, P. A.; MOSCA, G. **Física para cientistas e engenheiros: mecânica, oscilações e ondas, termodinâmica (6^a ed.).** Rio de Janeiro: LTC, 2008.

VEIGA, I. P. A. **Técnicas de ensino: porque não?.** 16. ed. Campinas Sp: Papirus editora, 1991.

POSFÁCIO

Antonio Marques dos Santos

Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia do Rio Grande do Norte



POSFÁCIO

Finalizar este trabalho é reconhecer que o processo de ensino e aprendizagem da Física pode ser profundamente enriquecido quando se abre espaço para a interdisciplinaridade, a experimentação e o engajamento ativo dos estudantes. A jornada aqui descrita, conduzida com violões, aplicativos e instrumentos de medição simples, demonstrou que a Física não precisa ser distante, fria ou inatingível – ela pode ser vivida, sentida e ouvida.

Ao longo deste e-book, foram apresentados experimentos que aliam fundamentação teórica sólida a práticas acessíveis, reforçando a ideia de que o conhecimento científico pode (e deve) estar ao alcance de todos. Os resultados obtidos e as reflexões construídas apontam para a importância de repensarmos as metodologias utilizadas em sala de aula, principalmente em modalidades como a EJA, nas quais o resgate da autoestima e do prazer pelo aprender são elementos essenciais.

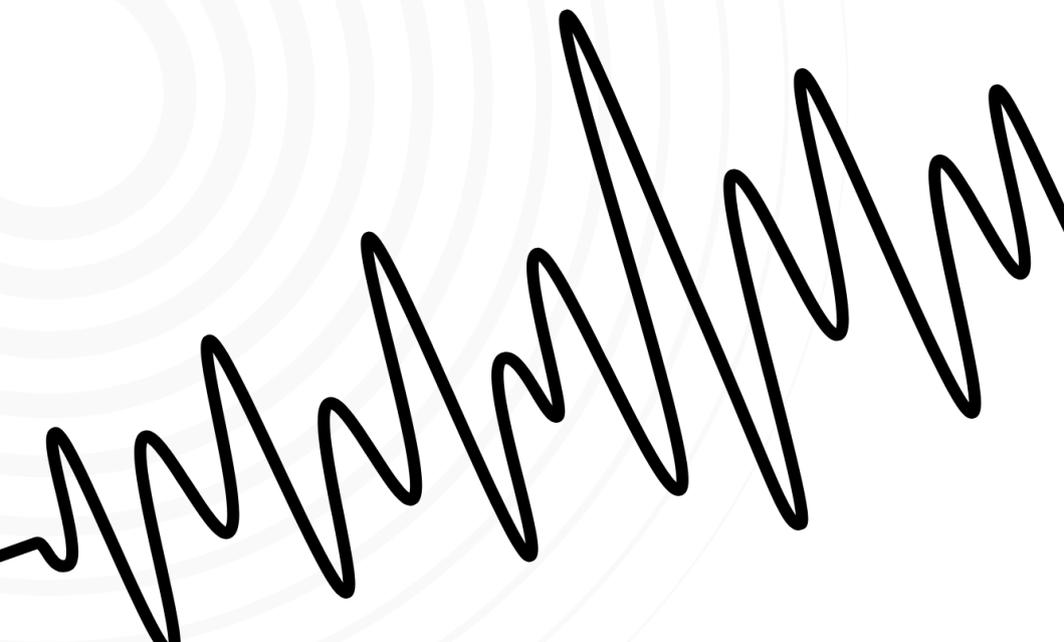
Deixo aqui o desejo de que esta obra seja apenas o início de novas investigações, práticas e partilhas que valorizem a conexão entre saberes e que promovam um ensino de Física mais

inclusivo, contextualizado e apaixonante. Que as cordas vibrantes do violão continuem ecoando conhecimento em salas de aula por todo o país.

Antonio Marques dos Santos

**Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia
do Rio Grande do Norte.**

APÊNDICES



**APÊNDICE A – QUESTÕES DA AVALIAÇÃO
DIAGNÓSTICA/FORMATIVA**

01 - Uma corda de Violão vibra emitindo a nota musical mi, de frequência 330 Hz, com um comprimento vibratório de 65cm. Queremos que essa mesma corda passe a emitir o som da nota lá, de frequência de 440 Hz. As ações que devemos fazer são: (marque V para verdadeiro e F para falso)

- () Temos que aumentar a tração na corda
- () Temos diminuir a tração na corda.
- () Temos que aumentar o comprimento da corda vibrante.
- () Temos que diminuir o comprimento da corda vibrante.

02 - O violão é um instrumento composto por seis cordas de diferentes espessuras entre si. Devido a isso pode-se afirmar que: (marque V para verdadeiro e F para falso)

- () A força de tração é a mesma para todas as cordas.
- () As velocidades das ondas nas cordas são diferentes entre si.
- () Todas as cordas emitem a mesma nota musical.
- () A variação do comprimento das cordas utilizando as casas do instrumento permite obter notas variadas.

03 - Em geral as vozes femininas soam “fino” enquanto as vozes masculinas possuem uma sonoridade mais “grossa”. Este fato pode ser explicado por meio da(o):

- a) Intensidade, devido a quantidade de energia sonora presente na voz.
- b) Altura, determinando as regiões graves e agudas de acordo com a frequência.
- c) Velocidade de propagação da onda no ambiente.
- d) Timbre, mostrando a diferença dos harmônicos presentes nas vozes.

04 - (ENEM 2015) Ao ouvir uma flauta e um piano emitindo a mesma nota musical, consegue-se diferenciar esses instrumentos um do outro. Essa diferenciação se deve principalmente ao(a):

- a) Intensidade sonora do som de cada instrumento musical.
- b) Potência sonora do som emitido pelos diferentes instrumentos musicais.
- c) Diferente velocidade de propagação do som emitido por cada instrumento musical.
- d) Timbre do som, que faz com que os formatos das ondas de cada instrumento sejam diferentes.
- e) Altura do som, que possui diferentes frequências para diferentes instrumentos musicais.

05 - Em uma conversa ao telefone Leticia pede para que a sua amiga Ana fale um pouco mais alto, pois ela não está conseguindo escutá-la. Ao falar mais alto, qual o parâmetro

sonoro que Ana alterou no seu falar para que Leticia pudesse ouvi-la?

- a) Intensidade, aumentando a energia sonora presente na sua voz.
- b) Aumento do comprimento das ondas na voz.
- c) Altura, aumentando a frequência da voz.
- d) Duração, fazendo o som se prolongar por mais tempo.

APÊNDICE B – ROTEIRO DE APLICAÇÃO: EXPERIMENTO 1

Atividade: O violão e os aspectos do som experimento 01.

Objetivos:

- Determinar a força de tração que atua em cada corda;
- Evidenciar alguns parâmetros ligados ao som.

Materiais: Violão, trena ou fita métrica, balança de precisão e aplicativos: afinador cifra club.

Procedimento experimental:

1) Utilizando o aplicativo confira se o violão está devidamente afinado, de acordo com a afinação padrão.

2) Toque a primeira corda solta, sem pressionar o dedo sobre nenhuma casa e registre nome da nota musical e a frequência a ela associada. Toque a corda quantas vezes for necessário.

3) Com o auxílio da trena, meça o comprimento da corda que está vibrando, ou seja desde a pestana até o rastilho do violão, que são os pontos fixos da corda vibrante e registre o valor.

4) Repita os passos 02 e 03 para as demais cordas sempre anotando os dados na tabela 1.

5) Coloque a primeira corda do encordoamento na balança de precisão para medir a sua massa. Registre os dados na tabela 2

6) Desenrole a corda que foi colocada na balança e com a trena meça o seu comprimento. Registrando os dados na tabela 2.

7) Repita os passos 5 e 6 para as demais cordas do encordoamento.

Tabela 1					
Número da corda	Nota Musical	Frequência (Hz)	Comprimento da corda (cm)	Comprimento de onda $\lambda(m)$	Velocidade (m/s)
1 ^a					
2 ^a					
3 ^a					
4 ^a					
5 ^a					
6 ^a					

Tabela 2			
Número da corda	Comprimento total L (cm)	Massa (g)	Densidade Linear (Kg/m)
1 ^a			
2 ^a			
3 ^a			
4 ^a			
5 ^a			
6 ^a			

Análise de dados:

A partir da tabela 1: Determine o comprimento de onda e velocidade de cada corda. Utilizando para isso as seguintes equações.

- $\lambda = 2l$ equação do comprimento de onda;
- $v = \lambda \cdot f$ equação da Velocidade.

A partir da tabela 2: Determine a densidade das cordas utilizando a equação de densidade linear para isso determinada por:

$$\mu = \frac{m}{L}$$

Combine a equação da velocidade com a equação das forças em cordas vibrantes e determine a força em cada uma delas.

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

Por fim preencha a tabela 3 com os dados.

Tabela 3		
Corda	Nota Musical	Tensão (N)
1 ^a		
2 ^a		
3 ^a		
4 ^a		
5 ^a		
6 ^a		

APÊNDICE C – ROTEIRO DE APLICAÇÃO: EXPERIMENTO 2

Atividade: O violão e os aspectos do som experimento 02.

Objetivos:

- Determinar a intensidade no ataque de melodias e harmonias no violão;
- Evidenciar alguns parâmetros ligados ao som.

Materiais: Violão, aplicativos sound meter e Decibel X.

Procedimento experimental:

- 1) Toque a primeira corda do violão atacando-a de maneira moderada com o dedo (usar a unha se possível), registre a intensidade informada na tabela 1. Ataque a corda quantas vezes for preciso.
- 2) Repita o passo 1 para as demais cordas.
- 3) Toque a primeira corda do violão atacando-a com a técnica do apoio também com o dedo (usar a unha se possível), registre a intensidade informada na tabela 1. Ataque a corda quantas vezes for preciso.
- 4) Repita o passo 03 para as demais cordas.

Tabela 1		
Corda	Ataque simples	Ataque com apoio
1ª		
2ª		
3ª		
4ª		
5ª		
6ª		

5) Execute o acorde de dó maior tocando da forma mais suave possível e registre a intensidade e o print do espectro sonoro.

6) Repita o passo 06 para o ataque moderado e forte. E registre as informações na tabela 02.

Tabela 2			
Acorde	Fraco	moderado	Forte
Dó maior			

Análise de dados:

Por meio da tabela 1: Converta e compare os valores da intensidade avaliando a taxa de aumento desse parâmetro. Para isso utiliza a seguinte equação:

$$\beta = 10 \text{Log} \frac{I}{I_0}$$

Por meio da tabela 2: Compare o gráfico da amplitude das ondas, fornecido pelo aplicativo com os valores das intensidades.

APÊNDICE D – ROTEIRO DE APLICAÇÃO: EXPERIMENTO 3

Atividade: O violão e os aspectos do som experimento 01.

Objetivos:

- Determinar a força de tração que atua em cada corda;
- Evidenciar alguns parâmetros ligados ao som.

Materiais: Violão, trena ou fita métrica, e aplicativos: afinador cifra club.

Procedimento experimental:

- 1) Confira com o professor qual a corda escolhida para o grupo.
- 2) A partir da corda escolhida um dos membros do grupo deve tocar a corda inicialmente solta enquanto outro componente deve verificar com o aplicativo a nota emitida e a sua respectiva frequência, além de medir com a trena o comprimento da corda solta
- 3) Repita o passo anterior para demais notas presentes na corda finalizando na casa de número 12, para isso o aluno deve pressionar com o dedo na casa desejada rente ao traste e tocar na corda, lembre-se de anotar as informações da nota presentes no passo 03 preenchendo por completo a tabela 01.

Número da casa	Nota Musical	Frequência (Hz)	Comprimento da corda (cm)	Comprimento de onda $\lambda(m)$	Velocidade (m/s)
Solta					
1 ^a					
2 ^a					
3 ^a					

4 ^a					
5 ^a					
6 ^a					
7 ^a					
8 ^a					
9 ^a					
10 ^a					
11 ^a					
12 ^a					

Análise de dados:

A partir da tabela 01: Calcule os comprimentos de onda e velocidade das notas ao longo da corda e em seguida faça:

- Gráfico da frequência versus comprimento da corda vibrante;
- Gráfico do comprimento de onda versus comprimento da corda vibrante.
- Gráfico da velocidade da onda na corda ao longo das casas.

Em cada caso interprete as informações e explique o comportamento de cada grandeza.

**APÊNDICE E – QUADRO DE APROVEITAMENTO DA
AVALIAÇÃO DIAGNOSTICADA**

Aluno	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Total
1	10	20	20	0	0	50
2	10	0	20	0	0	30
3	20	20	0	0	20	60
4	10	10	0	20	0	40
5	10	20	0	0	0	30
6	10	20	0	0	0	30
7	10	15	0	20	20	65
8	10	20	0	0	20	50
9	10	20	0	0	20	50
10	10	20	0	20	0	50
11	0	20	0	0	0	20
12	10	20	0	0	20	50
13	20	20	0	0	20	60
14	10	20	0	20	0	50
15	0	5	20	0	0	25
16	10	20	0	0	0	30
17	10	20	0	0	0	30
18	0	20	20	0	0	40
19	10	20	0	0	0	30
20	5	5	0	0	0	10
21	10	20	0	0	20	50
22	10	20	0	20	20	70
Media Geral da Turma						45

**APÊNDICE F – QUADRO DE APROVEITAMENTO DA
AVALIAÇÃO FORMATIVA**

Aluno	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Total
1	20	20	20	0	20	80
2	10	20	0	20	20	70
3	10	10	0	0	0	20
4	10	20	0	20	20	70
5	10	15	20	20	20	85
6	10	15	20	20	20	85
7	10	20	0	20	20	70
8	10	15	0	0	20	45
9	10	20	0	0	20	50
10	10	20	0	20	20	70
11	10	20	0	20	0	50
12	0	20	0	20	20	60
13	20	20	0	20	20	80
14	20	20	0	20	20	80
15	0	0	20	0	20	40
16	10	20	0	20	20	70
17	10	20	0	20	20	70
18	10	20	0	20	20	70
19	20	20	0	20	20	80
20	10	20	0	20	20	70
21	10	20	0	20	0	50
22	10	20	20	20	20	90
Média Geral da Turma						70

ÍNDICE REMISSIVO

A

Amplitude – 23, 24, 28, 50, 51, 52, 53, 54, 69, 70, 76, 77.

C

Comprimento – 23, 24, 26, 27, 45, 46, 47, 48, 49, 54, 55, 56, 57, 61, 62, 63, 64, 65, 68, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83.

F

Física do som – 23, 24.

Frequência – 23, 24, 26, 28, 37, 39, 45, 46, 47, 48, 49, 54, 55, 56, 57, 61, 62, 64, 68, 69, 77, 78, 79, 80, 81, 83.

G

Geometria – 19, 67.

I

Interação – 29, 31, 35, 38, 54, 68, 71, 79, 83.

M

Música – 19, 24, 31.

O

Onda – 20, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 31, 39, 47, 48, 50, 51, 52, 53, 54, 56, 57, 62, 63, 64, 7, 74, 75, 76, 77, 80, 81, 82, 83, 87.

P

Produção musical – 19.

S

Sonoridade – 19, 29.

T

Tensão – 19, 20, 26, 45, 46, 47, 48, 49, 65, 66, 67, 68.

A Faculdade Metropolitana Norte Riograndense (FAMEN) é credenciada pela Portaria nº 665/MEC, publicada no Diário Oficial da União em 22 de março de 2019. Entre as atividades vinculadas ao ensino superior, a Faculdade oferece serviços acadêmicos da EDITORA FAMEN que objetiva a difusão de conhecimento por meio de e-books, livros impressos, periódicos (revista científica e jornal eletrônico), anais de eventos e repositório institucional, sendo vinculada à Diretoria de Pesquisa da Faculdade.

A EDITORA FAMEN é especializada em publicar conhecimentos relacionados ao campo da educação e a áreas afins por meio de plataforma on-line, como também em formato impresso. O endereço eletrônico para acessar as suas publicações e demais serviços acadêmicos é o www.editorafamen.com.br.

A EDITORA FAMEN realiza edição, difusão e distribuição de produções editoriais seguindo uma Política Editorial qualificada e baseada nas seguintes linhas: acadêmica, técnico-científica, produção didático-pedagógico, produção artístico-literária e cultura popular.

Formato: E-book/PDF
Tipologia: Poppins, League Spartan e Volkhov

2025 Natal/Rio Grande do Norte

**Não encontrando nossos títulos na rede de livros conveniados e
informados em nosso site contactar a Editora Faculdade**

FAMEN:

Tel: (84) 3653-6770 | Site: www.editorafamen.com.br

E-mail: editora@famen.edu.br

O estudo dos fenômenos ondulatórios e acústicos, fundamentais para a compreensão do som e da música, pode ser aprimorado por meio da experimentação prática mediada por instrumentos musicais, como o violão. Essa abordagem visa fortalecer a aprendizagem dos princípios da ondulatória e dos parâmetros acústicos do som, promovendo uma compreensão mais profunda e significativa. A metodologia adotada baseou-se em uma sequência de três experimentos, nos quais o violão foi utilizado como principal recurso didático, associado a processos avaliativos e precedido por uma fundamentação teórica. Os resultados obtidos demonstraram empiricamente as relações entre as grandezas físicas investigadas, corroborando os modelos teóricos estabelecidos na literatura. Conclui-se que essa estratégia de ensino contribui positivamente para o aprendizado da física nesse contexto, proporcionando uma experiência didática mais efetiva e envolvente.

