

CONSTRUÇÃO DE UM PROTÓTIPO DE BAIXO CUSTO COM ARDUINO PARA GERAR ONDAS ESTACIONÁRIAS EM UMA CORDA TENSIONADA: UMA ABORDAGEM PRÁTICA DO ENSINO DE FÍSICA

DOI: 10.37702/2175-957X.COBENGE.2023.4572

Adelson Ataíde dos Santos Neto - adelson.forgotten@gmail.com
IFPB

Arthur Bernardo Barbosa - arthurbernardobarbosa@gmail.com
IFPB

Igor Forcelli Silva - igorforcelli@outlook.com
IFPB

Suzete Élide Nóbrega Correia - suzete.correia@gmail.com
IFPB

João Luis Sampaio - joao.sampaio@ifpb.edu.br
IFPB

Cristiano Miranda Correia Lima - cristcorreia@gmail.com
IFPB

Resumo: O conteúdo da disciplina de física é extenso e contém grande importância na matriz curricular das engenharias. Diante disso, busca-se aumentar a participação dos discentes no processo de ensino e aprendizagem utilizando a experimentação como estratégia de ensino, esta é uma forma de contextualizar a parte teórica, levando o aluno, a estudar a disciplina de forma significativa e permitindo que o mesmo identifique e solucione problemas do cotidiano. Diversos estudos afirmam que a utilização de tecnologias como o Arduino permite o desenvolvimento de kits didáticos portáteis e de custo acessível para utilização nas aulas de física, possibilitando a melhoria da contextualização dos problemas e promovendo a interdisciplinaridade. Diante do exposto, este trabalho propõe o desenvolvimento de um protótipo didático de custo acessível, para gerar ondas estacionárias em uma corda tensionada com o uso do microcontrolador Arduino®, o qual pode ser utilizado como uma alternativa metodológica na disciplina de

Física. Para tanto, foi utilizada uma rede R2R para converter o sinal digital de 8 bits, gerado pelo microcontrolador criando um sinal senoidal, este foi amplificado e aplicado ao alto-falante que provocou a vibração da corda tensionada. Para aferir os resultados, foram realizados três ensaios, com valores diferentes de massa, onde foram comparados os valores calculados de frequência dos harmônicos e os encontrados experimentalmente com o protótipo, e obteve-se um erro máximo de 6,15%. Dessa forma, acredita-se que o uso do protótipo desenvolvido pode aumentar a expectativa dos discentes em estudos envolvendo ondulatória.

Palavras-chave: Ondas estacionárias. Onda transversal. Interdisciplinaridade. Metodologia Educacional. Protótipo didático.

CONSTRUÇÃO DE UM PROTÓTIPO DE BAIXO CUSTO COM ARDUINO PARÁ GERAR ONDAS ESTACIONÁRIAS EM UMA CORDA TENSIONADA: UMA ABORDAGEM PRÁTICA DO ENSINO DE FÍSICA

1 INTRODUÇÃO

O conceito “aprender fazendo” está presente na educação brasileira há muitos anos. Essa metodologia provém da teoria do filósofo americano John Dewey (1859-1952), que ficou conhecido dentro dos questionamentos pedagógicos por defender um pensamento pragmatista (PONTES; PEREIRA, 2015). Para Dewey, o conhecimento, não possuía uma significância prática relevante, e ainda justificado por uma lógica racionalista que o legitimava, deveria se aproximar da experiência cotidiana (SOUZA, 2012).

Estudos indicam que a reprovação nas disciplinas do ciclo básico (Cálculos e Físicas) dos cursos de Engenharia acabam sendo o motivo para a evasão dos discentes do curso ou do próprio Ensino Superior (SILVA FILHO, 2009; CIRNE, 2021). Sabe-se que os conteúdos da física são extensos e contêm grande importância na matriz curricular das engenharias. Os estudantes que optam por cursos nessa área acabam enfrentando dificuldades para compreender determinados conteúdos, já que são de difícil entendimento, os discentes não aprendem física significativamente, memorizam mecanicamente fórmulas, definições, respostas certas, para serem reproduzidas nas provas e esquecidas logo depois (MOREIRA, 2021).

Segundo Rosa (2018), o ensino da Física nos cursos de engenharia passa cada vez mais a ser abordado com uso de atividades práticas, da experimentação como estratégia de ensino, sendo uma forma de contextualizar a parte teórica, levando o aluno, a estudar a disciplina não apenas para a sua aprovação, mas para que consiga identificar e solucionar problemas do cotidiano.

De acordo com Monteiro *et al.* (2022), a utilização de tecnologias como o Arduino, pode proporcionar descobertas autênticas, pois se trata de uma ferramenta que apresenta os dados em tempo real, além de ser acessível e de baixo custo. Com apenas com um *kit* de Arduino e um computador ou *tablet/smartphone*, é possível criar vários experimentos sobre diversas áreas da Física. Ao longo dos anos vários trabalhos vêm sendo desenvolvidos na área da Física com a utilização do Arduino, como Szmoski *et al.* (2018) que desenvolveu um aparato experimental de baixo custo para o estudo de objetos em queda, em tubos verticalmente orientados, que permitiu acompanhar e registrar através de um sensor ultrassônico e o microcontrolador Arduino, o deslocamento do objeto em intervalos de aproximadamente 50 ms, possibilitando a visualização gráfica em tempo real. Pontes, Cavalcante e Rodrigues (2013) propuseram a construção de um Tubo de Kundt adaptado a novas tecnologias disponíveis ao ensino da Física, empregando a placa Arduino em experimentos didáticos envolvendo ondas sonoras, resultando na visualização do comportamento do Tubo de Kundt como um filtro sonoro, que seleciona e prioriza alguns valores de frequência.

Cavalcante, Peçanha e Teixeira (2013) propuseram um experimento relacionado ao estudo das ondas estacionárias, que consiste em utilizar a saída de áudio de um computador para variar a frequência em uma das extremidades do fio utilizando o *SweepGen*, um programa gratuito. Os dados que foram obtidos através do protótipo de baixo custo proporcionaram uma imersão significativa no conteúdo de ondulatórias.

Norbiato (2019) propôs um produto educacional fundamentado na Teoria da Aprendizagem Significativa, que utiliza um motor conectado a um gerador de funções para produzir perturbação periódica que origina a onda estacionária. O protótipo mostrou-se adequado para o ensino de ondas estacionárias em cordas vibrantes, de acordo com os resultados obtidos da aplicação no ensino médio.

Diante dos estudos apresentados, percebe-se que a produção de protótipos de fácil reprodução, auxiliam na fixação dos conceitos da ondulatória. Desta forma, pretende-se adicionar um microcontrolador Arduino para controlar a frequência e gerar uma onda estacionária em uma corda tensionada por meio da vibração provocada por um alto-falante, assim proporcionando o entendimento dos conceitos relacionados as ondas estacionárias, como também possibilitando a interdisciplinaridade, visto que, são utilizados conhecimentos de física, programação, eletrônica e circuitos elétricos.

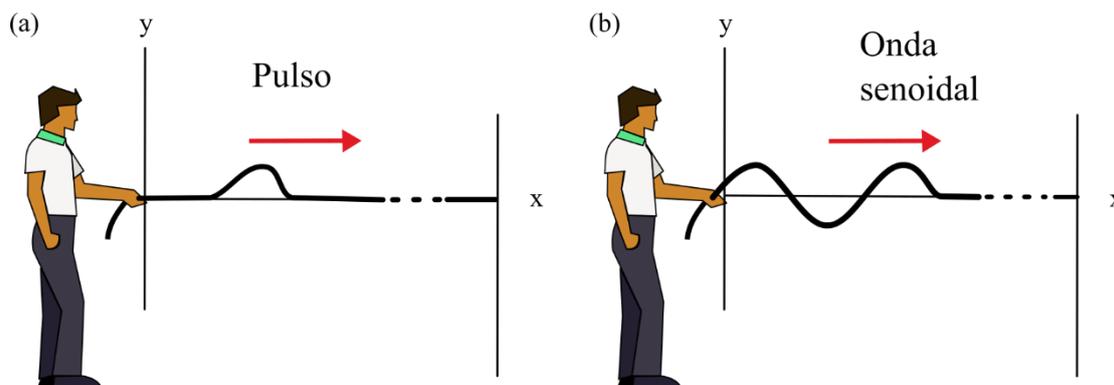
Sendo assim, este artigo objetiva apresentar o desenvolvimento de uma plataforma didática, de baixo custo utilizando o microcontrolador Arduino, explorando a interdisciplinaridade e a aprendizagem baseada em experimentação, permitindo os discentes fixarem o conteúdo relacionado a ondulatória.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Ondas Mecânicas

Todas as ondas mecânicas necessitam (i) de alguma fonte de perturbação, (ii) um meio que possa ser perturbado e (iii) algum mecanismo físico pelo qual os elementos do meio possam influenciar uns aos outros. Uma forma de demonstrar o movimento da onda é balançar a extremidade livre de uma corda que esteja sob tensão e tenha sua outra extremidade fixa como ilustrado na Figura 1 (SERWAY; JEWETT Jr, 2005).

Figura 1 – Produção da onda mecânica. a) Movimento único formando um pulso isolado em uma corda. b) Movimento repetido formando uma onda senoidal em uma corda.



Fonte: Elaboração própria (2023).

Quando ocorre o deslocamento de um pulso ao longo de uma corda, cada segmento da corda é perturbado e se move perpendicularmente à direção da propagação. Essa perturbação, que pode ser observada na Figura 1, é conhecida como **onda transversal**.

2.2 A velocidade de ondas transversais em cordas

Quando uma onda se propaga em um meio como uma corda esticada, a sua passagem faz com que as partículas do meio oscilem. As propriedades de massa e elasticidade permitem expressar a velocidade de uma onda em um meio, como uma corda esticada. Para que uma onda se propague em uma corda é necessário que a corda se

mantenha sob tensão (τ), alongada por forças aplicadas as extremidades, assim é possível associar a tensão da corda ao seu alongamento (elasticidade) (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2016). Relacionando a tensão (τ) e massa específica da corda (μ) é obtida a velocidade da onda em cordas tensionadas conforme a Equação (1).

$$v = \sqrt{\frac{\tau}{\mu}} \quad (1)$$

Este estudo utilizou a massa específica da corda, que pode ser obtida pela expressão matemática apresentada na Equação (2).

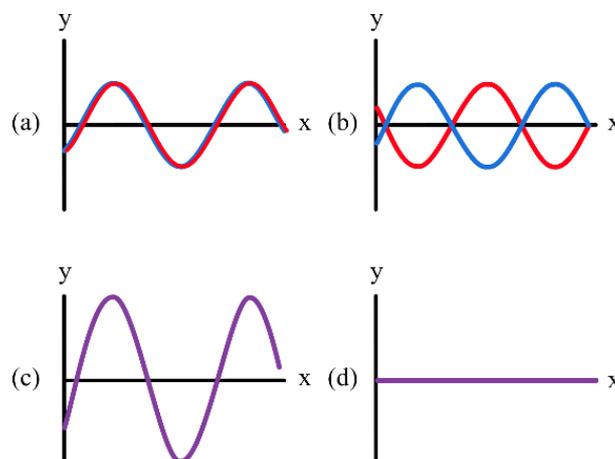
$$\mu = \frac{m}{L} \quad (2)$$

onde, L é o comprimento da corda (medido em metros) e m é a massa total da corda (medido em Kg).

2.3 Interferência de ondas

O fenômeno da interferência de ondas depende da fase relativa de duas ondas, se as ondas estão exatamente em fase (os picos e vales entre as ondas estão alinhados), o deslocamento total a cada instante é o dobro do deslocamento que seria produzido por apenas uma onda, para ondas em fase a interferência é dita como construtiva. No caso de as duas ondas estarem totalmente defasadas (os picos e vales entre as ondas estão desalinhados), elas se cancelam e o deslocamento é zero, assim a corda permanece parada. Para ondas totalmente defasadas a interferência é dita como destrutiva (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2016). O fenômeno da interferência das ondas pode ser melhor observado através da Figura 2.

Figura 2 – Interferência das ondas. a) Duas ondas exatamente em fase. b) Duas ondas totalmente defasadas. c) Interferência construtiva. d) Interferência destrutiva.



Fonte: Elaboração própria (2023).

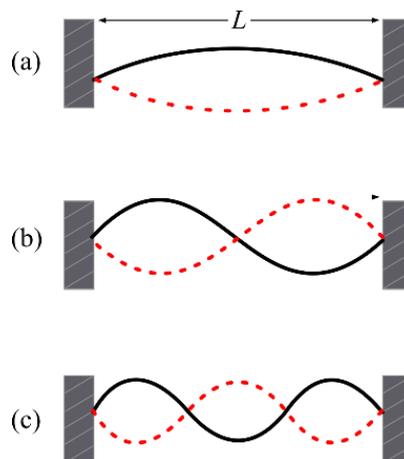
2.4 Ondas estacionárias

Quando duas ondas senoidais de mesma amplitude se propagam em sentidos opostos em uma corda tensionada, a interferência mútua produz uma onda estacionária (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2016). Neste estudo são geradas ondas estacionárias em uma corda tensionada com ajuda de um alto-falante e um microcontrolador Arduino, de modo que uma onda progressiva seja refletida em uma extremidade fixa e interfira consigo mesma.

Para certas frequências as interferências produzem uma onda estacionária com nós e antinós, essas frequências são conhecidas como frequências de ressonância. Caso a corda em estudo não seja excitada em uma frequência de ressonância, não será possível formar uma onda estacionária.

Para esse trabalho a corda foi presa entre duas extremidades fixas separadas por uma distância L , como ilustrado na Figura 3.

Figura 3 – Onda estacionária. a) Primeiro harmônico. b) Segundo harmônico. c) Terceiro harmônico.



Fonte: Elaboração própria (2023).

A configuração (a) ilustrada na Figura 3 é a mais simples (primeiro harmônico), contendo apenas um antinó no centro da corda. A partir da configuração mais simples é possível observar a relação entre o comprimento L da corda e o comprimento da onda, conforme a Equação (3).

$$L = \frac{n\lambda}{2} \quad (3)$$

onde, n é o número do harmônico e λ o comprimento da onda. Partindo da Equação (3) é possível calcular as frequências de ressonância que correspondem a esse comprimento de onda, utilizando a Equação (4)

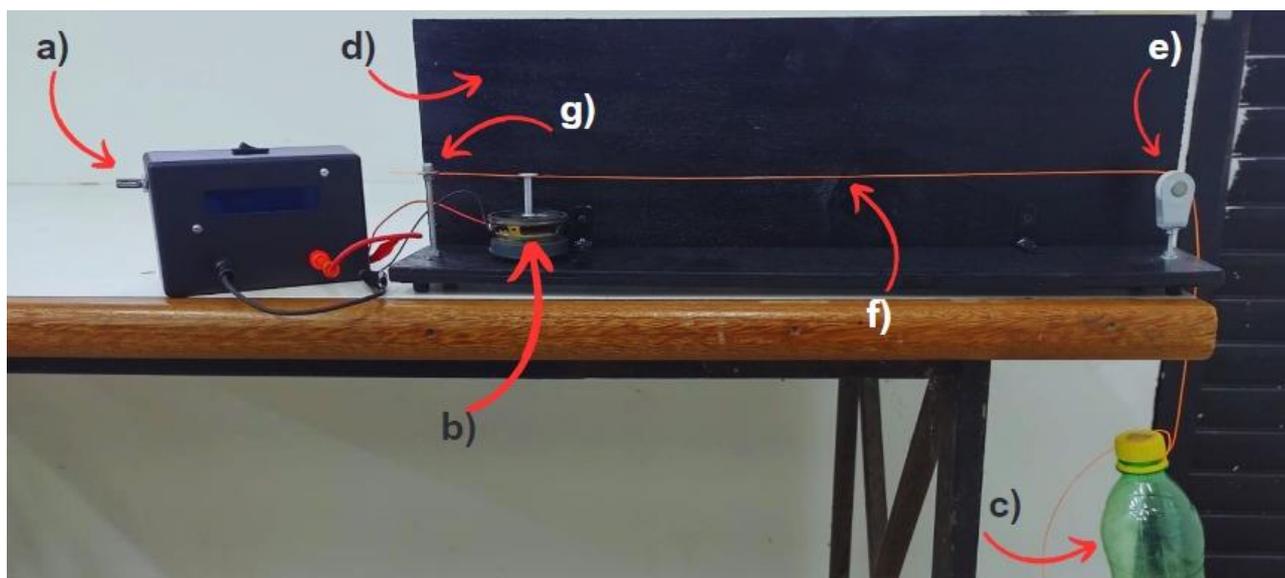
$$f = n \times \frac{v}{2 \times L}, \quad (4)$$

onde, v é a velocidade da onda na corda tensionada.

3 PLATAFORMA DESENVOLVIDA

Na Figura 4 está ilustrado o protótipo desenvolvido para criação de ondas estacionárias. O protótipo consiste no dispositivo (a) responsável por ajustar e informar a frequência do sinal senoidal gerado para o alto-falante (b) que ao entrar em funcionamento provoca a vibração da corda (f) que está fixa entre o parafuso (g) e a roldana (e). Para tensionar a corda (f) foi utilizada uma garrafa de plástico (c) que permitiu o ajuste da massa conforme a quantidade de água depositada. Por fim, todos os elementos foram fixados na plataforma (d).

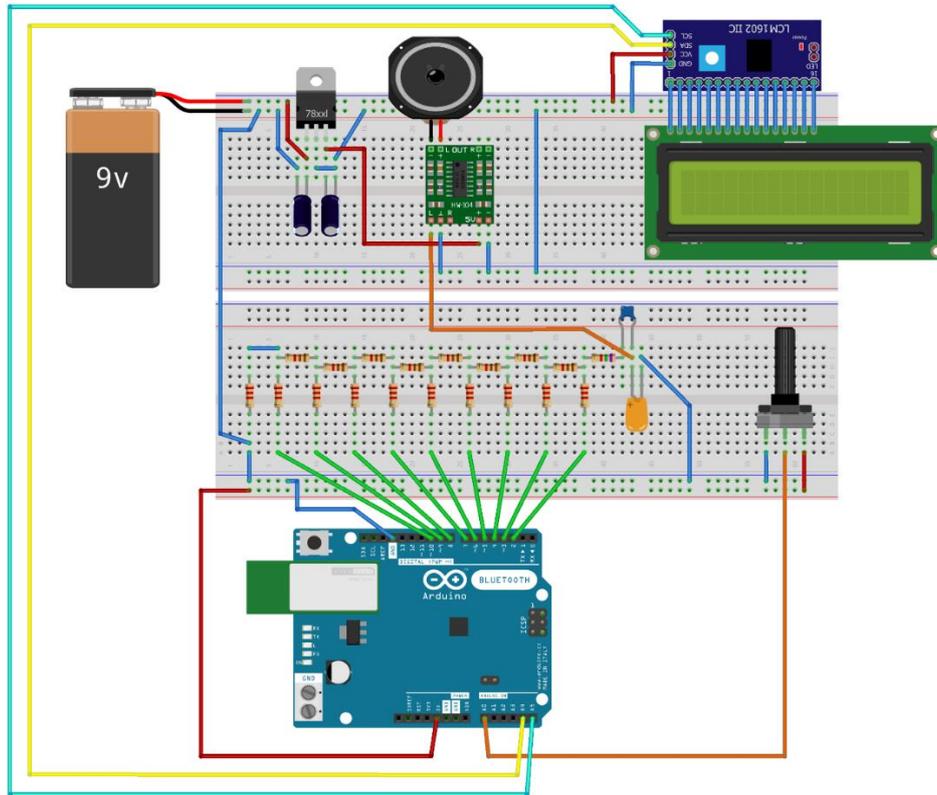
Figura 4 – Protótipo desenvolvido para criação de ondas estacionárias.



Fonte: Elaboração própria (2023).

O dispositivo (a) utilizou um microcontrolador Arduino que foi responsável por criar um sinal senoidal de 5 Vpp com *offset* de 2,5 V, e para tornar possível a criação do sinal senoidal foi utilizada uma rede R2R. O sinal gerado passou por um filtro RC e em seguida foi aplicado na entrada do amplificador PAM8403 (com ganho de oito vezes), que por sua vez alimentou eletricamente o alto-falante. O potenciômetro foi responsável pelo ajuste da frequência e o display para registro da frequência selecionada. A tensão proveniente da bateria de 9 V passou por um regulador de tensão LM7805 que alimentou eletricamente todo o sistema, conforme ilustrado na Figura 5.

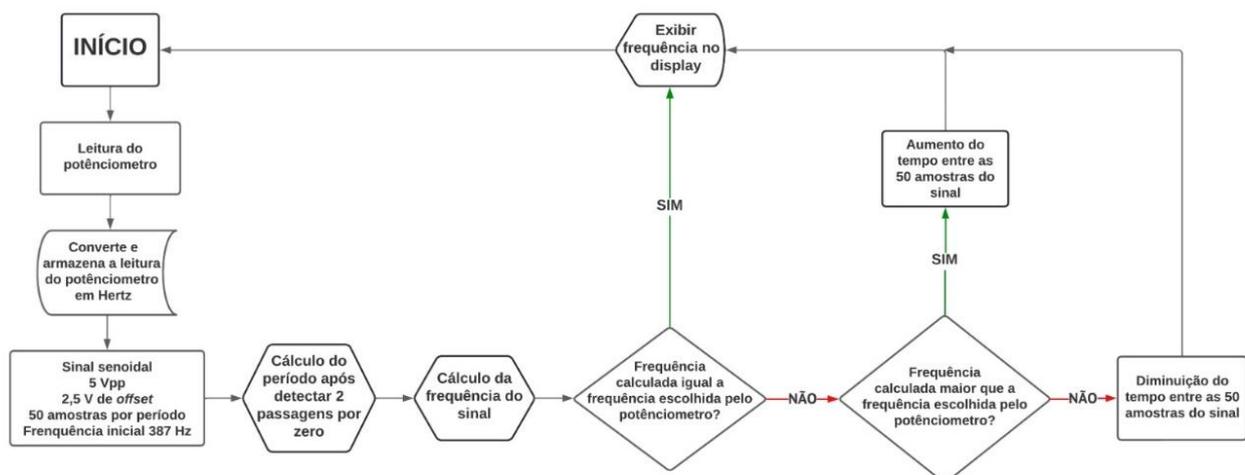
Figura 5 – Esquemático do sistema desenvolvido.



Fonte: Elaboração própria (2023).

O algoritmo desenvolvido recebe o valor de frequência ajustado pelo usuário por meio de um potenciômetro, que por sua vez é utilizado para gerar um sinal digital de 8 bits para a rede R2R, esta é responsável por converter o sinal digital para analógico, e assim permitindo gerar o sinal senoidal com um valor de frequência escolhida na faixa entre 1 Hz e 250 Hz. O fluxograma do código desenvolvido para permitir o controle de frequência do sinal senoidal gerado pelo Arduino e a rede R2R é ilustrado na Figura 6.

Figura 6 – Fluxograma do algoritmo desenvolvido para o controle da frequência.



Fonte: Elaboração própria (2023).

Na Tabela 1 são apresentados os materiais utilizados na construção do protótipo e seus respectivos custos.

Tabela 1 – Custo dos componentes utilizados no protótipo.

Descrição	Quantidade	Valor (R\$)
Amplificador	1	5,00
Alto-falante	1	Reciclado
Arduino Uno	1	60,00
Bateria 9V	1	15,00
Borne p/ plugue (Preto e Vermelho)	2	3,00
Cabos	20	Reciclado
Caixa (53x85x124 mm)	1	23,00
Capacitor 1 μ F	3	0,30
Capacitor 100 nF	1	0,10
Cantoneira	2	5,00
Compensado base (50x10cm)	1	Reciclado
Compensado base (50x16cm)	1	Reciclado
Display LCD 16x2 I2C	1	30,00
Dissipador do transistor	1	Reciclado
Garrafa pet	1	Reciclado
Linha de nylon	1	Reciclado
Mini chave gangorra	1	1,50
Parafuso	2	1,00
Pino de alumínio	1	Reciclado
Potenciômetro	1	1,00
Protoboard 400 pontos	1	10,00
Regulador LM7805	1	1,50
Resistor 2,2 k Ω	9	0,90
Resistor 1,1 k Ω	7	0,70
Resistor 7,5 k Ω	1	0,10
Roldana	1	5,00
Total		163,10

Fonte: Elaboração própria (2023).

Na Tabela 2 é possível realizar a comparação entre o valor do protótipo desenvolvido e alguns dispositivos comerciais utilizados para o estudo de ondas estacionárias.

Tabela 2 – Comparação entre o custo dos dispositivos atuais.

Dispositivo	Valor em 10/06/2023 (R\$)
Kit de Física - Gerador de Onda Estacionária com Medidor de Frequência	3677,00
Gerador de Onda Estacionária	2490,00
Kit De Experimento De Física 10 - Ondas - Cordas Vibrantes	328,00
Dispositivo desenvolvido	163,10

Fonte: Elaboração própria (2023).

4 RESULTADOS

Objetivando verificar a relação entre tração e frequência de ressonância na onda estacionária formada pelo sistema, e levando em conta que a densidade linear da corda utilizada foi de $69 \cdot 10^{-5} \frac{kg}{m^3}$ e o comprimento da corda entre o alto-falante e a roldana foi de $48 \cdot 10^{-2} m$, foram realizados três experimentos. Cada experimento utilizou um valor de massa, responsável por tensionar a corda.

Na Figura 7 são ilustrados exemplos de harmônicos formados durante um experimento.

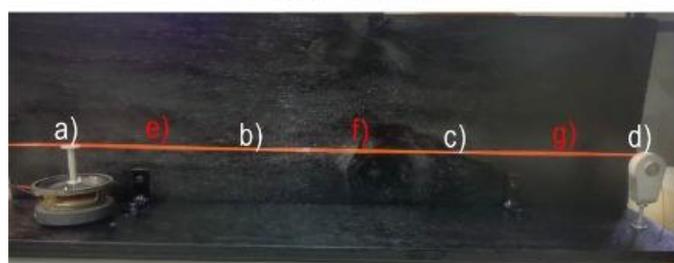
Figura 7 - Exemplo de 3 harmônicos formados nas ondas estacionárias.



Primeiro Harmônico - 45Hz



Segundo Harmônico - 89Hz



Terceiro Harmônico - 134Hz

Fonte: Elaboração própria (2023).

Conforme ilustrado na Figura 7 o primeiro harmônico ocorreu em 45 Hz apresentando dois nós (a) e (b) e um antinó (c). O segundo harmônico ocorreu em 89 Hz e observou-se a presença de três nós (a), (b) e (c) e dois antinós (d) e (e). O terceiro harmônico ocorreu em 134 Hz e foram criados quatro nós (a), (b), (c) e (d), e três antinós (e), (f) e (g).

Na Tabela 3 são apresentados os valores de frequência medidos com o protótipo e os calculados (Equação (4)) para cada experimento realizado, como também o erro percentual relativo.

Tabela 3 – Resultados com o protótipo desenvolvido.

Exp.	Massa (g)	1º Harmônico (Hz)			2º Harmônico (Hz)			3º Harmônico (Hz)		
		Calculado	Medido	Erro	Calculado	Medido	Erro	Calculado	Medido	Erro
1	90,10	44,95	45,00	0,12	89,89	89,00	1,00	134,84	134,00	0,62
2	42,50	30,00	30,00	0,00	61,74	63,63	3,06	92,61	93,00	0,42
3	24,20	22,61	22,00	2,70	45,22	48,00	6,15	67,83	68,00	0,25

Fonte: Elaboração própria (2023).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho consistiu na construção de um protótipo de baixo custo utilizando a plataforma Arduino para gerar ondas estacionárias em uma corda tensionada. Para tanto, foi utilizada uma rede R2R para converter o sinal digital de 8 bits gerado pelo microcontrolador criando um sinal senoidal, este foi aplicado ao alto-falante que provocou a vibração da corda tensionada.

Acredita-se que o valor de erro encontrado é aceitável, visto que, mesmo utilizando um gerador de sinais comercial para alimentar eletricamente o alto-falante, ocorre uma diferença de até 5 Hz entre o valor de frequência calculado e o ajustado no gerador de sinais.

De forma geral, os resultados alcançados neste estudo, indicam que o protótipo desenvolvido poderá ser utilizado em sala de aula para realizar experimentos voltados para ondulatória. O protótipo apresenta vantagens como custo acessível e interdisciplinaridade, visto que, são necessários conhecimentos de física, eletrônica, circuitos elétricos e programação para o seu desenvolvimento. Estes resultados indicam que a plataforma desenvolvida pode aumentar a expectativa dos discentes em estudos envolvendo ondas estacionárias, assim, tornando-a uma abordagem prática para o ensino de física. Desta forma, pretende-se em trabalhos futuros utilizar o protótipo desenvolvido em sala de aula objetivando a melhoria na fixação dos conteúdos pelos discentes.

Acredita-se que algumas melhorias podem ser realizadas em trabalhos futuros visando atenuar os ruídos na onda senoidal e ampliar a gama de frequências geradas pelo equipamento. Essas melhorias incluem:

- I. Aperfeiçoar o conversor D/A incorporando mais resistores nas entradas digitais, de modo a aumentar a precisão do sinal gerado e diminuir os ruídos presentes na onda senoidal;
- II. Aumentar o comprimento da corda utilizada nos experimentos, a fim de permitir a visualização de mais harmônicos durante o uso do equipamento;
- III. Implementar um método de entrada de dados pelo usuário que permita o próprio equipamento realizar o cálculo da frequência necessária para gerar os harmônicos.

AGRADECIMENTOS

Agradecimentos ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, do Campus João Pessoa e ao PETEE-IFPB (Programa de Educação Tutorial de Engenharia Elétrica do Instituto Federal da Paraíba), pelo apoio técnico e financeiro.

REFERÊNCIAS

AZEHEB, L. E. **Gerador de Ondas Estacionárias**. Disponível em: <https://azeheb.com.br/gerador-de-onda-estacionaria.html>. Acesso em: 10/06/2023.

CAVALCANTE, M. A.; PEÇANHA, R.; TEIXEIRA, A. DE C. **Ondas estacionárias em cordas e determinação da densidade linear de um fio.** Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 35, n. 3, p. 3502, jul. 2013.

CAVALCANTE, M. A.; RODRIGUES, C. E. M.; PONTES, L. A. Novas tecnologias no estudo de ondas sonoras. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 30, n. 3, p. 579-613, 2013.

CIRNE, Gilton Nunes. **Reprovação e evasão nos cursos de engenharias, e de exatas do campus de Campina Grande da UFCG.** 2021. 115 F. Dissertação (Mestrado em Educação) - Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, 2021.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de física.** Vol. I. 10. ed. v. 2. Tradução Ronaldo Sérgio de Biasi. Rio de Janeiro: Grupo Gen-LTC, 2016.

MERCADO, L. **Kit De Experimento De Física 10 - Ondas - Cordas Vibrantes.** Disponível em: <<https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-811196421-kit-de-experimento-de-fisica-10-ondas-cordas-vibrantes- JM>>. Acesso em: 10/06/2023.

MONTEIRO, J. A. et al. **Arduino no Ensino de Física: uma Revisão Sistemática de Literatura de 2011 a 2021.** Amazônia: Revista de Educação em Ciências e Matemáticas, Belém, v. 18, n. 40, ago. 2022. ISSN 2317-5125. Disponível em: <<https://periodicos.ufpa.br/index.php/revistaamazonia/article/view/12175>>. Acesso em: 29 maio 2023. doi:<http://dx.doi.org/10.18542/amazrecm.v18i40.12175>.

MOREIRA, M. A. **Desafios no ensino da física.** Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 43, p. e20200451, 2021.

NORBIATO, J. **Atividade experimental para o ensino de ondas estacionárias.** 2019. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2019.

PLANETA, P. **Kit de Física - Gerador de Onda Estacionária com Medidor de Frequência.** Disponível em: <<https://www.planetapedagogico.com.br/kit-de-fisica-gerador-de-onda-estacionaria-com-medidor-de-frequencia>>. Acesso em: 10/06/2023.

PONTES, F. S.; PEREIRA, V.. **A (des)orientação do docente: sobre o princípio "aprender fazendo".** Anais II CONEDU... Campina Grande: Realize Editora, 2015. Disponível em: <<https://editorarealize.com.br/artigo/visualizar/15022>>. Acesso em: 29/05/2023.

ROSA, J. A. d. **O ensino de física nas engenharias: análise das contribuições do Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia (COBENGE).** 96 f. Dissertação (Mestrado em Educação nas Ciências), Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, RS, 2015.

SOUZA, R. A. d. **Os fundamentos da pedagogia de John Dewey: uma reflexão sobre a epistemologia pragmatista.** Contrapontos, Florianópolis , v. 12, n. 02, p. 227-233, ago. 2012 . Disponível em http://educa.fcc.org.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1984-71142012000200011&lng=pt&nrm=iso. Acesso em: 29/05/2023.

SILVA FILHO, José Pereira da. **As reprovações em disciplinas nos cursos de graduação da Universidade Federal do Ceará (UFC) no período de 2000 a 2008 e suas implicações na evasão discente.** 2009. 71 f. Dissertação (Mestrado em Políticas Públicas e Gestão da Educação Superior) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2009.

SZMOSKI, R. M. et al. **Desenvolvimento de um aparato experimental de baixo custo para o estudo de objetos em queda: análise do movimento de magnetos em tubos verticalmente orientados.** Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 40, n. 1, 2018.

CONSTRUCTION OF A LOW-COST ARDUINO-BASED PROTOTYPE FOR GENERATING STANDING WAVES ON A TENSIONED STRING: A PRACTICAL APPROACH TO TEACHING PHYSICS

Abstract: *The content of the physics discipline is extensive and holds great importance in the curriculum of engineering programs. In light of this, efforts are being made to increase student participation in the teaching and learning process by using experimentation as a teaching strategy. This approach serves to contextualize the theoretical aspects, prompting students to study the subject matter in a meaningful way and enabling them to identify and solve everyday problems. Various studies assert that the use of technologies such as Arduino allows for the development of portable and cost-effective educational kits for use in physics classes, thereby enhancing problem contextualization and promoting interdisciplinary learning. Based on the above, this work proposes the development of an affordable educational prototype to generate standing waves on a tensioned string using the Arduino® microcontroller. This prototype can be employed as a methodological alternative in the Physics discipline. To achieve this, an R2R network was utilized to convert the 8-bit digital signal generated by the microcontroller into a sinusoidal signal. This signal was subsequently amplified and applied to the speaker, inducing vibrations in the tensioned string. To evaluate the results, three experiments were conducted with different mass values, comparing the calculated harmonic frequency values with those obtained experimentally using the prototype. The maximum error obtained was 6.15%. Consequently, it is believed that the use of the developed prototype can heighten students' expectations in studies involving wave phenomena.*

Keywords: Standing waves. Transverse wave. Interdisciplinarity. Educational methodology. Educational prototype.