



# HARMONIZANDO A PRÁTICA CIENTÍFICA: UM EXPERIMENTO HÍBRIDO DE ONDAS ESTACIONÁRIAS

**Deivid Espírito Santo de Souza**

Universidade Federal de Itajubá, [d2022005268@unifei.edu.br](mailto:d2022005268@unifei.edu.br)

**Isabela Dutra de Oliveira**

Universidade Federal de Itajubá, [isabeladutradeoliveira@gmail.com](mailto:isabeladutradeoliveira@gmail.com)

**Thiago Costa Caetano**

Universidade Federal de Itajubá, [tccaetano@unifei.edu.br](mailto:tccaetano@unifei.edu.br)

## 1. INTRODUÇÃO

A experimentação investigativa é um pilar para o desenvolvimento de competências científicas, mas a sua aplicação no ensino de ciências é frequentemente limitada por desafios, principalmente de infraestrutura (Araújo; Abib, 2003). Embora os laboratórios de acesso remoto tenham surgido como uma solução para democratizar o acesso, a ausência da manipulação direta dos experimentos pode criar obstáculos didáticos, distanciando o estudante do fenômeno observado. Este trabalho visa apresentar uma possível alternativa para contornar alguns desses desafios, a partir da proposta de um experimento híbrido de ondas estacionárias.

O objetivo deste trabalho é, portanto, apresentar os processos de desenvolvimento de um sistema híbrido concebido como um instrumento pedagógico versátil, capaz de auxiliar a realização de atividades investigativas no ensino de Física. A relevância do projeto consiste na sua capacidade de harmonizar a conveniência do acesso à distância com a riqueza da exploração presencial, permitindo que os estudantes investiguem o fenômeno de múltiplas formas. O modelo proposto oferece suporte a distintas abordagens de ensino, desde demonstrações guiadas a investigações abertas, nas quais os alunos podem delinear os seus próprios procedimentos para a verificação das relações fundamentais da teoria ondulatória (Halliday; Resnick; Krane, 2003).

## 2. PERCURSO METODOLÓGICO

A construção do experimento híbrido foi orientada por princípios pedagógicos. Cada componente técnico foi projetado para apoiar a atividade investigativa do estudante. A metodologia de desenvolvimento foi dividida em três frentes: a estrutura mecânica, o sistema eletrônico e a arquitetura computacional.

### 2.1 ESTRUTURA MECÂNICA

Para garantir a coleta de dados confiáveis pelos estudantes, a estrutura mecânica foi redesenhada com um sistema de fuso de avanço, que permite um ajuste preciso e reprodutível da tensão na corda. Este mecanismo, análogo aos utilizados em impressoras 3D e fabricado com peças impressas em PLA, elimina folgas e permite um deslocamento suave e milimétrico do dinamômetro. A interação entre os componentes é ilustrada no esquema da Figura 1, que apresenta a representação esquemática do experimento híbrido de ondas estacionárias. A área destacada como “experimento convencional” corresponde ao aparato físico tradicional, composto por: (A) dinamômetro, (B) polia e (C) oscilador mecânico. A infraestrutura de controle remoto inclui: (D) circuito de controle eletrônico (ATmega328P), (E) motor de passo, (F) usuário remoto e (G) servidor. O modelo híbrido adiciona a operação local por meio de: (H) usuário presencial e (I) interface física. Adicionalmente, implementou-se um

sistema de visualização com duas câmeras: uma fixa no dinamômetro e outra móvel, que percorre um trilho para permitir a inspeção detalhada dos nós e antinós.

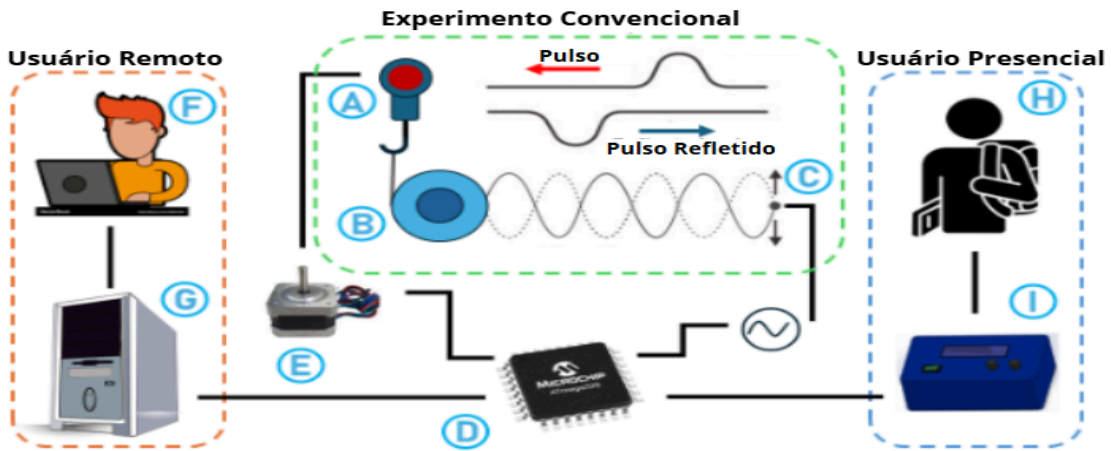


Figura 1: Representação esquemática do experimento.

## 2.2 IMPLEMENTAÇÃO ELETRÔNICA

A eletrônica foi concebida numa arquitetura distribuída, detalhada na Figura 2, utilizando três microcontroladores para otimizar o processamento. A hierarquia consiste em: (A) um microcontrolador *Master*, o cérebro do sistema, responsável por receber todos os comandos e gerenciar a comunicação; (B) um *Slave 1*, com a tarefa dedicada de gerar com precisão a frequência da onda; (C) um amplificador, que potencializa o sinal do *Slave 1* para acionar o oscilador mecânico; e (D) um *Slave 2*, que funciona como o cérebro da caixa de controle presencial, lendo os inputs do usuário e enviando-os ao *Master*. Esta separação de tarefas em diferentes processadores garante a estabilidade necessária para uma investigação experimental rigorosa.

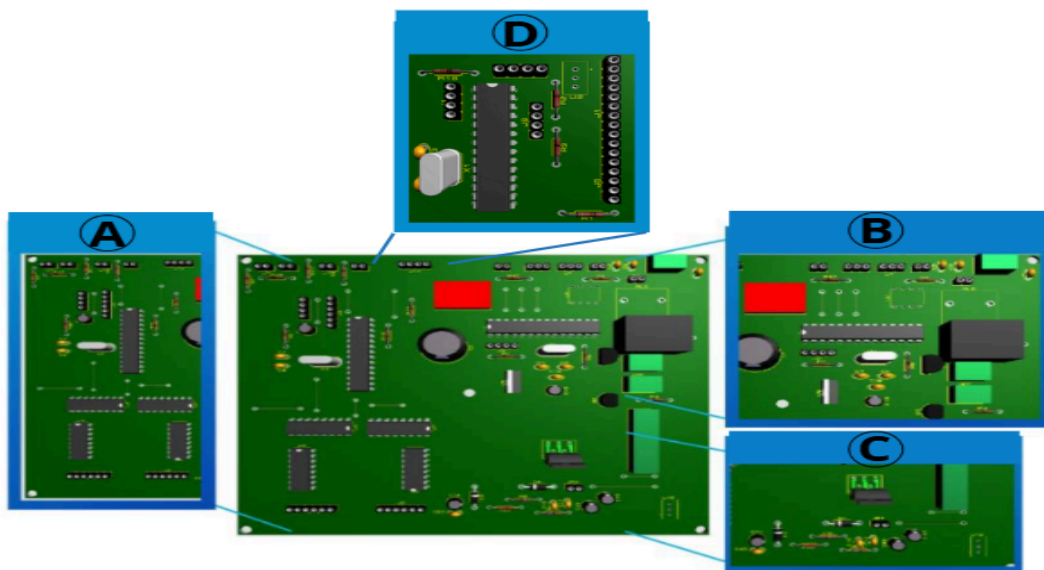


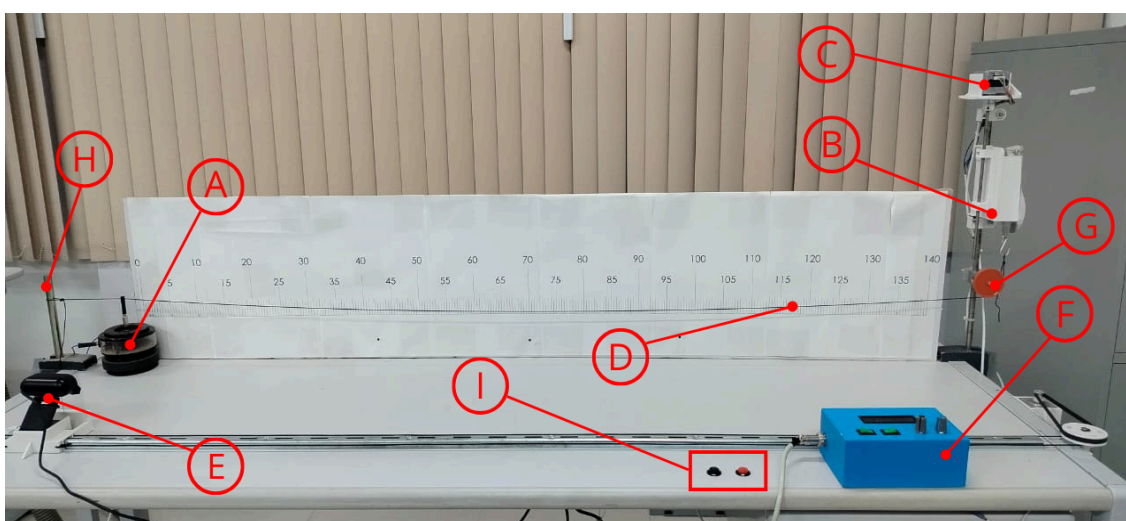
Figura 2: Placa eletrônica com arquitetura Master-Slave.

## 2.3 IMPLEMENTAÇÃO COMPUTACIONAL

A plataforma computacional foi desenvolvida para ser a ponte entre o estudante e o experimento. O sistema de controle foi projetado com uma lógica de bloqueio mútuo, assegurando que apenas um utilizador (presencial ou remoto) possa operar o equipamento por vez. Esta funcionalidade é crucial em ambientes de sala de aula, pois garante a integridade dos dados durante a investigação de um grupo, evitando interferências externas.

### 3. RESULTADOS PARCIAIS

O principal resultado parcial desta pesquisa é a implementação de um sistema experimental híbrido plenamente funcional e validado. Os testes confirmaram que o sistema opera de forma estável e transparente, permitindo que um utilizador presencial e um remoto controlem o mesmo aparato sem conflitos. Mais do que um resultado técnico, este protótipo representa uma ferramenta pedagógica versátil, pronta para ser integrada em atividades de ensino, conforme pode ser observado na Figura 3.



**Figura 3:** *Aparato Híbrido para o Estudo de Ondas Estacionárias.*

Um oscilador mecânico (A) gera ondas em uma corda (D), cuja tensão é ajustada por dinamômetro (B) com motor de passo (C), enquanto câmeras (E) permitem visualização remota. A interface presencial, em uma caixa de controle (F) com potenciômetros, display LCD, interruptores e botões (I), assegura ajustes finos, operação segura e alternância de modos, apoiando a prática investigativa e permitindo a verificação da equação de Taylor com baixo erro experimental, com foco na análise e interpretação dos resultados.

### REFERÊNCIAS

ARAÚJO, M. S. T.; ABIB, M. L. V. S. **Atividades experimentais no ensino de física: diferentes enfoques, diferentes finalidades.** Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 25, n. 2., 2003.

CAETANO, T. C., JUNIOR, M. F. R., SILVA, A. P., MOREIRA, C. C. The physics remote laboratory: implementation of an experiment on standing waves. **European Journal of Physics**, v. 43, n. 2, p. 025801, 2022.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; KRANE, K. S. **Física 2. 5. ed.** Rio de Janeiro: LTC, 2003.