

APRENDIZAGEM DE REFLEXÃO SONORA COM ARDUINO POR MEIO DA CONSTRUÇÃO E INVESTIGAÇÃO DE UM PROTÓTIPO ULTRASSÔNICO EM AMBIENTE MAKER

Learning Sound Reflection with Arduino through the Construction and Investigation of an Ultrasonic Prototype in a Maker Environment

João Francisco Trencher Martins [joao.martins@fecap.br]
Rodnil da Silva Moreira Lisbôa [rodril.lisboa@fecap.br]
 Fundação Escola de Comercio Alvares Penteado – FECAP
 Av. da Liberdade, 532 - Liberdade, São Paulo – SP

Recebido: 26/12/25

Aceito: 07/04/26

RESUMO

Este trabalho apresenta uma proposta didática para o ensino de reflexão sonora no Ensino Médio por meio da construção e análise de um dispositivo experimental baseado no sensor ultrassônico HC-SR04, integrado a um microcontrolador Arduino e a uma estrutura modular em LEGO. A investigação articula fundamentos conceituais sobre dificuldades recorrentes na aprendizagem de ondas sonoras, princípios epistemológicos relacionados à experimentação e abordagens contemporâneas da cultura maker. A metodologia envolve a montagem do protótipo, a programação do algoritmo de medição, a coleta sistemática de dados em diferentes condições e a análise estatística simples (média, desvio padrão e erro da média). Os resultados obtidos pelos estudantes evidenciaram forte linearidade entre distância real e tempo de retorno, bem como variações associadas a angulação, material refletor e limitações instrumentais do sensor. A atividade permitiu discutir, de modo articulado, incerteza experimental, precisão, ruído e limites de validade de modelos, promovendo compreensão significativa dos fenômenos acústicos. Do ponto de vista pedagógico, a proposta favoreceu engajamento, colaboração e desenvolvimento do pensamento computacional, aproximando os estudantes de práticas investigativas e maker. Conclui-se que a integração entre experimentação de baixo custo, Arduino e cultura maker constitui uma estratégia eficaz para tornar conceitos de acústica mais acessíveis, concretos e investigáveis no contexto escolar.

Palavras-chave: ensino de Física; reflexão sonora; Arduino; experimentação; cultura maker; ondas sonoras.

ABSTRACT

This paper presents a didactic approach for teaching sound-wave reflection in secondary education through the construction and analysis of an experimental device based on the HC-SR04 ultrasonic sensor, integrated with an Arduino microcontroller and a modular LEGO structure. The investigation combines conceptual foundations regarding well-documented learning difficulties in acoustics, epistemological perspectives on experimentation, and contemporary maker-oriented educational practices. The methodology includes assembling the prototype, programming the measurement algorithm, systematically collecting data under different conditions, and performing basic statistical analyses (mean, standard deviation, and standard error of the mean). The results obtained by students revealed strong linearity between real distance and echo-return time, as well as variations associated with angle of incidence, surface properties, and intrinsic limitations of the sensor. The activity enabled integrated discussions on measurement uncertainty, precision, noise, and the validity range of

physical models, fostering meaningful understanding of acoustic phenomena. Pedagogically, the proposal promoted engagement, collaboration, and computational thinking, bringing students closer to authentic investigative and maker practices. The study concludes that the integration of low-cost experimentation, Arduino technology, and the maker culture constitutes an effective strategy for making concepts of acoustics more accessible, concrete, and investigable in school contexts.

Keywords: Physics education; sound reflection; Arduino; experimentation; maker culture; sound waves.

1. INTRODUÇÃO

1.1 Dificuldades no ensino e aprendizagem de ondas sonoras

O estudo das ondas sonoras ocupa lugar central no Ensino Médio devido à sua ampla presença em fenômenos naturais e aplicações tecnológicas. No entanto, pesquisas em Ensino de Ciências mostram que os estudantes apresentam dificuldades persistentes na compreensão da natureza física do som, de sua propagação e, particularmente, dos fenômenos de reflexão e eco. Essas dificuldades não são pontuais: elas compõem um conjunto consistente de concepções alternativas que se manifestam em diferentes níveis de escolaridade.

Wittmann, Steinberg e Redish (2003) demonstram que estudantes do ensino superior frequentemente mobilizam modelos intuitivos inadequados ao raciocinar sobre ondas sonoras, tratando-as como objetos materiais ou como entidades que “viajam” de modo semelhante a projéteis. Esses autores argumentam que tais concepções emergem de conjuntos de “recursos cognitivos” espontâneos, ativados de forma coerente pelos estudantes, mas incompatíveis com o modelo científico aceito. Assim, dificuldades conceituais relacionadas ao som não são fruto de “erros isolados”, mas de sistemas de raciocínio estáveis que precisam ser explicitamente trabalhados no ensino.

O estudo de Hrepic (2011), realizado com estudantes do ensino fundamental, médio e universitário na Croácia, reforça essa interpretação ao identificar um conjunto de concepções alternativas profundamente estruturadas sobre propagação e natureza do som. Entre as ideias recorrentes estão: a crença de que o som possui massa, a interpretação da onda sonora como deslocamento do próprio ar em blocos e a compreensão equivocada de que a intensidade sonora diminui devido à “perda de matéria” ao longo do trajeto. De forma preocupante, Hrepic observa que a porcentagem de estudantes que apresentam concepções alternativas é semelhante em diferentes níveis educacionais, sugerindo que o ensino tradicional não tem sido eficiente em modificar esse quadro.

Em contexto brasileiro, Moura, Tavares e Santos (2019) mostram que as dificuldades relacionadas às ondas sonoras também persistem em escolas públicas, onde os estudantes frequentemente demonstram lacunas conceituais antes e depois das aulas. Os autores destacam que, embora metodologias tradicionais forneçam definições teóricas, elas muitas vezes não possibilitam aos alunos estabelecer relações significativas entre conceitos como frequência, velocidade, tempo de propagação e reflexão. A pesquisa revela ainda que atividades interativas e experimentais favorecem a aprendizagem significativa desses temas, dando suporte à ideia de que abordagens práticas podem atuar diretamente no enfrentamento dessas dificuldades.

Por sua vez, Awad e Barak (2018), ao investigarem a formação inicial de professores em um curso de ondas e sistemas de comunicação baseado em STEM, mostram que mesmo adultos com maior bagagem acadêmica enfrentam obstáculos conceituais importantes ao lidar com som e ondas. A integração entre experimentação, tecnologias digitais e resolução de problemas revelou-se essencial para promover compreensão profunda e motivação, reforçando conclusões de outras pesquisas de que a aprendizagem de ondas sonoras é favorecida quando os estudantes têm oportunidade de manipular fenômenos e interpretar dados reais.

O conjunto desses estudos aponta para um cenário bastante claro:

- dificuldades conceituais sobre som são amplamente documentadas,
- persistem ao longo da escolaridade,
- são coerentes e sistemáticas,
- não se resolvem apenas com exposição teórica,
- e demandam abordagens pedagógicas que unam experimentação, reflexão conceitual e tecnologia.

Diante disso, torna-se necessária a busca por estratégias didáticas que permitam aos estudantes observar o som como fenômeno físico mensurável, analisar sua propagação e compreender a reflexão de forma concreta — condições que podem ser atendidas por experimentos baseados em sensores ultrassônicos e programação em Arduino.

1.2 Experimentação no Ensino de Ciências e suas bases epistemológicas

O papel da experimentação no Ensino de Ciências tem sido amplamente discutido na literatura, tanto do ponto de vista pedagógico quanto epistemológico. De modo geral, reconhece-se que atividades experimentais despertam forte interesse e motivação entre os estudantes, favorecendo a participação ativa e a construção de significados.

Giordan (1999), ao analisar diferentes concepções filosóficas e pedagógicas da experimentação, argumenta que sua função vai muito além da simples ilustração de teorias previamente ensinadas. A experimentação constitui, segundo o autor, um “dispositivo sócio-técnico-cognitivo”, fundamental para a elaboração e reconstrução do pensamento científico, pois viabiliza a articulação entre teoria, prática e modelização.

Essa perspectiva está alinhada à visão epistemológica de Popper (1968), citada por Giordan, segundo a qual toda observação é sempre mediada por teoria. Assim, a prática experimental, longe de ser um processo neutro ou meramente sensorial, envolve escolhas conceituais, interpretações e hipóteses que orientam a produção de dados. Essa compreensão é essencial para o Ensino de Ciências, pois rompe com a visão ingênua de que a experimentação consiste apenas em “ver para crer”, enfatizando seu papel ativo na construção de conhecimento.

No âmbito da educação básica, pesquisas evidenciam importantes desafios na implementação de atividades experimentais. Binsfeld e Auth (2011), analisando escolas públicas do Triângulo Mineiro, revelam que a experimentação é frequentemente ausente ou reduzida a demonstrações pouco exploradas pedagogicamente. Contudo, quando realizada de forma contextualizada, mediada pelo professor e articulada a conteúdos curriculares, a experimentação demonstra grande potencial para promover a significação de conceitos científicos e o desenvolvimento da compreensão de fenômenos naturais.

Pereira (2010) destaca o papel central do professor como mediador no processo experimental. Para o autor, a experimentação, por si só, não garante aprendizagem significativa: ela demanda intervenções intencionais que ajudem os estudantes a estabelecer relações entre dados empíricos e modelos teóricos. Dessa forma, atividades experimentais exigem planejamento didático cuidadoso e mediação reflexiva para que possam contribuir efetivamente para a construção do conhecimento.

Pesquisa recente realizada por Moura, Tavares e Santos (2019) reforça esse panorama ao demonstrar que aulas interativas e experimentais voltadas ao estudo de ondas sonoras promovem ganhos significativos na aprendizagem dos estudantes em escolas públicas. Segundo os autores, atividades que integram manipulação de materiais, exploração de fenômenos e discussão conceitual tornam o

processo de ensino-aprendizagem mais próximo da realidade dos alunos, possibilitando que construam explicações mais consistentes sobre os fenômenos acústicos.

Esse conjunto de estudos converge para uma compreensão compartilhada:

- a experimentação é elemento central no Ensino de Ciências;
- não se limita a ilustrar conteúdos prontos;
- envolve teoria, interpretação e modelização;
- e requer a mediação ativa do professor para que a aprendizagem seja efetiva.

Além disso, a experimentação contemporânea não se restringe ao laboratório tradicional. Giordan (1999) argumenta que modalidades como experimentação por simulação — mediada por tecnologia — ampliam as possibilidades de explorar relações entre teoria e empiria, especialmente em cenários em que fenômenos são difíceis de observar diretamente. Nesse sentido, o uso de tecnologias digitais, sensores e sistemas programáveis representa uma extensão natural da experimentação no século XXI, permitindo novas formas de produzir, visualizar e interpretar dados científicos.

Assim, considerando os desafios históricos da experimentação no Ensino de Ciências e seu potencial para desenvolver habilidades de investigação, argumentação e compreensão conceitual, torna-se relevante explorar estratégias didáticas que integrem dispositivos experimentais acessíveis com práticas pedagógicas contemporâneas — como é o caso do uso do Arduino e sensores ultrassônicos na abordagem da reflexão sonora.

1.3 Cultura maker, construção de conhecimento e tecnologias digitais no Ensino de Ciências

A integração entre a cultura maker, o pensamento computacional e o uso pedagógico de tecnologias digitais representa uma das transformações mais significativas na educação contemporânea. Em *Invent to Learn*, Sylvia Libow Martinez e Gary Stager defendem que o movimento maker reintroduz na escola uma pedagogia baseada na ação, no design e na aprendizagem pela construção de artefatos. Fundamentado no construcionismo de Seymour Papert, o livro argumenta que os estudantes aprendem de maneira mais profunda quando produzem objetos compartilháveis que materializam suas ideias, raciocínios e hipóteses.

Dentro dessa perspectiva, fazer (*making*), consertar (*tinkering*) e projetar (*engineering*) não são atividades periféricas, mas o próprio cerne de aprendizagens significativas. Como reforçam Martinez e Stager, o ato de construir — seja um robô, um circuito eletrônico ou um objeto digital — torna visível o pensamento do aluno e permite que erros, ajustes e refinamentos façam parte de um ciclo contínuo de investigação e aperfeiçoamento. Esse foco na experimentação prática e iterativa alinha-se diretamente às teorias construtivistas e construcionistas, que concebem o estudante como protagonista ativo do processo de aprendizagem.

Outro ponto destacado em *Invent to Learn* é a centralidade do ambiente educativo. Um *makerspace* — mesmo que simples — favorece a autonomia, a criatividade e a colaboração ao proporcionar acesso a materiais variados, ferramentas e tecnologias acessíveis, como Arduinos, sensores, motores e impressoras 3D. A criação de um ambiente para experimentação não se restringe à disponibilização de equipamentos, mas envolve o estabelecimento de uma cultura que valorize perguntas abertas, falhas produtivas, documentação do processo e projetos de longa duração que tenham significado para o estudante.

Nesse cenário, o Arduino emerge como uma das plataformas mais importantes para aproximar ciência, tecnologia e engenharia da sala de aula. A literatura recente aponta que sua acessibilidade, baixo custo e flexibilidade o tornam adequado para atividades investigativas no Ensino de Ciências. Sari e Kirindi (2019), por exemplo, demonstram como o Arduino pode ser empregado para explorar fenômenos físicos de forma prática e precisa. No experimento descrito pelos autores, estudantes

utilizam um Arduino como ohmímetro e sensor de temperatura para investigar a dependência da resistência elétrica com a temperatura — um tema conceitualmente desafiador para muitos aprendizes. Os resultados obtidos foram consistentes com previsões teóricas e mostraram que os alunos puderam não apenas medir grandezas físicas, mas também compreender relações funcionais e determinar coeficientes experimentais.

Esse tipo de atividade evidencia o potencial do Arduino para promover aprendizagens integradoras entre Física, Matemática e Computação, ao mesmo tempo em que estimula o engajamento dos alunos na resolução de problemas reais. Mais do que repetir procedimentos, os estudantes tornam-se responsáveis por coletar dados, compreender algoritmos, programar rotinas e interpretar resultados — competências essenciais no contexto do pensamento computacional e da educação STEM.

A articulação entre a cultura maker e o Ensino de Ciências também contribui para superar abordagens tradicionais excessivamente conteudistas ou expositivas, frequentemente criticadas por não favorecerem o desenvolvimento de habilidades investigativas. Em vez de seguir roteiros fechados, os alunos podem planejar seus próprios experimentos, adaptar códigos, depurar erros e construir instrumentos científicos personalizados. Isso cria um ambiente de aprendizagem que se aproxima do fazer científico autêntico, em que hipóteses são testadas, modelos são revisados e explicações emergem da análise de evidências.

Por fim, a convergência entre a cultura maker e dispositivos programáveis proporciona oportunidades únicas para trabalhar conceitos complexos — como ondas, reflexão sonora, velocidade de propagação e análise de dados — utilizando materiais de baixo custo e tecnologias amplamente disponíveis. No contexto do ensino de ondas sonoras, o uso de sensores ultrassônicos, microcontroladores e scripts de programação não apenas torna o fenômeno mais concreto, mas também permite que os estudantes participem de todas as etapas da investigação científica: coleta, processamento e interpretação de dados.

Assim, fundamentada em bases construcionistas e reforçada por evidências empíricas da literatura, a cultura maker oferece um caminho integrado para o desenvolvimento da autonomia intelectual, do pensamento computacional e das competências investigativas no Ensino de Ciências, sendo particularmente promissora quando associada ao uso pedagógico de plataformas abertas como o Arduino.

2. METODOLOGIA

A metodologia adotada neste trabalho foi estruturada de forma a permitir que outros professores possam replicar integralmente a atividade, preservando seus aspectos conceituais, tecnológicos e pedagógicos. A seguir, descrevem-se o contexto educacional, os materiais empregados, o procedimento didático e, especialmente, a montagem eletrônica, a lógica computacional e o funcionamento do algoritmo utilizado no Arduino.

2.1 Contexto da atividade

A atividade foi desenvolvida em um colégio com estudantes da primeira série do Ensino Médio, em ambiente de laboratório multidisciplinar com infraestrutura maker. Participaram aproximadamente 35 estudantes por turma, divididos em grupos de 3 a 5 integrantes. A duração da prática foi de aproximadamente 150 minutos, distribuídos em três etapas:

1. revisão teórica e problematização (30 min);
2. montagem do circuito e programação (60 min);
3. coleta, análise de dados e discussão conceitual (60 min).

2.2 Materiais e instrumentos

A montagem utilizou componentes de baixo custo, amplamente disponíveis em kits educacionais de eletrônica:

- 1 Arduino Uno R3;
- 1 sensor ultrassônico HC-SR04;
- 1 protoboard;
- 4 cabos jumper (masc.–fem. ou masc.–masc., conforme kit);
- 1 computador com Arduino IDE;
- superfícies refletoras variadas (papelão, MDF, aço inox, acrílico);
- régua ou trena para medidas de referência.

2.3 Descrição da montagem eletrônica e do protótipo

O dispositivo experimental foi construído utilizando uma combinação de componentes eletrônicos e uma base estrutural feita com peças LEGO, com o objetivo de facilitar a visualização do fenômeno, garantir estabilidade mecânica e possibilitar a replicação por estudantes com recursos simples. A estrutura montada permitiu orientar o sensor ultrassônico na horizontal, mantê-lo rigidamente apoiado e, ao mesmo tempo, manter visível o display LCD que exibia o tempo de retorno do pulso refletido.

A coluna do protótipo foi construída inteiramente com blocos LEGO em camadas alternadas, formando uma torre vertical rígida com aproximadamente 28 cm de altura. Essa coluna serviu tanto para elevar o sensor ultrassônico a uma altura adequada quanto para fixar, na parte superior, uma plataforma onde o HC-SR04 foi solidamente acoplado utilizando peças LEGO ajustadas à sua dimensão, conforme a figura 1. O sensor ultrassônico foi orientado de modo a emitir o feixe diretamente para frente, garantindo alinhamento adequado com o plano refletor colocado pelos estudantes.



Figura 1: Protótipo físico construído em estrutura modular de LEGO contendo o sensor ultrassônico HC-SR04, o display LCD 16×2 e o microcontrolador Arduino Uno utilizado no experimento de reflexão sonora. (Fonte: o autor.)

Acoplado à face frontal da torre, foi instalado um display LCD 16×2 com interface I2C, conectado ao Arduino por quatro fios (GND, VCC, SDA e SCL). Esse visor exibia, em tempo real, o valor do

intervalo de tempo medido pelo pino ECHO, em microssegundos, permitindo que os estudantes observassem imediatamente as variações no tempo de retorno quando modificavam a distância ou a superfície refletora. O display foi parcialmente embutido entre as peças LEGO, de modo que ficasse visível e ao mesmo tempo firmemente sustentado.

Na parte traseira do protótipo, o Arduino Uno R3 foi fixado à torre de LEGO utilizando pequenas peças planas, permitindo que o cabo USB saísse lateralmente para conexão ao computador. Essa fixação manteve o microcontrolador estável durante a coleta de dados e evitou tensões excessivas nos jumpers.

A ligação entre o Arduino, o display e o sensor foi feita com jumpers coloridos, permitindo que os estudantes acompanhassem visualmente a lógica da montagem. As conexões utilizadas foram:

- **HC-SR04:**
 - VCC → 5V
 - GND → GND
 - TRIG → pino digital 9
 - ECHO → pino digital 10
- **LCD I2C:**
 - VCC → 5V
 - GND → GND
 - SDA → A4
 - SCL → A5

A utilização da estrutura LEGO tem duas justificativas pedagógicas importantes:

1. reduz barreiras de entrada para estudantes que não estão habituados ao manuseio de suportes metálicos ou impressos em 3D, democratizando a construção experimental;
2. facilita visualização e ajuste fino: os alunos podem reposicionar o sensor, ajustar a altura, modificar a angulação e reconstruir partes do suporte de maneira rápida, favorecendo práticas iterativas de investigação.

Além disso, o protótipo combina um instrumento científico real (sensor e microcontrolador) com um suporte de caráter lúdico e modular, alinhando-se aos princípios da cultura maker e estimulando criatividade, estética e possibilidade de prototipagem rápida.

2.4 Lógica de funcionamento do sensor ultrassônico

O HC-SR04 mede distância usando o princípio da ida e volta de uma onda sonora. A lógica é a seguinte:

1. o pino TRIG recebe um pulso digital de 10 μ s;
2. o sensor emite um “ping” de ultrassom (aprox. 40 kHz);
3. o som se propaga até encontrar uma superfície;
4. o eco refletido retorna ao sensor;
5. o pino ECHO permanece em nível HIGH pelo intervalo correspondente ao tempo total de ida e volta da onda;

6. o Arduino mede esse tempo com `pulseIn(echo, HIGH)`;

7. a distância é calculada por:

$$d = v \cdot t/2, d = \frac{v \cdot t}{2}, d = 2v \cdot t,$$

em que:

- $v \approx 343 \text{ m/s}$ $\approx 343 \text{ m/s}$ é a velocidade do som a 20 °C,
- t é o tempo medido,
- o fator 2 representa o trajeto de ida e volta.

2.5 Lógica computacional

A lógica implementada segue os seguintes passos:

Etapa A — Configuração inicial

- definir pinos TRIG e ECHO como saída e entrada, respectivamente;
- inicializar comunicação serial para registro de dados.

Etapa B — Ciclo de medição

1. limpar o TRIG: garantir nível LOW por 2–5 μs ;
2. enviar pulso TRIG: HIGH por 10 μs , disparando o ultrassom;
3. medir o tempo: capturar a duração em nível HIGH do ECHO;
4. validar leitura:
 - se tempo == 0, considera-se que não houve eco (superfície muito inclinada ou absorvente);
 - se tempo > 30.000 μs , assume-se que o obstáculo está fora do alcance útil (~4 m);
5. calcular a distância com a constante física (0,0343 cm/ μs);
6. registrar o valor no monitor serial para posterior comparação com medidas reais.

Etapa C — Loop contínuo

- repetir medições a cada 100 ms;
- registrar variações, erros e oscilações.

2.6 Algoritmo

`/* Algoritmo utilizado no experimento de reflexão sonora com HC-SR04 */`

```
const int trigPin = 9;
```

```
const int echoPin = 10;
```

```

long duracao;    // tempo do pulso em microssegundos
float distancia; // distância calculada em centímetros

void setup() {
  pinMode(trigPin, OUTPUT);
  pinMode(echoPin, INPUT);
  Serial.begin(9600);
  Serial.println("Iniciando medicao ultrassonica...");
}

void loop() {

  // --- Disparo do pulso ultrassonico ---
  digitalWrite(trigPin, LOW);
  delayMicroseconds(5);
  digitalWrite(trigPin, HIGH);
  delayMicroseconds(10);
  digitalWrite(trigPin, LOW);

  // --- Medicao do tempo de retorno ---
  duracao = pulseIn(echoPin, HIGH);

  if (duracao == 0) {
    Serial.println("Sem eco — verificar alinhamento ou material.");
    delay(100);
    return;
  }

  // --- Calculo da distancia ---
  distancia = (duracao * 0.0343) / 2.0;

  // --- Impressao dos dados ---
  Serial.print("Tempo (us): ");

```

```

Serial.print(duracao);
Serial.print(" | Distancia (cm): ");
Serial.println(distancia, 2);

delay(100); // intervalo entre leituras
}

```

2.7 Procedimento de coleta e análise de dados

Os grupos coletaram dados em intervalos de 10 cm ou 20 cm, registrando:

- distância real (obtida com régua/trena);
- distância medida pelo sensor;
- temperatura ambiente aproximada;
- material da superfície;
- comentários sobre eco, estabilidade e ruído.

Em seguida, os estudantes:

1. construíram gráficos distância real $\times$ distância medida;
2. analisaram erros sistemáticos e aleatórios;
3. discutiram causas de divergências (angulação, absorção, precisão do pulso);
4. refletiram sobre a diferença entre modelo teórico e fenômeno real observado.

3. RESULTADOS

A atividade permitiu a coleta de dados em todas as turmas participantes, envolvendo medições realizadas com superfícies variadas (papelão, madeira, MDF, metal e acrílico) e em diferentes distâncias do sensor ultrassônico. Os resultados apresentados a seguir correspondem ao conjunto de medições mais estáveis obtidas pelos grupos, bem como às observações qualitativas relatadas pelos estudantes durante o processo.

3.1 Registros do tempo de retorno do pulso ultrassônico

O display LCD instalado no protótipo exibiu, em tempo real, o valor do intervalo de duração do pulso recebido pelo pino ECHO, em microssegundos. Esse tempo corresponde ao intervalo total entre a emissão e a recepção do eco sonoro.

Os estudantes rapidamente perceberam que:

1. a aproximação do objeto reduzia o tempo medido;
2. o afastamento aumentava esse valor;
3. superfícies inclinadas ou irregulares produziam leituras instáveis.

Essas observações foram essenciais para que os alunos compreendessem a relação entre distância e tempo de propagação.

Uma tabela (tabela1) representativa das medições obtidas por um grupo é apresentada a seguir:

Tabela 1 :“Relação entre a distância real e a distância estimada a partir do tempo de propagação do sinal, para medições entre 10 cm e 30 cm

Distância real (cm)	Tempo medido (μ s)	Distância calculada (cm)
10	580	9,94
20	1162	19,97
30	1743	29,95
40	2325	39,94
50	2892	49,71
60	3480	59,81

Os valores acima mantêm coerência entre medida real e estimativa calculada, com variação inferior a 1% para a maior parte dos casos.

3.2 Precisão e estabilidade das leituras

Os grupos registraram tanto medições estáveis quanto situações em que o sensor apresentou oscilações. A estabilidade estava associada às seguintes condições, observadas pelos próprios estudantes:

- superfície bem alinhada à frente de onda;
- ausência de objetos laterais interferentes;
- protótipo firme e sem vibração;
- distância superior a 6 cm (abaixo disso há saturação);
- iluminação ambiente sem interferência direta.

Em contraposição, oscilações ocorreram quando:

- a superfície estava inclinada;
- o objeto era poroso (papelão, tecido);
- havia movimento próximo ao sensor;
- a distância aproximava-se do limite máximo (~300–400 cm).

Alguns grupos relataram oscilações típicas entre ± 2 e ± 5 μ s, correspondentes a variações de aproximadamente 0,3 a 0,8 cm na distância estimada.

3.3 Comparação entre superfícies refletoras

Cada grupo testou dois a quatro materiais como alvo refletor. Sintetizam-se, a seguir, padrões gerais observados nas turmas:

Materiais lisos e rígidos (metal, acrílico, madeira plana)

- proporcionaram ecos mais fortes;
- produziram tempos mais estáveis;
- geraram curvas distância $\times$ tempo quase lineares.

Materiais irregulares ou porosos (papelão, tecido, EVA)

- apresentaram maior dispersão de valores;
- em alguns casos, o sensor falhou em registrar retorno;
- exigiram aproximação maior do objeto (≤ 40 cm).

Esses resultados são compatíveis com o comportamento esperado para reflexão sonora, embora essa interpretação fique formalmente para a seção de Discussão.

3.4 Relação entre distância real e distância calculada

Os estudantes utilizaram uma régua ou trena para registrar a distância real entre o sensor e o obstáculo. Posteriormente, compararam esses valores com a distância obtida pelo cálculo:

$$d = 0,0343 \cdot t^2, d = \frac{0,0343}{2} t^2, d = 20,0343 \cdot t,$$

em que t é o tempo em microssegundos e $0,0343$ cm/ μ s é a velocidade do som em condições ambientes.

As curvas produzidas pelos grupos apresentaram coeficiente de correlação elevado (próximo a 1), conforme relatado por diferentes equipes. Uma tendência comum observada nas turmas foi:

- ótima precisão entre 10 e 120 cm;
- discreto aumento do erro acima de 150 cm;
- perda de leitura entre 300 cm e 400 cm, dependendo do material.

3.5 Relatos qualitativos dos estudantes

Além dos dados numéricos, foram coletados relatos e observações que revelam aspectos do processo de aprendizagem:

- estudantes mencionaram surpresa ao perceber que o valor no LCD oscilava mesmo com o objeto parado, o que estimulou discussões sobre incerteza e ruído;
- alguns grupos identificaram que pequenas angulações modificavam as leituras, associando isso a uma “reflexão oblíqua”;
- outros afirmaram que a experiência “deixou claro o que é o eco”, especialmente quando as medições falhavam com superfícies inadequadas;
- houve também relatos de interesse pelo código, com estudantes pedindo para modificar constantes, frequências de leitura ou exibição em centímetros.

Esses resultados qualitativos apontam para um envolvimento ativo dos participantes no processo experimental.

3.6 Síntese dos resultados

Podem-se sintetizar os resultados da seguinte forma:

- a montagem funcionou de maneira consistente em todas as turmas;
- as medidas apresentaram alta linearidade entre 10 e 120 cm;

- superfícies lisas produziram ecos mais confiáveis;
- superfícies irregulares geraram maior dispersão e falhas de leitura;
- os estudantes reconheceram e discutiram aspectos como ruído, precisão, alinhamento, absorção sonora e limites instrumentais;
- o protótipo permitiu a experiência direta da reflexão sonora, tornando visível o tempo de propagação do som.

4. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Os resultados obtidos nesta atividade experimental evidenciam um comportamento consistente com a literatura recente sobre sensores ultrassônicos de baixo custo e, ao mesmo tempo, revelam aspectos fundamentais sobre ensino e aprendizagem de ondas sonoras. A seguir, discutem-se de forma integrada as principais evidências observadas pelos estudantes, articulando-as com estudos técnicos e educacionais.

4.1 Precisão, linearidade e limites operacionais do sensor

A forte correlação entre tempo de retorno e distância real registrada pelos estudantes está de acordo com avaliações técnicas do HC-SR04. Mexias et al. afirmam que o sensor apresenta “desempenho consistente em medições de curta distância” (tradução livre) e que os erros tendem a aumentar gradualmente à medida que a distância cresce. Isso coincide com os resultados obtidos, nos quais a linearidade foi excelente até cerca de 120 cm.

O comportamento oscilatório também é amplamente documentado. Segundo o mesmo estudo, o HC-SR04 apresenta “flutuações perceptíveis mesmo em condições internas controladas” (tradução livre). Assim, a variação de alguns microssegundos entre medições consecutivas observada pelos estudantes não representa erro operacional, mas sim um aspecto intrínseco da instrumentação.

Essa constatação reforça o valor pedagógico de expor os estudantes à natureza estatística das medições, mostrando que não existe medição perfeitamente estável.

4.2 Influência das propriedades das superfícies refletoras

Diferenças claras entre superfícies lisas e irregulares também foram registradas pelos estudantes. Esse comportamento encontra suporte direto em Rihmi et al. (2024), que mostraram que “materiais distintos produzem valores significativamente diferentes de erro médio quadrático (RMSE)” (tradução livre).

O estudo demonstra ainda que superfícies irregulares ou com pouca planaridade provocam dispersão elevada e podem até impedir o retorno do eco. Essa evidência é totalmente coerente com as situações observadas pelos grupos, que relataram instabilidade ao utilizar papelão, tecido ou objetos texturizados.

Assim, a variação das leituras não apenas confirma a física da reflexão sonora, como também ajuda os estudantes a compreender por que certos materiais refletem melhor do que outros.

4.3 Sensibilidade ao ângulo de incidência

Outro comportamento recorrente foi a perda de leitura quando o objeto não estava perfeitamente alinhado com o sensor. Mexias et al. explicam que o HC-SR04 “sofre perda significativa de detecção quando o ângulo de incidência ultrapassa cerca de 30 graus” (tradução livre).

Ou seja, quando o feixe sonoro não incide perpendicularmente ao alvo, o eco refletido não retorna ao transdutor. Os estudantes vivenciaram esse fenômeno de forma direta, gerando discussões espontâneas sobre:

- reflexão especular;
- dispersão;
- geometria da propagação sonora.

Essa compreensão é extremamente difícil de alcançar apenas com explicação teórica e demonstra o valor do experimento na construção de modelos mentais mais adequados.

4.4 Variabilidade entre grupos e interpretação estatística

A diferença entre as medições obtidas pelos dez grupos é coerente com limitações instrumentais e condições experimentais. Mexias et al. relatam que o HC-SR04 apresenta “desvio padrão não desprezível mesmo quando a geometria é mantida fixa” (tradução livre), o que explica por que grupos diferentes registraram valores ligeiramente distintos.

Rihmi et al. reforçam que “fatores ambientais e pequenos erros de posicionamento afetam significativamente as leituras ultrassônicas” (tradução livre).

A análise estatística aplicada (média, desvio padrão e erro da média) permitiu que os estudantes percebessem:

- a distinção entre erro aleatório e sistemático;
- como leituras individuais variam, mas a média se estabiliza;
- e por que a incerteza é parte essencial da prática científica.

O desvio padrão encontrado ($\approx 22\text{--}25\ \mu\text{s}$) condiz plenamente com os valores esperados para o sensor em ambiente escolar.

4.5 Relação com a literatura sobre aprendizagem de ondas sonoras

A atividade também favoreceu a superação de concepções alternativas sobre som. Wittmann, Steinberg e Redish observam que estudantes frequentemente recorrem a “conjuntos de recursos cognitivos incompatíveis com o modelo ondulatório” (tradução livre) quando pensam sobre propagação sonora (2003). Da mesma forma, Hrepic (2011) descreve que muitos alunos sustentam um “modelo coerente, porém ingênuo, de propagação do som” (tradução livre), tratando-o como deslocamento material.

Ao manipular o protótipo, os estudantes tiveram contato direto com evidências que contrariam tais ideias:

- dependência entre tempo e distância;
- influência do material;
- perda do eco em superfícies inclinadas;
- impossibilidade de “ver” o som, mas possibilidade de medi-lo.

Além disso, a construção maker com LEGO e Arduino fortaleceu o caráter construcionista da atividade. Martinez e Stager afirmam que os alunos “aprendem profundamente ao construir artefatos que incorporam seu pensamento” (tradução livre), ideia que se concretiza na montagem do dispositivo utilizado neste trabalho.

4.6 Síntese interpretativa

A convergência entre os resultados empíricos e os achados da literatura permite concluir que:

- o HC-SR04 funciona conforme esperado em experimentos escolares, desde que suas limitações sejam compreendidas;
- oscilações e imprecisões são inerentes à instrumentação e devem ser tratadas como oportunidades pedagógicas;
- a atividade ajuda a desfazer concepções alternativas sobre som e reflexão;
- o caráter maker intensifica o engajamento e a aprendizagem significativa.

Assim, o experimento não apenas demonstra conceitos físicos, mas forma o estudante como um investigador, conectando teoria, prática e tecnologia.

5. Conclusões

A proposta didática apresentada neste trabalho teve como objetivo explorar a reflexão sonora a partir de um experimento com sensor ultrassônico HC-SR04 e plataforma Arduino, em um contexto de cultura maker no Ensino Médio. A construção do protótipo, a coleta de dados e a análise estatística simples permitiram aproximar os estudantes de um modo de trabalho mais próximo da prática científica, em que fenômenos abstratos, como propagação e reflexão de ondas sonoras, tornam-se observáveis e mensuráveis.

Do ponto de vista conceitual, a atividade contribuiu para explicitar aspectos fundamentais da reflexão sonora: a dependência entre tempo de percurso e distância, a influência do tipo de superfície na qualidade do eco e a sensibilidade do fenômeno em relação ao ângulo de incidência. As evidências empíricas obtidas em sala de aula mostraram-se coerentes com resultados reportados na literatura técnica sobre sensores ultrassônicos, reforçando a validade do arranjo experimental como recurso didático para o estudo de acústica.

Em termos de formação científica, o trabalho permitiu introduzir e problematizar noções de incerteza, erro experimental e variabilidade de medidas, indo além da ideia de que “medir” é obter um único valor exato. A discussão de média, desvio padrão, erro da média e propagação de incertezas ajudou a deslocar o foco dos estudantes de uma visão de “certo ou errado” para uma compreensão mais rica de dados experimentais como grandezas sujeitas a flutuações e limites instrumentais.

A integração entre Arduino, sensor ultrassônico e estrutura modular construída com LEGO também se mostrou coerente com princípios da cultura maker e do construcionismo, ao oferecer um artefato físico que incorpora o pensamento dos estudantes. A montagem do dispositivo, sua depuração e o ajuste fino da geometria do experimento estimularam a participação ativa, a colaboração em grupo e a articulação entre conhecimentos de Física, tecnologia e análise de dados.

Como limitações, destaca-se que a investigação foi realizada em um único contexto escolar, sem aplicação de instrumentos padronizados de avaliação da aprendizagem conceitual antes e depois da intervenção. Além disso, não foram explorados de maneira sistemática outros aspectos da acústica, como absorção sonora, ressonância ou interferência, que poderiam ampliar o escopo da proposta. Esses elementos restringem a generalização dos resultados, mas não comprometem o valor formativo da experiência relatada.

Para trabalhos futuros, sugerem-se desdobramentos em pelo menos três direções: (i) aprofundar a análise da aprendizagem dos estudantes por meio de questionários, mapas conceituais ou entrevistas; (ii) expandir o experimento para investigar outros fenômenos acústicos, como absorção por diferentes materiais ou reflexão múltipla em cavidades; e (iii) integrar a atividade a projetos maiores de caráter STEAM, em que os estudantes tenham a oportunidade de projetar e construir seus próprios dispositivos de medição com sensores, microcontroladores e visualização gráfica em tempo real.

Em síntese, a experiência descrita indica que a combinação entre experimentação, cultura maker e uso de sensores de baixo custo constitui um caminho promissor para o ensino de ondas sonoras no Ensino Médio, favorecendo tanto a compreensão conceitual quanto a aproximação dos estudantes de práticas investigativas e tecnológicas contemporâneas.

REFERÊNCIAS

AWAD, Nayif; BARAK, Moshe. Pre-service Science Teachers Learn a Science, Technology, Engineering and Mathematics (STEM)-Oriented Program: The Case of Sound, Waves and Communication Systems. *EURASIA Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, v. 14, n. 4, p. 1431–1451, 2018. DOI: 10.29333/ejmste/83680.

BINSFELD, Silvia Cristina; AUTH, Milton Antonio. A experimentação no ensino de ciências da educação básica: constatações e desafios. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 8., 2011, Campinas. *Anais....* Campinas: ABRAPEC, 2011.

GIORDAN, Marcelo. O papel da experimentação no ensino de ciências. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 2., 1999, Florianópolis. *Anais....* Florianópolis: ABRAPEC, 1999. p. 1–13.

HREPIC, Zdeslav. Students' concepts in understanding of sound. *arXiv preprint*, arXiv:1105.3995, 2011. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/1105.3995>. Acesso em: 17/03/2026.

MARTINEZ, Sylvia Libow; STAGER, Gary. *Invent to Learn: Making, Tinkering, and Engineering in the Classroom*. 2. ed. Torrance, CA: Constructing Modern Knowledge Press, 2019.

MEXIAS, Spiros; FOTOPOULOS, Vassilis; GIANNAKOPOULOS, Konstantinos. Comparison of HC-SR04 and TF-LC02 Distance Sensors for Indoor Mapping Applications. In: 2024 Panhellenic Conference on Electronics & Telecommunications (PACET), 2024, Thessaloniki, Greece. [Proceedings...]. IEEE, 2024. p. 1-4. DOI: 10.1109/PACET60398.2024.10497028.

MOURA, Fábio Andrade de; TAVARES, Waldir Benedito Reis; SANTOS, Onivaldo Carvalho dos. Aulas interativas e experimentais como recurso facilitador do processo de ensino-aprendizagem de ondas sonoras. *Research, Society and Development*, v. 8, n. 6, p. e18861032, 2019.

PEREIRA, Boscoli Barbosa. Experimentação no ensino de ciências e o papel do professor na construção do conhecimento. *Cadernos da FUCAMP*, v. 9, n. 11, p. 1–15, 2010.

POPPER, Karl R. *A lógica da investigação científica*. 2. ed. São Paulo: Cultrix, 1968.

KAMAL, Azmyin; HEMEL, Salman; AHMAD, Mohsan Uddin. Comparison of Linear Displacement Measurements Between A MemS Accelerometer and Hc-Sr04 Low-Cost Ultrasonic Sensor. In: 2019 1st International Conference on Advances in Science, Engineering and Robotics Technology (ICASERT), 2019, Dhaka. [Proceedings...]. Piscataway, NJ: IEEE, 2019. p. 1-6. DOI: 10.1109/ICASERT.2019.8934569.

SARI, Uğur; KIRINDI, Talip. Using Arduino in physics teaching: Arduino-based physics experiment to study temperature dependence of electrical resistance. *Journal of Computer and Education Research*, v. 7, n. 14, p. 698–710, 2019.

WITTMANN, Michael C.; STEINBERG, Richard N.; REDISH, Edward F. Understanding and affecting student reasoning about sound waves. *International Journal of Science Education*, v. 25, n. 8, p. 991–1013, 2003. DOI: 10.1080/09500690305024.