



## ARTIGO

### A ROBÓTICA DE BAIXO CUSTO NA AMAZÔNIA: PROMOVENDO O DESENVOLVIMENTO COGNITIVO E A SUSTENTABILIDADE NO ENSINO DE ELETROMAGNETISMO

LOW-COST ROBOTICS IN THE AMAZON: PROMOTING COGNITIVE DEVELOPMENT AND SUSTAINABILITY IN ELECTROMAGNETISM EDUCATION

*Eixo Temático 1. práticas sustentáveis.*

CUNHA, Michel Albuquerque da <sup>1</sup>  
ARAÚJO, Maicon Maciel Ferreira de <sup>2</sup>  
ALMEIDA, Fabrício Moraes de <sup>3</sup>

#### **Resumo:**

A crise no ensino de Física no Brasil, marcada pela escassez de professores e pela persistência de métodos ultrapassados baseados na memorização, evidencia a necessidade de estratégias inovadoras que despertem o interesse dos estudantes e promovam o aprendizado significativo. Nesse contexto, o presente trabalho tem como proposta investigar o potencial da robótica educacional de baixo custo como ferramenta catalisadora do desenvolvimento cognitivo no ensino de eletromagnetismo, unindo teoria e prática a partir da recriação do experimento de Heinrich Hertz. O objetivo central foi desenvolver e aplicar um protótipo funcional e acessível, utilizando materiais recicláveis e ecologicamente corretos, capaz de demonstrar a propagação das ondas eletromagnéticas, estabelecendo uma ponte entre a teoria de campos de Maxwell e sua comprovação experimental. Fundamentado em autores como Freire (1988), Gil (2002), Hayt e Buck (2001) e outros, o estudo associa o uso das Tecnologias Digitais de Informação e Comunicação (TDIC's) à prática pedagógica sustentável e colaborativa. Metodologicamente, trata-se de uma pesquisa aplicada de natureza experimental, na qual foi construído um protótipo de robótica educacional baseado em Arduino, composto por antenas de cobre, placas de alumínio, resistores, LEDs e módulo Bluetooth, com o intuito de comprovar a recepção de sinais e validar o comportamento teórico das ondas eletromagnéticas. A coleta de dados foi realizada a partir de medições de tensão em diferentes distâncias entre as antenas, registradas via aplicativo "Serial Bluetooth Terminal", permitindo observar oscilações compatíveis com as previsões da teoria eletromagnética. Os resultados mostraram que o modelo elaborado é funcional, ainda que sujeito a interferências externas e capacitâncias parasitas, confirmando o potencial do uso da robótica educacional para a compreensão prática de fenômenos abstratos. Além do valor didático, o projeto apresenta relevância ambiental e social, ao promover o reaproveitamento de resíduos eletrônicos e a redução do descarte inadequado, contribuindo para a sustentabilidade. Conclui-se que a robótica de baixo custo, quando integrada ao ensino de Física, estimula a criatividade, o pensamento crítico e o trabalho em equipe, transformando o aluno em agente ativo do aprendizado. Como perspectivas futuras, propõe-se otimizar o protótipo para reduzir interferências e aplicar o modelo em ambientes escolares, reforçando seu papel como instrumento acessível, sustentável e promotor do desenvolvimento cognitivo e regional.

**Palavras-chave:** Antena de Hertz. Robótica educacional. Desenvolvimento cognitivo. Eletromagnetismo. Arduino.

<sup>1</sup> Graduando de Engenharia Elétrica na Faculdade Metropolitana de Rondônia – UNNESA, <http://lattes.cnpq.br/5994672407187971>, e-mail: [michelalb07@gmail.com](mailto:michelalb07@gmail.com)

<sup>2</sup> Doutorando em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente (UNIR). Docente na Mediação Tecnológica de Rondônia – SEDUC/RO <http://lattes.cnpq.br/0500045213932187>, e-mail: [maiconmaciel14071991@seduc.ro.gov.br](mailto:maiconmaciel14071991@seduc.ro.gov.br)

<sup>3</sup> Doutor em Física (UFC). Docente na Universidade Federal de Rondônia – UNIR - <http://lattes.cnpq.br/5959143194142131>, e-mail: [prof.fabricio@unir.br](mailto:prof.fabricio@unir.br)



## ARTIGO

### Abstract

The crisis in Physics education in Brazil, marked by the shortage of teachers and the persistence of outdated methods based on memorization, reveals the need for innovative strategies that stimulate students' interest and promote meaningful learning. In this context, this study aims to investigate the potential of low-cost educational robotics as a catalyst for cognitive development in electromagnetism teaching, integrating theory and practice through the recreation of Heinrich Hertz's experiment. The main goal was to develop and apply an accessible and functional prototype, built with recyclable and environmentally friendly materials, capable of demonstrating the propagation of electromagnetic waves, bridging the gap between Maxwell's field theory and its experimental verification. Based on authors such as Freire (1988), Gil (2002), Hayt and Buck (2001), among others, the research links the use of Digital Information and Communication Technologies (ICTs) to sustainable and collaborative pedagogical practices. Methodologically, it is classified as an applied experimental research, in which a functional educational robotics prototype based on Arduino was designed, composed of copper antennas, aluminum plates, resistors, LEDs, and a Bluetooth module, aiming to validate the reception of signals and the theoretical behavior of electromagnetic waves. Data collection involved measuring voltage at various distances between antennas, recorded via the "Serial Bluetooth Terminal" application, revealing oscillations consistent with electromagnetic theory. The results demonstrated that the proposed model is functional, though subject to external interferences and parasitic capacitances, confirming the potential of educational robotics in facilitating the practical understanding of abstract phenomena. Beyond its didactic contribution, the project also holds environmental and social significance by promoting electronic waste reuse and reducing improper disposal, thereby contributing to sustainability. It is concluded that low-cost robotics, when integrated into Physics education, fosters creativity, critical thinking, and teamwork, transforming students into active participants in the learning process. Future developments aim to optimize the prototype to reduce interference and implement it in educational environments, reinforcing its role as an accessible, sustainable, and cognitively enriching tool for local and academic development.

**Keywords:** Educational robotics. Electromagnetism. Cognitive development. Arduino. Sustainability.

### 1. Introdução

A educação básica brasileira enfrenta uma crise estrutural que se manifesta em diferentes áreas do conhecimento, e o ensino de Física é uma das mais afetadas. Na região Amazônica, esse cenário torna-se ainda mais desafiador, marcado pela carência de professores qualificados, pela falta de formação continuada e pela escassez de infraestrutura adequada nas escolas. Além disso, as grandes distâncias geográficas e as dificuldades de acesso a tecnologias e recursos didáticos agravam o quadro, contribuindo para a desigualdade educacional entre o Norte e outras regiões do país.

Somado a esse contexto, persistem práticas pedagógicas ultrapassadas que priorizam a memorização e o ensino conteudista, herança de modelos do século XIX



## ARTIGO

que limitam o protagonismo estudantil. Tal abordagem mantém o professor como o centro do processo de ensino e restringe a criatividade e o pensamento crítico dos alunos. Como observa Freire (1988), essa “educação bancária” perpetua uma relação passiva com o conhecimento e impede o desenvolvimento de uma aprendizagem significativa. Superar esse modelo exige a adoção de metodologias inovadoras que aproximem o ensino da realidade social e ambiental dos estudantes amazônidas.

Nesse sentido, a integração das Tecnologias Digitais de Informação e Comunicação (TDIC's) e da Robótica Educacional apresenta-se como um caminho estratégico para transformar o ensino de Física na Amazônia. Essas ferramentas permitem unir teoria e prática de maneira interativa, estimulando a curiosidade, o raciocínio lógico e o trabalho colaborativo (Fernandes e Zanon, 2022). Quando aliadas a uma perspectiva sustentável, contribuem ainda para a formação de cidadãos críticos e conscientes de seu papel na preservação do meio ambiente e no desenvolvimento regional.

A inovação tecnológica, nesse contexto, deve estar comprometida com a sustentabilidade e com a valorização do território amazônico. Em uma região que concentra imensa biodiversidade e enfrenta desafios sociais e ambientais complexos, a educação científica deve atuar como vetor de transformação. Conforme defendem Camargo e Mansano (2021), o cidadão é capaz de transformar o mundo de forma positiva quando inserido em um ambiente que valoriza práticas sustentáveis e equitativas. A robótica educacional de baixo custo, ao utilizar materiais recicláveis e componentes eletrônicos reaproveitados, atende a essa demanda ao mesmo tempo em que reduz custos e estimula o reaproveitamento de resíduos (Teixeira et al., 2018).

As avaliações nacionais, como o Exame Nacional do Ensino Médio (ENEM), indicam a necessidade de aperfeiçoar o ensino de Física de modo que contemple não apenas a teoria, mas também sua aplicação prática. O eletromagnetismo, um dos conteúdos mais recorrentes nessas avaliações (Dias, Silva e Filho, 2021), exige estratégias pedagógicas que tornem tangíveis conceitos abstratos. Nesse contexto, o uso de experimentos e protótipos de robótica oferece uma oportunidade para que os



## ARTIGO

alunos amazônidas visualizem e compreendam fenômenos invisíveis aos sentidos, fortalecendo o vínculo entre o conhecimento científico e o cotidiano.

As tecnologias modernas de comunicação, fundamentadas nas teorias de Maxwell e nos experimentos de Hertz, representam uma excelente ponte entre teoria e prática. Andrade e Corrêa (2023) destacam que o uso da linguagem científica mediada pela tecnologia amplia a capacidade dos discentes de relacionar ciência, inovação e sustentabilidade.

Assim, o presente trabalho foi desenvolvido no contexto amazônico com o objetivo de construir e aplicar um protótipo de robótica educacional sustentável, utilizando materiais recicláveis e de baixo custo, para reproduzir o experimento de Hertz. Essa iniciativa visa não apenas facilitar a compreensão dos princípios do eletromagnetismo, mas também promover o desenvolvimento cognitivo, a inovação tecnológica e a sustentabilidade social e ambiental na Amazônia.

## 2. Fundamentação Teórica

A compreensão das ondas eletromagnéticas pode ser melhor alcançada através do experimento de Heinrich Hertz (1857-1894), uma vez que representa uma confirmação experimental de uma das mais ambiciosas previsões teóricas contempladas no século XIX que é a teoria de campos do físico James Clerk Maxwell (1831-1879). Este evento, na visão de Toledo e Cavalcante (2021), permitiu que as tecnologias mais recentes que possuem como embasamentos teóricos e fenômenos físicos como recepção, emissão e propagação consolida um período de transição entre teorias que vai da física de Newton e as forças a distância para uma física moderna de campos.

Ao trabalhar na teoria dos campos, Maxwell precisou idealizar um formalismo matemático que fosse adequado para aplicação na árdua missão de unificar uma teoria que abordasse fenômenos magnéticos e elétricos, antes vistas como isoladas e independentes. Maxwell percebeu que fenômenos luminosos são expressões de ondas do tipo transversais e que estas possuem a mesma natureza que constitui e explica a eletricidade e o magnetismo (Lima et al., 2024).



## ARTIGO

Nesta abordagem matemática, Maxwell consegue resolver as equações diferenciais e chega numa solução que demonstra que a velocidade com que uma onda eletromagnética se propaga é universalmente uma constante que coincide com a velocidade de propagação da luz. Essa igualdade, segundo Gonzalez Pérez (2023), entre os resultados encontrados matematicamente por Maxwell e o experimentalmente por Hertz dão forte embasamento para aproximar a teoria ondulatória da luz com o eletromagnetismo.

Michael Faraday (1791 – 1867) introduziu no eletromagnetismo o conceito de campo e vai contra a ideia de Isaac Newton de ação instantânea à distância. Na perspectiva de Rodríguez Ortiz (2016), esta ideia de Faraday serviu como base para uma parcela das teorias de Maxwell.

Na visão de Faraday, forças podem atuar sobre outras forças em pontos próximos entre si e não a distância. Fenômeno que ele associou as perturbações de campo cujo tempo para manifestação não foi por ele quantificada.

Em contraste, a eletrodinâmica anterior, como a teoria de Ampère-Weber, de corte newtoniano, explicava os fenômenos através de ações a distância com velocidade infinita, paradigma dominante no continente europeu até Hertz. No continente europeu, existia até antes dos trabalhos de Hertz o paradigma de que essas ondas apresentavam velocidade infinita, ocorrendo os fenômenos portanto de forma instantânea. Paradigma este sustentado pela visão da eletrodinâmica ainda embasada em Ampère-Weber.

A academia de Ciências de Berlim, motivada pelas previsões teóricas de Maxwell, ofereceu um prêmio no ano de 1867 para quem pudesse comprovar as ondas eletromagnéticas. O que, segundo Balsas (2021), deveria haver nessa investigação algo palpável que relacionasse polarização elétrica em isolantes e forças eletrodinâmicas. Essa exigência foi historicamente um ponto de partida norteadora para as temáticas experimentais e Hertz.

Os estudos experimentais de Hertz, realizados em Karlsruhe no período compreendido entre 1885 e 1889, findou com a ratificação da existência e transmissão das ondas eletromagnéticas no ar e feitas com uma velocidade comprovadamente



## ARTIGO

finita. Sendo a trajetória de Hertz voltada da transição de um entendimento mais tradicional da eletrônica e migrando para a visão de campo defendida por Maxwell.

O propósito de Hertz era expressar que a mudança da polarização de substâncias dielétricas induzia um campo magnético. Com a finalidade de gerar os pulsos eletromagnéticos, Hertz fez uso do oscilador linear, que era constituído de duas grandes esferas metálicas unidas por um condutor, interrompido por um faiscador. Este oscilador, segundo Gonzalez Pérez (2023) combinado com uma bobina do tipo Ruhmkorff e uma garrafa de Leyden, modificada a corrente elétrica contínua em uma corrente variante, resultando em uma chispa oscilante de alta frequência.

No experimento de Hertz, a detecção do sinal deve levar em consideração a relação de ressonância existente entre o circuito que o recebe e a frequência do circuito fonte da oscilação. Segundo Segura Lopez (2015), o cientista utilizou um ressonador que tinha o formato de espira aberta que produzia faísca, sendo que este centelhamento foi um indício da existência de propagação.

Na perspectiva de Hertz, o conjunto de equações que expressam a essência da teoria era a contribuição mais duradoura de Maxwell. Qualquer representação que resultasse nesse mesmo conjunto seria simplesmente uma manifestação ou variação particular da teoria de Maxwell (Hertz, 1962, p. 21). A confirmação experimental de Hertz foi fundamental para o desenvolvimento posterior das comunicações, influenciando estudos na transmissão de telegrafia sem fios.

Com base em suas experiências, Hertz revelou que as ondas eletromagnéticas apresentavam um comportamento tipicamente ondulatório, confirmando as características de reflexão, refração e polarização. A constatação da polarização comprovou a natureza transversal das OEM.

Hertz empregou uma tela de fios, que funcionava como uma lâmina de turmalina, permitindo a passagem da componente do campo elétrico perpendicular aos fios. Segundo Lima et al. (2024), a reflexão regular foi atestada ao direcionar o raio eletromagnético para uma parede, notando que os ângulos de incidência e reflexão eram idênticos. Ademais, a refração foi demonstrada através do uso de um prisma de piche.



## ARTIGO

O dipolo Hertziano, fundamental no estudo do eletromagnetismo, é um modelo idealizado para a radiação de uma fonte de corrente oscilante (HAYT JR.; BUCK, 2001, p. 175). Este elemento condutor possui um comprimento muito pequeno em relação ao comprimento de onda e apresenta uma distribuição de corrente linear, alcançando o valor máximo no centro e decaindo a zero nas extremidades.

Na visão de Hayt e Buck (2001), a quantificação dos campos elétrico e magnético na zona de radiação em função da distância define a capacidade de propagação da onda. A amplitude do campo elétrico de radiação é inversamente proporcional à distância a partir do dipolo. O campo magnético de radiação está diretamente relacionado ao campo elétrico por meio da impedância intrínseca do meio.

Os termos com  $1/r^2$  e  $1/r^3$  predominam nas proximidades do elemento de corrente, mas só o termo  $1/r$  permanece relevante em regiões distantes. Assim, na zona distante, apenas o termo  $1/r$  é relevante, tornando válidas as equações apresentadas para os campos magnéticos e elétricos:

$$H_{\phi,s} = \frac{jI_0\beta dl}{4\pi r} \sin\theta e^{-j\beta r}, E_{\theta,s} = \eta H_{\phi,s} \quad (01)$$

Os campos de irradiação são ortogonais e estão em fase, como ondas planas. Segundo Sadiku (2012), os limites entre zona próxima e distante são dados pelas condições  $\beta r \ll 1$  e  $\beta r \gg 1$ . A equação 01 contém termos que juntos descrevem os campos irradiados, nela temos que  $j$  mostra que o campo oscila;  $\omega$  é a frequência;  $\beta$  é o número de onda, ligado ao comprimento de onda;  $I$  indica a corrente do elemento emissor;  $4\pi r$  mostra o espalhamento com a distância;  $\eta$  é a impedância do meio; e  $H_{\phi,s}$ ,  $E_{\theta,s}$  são os valores dos campos magnético e elétrico emitidos.

### 3. Metodologia

De forma geral, pela natureza prática do objetivo do presente trabalho em construir um protótipo de robótica educacional funcional para fins de ensino, este se enquadra primeiramente na pesquisa aplicada, pois o foco é o desejo de fazer algo de maneira eficiente (GIL, 2002, p. 41). Neste caso a eficácia está em apresentar uma

## ARTIGO

releitura de um dos experimentos mais tradicionais na história do eletromagnetismo fazendo o uso de tecnologias que possam ser aplicadas ao ensino.

Em termos de delineamento, segundo Gil (2002), a construção de um protótipo funcional e a demonstração controlada de um fenômeno se aproxima do modelo de Pesquisa Experimental. Isso é reforçado pelo fato de que o artigo visa demonstrar a viabilidade de uma técnica como uma solução potencial e prática para problemas educacionais futuros.

No quadro 01 a seguir constam os materiais necessários para a montagem do protótipo.

**Quadro 01:** materiais utilizados na montagem.

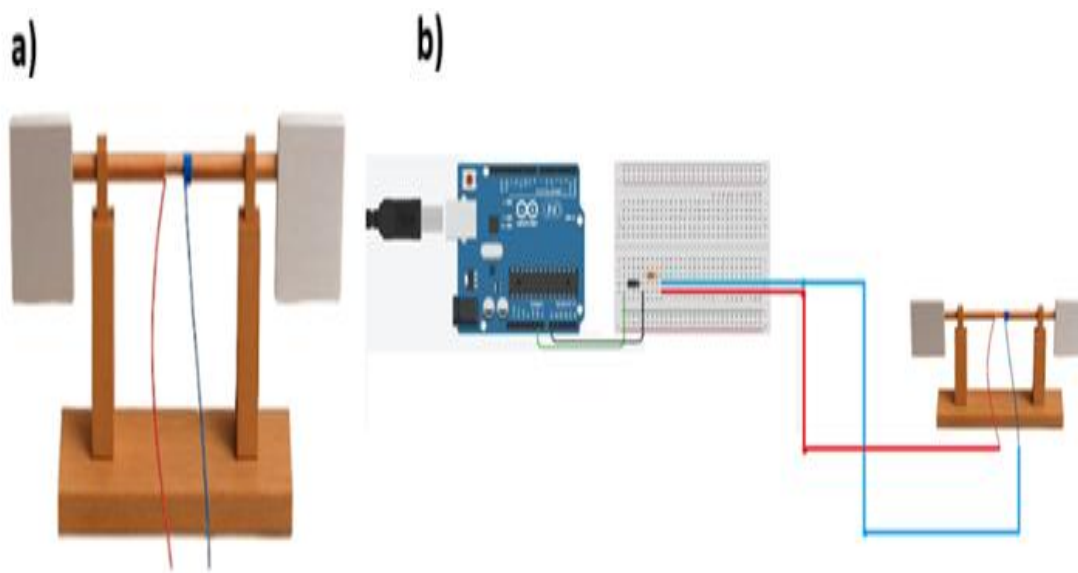
Quantidade	Descrição do material	Tamanho
04	Haste de cobre	33cm
11	Jumper	Variável
02	Led difuso 5mm	-
01	Buzzer ativo – 5V	-
01	Diodo (1n4007)	-
03	Resistor de Cerâmica 1k ohm	-
02	Suporte para as hastes de cobre	-
04	Placa de alumínio	10 x 7 cm
04	Fio de rede retirados de um cabo de internet - rj45	30cm
01	Fonte de alimentação ou power bank	-
01	Modulo bluetooth - hc05	-
01	Arduino Uno R3	-
01	Protoboard de 1660 pontos	-

Fonte: elaborado pelos autores, 2025.

Para fazer a montagem das antenas, as hastes de cobre foram fixadas no suporte, de modo que ficassem dispostas em série e separadas por uma distância de aproximadamente 0,5 mm a 1 mm. Ressalta-se que, quanto menor a distância entre as hastes, mais facilmente o sinal flui; entretanto, elas não devem entrar em contato físico.

Após a fixação das hastes, foram fixadas as placas de alumínio, as quais permaneceram em contato direto com o cobre. Essa configuração possibilita a captação das ondas eletromagnéticas pelas placas e sua transferência para as hastes. Garantiu-se que todas as placas estivessem firmemente presas e mantivessem distância e altura iguais em relação ao suporte, assegurando o paralelismo perfeito entre elas, conforme ilustrado na Figura 1.a)

Figura 1 – a) Diagrama das antenas. b) Diagrama da conexão da antena receptora no Arduino.



Fonte: elaborado pelos autores, 2025.

Para a antena receptora, os fios de um cabo de rede foram conectados às extremidades internas e posteriormente ao Arduino, de forma que este pudesse receber os dados. A ligação foi realizada da seguinte maneira: o terminal GND do Arduino foi conectado ao ânodo do diodo; o pino A0 foi conectado ao nó que contém o cátodo do diodo e um resistor de 1 k $\Omega$ ; e, por fim, os fios da antena foram ligados à outra extremidade do resistor. Essa configuração é representada na Figura 1.b).

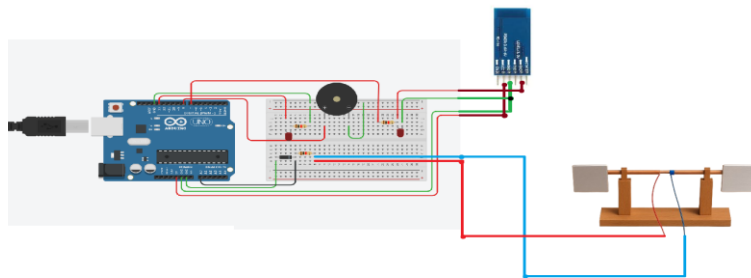
Para as conexões da antena receptora prosseguiremos da seguinte maneira: o pino digital 8 do Arduino foi utilizado para o acionamento do buzzer. O terminal positivo (ou a maior perna, caso não haja marcação) foi conectado ao pino 8, enquanto o terminal negativo foi ligado ao GND do Arduino. O cátodo do LED foi conectado ao pino digital 13, enquanto o ânodo foi ligado a um resistor de 1 k $\Omega$ , cujo outro terminal foi conectado ao GND.

A conexão do módulo Bluetooth requer atenção especial devido à diferença de tensão entre os dispositivos: o pino RXD do módulo opera em 3,3 V, enquanto as

## ARTIGO

saídas digitais do Arduino fornecem 5 V. A ligação direta poderia danificar o módulo. O diagrama completo das conexões está representado na Figura 2.

**Figura 2** - Diagrama de conexões do arduino

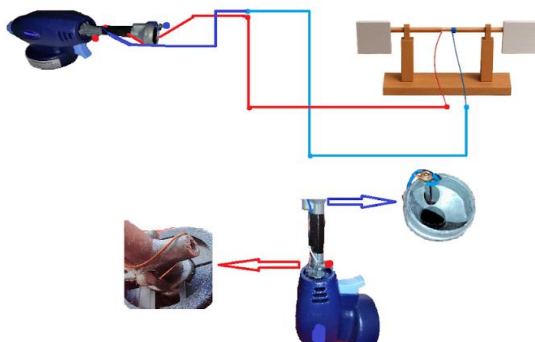


Fonte: elaborado pelos autores, 2025.

Dessa forma, para evitar esse problema, foi implementado um divisor de tensão, seguindo o procedimento descrito a seguir. O pino de 5V do Arduino foi conectado ao terminal VCC do módulo, enquanto o GND do Arduino foi ligado ao GND do módulo, garantindo o mesmo potencial de referência. O pino digital 7 foi configurado como saída de sinal do Arduino. A partir desse pino, conectou-se um resistor de 1 kΩ, cuja outra extremidade formou um nó onde foram ligados o cátodo de um LED e o pino RXD do módulo. Por fim, o ânodo do LED foi conectado ao nó de GND, comum tanto ao Arduino quanto ao módulo.

Já para a antena emissora, as extremidades internas foram conectadas diretamente à fonte de pulsos, conforme ilustrado na Figura 3.

**Figura 3** - Diagrama de ligação da antena emissora

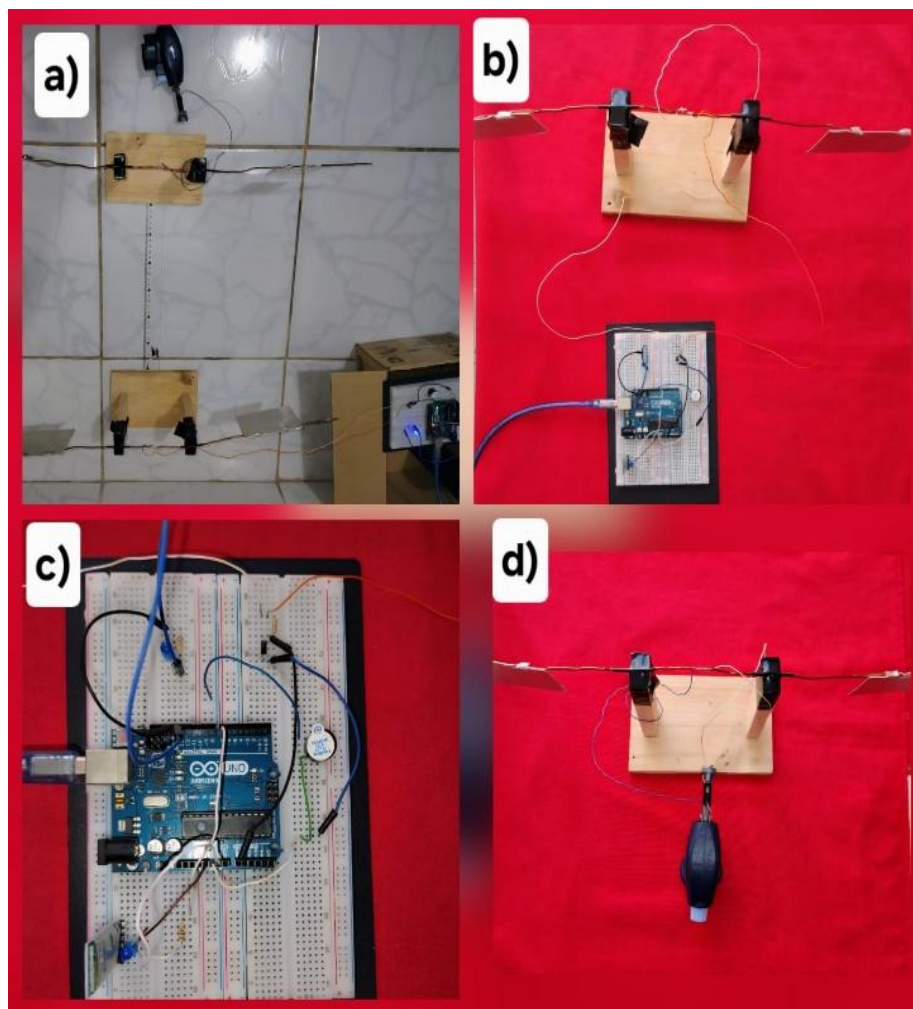


Fonte: elaborado pelos autores, 2025.

ARTIGO

Após seguir todos os passos de montagem descritos e ilustrados nas figuras anteriores, haverá um projeto físico montado similar ao desenvolvido neste trabalho que está registrado na Figura 04 a seguir.

Figura 4 – Protótipo físico montado.



Fonte: elaborado pelos autores, 2025.

Na figura 04.a) temos uma visão superior do protótipo funcional montado. Na figura 4.b) uma visão superior da antena receptora. Na figura 4.c) uma visão da conexão dos componentes eletrônicos na protoboard. Na figura 4.d) uma visão superior da antena emissora.

No quadro 02 a seguir, consta a programação que deve ser enviada do software Arduino IDE ao microcontrolador Arduino Uno.

## ARTIGO

Quadro 02: sketch do protótipo

```
#include <SoftwareSerial.h>
SoftwareSerial bluetooth(2, 7);
int sensorPin = A0;
int ledPin = 13;
int buzzerPin = 8;
int limiar_adc = 200;
const float V_REFERENCIA = 5.0;
const float FATOR_CONVERSAO =
V_REFERENCIA / 1023.0;
bool alarme_disparado = false;
void setup() {
  pinMode(ledPin, OUTPUT);
  pinMode(buzzerPin, OUTPUT);
  digitalWrite(ledPin, HIGH);
  Serial.begin(9600);
  bluetooth.begin(9600);
  float limiar_volts_reais = (limiar_adc *
FATOR_CONVERSAO);
  Serial.println("--- Sistema Pronto
(USB) - Monitoramento de Alta Velocidade ---
");
  String msg_pronto = "Monitoramento
Ativo. Alerta (V) acima de: " +
String(limiar_volts_reais, 2) + "V";
  Serial.print("BLUETOOTH (TX): ");
  Serial.println(msg_pronto);
  bluetooth.println(msg_pronto);
}
void loop() {
  int leitura_adc =
analogRead(sensorPin);

float V_lido_Arduino = leitura_adc *
FATOR_CONVERSAO;
float V_real_Antena =
V_lido_Arduino;
if (leitura_adc > limiar_adc &&
alarme_disparado == false) {
  alarme_disparado = true;
  digitalWrite(buzzerPin, HIGH);
  digitalWrite(ledPin, LOW);
  String dados_alerta = "ALERTA!
Pico Maximo: " + String(V_real_Antena, 2) +
"V";
  Serial.print("BLUETOOTH (TX): ");
  Serial.println(dados_alerta);
  bluetooth.println(dados_alerta);
  delay(500);
  digitalWrite(buzzerPin, LOW);
  digitalWrite(ledPin, HIGH);
}
if (leitura_adc < (limiar_adc / 2) &&
alarme_disparado == true) {
  alarme_disparado = false;
}
if (bluetooth.available()) {
  char comando = bluetooth.read();
  Serial.print("Comando Recebido
(Ignorado): ");
  Serial.println(comando);
}
}
```

Fonte: elaborado pelos autores, 2025.

Para a realização dos testes e obtenção dos dados, utilizou-se uma fita métrica para posicionar as antenas em distâncias conhecidas, garantindo precisão nas medições. É importante ressaltar que as distâncias foram medidas a partir das hastes de cobre e não do suporte utilizado.

As antenas foram dispostas de forma paralela, visando maximizar a recepção do sinal. Com o código devidamente carregado no Arduino, a antena conectada e o sistema energizado, foi utilizado o aplicativo “Serial Bluetooth Terminal” no smartphone, que permite a leitura dos dados transmitidos pelo Arduino via Bluetooth.

Após a instalação e o pareamento do dispositivo, a antena emissora foi posicionada a uma distância inicial de 40 cm. Em seguida, foram gerados três pulsos,



## ARTIGO

com intervalo de dois segundos entre cada um, verificando-se a recepção dos dados no smartphone. Posteriormente, a distância entre as hastes foi reduzida em 5 cm a cada novo teste.

Antes de cada nova medição, realizou-se um breve aterramento das placas de alumínio, a fim de evitar interferências capacitivas. Esse procedimento consistiu em conectar temporariamente um jumper entre a placa e o solo por aproximadamente três segundos. Após o aterramento, aguardou-se de 3 a 5 minutos antes dos próximos disparos. O processo foi repetido até a conclusão de todos os testes previstos.

### 4. Resultados e Discussões

Os resultados experimentais coletados estão compilados na tabela 01, eles inicialmente foram expressos no smartphone do usuário a partir do uso do aplicativo “Serial Bluetooth Terminal”, onde estão discriminados pela indicação do número do ensaio ou teste experimental, valores das tensões em cada teste, valor médio encontrado a partir dos três ensaios e a distâncias entre as antenas em que cada ensaio foi realizado.

**Tabela 01:** tensões elétricas coletadas.

			Teste 1			Teste 2			Teste 5		
Ensaio	Valor	Média	Ensaio	Valor	Média	Ensaio	Valor	Média	Ensaio	Valor	Média
T 1 - 36,7 cm // T 2 - 31,7 cm T 3 - 26,7 cm // T 4 - 21,7 cm T 5 - 16,7 cm // T 6 - 11,7 cm T 7 - 6,70 cm			I	1,29 V	1,31 V	I	1,00 V	1,26 V	I	1,06 V	1,20 V
			II	1,38 V		II	1,36 V		II	1,37 V	
			III	1,26 V		III	1,43 V		III	1,19 V	
Teste 3			Teste 4			Teste 6			Teste 7		
Ensaio	Valor	Média	Ensaio	Valor	Média	Ensaio	Valor	Média	Ensaio	Valor	Média
I	1,29 V	1,28 V	I	1,23 V	1,12 V	I	1,61 V	1,40 V	I	1,58 V	1,39 V
II	1,43 V		II	1,12 V		II	1,20 V		II	1,30 V	
III	1,13 V		III	1,02 V		III	1,40 V		III	1,30 V	

Fonte: elaborado pelos autores, 2025.

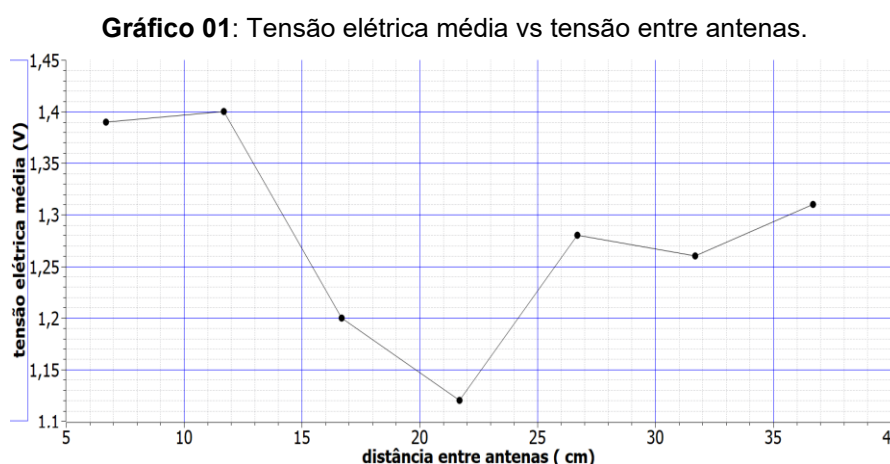


## ARTIGO

Os resultados da tabela 01 nos fazem refletir sobre a variabilidade experimental da tensão elétrica induzida a partir de ensaios repetidos de uma distância fixa. A teoria eletromagnética nos diz que esse valor seria dependente de diversas variáveis como o meio, corrente e tensão na antena emissora e distância.

Mantendo a distância fixa e estando sujeito à mesma tensão inicial espera-se resultados similares, no entanto, a variabilidade deles deve-se a fatores como instabilidades do meio, pequenas variações nas condições dos componentes eletrônicos, capacitâncias parasitas presentes no circuito, flutuações ambientais durante os ensaios, variações na corrente da antena emissora, efeitos de histerese em materiais eventualmente utilizados, interferências externas que juntos explicam as diferenças observadas entre os valores medidos e as médias obtidas.

Uma expressão visual dos valores médios das tensões encontradas em função das distâncias pode ser visualizada no gráfico 01 a seguir:



Fonte: elaborado pelos autores no software SciDaVis, 2025.

O gráfico 01 mostra a relação entre a tensão elétrica média gerada e o afastamento entre as antenas, exibindo um padrão que não segue uma progressão constante, o que aponta para alterações inesperadas nos dados coletados. Embora se imagine que a força diminua à medida que a separação entre as antenas cresce, notou-se um aumento da diferença de potencial elétrico em alguns pontos específicos.



## ARTIGO

Esse efeito pode ser explicado pela ocorrência de interações que somam ou subtraem a intensidade das ondas eletromagnéticas emitidas e recebidas, um aspecto natural dos processos de propagação de ondas. Além disso, elementos do ambiente, como o reflexo e o desvio causados por áreas ou objetos próximos ao sistema de teste, assim como mudanças nos equipamentos, ajudaram a criar esses pontos de alta e baixa intensidade.

Portanto, os dados reunidos estão de acordo com a teoria eletromagnética, que define a criação de modelos de interação em experiências similares. É igualmente essencial levar em conta outras fontes de variação, como a capacitância extra dos circuitos, pequenas mudanças no posicionamento das antenas, variações no ambiente e limitações dos aparelhos de medição, que acentuam o padrão percebido.

A sequência de Fourier representa a função da tensão média conforme a distância, levando em conta até 3 elementos harmônicos, é apresentada na equação 02 a seguir:

$$V(x) = \frac{2,55}{2} + 0,107\cos(x) + 0,017\sin(x) - 0,033\cos(2x) + 0,064\sin(2x) + 0,0083\cos(3x) + \sin(3x) \quad (02)$$

Onde  $V(x)$  é a função da tensão elétrica média induzida pela radiação eletromagnética e  $x$  representa a distância normalizada no intervalo de 0 a  $2\pi$  correspondente à distância real  $d$  (em cm) pelo mapeamento dado pela equação 03:

$$x = 2\pi \frac{d-d_{min}}{d_{max}-d_{min}} \quad (03)$$

Conforme Mota Júnior, Nascimento e Góes (2018), o grande benefício dessa abordagem é gerar um modelo matemático conciso e claro do sistema, o que simplifica a análise e a compreensão das mudanças na tensão. Ela ainda ajuda a atenuar interferências e a realçar os pontos importantes, sendo muito usada em testes eletromagnéticos para examinar e tratar os sinais.

## 5. Considerações Finais

Daí, o objetivo central deste trabalho foi alcançado com o desenvolvimento e utilização de um modelo e protótipo de robótica educacional acessível para



## ARTIGO

demonstrar o experimento de Hertz. Essa ação surge como uma resposta direta à crise no ensino de Física no Brasil, que enfrenta a falta de professores, condições de trabalho ruins e, acima de tudo, a insistência em métodos antigos, como o ensino conteudista e a memorização. A utilização de Tecnologias Digitais de Informação e Comunicação (TDIC's) e da robótica educacional é fundamental para modernizar o ensino, incentivando o aluno a participar ativamente, estimulando o trabalho em equipe, a criatividade e o pensamento lógico. A prática é essencial para entender fenômenos abstratos como o Eletromagnetismo, um tema muito presente nas provas do ENEM.

De fato, a importância do estudo vai além, atuando como um impulsionador do desenvolvimento regional e da sustentabilidade social. Ao usar materiais reciclados e lixo eletrônico na construção do protótipo, a robótica educacional incentiva a reciclagem, diminui o descarte incorreto de componentes e, conseqüentemente, tem um impacto positivo em questões sociais e ambientais.

Portanto, o baixo custo e a capacidade de desenvolver habilidades importantes nos alunos mostram que o uso das TDIC's capacita o cidadão a transformar o mundo de forma positiva. Para futuras pesquisas, sugere-se a avaliação pedagógica do protótipo em unidades de ensino e a melhoria do design para reduzir interferências. A abordagem sustentável e de baixo custo pode ser expandida para o ensino de outros temas complexos da Física Moderna, seguindo a importância histórica do experimento de Hertz para o desenvolvimento posterior da telegrafia sem fios.

### Referências

ANDRADE, Guilherme Mendes de; CORRÊA, Cristiane Domingues dos Santos. **Promovendo a sustentabilidade social por meio da robótica educacional com alunos do ensino fundamental**. Revista Acervo Educacional, v. 5, e14656, 2023.

BALSAS, Álvaro, SJ. **Heinrich Hertz: de la Física a la Filosofía de la Física. Naturaleza y Libertad**, n. 15, p. 24-36, 2021.



## ARTIGO

CAMARGO, L. F.; MANSANO, S. R. V. **Sustentabilidades social e cultural: desafios para o século XXI.** Revista ORG & DEMO, v. 22, n. 1, p. 1-22, 2021.

DIAS, V. S.; SILVA, F. A.; KITAMURA FILHO, Y. **Análise das questões de Física do Exame Nacional do Ensino Médio na perspectiva da Taxonomia de Bloom Revisada (2014-2019).** Revista de enseñanza de la Física, v. 33, n. 2, p. 495-502, 2021.

FERNANDES, Nídia Mara Melchiables Castelli; ZANON, Dulcimeire Aparecida Volante. **Integração entre robótica educacional e abordagem STEAM: desenvolvimento de protótipos sobre a temática responsabilidade social e sustentabilidade.** Dialogia, São Paulo, n. 40, p. 1-22, e21600, jan./abr. 2022.

FREIRE, P. **Pedagogia do oprimido.** 18. ed. São Paulo: Paz e Terra, 1988. 184 p.

GIL, Antônio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa.** 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

GONZALEZ PÉREZ, Yhonathan Estiven. **Un mundo rodeado por ondas: una secuencia experimental para la comprensión del proceso de emisión y recepción de ondas hertzianas.** Trabalho de Conclusão de Curso - Universidad Pedagógica Nacional de Colombia, Bogotá, 2023.

HAYT JR, William H.; BUCK, John A. **Eletromagnetismo.** 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008. 339 p. ISBN 9788521613657.

HERTZ, Heinrich. **Electric Waves** . New York: Dover Publications, 1962.

LIMA, Gylly Peterson Fernandes et al. **O Experimento de Hertz: Uma Proposta de Utilização Objetivando a Aprendizagem Significativa.** Revista Foco, Curitiba (PR), v. 17, n. 3, e4575, p. 01-16, 2024.

MOTA JÚNIOR, José Silvan Batista; NASCIMENTO, Erick Oliveira do; GÓES, Josecley Fialho. **Modelagem de circuito RC através de série de Fourier.** Revista Mundi Engenharia, Tecnologia e Gestão, Paranaguá, PR, v. 3, n. 2, maio de 2018.

SADIKU, Matthew N.O. **Elementos de Eletromagnetismo.** Porto Alegre: Bookman, 5ª ed., 2012.

SEGURA LÓPEZ, Ana Consuelo. **El concepto de onda electromagnética y su medio de propagación a partir de la teoría de Maxwell y los trabajos de Hertz.** Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade Pedagógica Nacional, Bogotá, 2015. 77 p.

SEGUÉ EZ ORTIZ, Erikson. **Propuesta de aula desde el experimento de Heinrich Hertz para la construcción de ideas alrededor de la existencia de las ondas electromagnéticas.** Trabalho de Conclusão de Curso - Universidad Pedagógica Nacional, Bogotá, 2016.



## ARTIGO

TEIXEIRA, G.; BREMM, L.; DOS SANTOS ROQUE, A. **Educational robotics insertion in high schools to promote environmental awareness about e-waste.** In: LATIN AMERICAN ROBOTIC SYMPOSIUM, 2018, IEEE, 2018. p. 591–597.

TOLEDO, Sérgio S.; CAVALCANTE, Everton. **Construção de uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa para o Experimento de Hertz.** Revista Física no Campus, Campina Grande, PB, v. 1, n. 1, p. 19-24, 2021.