REVISTA TÓPICOS
ISSN 2965-6672 | Qualis A2

EXPERIMENTAÇÃO DIDÁTICA DE BAIXO CUSTO E ROBÓTICA EDUCACIONAL NO ENSINO DE ONDAS ELETROMAGNÉTICAS

LOW-COST DIDACTIC EXPERIMENTATION AND EDUCATIONAL ROBOTICS IN THE TEACHING OF ELECTROMAGNETIC WAVES

Ciências Exatas e da Terra • 06/11/2026

REGISTRO DOI: 10.70773/revistatopicos/793772864

João Victor Camara Coelho[1]

Alzinete dos Reis Ferreira[2]

Letícia Fernanda Pinheiro Pereira[3]

Ricardo Gomes[4]

Emily Bianca Reis Damasceno[5]

João Alberto Santos Porto[6]

RESUMO

Este artigo apresenta e analisa uma experiência de ensino desenvolvida com um experimento didático de baixo custo, articulado à robótica educacional, para trabalhar ondas eletromagnéticas no Ensino Médio. A proposta nasceu de uma preocupação bastante concreta do ensino de Física: como ajudar o estudante a compreender um fenômeno que, na maior parte do espectro, não é percebido diretamente pelos sentidos, mas que está presente em tecnologias utilizadas todos os dias? A investigação, de abordagem qualitativa com apoio de estatística descritiva, envolveu 37 estudantes e foi organizada em uma sequência didática com diagnóstico dos conhecimentos prévios, aula dialogada, construção e exploração do experimento, socialização e avaliação. Os dados foram obtidos por questionário e analisados por frequências, percentuais, média, mediana e desvio-padrão. Antes da intervenção, 62,2% dos participantes não sabiam que ondas eletromagnéticas podem se propagar sem meio material. Após a atividade, 81,1% identificaram total ou parcialmente o fenômeno observado e 78,4% relacionaram o acendimento do LED às ondas eletromagnéticas. Todos relataram maior motivação, melhor visualização do conteúdo e possibilidade de relacioná-lo a tecnologias do cotidiano. A atividade recebeu média 9,18. Ao mesmo tempo, somente 43,2% reconheceram explicitamente o transporte de energia pelo espaço. Os resultados mostram que a experimentação pode aproximar o estudante de conceitos abstratos e tornar a aula mais significativa, mas também revelam que observar um fenômeno não significa, por si só, compreendê-lo conceitualmente. A mediação docente, a discussão e a sistematização posterior permanecem essenciais.

Palavras-chave: Ondas eletromagnéticas; Experimentação; Robótica educacional; Metodologias ativas; Ensino de Física.

ABSTRACT

This article presents and analyzes a low-cost didactic experiment, articulated with educational robotics, for teaching electromagnetic waves in high school. The proposal emerged from a concrete teaching challenge: how can students understand a phenomenon that cannot be directly seen, although it is part of technologies they use every day? The qualitative study involved 37 students and was organized as a didactic sequence comprising prior-knowledge diagnosis, dialogical instruction, construction and exploration of the experiment, socialization, and assessment. Data were collected through a questionnaire and analyzed using frequencies, percentages, mean, median, and standard deviation. Before the intervention, 62.2% of the participants did not know that electromagnetic waves can propagate without a material medium. After the activity, 81.1% identified the observed phenomenon totally or partially, and 78.4% related the LED activation to electromagnetic waves. All participants reported greater motivation, better visualization of the content, and the possibility of relating it to everyday technologies. The activity received a mean rating of 9.18. At the same time, only 43.2% explicitly recognized the transport of energy through space. The findings show that experimentation can bring students closer to abstract concepts and make lessons more meaningful, but observing a phenomenon does not, by itself, guarantee conceptual understanding. Teacher mediation, discussion, and subsequent conceptual systematization remain essential.

Keywords: Electromagnetic waves; Didactic experimentation; Educational robotics; Active methodologies; Physics education.

1. INTRODUÇÃO

Ensinar ondas eletromagnéticas significa, em grande medida, ensinar aquilo que o estudante não consegue observar diretamente. Quando uma pessoa utiliza um telefone celular, conecta-se a uma rede Wi-Fi ou aciona um controle remoto, ela percebe o funcionamento da tecnologia, mas não percebe com os sentidos a propagação dos campos eletromagnéticos envolvidos. Essa distância entre o fenômeno e aquilo que pode ser visto ou tocado pode tornar a aprendizagem mais exigente, especialmente quando o conteúdo é apresentado somente por definições, esquemas e equações.

Foi justamente dessa tensão entre o abstrato e o cotidiano que partiu a proposta analisada neste artigo. Em vez de apresentar as ondas eletromagnéticas apenas como um conteúdo pronto, a atividade procurou criar uma situação em que os estudantes pudessem observar um efeito, levantar explicações, testar ideias e conversar sobre aquilo que estavam vendo. A intenção não foi substituir a explicação teórica pelo experimento, mas criar uma ponte entre as duas dimensões.

Essa escolha também considera a realidade da escola. Nem sempre é possível contar com laboratórios completos, equipamentos sofisticados ou materiais específicos para cada conteúdo. Por isso, a construção de um aparato simples, com componentes eletrônicos acessíveis e recursos de robótica educacional, assume uma dimensão pedagógica e também prática: permitir que o professor transforme materiais disponíveis em oportunidades de investigação, sem fazer da falta de infraestrutura um impedimento absoluto para a experimentação.

O ensino de Física desempenha papel relevante na formação científica dos estudantes ao possibilitar a interpretação de fenômenos naturais e tecnológicos presentes no cotidiano. Para além da apresentação de leis e equações, a aprendizagem científica envolve observação, análise, formulação de hipóteses e construção de explicações, favorecendo relações entre ciência, tecnologia e sociedade (Delizoicov; Angotti; Pernambuco, 2011; Sasseron; Carvalho, 2011).

Entretanto, práticas predominantemente expositivas e centradas na memorização podem dificultar a compreensão de conceitos abstratos e reduzir a participação discente. Essa dificuldade é particularmente significativa no estudo das ondas eletromagnéticas, cuja propagação não é diretamente percebida pelos sentidos, embora esteja relacionada ao funcionamento de celulares, redes Wi-Fi, rádio, televisão, Bluetooth e micro-ondas (Araújo; Abib, 2003; Halliday; Resnick; Walker, 2016).

A experimentação pode contribuir para aproximar teoria e prática, permitindo que o estudante observe efeitos, formule hipóteses, discuta evidências e desenvolva explicações. Quando integrada a metodologias ativas, a atividade experimental desloca o foco da transmissão de informações para a participação do estudante, enquanto o professor assume função mediadora (Carvalho, 2013; Moran, 2018).

A robótica educacional amplia esse potencial ao articular componentes eletrônicos, sensores, programação e resolução de problemas. Em uma perspectiva construcionista, o contato com objetos e sistemas concretos pode favorecer o aprender fazendo e a construção ativa do conhecimento (Papert, 1993; Blikstein, 2013).

Além disso, o emprego de materiais de baixo custo apresenta interesse pedagógico por possibilitar a reprodução de experiências em escolas com infraestrutura limitada.

Partindo desse contexto, o presente estudo teve como objetivo analisar a utilização de um experimento didático de baixo custo, articulado à robótica educacional, para demonstrar a emissão e a recepção de ondas eletromagnéticas e investigar suas contribuições para a compreensão conceitual e o engajamento de estudantes do Ensino Médio. A questão orientadora foi: de que maneira a integração entre experimentação, tecnologia e robótica educacional pode favorecer a aprendizagem de ondas eletromagnéticas?

Mais do que reunir conceitos pedagógicos e físicos, a fundamentação deste estudo parte de uma ideia simples: o estudante aprende melhor quando consegue encontrar sentido no que está estudando e quando participa ativamente do processo. No caso das ondas eletromagnéticas, isso exige aproximar o conteúdo de experiências concretas, sem reduzir a Física àquilo que é imediatamente observável. A teoria continua sendo indispensável; o desafio é criar caminhos para que ela converse com a experiência.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. Aprendizagem Significativa

A aprendizagem significativa constitui uma das bases pedagógicas adotadas no trabalho. Segundo Ausubel (2003), novos conhecimentos podem adquirir significado quando se relacionam de forma substantiva e não arbitrária aos conhecimentos já presentes na estrutura cognitiva do estudante. Nessa perspectiva, o diagnóstico dos conhecimentos prévios não representa apenas uma

etapa avaliativa, mas um recurso para orientar a intervenção pedagógica.

No estudo das ondas eletromagnéticas, essa perspectiva é especialmente pertinente porque os estudantes convivem cotidianamente com tecnologias que utilizam radiação eletromagnética, ainda que nem sempre reconheçam os princípios físicos envolvidos. Celulares, Wi-Fi, controles remotos, iluminação e outros dispositivos podem funcionar como pontos de ancoragem para a construção de novos significados (Moreira, 2011, 2018).

2.2. Metodologias Ativas e Experimentação

As metodologias ativas valorizam a participação do estudante na construção do conhecimento e podem favorecer experiências de aprendizagem mais contextualizadas. Moran (2015) destaca a importância de situações em que o aluno investiga, experimenta, resolve problemas e produz conhecimentos, em vez de ocupar exclusivamente a posição de receptor de informações. No ensino de Ciências, essa perspectiva aproxima-se de propostas investigativas que articulam problematização, observação, argumentação e sistematização (Carvalho, 2013; Sasseron; Carvalho, 2011).

A experimentação, entretanto, não produz aprendizagem conceitual de forma automática. Araújo e Abib (2003) ressaltam que atividades experimentais podem assumir diferentes finalidades e que seus resultados dependem do planejamento e da mediação. Assim, observar um efeito deve constituir ponto de partida para perguntas, hipóteses e explicações, e não apenas uma demonstração destinada a confirmar uma informação previamente apresentada. Na mesma direção, Gaspar (2014), com base na teoria de Vigotski, destaca o

papel das interações sociais e do diálogo entre professor e estudantes para que a atividade experimental contribua para a aprendizagem de conceitos.

2.3. Robótica Educacional e Ensino de Ondas Eletromagnéticas

A robótica educacional acrescenta uma dimensão tecnológica à experimentação ao integrar sensores, circuitos, programação e objetos construídos pelos estudantes. Papert (1993) defende a aprendizagem por meio da construção de artefatos, enquanto Blikstein (2013) discute o potencial do fazer e da fabricação para ampliar a participação e a autoria. Neste trabalho, a robótica é compreendida como recurso mediador entre conceitos físicos e situações concretas, favorecendo trabalho colaborativo, autonomia e resolução de problemas (Zilli, 2004).

No caso das ondas eletromagnéticas, a abordagem experimental é relevante porque campos elétricos e magnéticos e sua propagação não são diretamente visíveis. A evidência de um efeito observável, o acendimento de um LED em um circuito receptor sem conexão por fios com o emissor, cria uma ponte entre o fenômeno físico e a experiência do estudante. A interpretação desse efeito pode ser relacionada à descrição das ondas eletromagnéticas e às aplicações tecnológicas discutidas por Halliday, Resnick e Walker (2016) e Tipler e Mosca (2009).

2.4. A Mediação Docente Entre o Experimento e o Conceito

O papel do professor ganha importância quando se reconhece que o experimento não fala sozinho. Um LED que acende, um sensor que responde ou uma alteração em um circuito podem despertar surpresa, mas não trazem consigo uma explicação pronta. É a partir

das perguntas formuladas, das comparações realizadas e das representações construídas em sala que o estudante pode avançar da descrição do que ocorreu para uma interpretação física. Essa compreensão é coerente com Carvalho (2013) e com Araújo e Abib (2003), para os quais a atividade experimental ganha força quando está inserida em uma situação de investigação e reflexão.

Na prática analisada, essa mediação foi particularmente necessária diante da dificuldade relacionada ao transporte de energia. Parte dos estudantes reconheceu o fenômeno, mas continuou associando a transmissão de energia à presença de fios. Em vez de tratar essa resposta apenas como erro, o dado pode ser compreendido como uma pista sobre o modelo mental utilizado pelos estudantes. A partir dela, o professor pode retomar a diferença entre circuito elétrico e propagação de uma onda eletromagnética, discutir os campos elétrico e magnético e reconstruir, passo a passo, o significado físico da evidência observada.

2.5. Contextualização, Cotidiano e Alfabetização Científica

Outro aspecto que atravessa a proposta é a relação entre o conteúdo escolar e a vida cotidiana. O estudante não chega à aula de Física sem referências: ele já utiliza celular, rádio, televisão, redes sem fio e outros dispositivos. Muitas vezes, porém, utiliza essas tecnologias sem compreender os princípios físicos que as sustentam. A aula pode aproveitar esse repertório não como substituto do conhecimento científico, mas como ponto de partida para perguntas mais elaboradas.

Nessa perspectiva, a contextualização contribui para a alfabetização científica quando ajuda o estudante a perceber que aprender Física

não significa apenas memorizar fórmulas. Significa também compreender fenômenos, avaliar explicações, reconhecer relações entre ciência e tecnologia e argumentar sobre aquilo que foi observado. As respostas dos estudantes sobre o cotidiano, discutidas posteriormente, mostram que a atividade criou oportunidades para essa aproximação.

3. METODOLOGIA

3.1. Participantes e Contexto da Intervenção

Participaram da pesquisa 37 estudantes do Ensino Médio, com idades entre 15 e 17 anos. A pesquisa evidencia que nenhum deles havia estudado formalmente o conteúdo de ondas eletromagnéticas antes da intervenção. Esse dado foi considerado importante para a leitura dos resultados, pois permite compreender que as respostas foram produzidas em um contexto de baixa familiaridade escolar sistematizada com o tema, embora os estudantes já tivessem contato cotidiano com tecnologias que dependem de fenômenos eletromagnéticos.

3.2. Organização da Sequência Didática

A sequência didática foi organizada em cinco momentos articulados. A intenção foi evitar que o experimento aparecesse como uma atividade isolada e desconectada da aula. Primeiro, buscou-se ouvir os estudantes e identificar o que já sabiam; depois, foram apresentados e discutidos os conceitos fundamentais; em seguida, os próprios estudantes participaram da construção e exploração do aparato; posteriormente, compartilharam observações; e, por fim, refletiram sobre o que havia mudado em sua compreensão e sobre como avaliavam a atividade.

Quadro 1. Etapas da sequência didática.

Etapa	Atividade central	Finalidade pedagógica
1ª	Diagnóstico inicial e conversa sobre tecnologias	Identificar conhecimentos prévios e situações familiares.
2ª	Aula teórica dialogada	Construir conceitos de frequência, comprimento de onda, velocidade e espectro.
3ª	Construção e exploração do experimento	Relacionar teoria, componentes eletrônicos e fenômeno observado.
4ª	Testes, socialização e discussão	Comparar observações e estimular argumentação e reflexão.
5ª	Avaliação e debate final	Identificar aprendizagens percebidas, dificuldades e avaliação da proposta.

Trata-se de uma pesquisa de abordagem qualitativa, desenvolvida em contexto escolar com 37 estudantes do Ensino Médio, com idades entre 15 e 17 anos. A pesquisa informa que nenhum participante havia estudado formalmente ondas eletromagnéticas antes da intervenção.

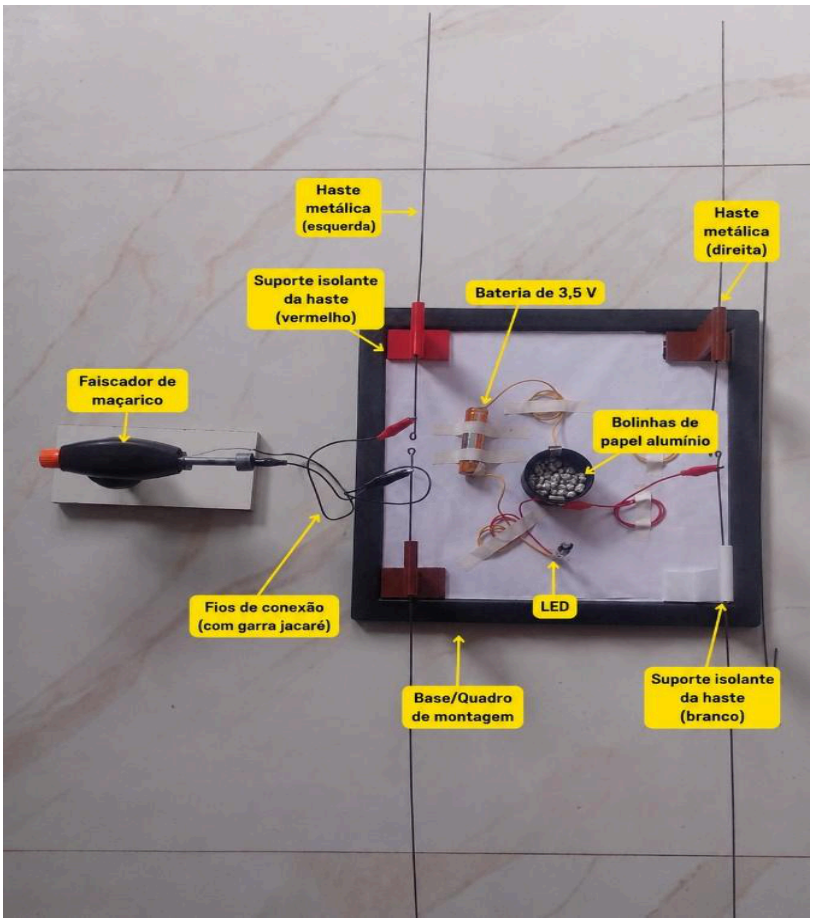
As cinco etapas foram desenvolvidas em cinco encontros. No primeiro, realizou-se o diagnóstico dos conhecimentos prévios e uma discussão sobre situações cotidianas relacionadas às ondas eletromagnéticas. No segundo, foram desenvolvidas aulas teóricas dialogadas sobre frequência, comprimento de onda, velocidade de propagação e espectro eletromagnético, com apoio de recursos audiovisuais.

No terceiro encontro, iniciou-se a construção e exploração do experimento didático. A Pesquisa descreve o emprego de recursos de prototipagem eletrônica, incluindo Arduino, sensores, resistores, fios, protoboard e LEDs. O aparato utilizado na demonstração (Figura 1) é composto por um faiscador piezoelétrico (de maçarico), hastes metálicas que funcionam como antenas, uma bateria de 3,5 V, um recipiente com bolinhas de papel-alumínio, fios de conexão e um LED. Os estudantes participaram da montagem sob orientação docente, relacionando os componentes aos conceitos trabalhados.

No quarto encontro, os grupos realizaram testes, observaram alterações na resposta do sistema e socializaram seus resultados. No quinto, foram aplicados questionários e promovidas discussões para avaliar a compreensão, o interesse e a percepção dos estudantes. Os dados foram organizados no Microsoft Excel e analisados descritivamente mediante frequências, percentuais, média, mediana e desvio-padrão, conforme registrado na pesquisa.

Como limitação metodológica, destaca-se que o conjunto de dados não disponibiliza um pré-teste equivalente ao instrumento final. Dessa forma, não se calculam ganho normalizado, tamanho de efeito ou significância estatística, e os resultados não permitem atribuir causalidade exclusivamente ao experimento. A análise concentra-se, portanto, na descrição das respostas e na interpretação pedagógica dos dados.

Figura 1. Aparato experimental utilizado para a demonstração de ondas eletromagnéticas.



3.3. Instrumento de Coleta e Análise dos Dados

A coleta de dados foi realizada por meio de questionário contendo questões conceituais, itens sobre o experimento, percepção de aprendizagem, motivação, relação com tecnologias do cotidiano e avaliação global da atividade. Os dados foram organizados no Microsoft Excel e analisados descritivamente por meio de frequências absolutas e relativas, média, mediana e desvio-padrão. As limitações decorrentes da ausência de um pré-teste equivalente são discutidas na seção 4.5.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados precisam ser lidos para além dos percentuais. Cada resposta representa uma tentativa do estudante de explicar um fenômeno que, antes da atividade, era pouco familiar do ponto de vista escolar. Por isso, a análise procura preservar tanto os avanços quanto as dúvidas que permaneceram. Essa escolha evita uma

interpretação excessivamente otimista e permite compreender o experimento como parte de um processo de aprendizagem, e não como uma solução pronta para todas as dificuldades conceituais.

Também é importante distinguir três dimensões presentes nos dados: o que os estudantes conseguiram identificar, o que disseram compreender e como perceberam a experiência de aprendizagem. Essas dimensões se relacionam, mas não são equivalentes. Um estudante pode considerar uma aula interessante e, ainda assim, apresentar dificuldade para explicar um conceito. Da mesma forma, reconhecer um efeito experimental não significa necessariamente dominar o modelo físico que o explica. Essa distinção orienta a leitura dos resultados a seguir.

4.1. Conhecimentos Prévios e Compreensão do Fenômeno

Dos 37 participantes, 23 (62,2%) declararam não saber que ondas eletromagnéticas podem se propagar sem a necessidade de um meio material, enquanto 14 (37,8%) afirmaram já possuir esse conhecimento. O resultado caracteriza uma condição inicial heterogênea e reforça a relevância do diagnóstico antes da intervenção. A existência de conhecimentos prévios, mesmo sem estudo formal, também é compatível com a perspectiva de Ausubel (2003), segundo a qual experiências anteriores podem servir como base para novas aprendizagens.

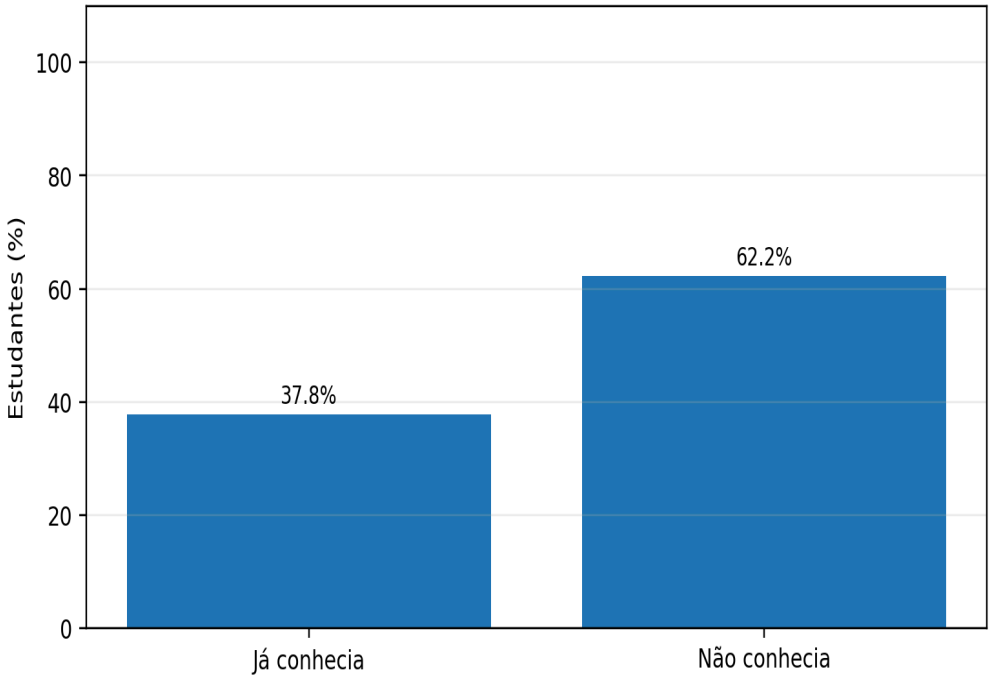
Um dos aspectos mais interessantes do diagnóstico é justamente o fato de a turma não formar um bloco homogêneo. Embora nenhum estudante tivesse estudado formalmente ondas eletromagnéticas, 14 já sabiam que esse tipo de onda não necessita de um meio material. Isso sugere que conhecimentos adquiridos fora da aula

formal, em diferentes experiências e contatos com tecnologias, podem compor o ponto de partida da aprendizagem. O dado reforça a importância de perguntar ao estudante o que ele já pensa antes de apresentar uma explicação científica.

A diferença entre conhecer uma informação e compreender seu significado físico também merece atenção. Saber que uma onda eletromagnética pode se propagar no vácuo não garante, por si só, que o estudante consiga explicar como ocorre o transporte de energia ou como campos elétricos e magnéticos estão relacionados. Por isso, o diagnóstico deve ser entendido como uma fotografia inicial do pensamento da turma, e não como uma simples classificação entre quem sabe e quem não sabe.

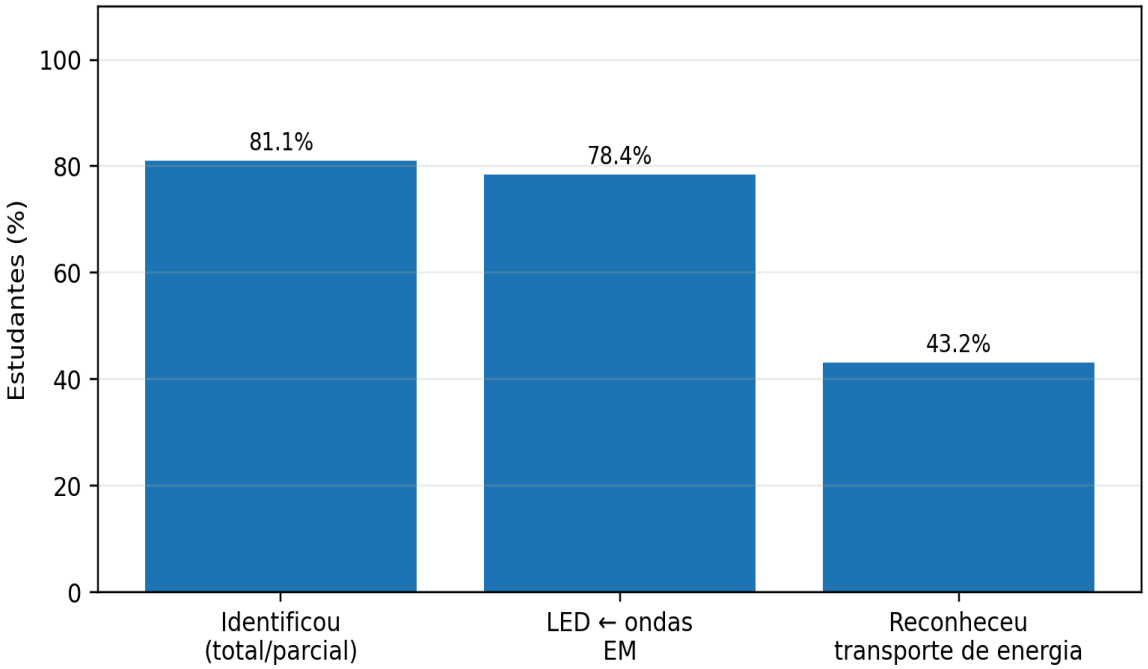
Em relação à identificação do fenômeno experimental, 16 estudantes (43,2%) afirmaram ter identificado o que ocorreu e 14 (37,8%) indicaram compreensão parcial. Assim, 30 participantes (81,1%) declararam algum grau de compreensão, enquanto 7 (18,9%) não conseguiram identificar o fenômeno. O resultado sugere que a demonstração ofereceu uma evidência observável capaz de aproximar um fenômeno invisível da experiência dos estudantes, mas também indica a necessidade de mediação para transformar a observação em explicação física.

Figura 2. Conhecimento prévio dos estudantes sobre a propagação de ondas eletromagnéticas.



Quando questionados sobre o acendimento do LED, 29 estudantes (78,4%) atribuíram o fenômeno às ondas eletromagnéticas, 6 (16,2%) indicaram corrente elétrica direta e 2 (5,4%) declararam não saber. A predominância da resposta esperada mostra que a atividade favoreceu uma compreensão inicial do mecanismo central. Entretanto, as respostas alternativas indicam que a observação do efeito não produziu uma compreensão uniforme.

Figura 3. Indicadores de compreensão do fenômeno após a atividade experimental.



4.2. Transporte de Energia e Limites da Compreensão Conceitual

Um dos principais limites conceituais apareceu na questão sobre transporte de energia. Apenas 16 estudantes (43,2%) reconheceram que as ondas podem transportar energia pelo espaço, enquanto 17 (45,9%) assinalaram que a energia precisa de fios para se propagar e 4 (10,8%) não identificaram alternativa adequada. A distribuição sugere que a demonstração foi suficiente para produzir uma percepção do efeito, mas não para consolidar, de modo homogêneo, o conceito de transporte de energia.

O resultado de 43,2% de reconhecimento do transporte de energia merece atenção especial porque ele funciona como uma espécie de 'teste de profundidade' da aprendizagem produzida pela experiência. Identificar o acendimento do LED é uma etapa importante, mas explicar por que o efeito pode ocorrer exige um nível maior de abstração. A resposta de 45,9% dos estudantes, segundo a qual a energia precisaria de fios para se propagar, mostra que a experiência cotidiana com circuitos elétricos continua sendo uma referência forte para interpretar o fenômeno.

Essa dificuldade não diminui o valor do experimento. Ao contrário, torna-o pedagogicamente mais interessante, porque revela uma pergunta que a aula pode explorar. Em uma sequência posterior, seria possível pedir aos estudantes que desenhassem o circuito que imaginam existir, comparassem esse desenho com o aparato real e explicassem o caminho da energia. A partir dessa reconstrução, o professor poderia retomar campos, propagação e transporte de energia de maneira mais significativa. Essa proposta é uma implicação pedagógica derivada dos dados e não um resultado diretamente medido pela pesquisa.

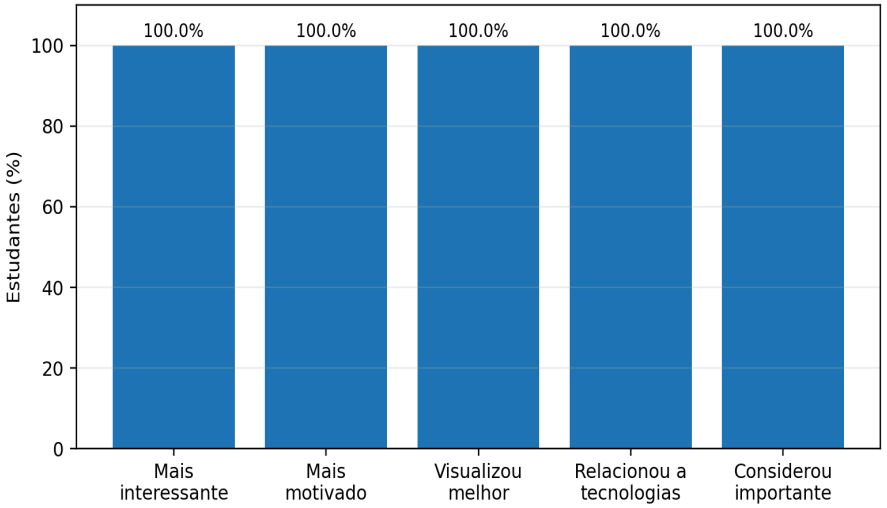
Esse resultado é pedagogicamente relevante porque diferencia identificar um fenômeno de explicá-lo cientificamente. A experimentação fornece evidências e desperta curiosidade, mas a construção conceitual depende da articulação entre observação, linguagem, representação, argumentação e sistematização (Araújo; Abib, 2003; Carvalho, 2013). A pesquisa observa e relata que a partir dessa dificuldade, ampliar momentos posteriores de reconstrução conceitual, com esquemas dos campos elétrico e magnético, desenhos de circuitos e comparação entre transmissão por fios e por ondas.

4.3. Percepção de Aprendizagem, Motivação e Contextualização

Os indicadores de percepção foram fortemente positivos. Dezenove estudantes (51,4%) afirmaram que o experimento ajudou muito na compreensão do conteúdo e 18 (48,6%) responderam que ajudou parcialmente; nenhum participante apresentou resposta negativa. Além disso, os 37 estudantes afirmaram que a atividade foi mais interessante que a aula tradicional baseada em quadro e livro, aumentou a motivação, facilitou a visualização do conteúdo abstrato, permitiu relações com tecnologias como Wi-Fi, rádio e celular e evidenciou a importância de experimentos nas aulas de Física (Figura 4).

Na avaliação global, 34 estudantes (91,9%) atribuíram nota igual ou superior a 8,0 e 26 (70,3%) atribuíram nota igual ou superior a 9,0. Dezoito estudantes (48,6%) deram nota 10. A média foi 9,18, a mediana 9,5 e o desvio-padrão 1,06, com notas entre 6,0 e 10,0. Esses resultados indicam elevada aceitação da proposta, com dispersão relativamente pequena em torno da média.

Figura 4. Percepções dos estudantes sobre interesse, motivação, visualização, contextualização e importância da experimentação.

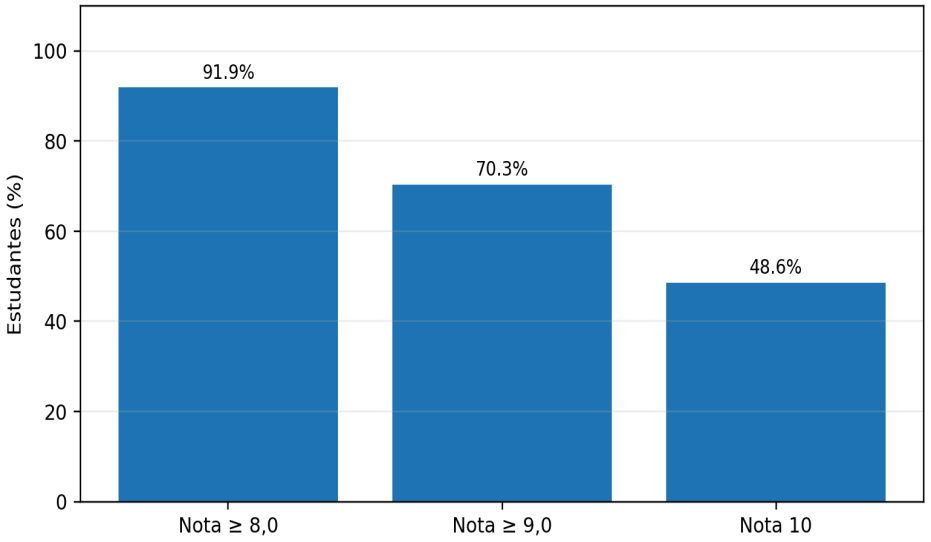


Os indicadores de percepção revelam uma dimensão humana importante da experiência: os estudantes não apenas responderam às questões, mas também avaliaram a forma como se sentiram durante a aula. A unanimidade nos itens de interesse, motivação, visualização e contextualização sugere que a atividade foi vivenciada como algo diferente da rotina de uma aula predominantemente expositiva. Não se trata de afirmar que essa percepção comprova aprendizagem, mas de reconhecer que o modo como o estudante se relaciona com a atividade pode favorecer sua disposição para observar, perguntar e participar.

A média 9,18 na avaliação global também deve ser lida com cuidado. Ela expressa uma avaliação muito positiva da atividade, e não uma medida direta de aprendizagem conceitual. Mesmo assim, quando esse resultado é analisado junto às respostas abertas, aparece uma coerência interessante: os estudantes destacaram tanto o funcionamento do experimento quanto a possibilidade de compreender algo que antes parecia distante. A experiência, portanto, parece ter produzido valor pedagógico não apenas pela novidade do aparato, mas pelo sentido atribuído ao que estava sendo observado.

As respostas abertas também aproximaram o conteúdo do cotidiano. Entre as 35 respostas registradas, foram recorrentes referências a celulares, telefonia, *Wi-Fi*, *Bluetooth*, micro-ondas, rádio, televisão e luz/LED/sol. Como as respostas podiam conter mais de uma tecnologia, as menções não são mutuamente exclusivas. Também apareceram associações conceitualmente imprecisas, como a inclusão do som e das ondas do mar, que são ondas mecânicas, e referências genéricas ao calor, que exigem distinguir a radiação térmica (infravermelho) dos processos de condução e convecção, indicando concepções em construção que podem ser exploradas pelo professor como diagnóstico pedagógico.

Figura 5. Indicadores da avaliação global da atividade experimental.



4.4. Síntese e Discussão Pedagógica

Os resultados convergem com a perspectiva de metodologias ativas apresentada por Moran (2015), uma vez que a proposta promoveu participação, manipulação de materiais, discussão e resolução de situações experimentais. A elevada percepção de interesse e motivação, contudo, não deve ser confundida com domínio conceitual. A permanência da dificuldade sobre o transporte de

energia mostra que o envolvimento afetivo e a aprendizagem conceitual são dimensões relacionadas, mas não equivalentes.

A atividade também dialoga com a aprendizagem significativa de Ausubel (2003) e Moreira (2011, 2018), pois os estudantes passaram a relacionar o conteúdo a tecnologias presentes em seu cotidiano. Essa contextualização pode funcionar como ponto de ancoragem para a elaboração de significados, sobretudo quando a observação experimental é seguida por discussão e sistematização.

Do ponto de vista didático, o maior potencial da proposta está na integração entre experiência, mediação e reflexão. A experiência fornece evidências; a mediação docente organiza perguntas e favorece a elaboração de explicações; e a reflexão relaciona o observado aos modelos científicos. Nesse sentido, os dados não sustentam a ideia de que simplesmente aumentar a quantidade de experimentos garanta aprendizagem, mas indicam o valor de uma experimentação planejada, investigativa, contextualizada e mediada.

Tabela 1. Síntese dos principais resultados da intervenção.

Indicador	**n**	**%**	**Interpretação**
Não havia estudado formalmente o tema	37	100,0	Baixa familiaridade escolar inicial.
Sabia que ondas não precisam de meio material	14	37,8	Conhecimentos prévios em parte da turma.
Identificou o fenômeno total ou parcialmente	30	81,1	Reconhecimento do fenômeno pela maioria.
Atribuiu o acendimento do LED	29	78,4	Compreensão predominante do

às ondas EM			mecanismo central.
Reconheceu transporte de energia pelo espaço	16	43,2	Persistência de dificuldade conceitual.
Considerou a atividade mais interessante	37	100,0	Elevada aceitação da estratégia.
Sentiu-se mais motivado	37	100,0	Forte resposta motivacional.
Relacionou o conteúdo a tecnologias	37	100,0	Forte contextualização com o cotidiano.
Nota ≥ 8,0	34	91,9	Avaliação global elevada.
Nota ≥ 9,0	26	70,3	Predomínio de avaliações muito positivas.

Outro aspecto relevante é a acessibilidade da proposta. O uso de materiais de baixo custo pode ampliar a possibilidade de realização de atividades experimentais em escolas que não dispõem de laboratórios sofisticados. A contribuição pedagógica está menos no aparato tecnológico em si do que na criação de situações em que os estudantes possam observar, testar, argumentar e relacionar conceitos físicos a tecnologias de seu cotidiano.

4.5. Limitações do Estudo e Implicações para a Prática Docente

Como toda investigação realizada em contexto escolar, este estudo apresenta limites que precisam ser considerados. O principal deles é o tamanho da amostra, formada por 37 estudantes, e a natureza do instrumento utilizado após a intervenção. A pesquisa mostra que

não foi disponibilizado um pré-teste equivalente ao questionário final. Assim, não é possível calcular ganho normalizado, tamanho de efeito ou significância estatística da aprendizagem, nem atribuir causalidade exclusivamente ao experimento.

Outro cuidado diz respeito à interpretação das respostas de percepção. Quando os estudantes afirmam que ficaram mais motivados, que visualizaram melhor o conteúdo ou que consideraram a atividade mais interessante, essas respostas são evidências de percepção, e não provas isoladas de domínio conceitual. A força interpretativa da pesquisa está justamente na combinação dessas informações com as respostas conceituais e com as dificuldades identificadas durante a atividade.

Para a prática docente, entretanto, os resultados oferecem pistas importantes. Uma delas é que atividades de baixo custo podem criar situações de investigação mesmo em contextos com recursos limitados. Outra é que a etapa de discussão posterior precisa receber a mesma atenção dada à montagem do experimento. O momento em que o estudante pergunta 'como isso aconteceu?' é tão importante quanto o momento em que ele observa o LED acender. É nessa passagem entre surpresa e explicação que a mediação do professor pode transformar uma experiência interessante em uma oportunidade de aprendizagem científica.

Há, portanto, um aspecto que merece ser destacado: o experimento não resolveu todas as dificuldades conceituais, e justamente por isso ele se mostrou útil. Os 17 estudantes que continuaram associando o transporte de energia à necessidade de fios revelam que a aprendizagem científica é gradual e que concepções anteriores não desaparecem apenas porque uma nova experiência foi apresentada.

Esse resultado convida a uma prática docente menos preocupada em obter respostas imediatamente corretas e mais interessada em compreender como os estudantes estão pensando.

A experiência também reforça a ideia de que humanizar o ensino de Física não significa reduzir o rigor científico. Significa reconhecer o estudante como alguém que chega à sala com perguntas, experiências, explicações provisórias e relações construídas fora da escola. Ao aproximar essas experiências dos conceitos científicos, a aula pode se tornar mais significativa sem abandonar a precisão conceitual.

Outro resultado importante é a aproximação entre Física escolar e tecnologia. Quando os estudantes passam a reconhecer ondas eletromagnéticas em celulares, Wi-Fi, Bluetooth, rádio, televisão e outros dispositivos, o conteúdo deixa de ser percebido apenas como uma lista de definições. Ele começa a funcionar como uma ferramenta para interpretar o mundo. Essa mudança de olhar é uma das contribuições pedagógicas mais relevantes da proposta.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo evidencia que o experimento didático de baixo custo, articulado à robótica educacional, constitui uma estratégia pedagógica promissora para o ensino de ondas eletromagnéticas no Ensino Médio. A proposta favorece a aproximação entre fenômenos abstratos e efeitos observáveis, amplia a participação discente e fortalece a relação entre Física escolar e tecnologias presentes no cotidiano.

Os dados mostram que a maioria dos estudantes identificou o fenômeno experimental e relacionou o acendimento do LED às

ondas eletromagnéticas, enquanto todos relataram ganhos em motivação, visualização e contextualização. A avaliação média de 9,18 também evidencia elevada aceitação da atividade. Por outro lado, a dificuldade de reconhecer o transporte de energia pelo espaço demonstra que a experimentação, isoladamente, não assegura a consolidação dos conceitos.

Conclui-se que o uso pedagógico do experimento é mais consistente quando integrado a diagnóstico, problematização, discussão, mediação docente e sistematização conceitual. Como continuidade, recomenda-se ampliar o número de participantes, utilizar instrumentos equivalentes antes e depois da intervenção, acompanhar a retenção dos conceitos e comparar diferentes estratégias didáticas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO, Mauro Sérgio Teixeira de; ABIB, Maria Lúcia Vital dos Santos. Atividades experimentais no ensino de Física: diferentes enfoques, diferentes finalidades. Revista Brasileira de Ensino de Física, São Paulo, v. 25, n. 2, p. 176-194, 2003.

AUSUBEL, David P. Aquisição e retenção de conhecimentos: uma perspectiva cognitiva. Lisboa: Plátano Edições Técnicas, 2003.

BACICH, Lilian; MORAN, José (org.). Metodologias ativas para uma educação inovadora: uma abordagem teórico-prática. Porto Alegre: Penso, 2018.

BLIKSTEIN, Paulo. Digital fabrication and ‘making’ in education: the democratization of invention. In: WALTER-HERRMANN, Julia;

BÜCHING, Corinne (ed.). FabLab: of machines, makers and inventors. Bielefeld: Transcript, 2013. p. 203-222.

BRASIL. Ministério da Educação. Base Nacional Comum Curricular: Ensino Médio. Brasília, DF: MEC, 2018.

CARVALHO, Anna Maria Pessoa de (org.). Ensino de Ciências por investigação: condições para implementação em sala de aula. São Paulo: Cengage Learning, 2013.

DELIZOICOV, Demétrio; ANGOTTI, José André; PERNAMBUCO, Marta Maria Castanho Almeida. Ensino de Ciências: fundamentos e métodos. 4. ed. São Paulo: Cortez, 2011.

GASPAR, Alberto. Atividades experimentais no ensino de Física: uma nova visão baseada na teoria de Vigotski. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2014.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. Fundamentos de Física: eletromagnetismo. 10. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.

MORAN, José Manuel. Metodologias ativas para uma aprendizagem mais profunda. In: BACICH, Lilian; MORAN, José (org.). Metodologias ativas para uma educação inovadora. Porto Alegre: Penso, 2015.

MOREIRA, Marco Antonio. Aprendizagem significativa em ciências: condições de ocorrência vão além de pré-requisitos e motivação. Porto Alegre: Instituto de Física da UFRGS, 2018.

MOREIRA, Marco Antonio. Aprendizagem significativa: a teoria e textos complementares. São Paulo: Livraria da Física, 2011.

PAPERT, Seymour. Mindstorms: children, computers, and powerful ideas. 2. ed. New York: Basic Books, 1993.

SASSERON, Lúcia Helena; CARVALHO, Anna Maria Pessoa de. Alfabetização científica: uma revisão bibliográfica. Investigações em Ensino de Ciências, Porto Alegre, v. 16, n. 1, p. 59-77, 2011.

TIPLER, Paul Allen; MOSCA, Gene. Física para cientistas e engenheiros: eletricidade, magnetismo e óptica. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

ZILLI, Silvio Ricardo. A robótica educacional no ensino de Física. Revista Brasileira de Ensino de Física, São Paulo, v. 26, n. 1, p. 25-32, 2004.

---

[1] Discentes do Curso de Física Licenciatura, Universidade Estadual do Maranhão – UEMA, Programa Ensinar- Campus São Bento

[2] Discentes do Curso de Física Licenciatura, Universidade Estadual do Maranhão – UEMA, Programa Ensinar- Campus São Bento

[3] Discentes do Curso de Física Licenciatura, Universidade Estadual do Maranhão – UEMA, Programa Ensinar- Campus São Bento

[4] Licenciada em Física pela Universidade Estadual do Maranhão – UEMA

[5] Licenciada em Física pela Universidade Estadual do Maranhão – UEMA

[6] Professor do curso de Física Licenciatura - Departamento de Matemática e Física - Campus Caxias - Universidade Estadual do Maranhão -UEMA.