

Efeitos sonoros a partir de arcos voltaicos: uma abordagem experimental aplicada ao ensino de eletromagnetismo

Sound effects from electric arcs: an experimental approach applied to electromagnetism teaching
Efectos sonoros de arcos eléctricos: un enfoque experimental aplicado a la enseñanza del electromagnetismo

José Milton Ferreira Júnior

Instituto Federal do Ceará, Departamento de Química e Meio Ambiente, Sobral, Ceará, Brasil.

jmiltonferreiraj@gmail.com | <https://orcid.org/0000-0002-3449-4040>

Rafael Maciel da Silva

Centro Universitário Unifanor, Núcleo de engenharias, Fortaleza, Ceará, Brasil.

rafael.eletrica9696@gmail.com | <https://orcid.org/0009-0004-7127-2852>

Jéssyca de Freitas Lima Brito

Centro Universitário Unifanor, Núcleo de engenharias, Fortaleza, Ceará, Brasil.

email@email.com.br | <https://orcid.org/0000-0003-3522-2781>

Bruna Tarciana Cavalcante Bezerra

Universidade Federal do Ceará, Departamento de Engenharia Química, Fortaleza, Ceará, Brasil.

profbunatcbezerra@gmail.com | <https://orcid.org/0009-0009-4032-0221>

Suely Alves Silva

Centro Universitário Unifanor, Núcleo de engenharias, Fortaleza, Ceará, Brasil.

suely.silva@professores.unifanor.edu.br | <https://orcid.org/0000-0002-3915-9575>

Resumo

Os conteúdos estudados na engenharia elétrica, especificamente na disciplina de eletromagnetismo, apresentam um alto nível de abstração, tornando o aprendizado complexo e, por vezes, com baixo rendimento de aprendizado. Nesse contexto, o presente trabalho traz uma proposta de construção e abordagem didática de uma máquina de arcos voltaicos baseada na bobina de Tesla, que, por meio de interações sonoras associadas às suas frequências, visa apresentar os conceitos teóricos de forma prática e lúdica, tornando o conteúdo mais plausível e verossímil. Destarte, este estudo tem como objetivo apresentar, a partir de uma abordagem experimental, a teoria da indução eletromagnética, os aspectos teóricos e práticos envolvidos na elaboração e execução do projeto descrito, além de propor métodos de abordagem e avaliação formativa que buscam o desenvolvimento da autonomia e da participação ativa e cooperativa do estudante de nível superior.

Palavras-chave: Eletromagnetismo. Bobina de Tesla. Ensino de física. Metodologias ativas. Avaliação formativa.

Artigo recebido em: 09/10/2023 | Aprovado em: 24/05/2024 | Publicado em: 25/05/2024

Como citar:

JÚNIOR, José Milton Ferreira; SILVA, Rafael Maciel da. Efeitos sonoros a partir de arcos voltaicos: uma abordagem experimental aplicada ao ensino de eletromagnetismo. *Pesquisa e Debate em Educação*, Juiz de Fora: UFJF, v. 14, p. 1-19, e42439, 2024. ISSN 2237-9444. DOI: <https://doi.org/10.34019/2237-9444.2024.v14.42439>.

Abstract

The contents studied in electrical engineering, specifically in the subject of electromagnetism, present a high level of abstraction, making learning complex and, sometimes, with low learning performance. In this context, this work proposes the construction and didactic approach of an arc-voltaic machine based on the Tesla coil, which, through sound interactions associated with its frequencies, aims to present theoretical concepts in a practical and playful way, making the most plausible and believable content. Therefore, this study aims to present, from an experimental approach, the theory of electromagnetic induction, the theoretical and practical aspects involved in the elaboration and execution of the described project, in addition to proposing approach and formative evaluation methods that seek the development of autonomy and active and cooperative participation of higher education students.

Keywords: Electromagnetism. Tesla coil. Teaching physics. Active methodologies. Formative evaluation.

Resumen

Los contenidos estudiados en ingeniería eléctrica, específicamente en la materia de electromagnetismo, presentan un alto nivel de abstracción, haciendo que el aprendizaje sea complejo y, en ocasiones, con bajo rendimiento de aprendizaje. En este contexto, este trabajo propone la construcción y aproximación didáctica de una máquina de arco voltaico basada en la bobina de Tesla, que, a través de interacciones sonoras asociadas a sus frecuencias, pretende presentar conceptos teóricos de forma práctica y lúdica, haciendo las más plausibles. y contenido creíble. Por lo tanto, este estudio tiene como objetivo presentar, desde un enfoque experimental, la teoría de la inducción electromagnética, los aspectos teóricos y prácticos involucrados en la elaboración y ejecución del proyecto descrito, además de proponer enfoques y métodos de evaluación formativa que busquen el desarrollo de la autonomía. y participación activa y cooperativa de los estudiantes de educación superior.

Palabras clave: Electromagnetismo. Bobina de Tesla. Enseñanza de física. Metodologías activas. Evaluación formativa.

1 Introdução

Dada a relevância da temática, o conteúdo da disciplina de eletromagnetismo é ministrado em vários cursos de ensino superior ou mesmo no ensino médio, visto que praticamente todos os equipamentos eletrônicos utilizam conceitos dessa área para o seu funcionamento. Para tanto, existem muitos livros dedicados ao assunto, a exemplo da obra “Física III – Eletromagnetismo”, escrito por Hugh D. Young e Roger A. Freedman (Young; Freedman, 2016), ou então “Fundamentos da Física – Eletromagnetismo” de Halliday, D. e Resnick, R. (Halliday; Resnick; Walker, 2016), ambas literaturas com conteúdo teórico abrangente e aprofundado.

Apesar da vasta quantidade de obras disponíveis, a temática em questão apresenta-se ainda com um baixo rendimento de aprendizado. Isso decorre da natureza abstrata do conteúdo, aliada a uma supervalorização das aulas expositivas, com inúmeras fórmulas, resolução de exercícios repetitivos e baixo índice de abordagem experimental (Alves; Motta; Zancanella, 2020).

No atual ensino da Física, as atividades experimentais raramente fazem parte do planejamento pedagógico e, quando ocorrem, estão associadas à manipulação de materiais, limitando-se à observação superficial de fenômenos físicos, sem destacar a necessária reflexão e as condições primordiais para se desenvolver o processo investigativo (Pereira; Aguiar, 2002).

Nessa perspectiva, a experimentação no ensino de Física vem sendo amplamente debatida nas últimas décadas, a exemplo de Rodrigues *et al.* (2021), que traz como proposta a aplicação de uma Sequência Didática (SD), incluindo uma prática experimental com foco em eletromagnetismo. Medeiros, Silva e Medeiros (2023) também contribuíram com a temática a partir do desenvolvimento de atividades experimentais de baixo custo como instrumento facilitador do processo de ensino e aprendizagem de eletromagnetismo. Tais propostas buscam reduzir o nível de abstração e a dificuldade de assimilação dos conteúdos.

A metodologia do ensino por investigação, por exemplo, usa a experimentação no ensino de Física a partir dos preceitos das metodologias ativas, visto que, nesse tipo de abordagem, além de colocar o estudante em uma posição ativa na construção do aprendizado, proporciona uma reflexão entre a teoria e a prática, desenvolve a capacidade de elaboração de hipóteses, tratamento de dados e linguagem científica, além de atribui à temática um caráter motivador, lúdico e essencialmente vinculado aos sentidos (Silva, 2022).

No contexto das metodologias ativas, destaca-se também a “*sala de aula invertida*”, ou *Flipped classroom*. Com o advento da globalização e popularização das tecnologias da informação e comunicação (TIDC), o estudante não se sente mais tão confortável assumindo um posicionamento passivo no processo de ensino e aprendizado. É com base nessa problemática que a metodologia da *sala de aula Invertida* traz em sua proposta o professor como mediador do ensino-aprendizagem, tornando o aluno peça fundamental nesse processo, proporcionando assim uma interação mais significativa entre professores e alunos e entre os próprios discentes. (Bergman; Sams, 2016).

Nessa abordagem metodológica, os alunos estudam os conteúdos em casa, antes das aulas, de maneira que realizem em sala de aula atividades de aprendizagem relacionadas aos conteúdos estudados. Dessa forma, o processo de ensino se torna mais ativo, com atividades dinâmicas, nas quais os alunos deslocam-se para o centro do processo, ao passo que o professor atua no planejamento e na condução das ações didáticas, sanando dúvidas, aprofundando os temas abordados e estimulando discussões (Silva, 2022).

Em ambos os casos supracitados, a utilização dessas metodologias contribui para o desenvolvimento da autonomia, autoconfiança, trabalho em equipe, senso crítico, empatia, estreitamento da relação professor-aluno, dentre outros. Nesse contexto, pode-se afirmar que o estudante desenvolve o seu próprio método de aprendizagem, ou seja, o indivíduo aprende a aprender (Bergman; Sams, 2016).

Com vistas à elaboração de uma atividade que promova a participação ativa do estudante de Física no ambiente de sala de aula, o presente trabalho traz como foco a construção e a abordagem pedagógica de um protótipo gerador de arcos elétricos de alta tensão, capazes de romper a barreira dielétrica do ar e vibrar na frequência do som, com base na bobina de Tesla.

Segundo Laburú e Arruda (2004), a bobina de Tesla possibilita ao estudante enxergar alguns efeitos elétricos relevantes, ante a possibilidade de ampliá-los e simulá-los, instigando e incentivando o estudo do tema. Embora os fenômenos

eletromagnéticos se relacionem com princípios eletrodinâmicos, as relações com a eletroestática podem ser realizadas, expandindo assim a aplicação da máquina.

Diante disso, o campo eletromagnético gerado em torno da bobina possibilita demonstrações de arcos fascinantes, que despertam a curiosidade do discente em entender seu funcionamento. A máquina opera com altas frequências de chaveamento no enrolamento primário, de modo que, ao se modular essa frequência e tomando-se por base as frequências em que uma determinada música se propaga, os raios produzidos irão emitir um som musicalizado. Isso ocorre pelo fato desse último ser formado a partir da vibração do meio físico em que ele se propaga (Ribeiro, 2023).

A construção experimental da bobina tem sido proposta por inúmeros autores ao longo do tempo, tanto por meio de modelamentos teóricos de circuitos ressonantes e experimentos (Chiquito; Lanciotti Jr., 2000) quanto para propor usos em atividades de laboratório (Laburu; Arruda, 2004). No entanto, dentre os trabalhos pesquisados, a abordagem mais completa para a construção de bobinas de Tesla foi encontrada em Tilbury (2008). Nele, são sugeridas soluções para problemas encontrados na construção proposta pelos autores acima referidos, visto que, além de ser um experimento robusto, o que em si dificulta a montagem em instituições de ensino, apresenta ainda alguns problemas relacionados à geração de alta tensão no circuito primário e à construção e manutenção do capacitor do circuito ressonante.

Dado o exposto, o presente trabalho traz como objetivo central a elaboração de um protótipo didático de baixo custo e com foco na resolução dos problemas encontrados pelos autores supracitados. Em âmbito pedagógicos, buscou-se a motivação dos estudantes a partir do processo de montagem e funcionamento da bobina de Tesla capaz de vibrar na frequência de sons musicais, promovendo, de forma lúdica, o estudo de diversos tópicos componentes da disciplina de eletromagnetismo. Como métodos de abordagem, sugere-se a adoção de metodologias ativas, como a *sala de aula invertida*, combinada a uma dinâmica que favoreça a investigação e experimentação. Além disso, sugere-se a aplicação de avaliações formativas que promovam o debate coletivo, colocando o estudante no protagonismo do processo de ensino e aprendizado.

2 Metodologia

A natureza da investigação desenvolvida classifica-se como uma pesquisa aplicada, com enfoque experimental, conforme classificada por Gil (2019). Nesse sentido, tem-se como foco a aplicação de conhecimentos teóricos de eletromagnetismo em um contexto prático, valendo-se da construção e utilização de uma máquina de arcos voltaicos baseada na bobina de Tesla.

A partir de uma perspectiva experimental bem delineada, a pesquisa envolve não apenas a construção do equipamento em questão, mas também a condução de experimentos que permitam a demonstração dos conceitos teóricos de forma prática e tangível. Essa abordagem se mostra fundamental na promoção de uma compreensão mais profunda e significativa dos fenômenos e princípios do eletromagnetismo no ensino superior, que muitas vezes são abstratos e de difícil assimilação apenas por meio da exposição teórica.

2.1 Elaboração do projeto de uma máquina de arcos voltaicos musicais

Baseada na bobina de Tesla, foi desenvolvido um protótipo de uma máquina de arcos voltaicos capaz de emitir sons musicais a partir da frequência utilizada pelas melodias reproduzidas. Para tanto, como forma de tornar a construção do equipamento de baixo custo, a maior parte dos componentes utilizados foi reciclada a partir de sucata de materiais eletrônicos.

Seu princípio de funcionamento se baseia na lei de Faraday - Lenz, que relaciona campo elétrico e magnético a partir da diferença de potenciais elétricos de condutores. Desse modo, correntes elétricas ganham movimento quando o fluxo magnético se torna variável.

De acordo com Young e Freedman (2016, p. 307),

a força eletromotriz induzida em uma espira fechada é dada pela taxa de variação do fluxo magnético, com sinal negativo, através da área delimitada pela espira. Assim, essa relação pode ser expressa pela equação de Faraday. (Equação 01).

$$\varepsilon = - (\Delta\Phi / \Delta t) \quad \text{Equação 01}$$

Na equação descrita, $\Delta\Phi$ é a força motriz induzida, $\Delta\Phi$ a variação do fluxo magnético e Δt a variação do tempo.

De acordo com a referida lei, as tensões geradas são provocadas por uma variação no fluxo magnético. Assim, considera-se que esse fluxo seja a causa da tensão induzida e que é possível gerar-se uma força eletromotriz sempre que um campo magnético estiver no interior de um circuito. Entretanto, de acordo com a equação de Faraday, quando o fluxo magnético que atravessa um circuito for constante, não haverá nenhuma força eletromotriz induzida (Stuchi, 2021).

Vale frisar que tais conceitos foram fundamentais para o desenvolvimento dos transformadores de tensão, que tornaram possíveis a elevação ou abaixamento de tensões utilizando-se a corrente alternada.

Deste modo, com base nos conceitos abordados, desenvolveu-se um circuito eletrônico capaz de receber uma tensão em corrente contínua e transformá-la em corrente alternada. Assim, esse sinal alternado é interligado à base de um transistor de potência, que é responsável por mandar o sinal para o transformador que a elevará para alta tensão (Young; Freedman, 2016).

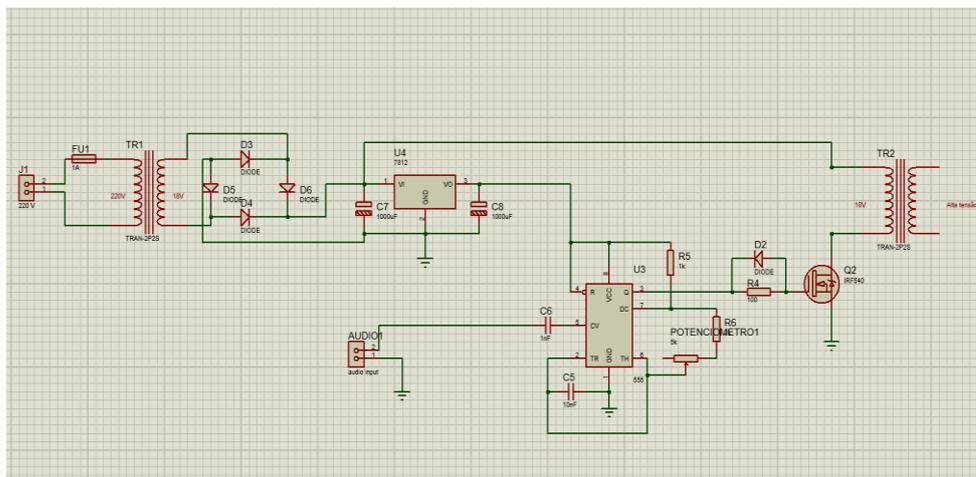
Para tanto, utilizou-se um software de formulação de projetos eletrônicos chamado *Isis Proteus*[®], desenvolvido pela empresa *Labsis* Educacional (LABSIS, 2018). Tal ferramenta é capaz de efetuar simulações e desenhos esquemáticos de sistemas eletrônicos. Segundo o desenvolvedor *Labsis* (2018):

O Proteus pode simular de forma completa a interação entre o software rodando em um microcontrolador (MCU) e toda a composição eletrônica digital ou analógica conectada a ele. Esta simulação equivale à execução do seu código por um chip real. Se o firmware escreve em uma porta, os níveis lógicos no

circuito simultaneamente se alteram. Se o circuito muda o estado dos pinos do processador, isto será refletido pelo seu código de programação.

Com base na utilização do software descrito, obteve-se o esquema do sistema eletrônico, conforme demonstrado na Figura 01.

Figura 01: Esquema do sistema eletrônico obtido a partir do software *Isis Proteus*.



Fonte: Autoria própria.

Conforme o esquema descrito na Figura 1, o circuito inicia-se a partir de um transformador de tensão que converte a corrente alternada de 220 V, proveniente da rede elétrica, para uma nova corrente alternada de 18 V. Segundo Capuano (2014), os circuitos operados por dispositivos semicondutores precisam ser sustentados com tensões contínuas para a polarização. Desse modo, torna-se necessária a transformação da tensão alternada para contínua. Assim, são empregados circuitos retificadores em conjunto com filtros, cuja função seja a de recolher tensões contínuas puras nas saídas.

Na sequência, tem-se uma ponte de quatro diodos responsáveis por transformar a corrente alternada em corrente contínua. Para estabilizar a tensão, há ainda um capacitor para filtro.

Após, há um regulador de tensão, cuja função é regular a tensão de alimentação do circuito integrado 555 (CI 555). Este tipo de circuito integrado é formado por um divisor de tensão interno composto por três resistores com 5.000 Ohms cada, o que justifica a sua denominação 555. Devido à sua grande versatilidade, o CI 555 possui inúmeras aplicações como, por exemplo, modulador de largura de pulso, oscilador intermitente, inversor, sensor fotoelétrico, divisor de frequência, oscilador e modulador de frequência, dentre outras (Braga, 2020).

Dada a sua importância, o cérebro do circuito eletrônico é o CI 555 no modo oscilador. Assim, o referido circuito gera uma sequência contínua de pulsos alternados em uma frequência determinada pelos dois resistores e o capacitor, podendo ser usado para variadas aplicações como, por exemplo, piscar LEDs, produzir sons em um alto-falante, controlar a intensidade de LEDs e a velocidade

de um motor (Braga, 2020). Para o protótipo desenvolvido, a frequência de trabalho é um aspecto fundamental. Para determiná-la, utilizam-se os valores dos resistores (R1 e R2) e do capacitor (C) na Equação 02 (Leal, 1978).

$$F = \frac{1,44}{[C \times (R1 + 2 \times R2)]} \quad \text{Equação 02}$$

Assim, foi arbitrado um valor de 10 Nf para o capacitor (C) e um resistor de 1.000 Ohms para o resistor R1. Como a frequência desejada para o projeto é de 21 kHz, ao aplicar-se tais valores à Equação 02, encontrou-se um valor próximo de 2.000 Ohms para o resistor R2.

É importante destacar que, para o protótipo desenvolvido, utilizou-se um transformador com núcleo de ferrite que trabalha na frequência de aproximadamente 20 kHz (Zhang, 2006). Para o dimensionamento dos resistores, colocou-se um potenciômetro em série com um desses resistores, a fim de efetuar um ajuste fino na variação da frequência. Como foi adicionado um potenciômetro ao projeto, tem-se então um oscilador que pode ser variável na faixa de 13 kHz a 23 kHz, podendo ser ajustado de acordo com os testes práticos.

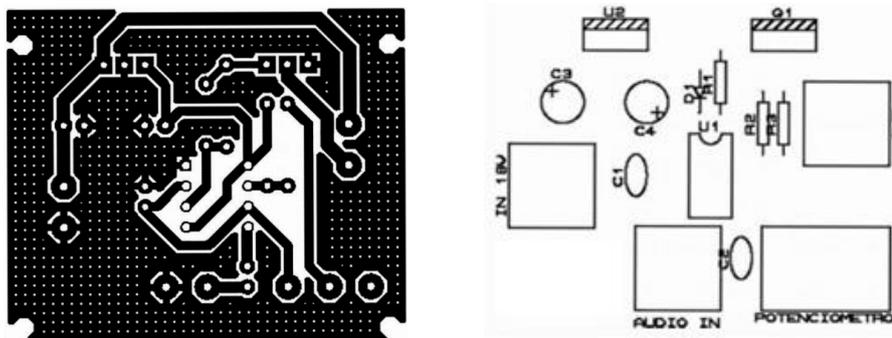
No projeto descrito, a corrente de saída do CI 555 precisou ser amplificada antes de ser direcionada para o transformador elevador. Para isso, utilizou-se um transistor do tipo K1531 como chave de potência, pois ele suporta tensões de até 500 V e 15 A. Para a obtenção do transformador elevador de alta tensão, reciclou-se de uma sucata de televisão. Esse tipo de transformador é conhecido como *flyback*, que tem como característica a capacidade de elevar algumas dezenas de volts para milhares de volts. A bobina primária foi alimentada pelo *flyback* com 18 V alternada, com frequência próxima de 20 kHz, obtendo-se assim, na saída do transformador, arcos elétricos de aproximadamente dois centímetros (Simone, 2013).

Por fim, como o CI 555 possui um terminal responsável por controlar os limites do comparador, se inserido um sinal nesse terminal, a saída do CI 555 enviará um sinal proporcional. Desse modo, se for adicionado um sinal de áudio nesse terminal, o sinal de saída do CI 555 será proporcional às frequências do sinal sonoro. Assim, quando esse passar pelo transformador de alta tensão, sofrerá uma amplificação e os arcos voltaicos vibrarão na mesma frequência, consequentemente produzindo sons musicais.

2.2 Montagem da máquina de arcos voltaicos musicais

Após a conclusão do projeto, realizou-se vários testes e simulações no programa *Isis Proteus*® a fim de se reduzir falhas e facilitar a execução da montagem. Ao final, foi gerado o *layout* para confecção da placa de circuito impresso, conforme representado na Figura 02:

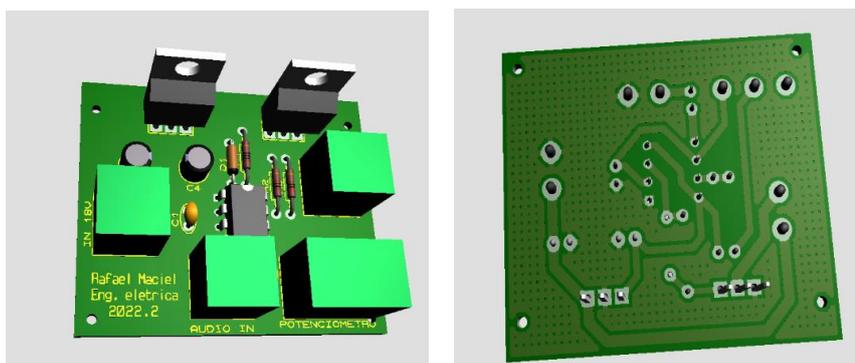
Figura 02: Layout placa de circuito impresso.



Fonte: Autoria própria

Em seguida, elaborou-se um desenho tridimensional que representasse a placa após sua montagem, conforme apresentado na Figura 03.

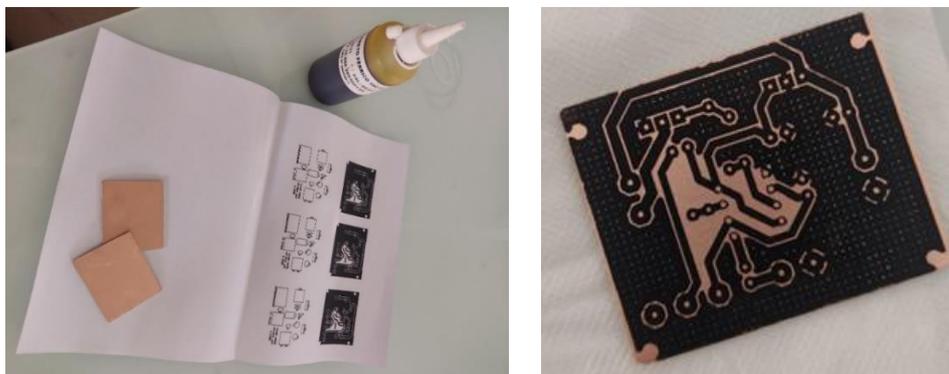
Figura 03: Simulação da placa de circuito em três dimensões



Fonte: Autoria própria

Para a construção das placas de circuito, utilizou-se o método de transferência térmica. Nesse método, imprime-se em papel o *layout* da placa em uma impressora à laser, de modo que a imagem possa ser transferida para a placa de circuito virgem. Em seguida, com uso de um ferro de passar roupas, aqueceu-se a tinta até o seu ponto de fusão, transferindo assim a imagem impressa para a superfície de cobre da placa de circuito, conforme demonstra a Figura 04.

Figura 04: Placa de circuito impresso método de transferência térmica.

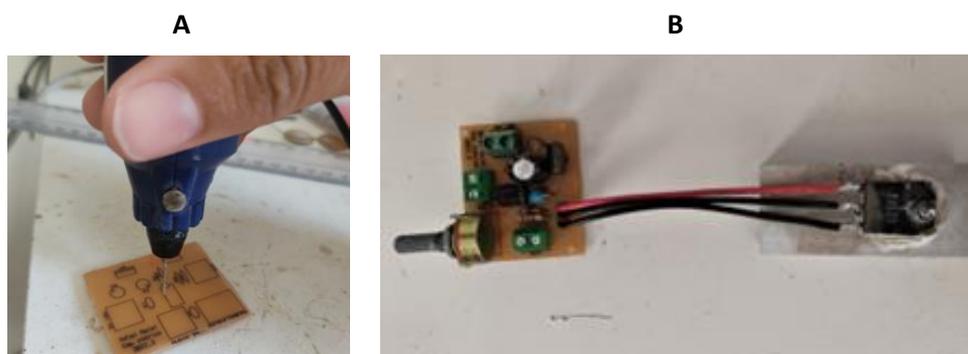


Fonte: Autoria própria

Após a transferência do material impresso para a superfície de cobre, fez-se necessária a retirada desse material dos espaços em que não havia tinta. Para tanto, utilizou-se o percloroeto de ferro, o qual reagiu com o cobre que está exposto, retirando-o da placa. Vale-se salientar que o reagente citado é facilmente encontrado em lojas de materiais eletrônicos.

Na sequência, executou-se a furação da placa para o encaixe dos componentes eletrônicos. Nesse processo, utilizou-se de uma micro retífica como ferramenta. Após, a placa foi lavada e polida com uma esponja de aço para retirada da tinta impressa. Por fim, adicionou-se os componentes eletrônicos a partir da técnica de soldagem, conforme demonstrado na Figura 05.

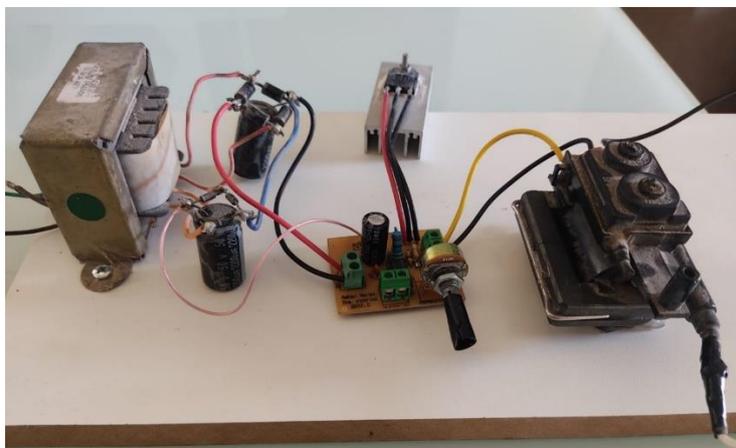
Figura 05: Perfuração da placa (A); Placa montada(B)



Fonte: Autoria própria

Para a construção da máquina, utilizou-se uma base de madeira com dimensões de 18 cm x 30 cm. Assim, com base no projeto apresentado na Figura 01, adicionou-se a placa de circuito, a fonte de alimentação e o transformador *flyback*. A Figura 06 demonstra o resultado final da máquina de arcos musicais.

Figura 06: Máquina de arcos musicais finalizada.

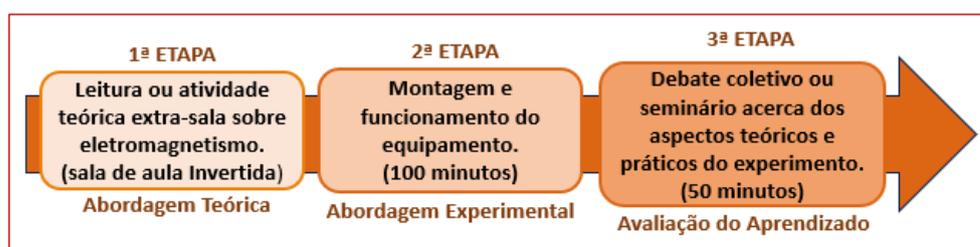


Fonte: Autoria própria

2.3 Desenvolvimento da sequência didática

De acordo com Reis e Martins (2015), uma atividade experimental pode ser explorada por meio de diferentes metodologias, desempenhando diversos papéis no processo de ensino e aprendizagem. Nesse contexto, a proposta didática sugere a combinação de uma atividade experimental com a teoria precedendo a etapa experimental. Essa abordagem prévia possibilita a utilização de Metodologias Ativas, como a *sala de aula invertida*, visando reforçar os aspectos teóricos do eletromagnetismo. Uma Sequência didática (SD) de aplicação da ferramenta em destaque é demonstrada na Figura 07 a seguir.

Figura 07: Descrição das etapas a serem desenvolvidas.



Fonte: Autoria própria

A partir da SD destacada, pretende-se desenvolver a autonomia e o senso crítico do estudante, proporcionando-lhe situações que permitam o aprendizado baseado na formulação de hipóteses e na reflexão sobre a prática.

3 Resultados e discussão

A sequência didática (SD) proposta tem como foco a contextualização e a abordagem prática dos aspectos teóricos do eletromagnetismo. Assim, como etapa inicial, propõe-se uma abordagem teórica dos principais tópicos do assunto em destaque.

Essa etapa incluirá a apresentação dos conceitos fundamentais, leis e princípios do eletromagnetismo, tais como a Lei de Faraday, a Lei de Lenz, e as

equações de Maxwell, dentre outros. Além disso, deverão ser discutidas aplicações práticas desses conceitos em tecnologias cotidianas, como transformadores, motores elétricos, e dispositivos eletrônicos. Esta abordagem visa fornecer aos estudantes uma base sólida de conhecimento teórico, que servirá de suporte para as atividades experimentais subsequentes, promovendo uma compreensão mais profunda e integrada do conteúdo estudado.

3.1. O uso da *sala de aula invertida* abordagem do eletromagnetismo

A escolha de metodologias ativas como a *sala de aula invertida* pode atuar como uma relevante ferramenta na construção de um ambiente educacional democrático, atrativo, criativo, estimulante e provedor de debates e reflexões (Bergmann *et al.*, 2016).

Nesse método, os alunos estudam os conteúdos em casa antes das aulas e, durante as aulas, participam de atividades relacionadas ao que estudaram. Isso torna o processo de ensino mais dinâmico, com os alunos no centro das atividades, enquanto o professor planeja e conduz as aulas, sanando dúvidas, aprofundando os temas e estimulando discussões (Bergmann *et al.*, 2016).

A aplicação da *sala de aula invertida* envolve um planejamento cuidadoso que permite aos estudantes compreenderem os conceitos teóricos antes de se engajarem em atividades práticas. Essa abordagem garante que os alunos estejam bem preparados para maximizar o aprendizado durante as etapas subsequentes (Mazur, 2009).

Inicialmente, é essencial preparar e disponibilizar materiais de estudo abrangentes, como vídeos relacionados à temática, artigos e leituras sobre os fundamentos do magnetismo. Esses materiais devem abordar conceitos como polos e campos magnéticos, a Lei de Biot-Savart e a Lei de Faraday. Além disso, devem ser desenvolvidos com suporte em questionários e exercícios para que os alunos possam testar sua compreensão acerca dos conceitos estudados.

Os materiais de estudo são enviados aos alunos com antecedência, permitindo que eles os revisem em casa, no seu próprio ritmo. Isso assegura que cada estudante tenha a oportunidade de absorver o conteúdo teórico fundamental antes de participar das atividades experimentais.

No momento da abordagem prática, o professor poderá introduzir uma breve revisão dos principais conceitos abordados nos materiais de previamente direcionados. Essa revisão pode ser realizada através de perguntas baseadas nos questionários, ajudando a avaliar a compreensão dos alunos e a esclarecer quaisquer dúvidas. Em seguida, uma rápida discussão coletiva poderá ser facilitada, de modo que os alunos possam compartilhar suas respostas. Essa etapa é crucial para corrigir mal-entendidos e aprofundar a compreensão dos alunos sobre os conceitos teóricos.

3.2. A experimentação e a máquina de arcos musicais

De modo geral, a experimentação pode ser compreendida como um processo de adaptação entre a teoria e a realidade sociocultural do estudante, que se dá através

das análises de situações reais de ocorrência natural ou fruto de uma nova produção humana. Nesse contexto, a abordagem experimental está presente nas Leis de Diretrizes Curriculares Nacionais (DCN) para os Cursos de Física Bacharelado e Licenciatura Plena (Brasil, 2001), na seção de Competências essenciais do profissional, conforme o trecho a seguir:

O egresso do curso de Física deve, dentre outras coisas: diagnosticar, formular e encaminhar a solução de problemas físicos, experimentais ou teóricos, práticos ou abstratos, fazendo uso dos instrumentos laboratoriais ou matemáticos apropriados (Brasil, 2001).

Segundo Meireles (2020), a inserção de atividades experimentais em sala de aula não assegura, por si só, a promoção de aprendizagens significativas ou a conexão instantânea entre teoria e prática. Nesse sentido, há a prevalência de uma “visão simplista” de que a experimentação contribui automaticamente para a aquisição do conhecimento científico por parte dos estudantes.

Diante de tais fatos, é essencial que haja um planejamento por parte do docente em torno de uma sequência didática (SD) que apresente um sentido racional para o aluno. Dessa forma, serão estabelecidas relações entre conhecimentos prévios, aspectos sensoriais, cognitivos e carga teórica.

A fase de montagem e demonstração envolve a apresentação da máquina de arcos voltaicos, explicando suas partes principais: a bobina, o circuito, o capacitor e o transformador. Em seguida, os alunos são divididos em grupos, de modo que cada um destes recebe um manual detalhado para a montagem do circuito. A supervisão da montagem é fundamental para garantir que os alunos identifiquem e conectem corretamente os componentes.

Após a montagem, permite-se que os estudantes manipulem o equipamento e interajam com as variáveis, observando a função de cada componente e buscando compreender o seu funcionamento de maneira minuciosa.

No decorrer dessa etapa, os estudantes observam os fenômenos e registram suas observações, realizando medições de tensões e frequências, se possível, utilizando-se de instrumentos adequados. Uma discussão pode ser incentivada para que os alunos compartilhem suas observações e análises, relacionando-as com os conceitos teóricos estudados. Essa etapa promove uma compreensão mais profunda e significativa dos fenômenos eletromagnéticos.

A consolidação do aprendizado é alcançada através da reflexão crítica, em que os alunos são encorajados a refletirem sobre o que funcionou bem e os desafios encontrados, sugerindo melhorias para experimentos futuros. Dessa forma, a manipulação das diferentes variáveis envolvidas permite que os estudantes desenvolvam o aprendizado a partir de hipóteses elaboradas, confrontando-as com a teoria abordada em sala de aula.

Esse método de consolidação do aprendizado por meio da reflexão crítica e da manipulação de variáveis encontra respaldo metodológico em inúmeras

publicações, dentre estas, destaca-se a obra de John Hattie: "*Visible Learning for Teachers: Maximizing Impact on Learning*" (Hattie, 2012). Nela, enfatiza-se a importância da reflexão e da experimentação como estratégias eficazes para o desenvolvimento do aprendizado significativo. Estudos que abordam a relação entre o uso de metodologias ativas e a experimentação, tais como o de Mortimer e Scott (2003), também podem fornecer reflexões relevantes para essa prática pedagógica.

3.3 Avaliação da aprendizagem

No processo de ensino e aprendizagem, a avaliação deve ser compreendida como um trabalho pedagógico processual, cumulativo e contínuo, com predomínio dos aspectos qualitativos sobre os quantitativos. Nesse sentido, as diretrizes curriculares nacionais dos cursos de graduação em engenharias, orientam que esse processo deve ser diversificado e adequado às etapas e às atividades do curso, distinguindo o desempenho em atividades teóricas, práticas, laboratoriais e de pesquisa e extensão (Brasil, 2019).

Desse modo, recomenda-se adotar a avaliação formativa, que se desenvolve de forma contínua e acompanha todo o processo de construção do aprendizado.

A avaliação da aprendizagem adquire seu sentido na medida em que se articula com um projeto pedagógico e com seu consequente projeto de ensino. A avaliação, tanto no geral quanto no específico da aprendizagem, não possui uma finalidade em si, ela subsidia um curso de ação que visa construir um resultado previamente definido. (Luckesi, 1998, p. 85)

No ensino de Física/engenharia, isso se traduz em uma diversificação nos instrumentos avaliativos como, por exemplo, a utilização de práticas experimentais associadas à elaboração de seminários, relatórios com levantamento de hipóteses, dentre outras (Gonçalves, 2021).

Segundo a teoria sociointeracionista de Vygotsky (2001), leva-se em consideração que o desenvolvimento cognitivo do ser humano não pode ser compreendido sem referência ao contexto social, sendo a interação social a ferramenta principal para a transmissão dinâmica do conhecimento. Assim, a interação social que provoca a aprendizagem deve ocorrer dentro da zona de desenvolvimento proximal (ZDP), na qual se situam os problemas que o aprendiz não é capaz de resolver individualmente, mas é capaz de resolvê-los com orientação ou em colaboração com companheiros mais capazes (Vygotsky, 2001).

Nesse contexto, a fim de promover uma ZDP que propicie aprendizagem, Dorneles; Araújo e Veit (2012), propõe uma avaliação formativa com base em questionários a serem respondidos em pequenos grupos. Para essa atividade, ao término de cada aula, os estudantes são convidados a entregar uma única solução por grupo de questões. Assim, espera-se promover a negociação de significados entre os alunos.

Como forma de se promover o engajamento cognitivo e a interatividade dos alunos, Tao e Gunstone (1999) propõe ainda uma sequência denominada PIE - Predizer, Interagir e Explicar. No PIE, inicialmente, são apresentadas perguntas sobre a evolução de determinada situação física, e os alunos são convidados a *predizer* - antes de qualquer interação com o recurso experimental - o que acontecerá. A seguir, os alunos devem *interagir* com o objeto do experimento para gerarem resultados e, então, avaliarem o que efetivamente ocorre; e, finalmente, devem *explicar* as divergências e convergências de suas previsões em relação ao que foi observado.

Outra proposta para se avaliar a visão epistemológica dos discentes sobre o assunto abordado é a partir da condução de um debate sobre a prática desenvolvida. Segundo Oliveira (2010), o debate potencializa a capacidade de reflexão e de construção da argumentação embasada sobre temáticas críticas. Assim, tal ferramenta didática favorece o desenvolvimento dos estudantes em relação à argumentação e linguagem, tornando-se assim uma abordagem com importantes desdobramentos sociais. Para o aprendizado, o debate é um recurso eficaz pois permite o confronto de diferentes pontos de vistas entre os interlocutores (estudantes/estudante e estudante/professores) (Barbosa; Marinho; Carvalho, 2020).

Para tanto, segundo Barbosa (2020), a condução do debate deve atender alguns critérios:

- 1) O professor deve atuar como moderador da discussão para que haja uma definição de critérios e organização da atividade;
- 2) Após todos exporem suas opiniões e, conseqüentemente, discutirem entre si o assunto debatido, deve ocorrer a participação em conjunto ao final da aula, sendo permitidas intervenções por parte do professor;
- 3) Por fim, o professor deverá fazer uma análise crítica de tudo o que foi exposto, fazendo um balanço geral com apontamentos reflexivos sobre os comportamentos intelectuais e emocionais de todos os envolvidos. Cabe ainda um segundo momento para amadurecer as ideias já estabelecidas.

Uma das formas de se iniciar o debate proposto é a partir de algumas perguntas de partida, podendo os alunos debaterem de forma livre ou em formato de apresentação de seminários. A seguir, algumas propostas de perguntas de partida.

- Por que saem arcos-voltaicos do transformador elevador?
- Por que os arcos elétricos emitem som?
- Por que a mudança de frequência interfere na capacidade dos arcos de emitirem som?

4 Considerações finais

No processo de ensino e aprendizagem é sempre necessária a busca por novos mecanismos de abordagem. Assim, a utilização de metodologias que promovem a experimentação, além de proporcionar a familiarização do conteúdo, estabelecem

relações entre os conhecimentos prévios, aspectos sensoriais, cognitivos e carga teórica.

Nesse sentido, a construção e experimentação da máquina de arcos voltaicos devem contribuir significativamente para um aprendizado consolidado e, de fato, significativo. A montagem do equipamento por etapas, a construção do circuito e a observação detalhada de cada componente, contribuíram de maneira relevante para a promoção da contextualização do conteúdo destacado, dando aplicação e significado ao conteúdo teórico.

A adoção de metodologias ativas, como a *sala de aula invertida*, juntamente com métodos de avaliação formativa, busca colocar o aluno como protagonista do processo de aprendizagem, transformando o ambiente da sala de aula em um espaço democrático, criativo, estimulante e propício para debates e reflexões.

Referências

ALVES, André; MOTTA, Yohannes; ZANCANELLA, Antônio. Geradores elétricos monofásicos e trifásicos como suporte didático para o ensino de eletromagnetismo. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 37, n. 2, p. 879-908, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.5007/2175-7941.2020v37n2p879>. Acesso em: 05 out. 2023.

BARBOSA, Camila; MARINHO, Danillo; CARVALHO, Larisse. Debate como metodologia de ensino para a aprendizagem crítica. **Programa de residência pedagógica na Licenciatura em Informática: partilhando possibilidades**, v. 1, p. 22-32, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.36470/famen.2020.l3c2>. Acesso em: 05 out. 2023.

BERGMANN, Jonathan; SAMS, Aaron. **Sala de aula invertida: uma metodologia ativa de aprendizagem**. Rio de Janeiro: LTC, 2016.

BRAGA, Newton. **Utilizando o 555 (ART1386)**. Instituto Newton C. Braga. Virtuous, 2020. Disponível em: <https://www.newtoncbraga.com.br/index.php/como-funciona/592-o-circuito-integrado-555-art011>. Acesso em: 23 jul. 2023.

BRASIL. Parecer CNE/CES nº 1.304 de 04 de dezembro de 2001. Diretrizes Nacionais Curriculares para os Cursos de Física. **Diário oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, p. 25, 2001.

BRASIL. Resolução nº 2 de 24 de abril de 2019. Diretrizes Curriculares Nacionais do Curso de Graduação em Engenharia. **Diário oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, p. 43 e 44, 2019.

CAPUANO, Francisco. **Laboratório de eletricidade**. 24. ed. São Paulo: Érica, 2014. Disponível em: <https://home.ufam.edu.br/iurybessa/Laborat%C3%B3rio%20de%20Eletricidade%20Geral/Capuano%20-%20Laborat%C3%B3rio%20de%20Eletricidade%20e%20Elet%C3%B4nica.pdf>. Acesso em: 10 set. 2023.

CHIQUITO, Ademilson; LANCIOTTI-JR, Francesco. Bobina de Tesla: dos circuitos ressonantes LC aos princípios das telecomunicações. **Revista brasileira de ensino de Física**, v. 22, n. 1, p. 69-77, 2000. Disponível em: https://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/v22_69.pdf. Acesso em: 5 out. 2023.

GIL, Antônio Carlos. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 7. ed. São Paulo: Atlas, 2019.

GONÇALVES, Marcos; FREITAS, André; GONÇALVES, Eder. Modelo de avaliação formativa para a aprendizagem com gamificação: um estudo de caso para o ensino de engenharia.

Revista Brasileira de Informática na Educação, v. 29, p. 358-384, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.5753/RBIE.2021.29.0.358>. Acesso em: 6 out. 2023.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. **Fundamentos de física**. 10. ed. Rio de Janeiro, RJ: LTC, 2016.

HATTIE, John. **Visible learning for teachers: maximizing impact on learning**. Abingdon: Routledge, 2012.

LABURÚ, Carlos; ARRUDA, Sergio. A Construção de uma bobina de Tesla para o uso em demonstrações na sala de aula. **Caderno brasileiro de ensino de Física**. v. 21, n. 1. p. 217-226, 2004. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/10008/14550>. Acesso em: 5. out 2023.

LABSIS EDUCACIONAL. **Proteus VSM**, 2018. Disponível em: <https://www.labsis.com.br/index.php/produtos/proteus>. Acesso em: 5 out. 2023.

LEAL, Aquilino. Mais uma aplicação para o integrado 555. **Revista Monitor de Rádio e Televisão**. n. 358, 1978. Disponível em: https://datassette.s3.us-west-004.backblazeb2.com/revistas/mrtv358_fev1978.pdf. Acesso em: 5 out. 2023.

LUCKESI, Carlos. **Avaliação da aprendizagem escolar**. 8. ed. São Paulo: Cortez, 1998.

MAZUR, Eric. Farewell, Lecture? **Science**, v. 323, n. 5910, p. 50-51, 2009.

MEDEIROS, Karem *et al.* A experimentação e a física do cotidiano como instrumento facilitador do processo de ensino aprendizagem. **Revista Foco**, v. 16, n. 2, p. 1-17, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.54751/revistafoco.v16n2-031>. Acesso em: 5 out. 2023.

MEIRELES, Graciane. A experimentação como instrumento de ensino da física: Uma revisão de literatura. **Amazonlive Journal**, Belém. v. 2, n. 3, p. 1-12, 2020 Disponível em: <http://amazonlivejournal.com/wp-content/uploads/2020/09/A-EXPERIMENTA%C3%87%C3%83O-COMO-INSTRUMENTO-DE-ENSINO-DA-F%C3%8DSICA-UMA-REVIS%C3%83O-DE-LITERATURA.pdf>. Acesso em: 10 set. 2023.

MORTIMER, Eduardo; SCOTT, Phil. **Meaning making in secondary science classroom**. Maidenhead: Open University Press/McGraw Hill, 2003.

OLIVEIRA, Lucas. Como organizar um debate formal em sala de aula. **Canal do Educador**, 2010. Disponível em: <https://educador.brasilescola.uol.com.br/estrategias-ensino/como-organizar-conduzir-um-debate-formal-sala-aula.htm>. Acesso em: 5 out. 2023.

PEREIRA, Denis; AGUIAR, Oderli. Ensino de física no nível médio: tópicos de física moderna e experimentação. **Revista Ponto de Vista**. v. 3, p. 65-81, 2002.

REIS, Wendel; MARTINS, Maria. Experimentos em livros didáticos de física: uma análise comparativa de duas edições do PNLD. **Imagens da Educação**, v. 5, n. 3, p. 16-25, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.4025/imagenseduc.v5i3.26522>. Acesso em: 21 set. 2023.

RIBEIRO, Maryluci. O uso da bobina de Tesla como recurso didático. **Amazonlive Journal**. v. 5, n. 1, p. 1-8, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.5281/zenodo.7893823>. Acesso em: 21 set. 2023.

RODRIGUES, Inaiara *et al.* Uma proposta de sequência didática com o uso de experimentação para a construção de conceitos de eletromagnetismo no ensino médio. **Revista Conexões**. v. 15, p. 1-9, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.21439/conexoes.v15i0.2123>. Acesso em: 5 out. 2023.

SILVA, Iasmim; FELÍCIO, Cinthia; TEODORO, Paulo. Sala de aula invertida e tecnologias digitais: possibilidade didática para o ensino de ciências em uma proposta de metodologia

ativa. **Revista Ibero-Americana de Estudos em Educação**, v. 17, n. 2, p. 1387-1401, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.21723/riaee.v17i2.15807>. Acesso em: 5 out. 2023.

SIMONE, Gílio. **Transformadores: teoria e exercícios**. São José dos Campo: Editora Érica, 2013.

STUCHI, Adriano *et al.* Proposta de bobina de Tesla de baixo custo para utilização em exposições científicas e demonstrações em sala de aula. **Revista de Enseñanza de la Física**. v. 33, n. 1, p. 145-155, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.55767/2451.6007.v33.n1.33233>. Acesso em: 5 out. 2023.

TAO, Pink.-Kee; GUNSTONE, Richard. The process of conceptual change in force and motion during computer-supported physics instruction. **Journal of Research in Science Teaching**, New York, v. 36, n. 7, p. 859-882, 1999. Disponível em: [http://dx.doi.org/10.1002/\(SICI\)1098-2736\(199909\)36:7%3C859::AID-TEA7%3E3.0.CO;2-J](http://dx.doi.org/10.1002/(SICI)1098-2736(199909)36:7%3C859::AID-TEA7%3E3.0.CO;2-J). Acesso em: 5 out. 2023.

TILBURY, Mitch. **The ultimate Tesla coil design and construction guide**. New York: McGrall-Hill, 2008.

VYGOTSKY, Lev S. **A construção do pensamento e da linguagem**. São Paulo: Martins Fontes, 2001.

YOUNG, Hugh; FREEMAN, Roger. **Física III: Eletromagnetismo**. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2016.

ZHANG, Darning; TSENG, King-Jet. Effect of high permittivity and core dimensions on the permeability measurement for Mn-Zn ferrite cores used in high-frequency transformer. In: IEEE INTERNATIONAL WORKSHOP ON ELECTRONIC DESIGN, TEST AND APPLICATIONS, 3. **Proceedings** [...]. Kuala Lumpur, Malaysia, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/DELTA.2006.40>. Acesso em: 25 set. 2023.

Informações complementares

Financiamento

Não se aplica.

Contribuição de autoria

Concepção e elaboração do manuscrito: José Milton Ferreira Júnior; Rafael Maciel da Silva.

Coleta de dados: Rafael Maciel da Silva.

Análise de dados: José Milton Ferreira Júnior.

Discussão dos resultados: Suely Alves Silva; Jéssyca de Freitas Lima Brito; Bruna Tarciana Cavalcante Bezerra.

Revisão e aprovação: José Milton Ferreira Júnior; Rafael Maciel da Silva; Suely Alves Silva; Jéssyca de Freitas Lima Brito; Bruna Tarciana Cavalcante Bezerra.

Preprint, originalidade e ineditismo

O artigo é original, inédito e não foi depositado como *preprint*.

Verificação de similaridades

O artigo foi submetido ao iThenticate, em 29 de janeiro de 2024, e obteve um índice de similaridade compatível com a política antiplágio da revista Pesquisa e Debate em Educação.

Consentimento de uso de imagem

Não se aplica.

Aprovação de Comitê de Ética em Pesquisa

Não se aplica.

Conflito de interesse

Não há conflitos de interesse.

Conjunto de dados de pesquisa

Não há dados disponibilizados.

Utilização de ferramentas de inteligência artificial (IA)

Este artigo não contou com auxílio de ferramentas de inteligência artificial (IA) para redação de nenhuma das seções

Licença de uso

Os autores cedem à Revista Pesquisa e Debate em Educação os direitos exclusivos de primeira publicação, com o trabalho simultaneamente licenciado sob a [Licença Creative Commons Attribution \(CC BY\) 4.0 Internacional](#). Esta licença permite que terceiros remixem, adaptem e criem a partir do trabalho publicado, atribuindo o devido crédito de autoria e publicação inicial neste periódico. Os autores têm autorização para assumir contratos adicionais separadamente, para distribuição não exclusiva da versão do trabalho publicada neste periódico (ex.: publicar em repositório institucional, em site pessoal, publicar uma tradução, ou como capítulo de livro), com reconhecimento de autoria e publicação inicial neste periódico.

Publisher

Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF), Faculdade de Educação (FACED), Centro de Políticas Públicas e Avaliação da Educação (CAEd), Programa de Pós-Graduação Profissional em Gestão e Avaliação da Educação Pública (PPGP). Publicação no Portal de Periódicos da UFJF. As ideias expressadas neste artigo são de responsabilidade de seus autores, não representando, necessariamente, a opinião dos editores ou da universidade.

Editor

Frederico Braidá

Formato de avaliação por pares

Revisão duplamente cega (*Double blind peer review*).

Sobre os autores

José Milton Ferreira Júnior

Graduado em Licenciatura em Química (UECE). Mestre em Química Inorgânica (UFC). Doutor em Biotecnologia (UFC). Professor da Universidade Estadual do Ceará.
Currículo Lattes: <http://lattes.cnpq.br/5406571853740986>

Rafael Maciel da Silva

Graduado em Engenharia Elétrica (UniFanor). Autônomo.
Currículo Lattes: <http://lattes.cnpq.br/0000000000000000>

Jéssyca de Freitas Lima Brito

Graduada em Saneamento Ambiental (IFCE). Especialista em Educação Ambiental e Geografia do Semiárido (IFRN). Mestra em Ciências e tecnologia Ambiental (UEPB). Doutora em Engenharia Civil (UFC). Professora do Centro Universitário Unifanor.
Currículo Lattes: <http://lattes.cnpq.br/8249136742080666>

Bruna Tarciana Cavalcante Bezerra

Graduada em Engenharia Química (UFC). Mestra em Engenharia Química (UFC).
Currículo Lattes: <http://lattes.cnpq.br/1565585711646178>

Suely Alves Silva

Graduada em Licenciatura em Física (IFCE). Mestra em Engenharia e Ciências dos Materiais (UFC). Doutora em Engenharia e Ciências dos Materiais (UFC). Professora do Centro Universitário Unifanor.
Currículo Lattes: <http://lattes.cnpq.br/9565809079928407>