



.....
Daniel de Lima¹, Thiago Alves de Sá Muniz Sampaio¹ , Wellington dos Santos Souza¹

¹Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Sertão Pernambucano, Salgueiro, PE, Brasil.
.....

Palavras-chave

eletromagnetismo
bobina de Tesla
ensino de física

Resumo

Este trabalho apresenta duas propostas experimentais utilizando uma bobina de Tesla de estado sólido como recurso didático para o ensino de conceitos de eletromagnetismo, com foco em sua aplicação em atividades práticas para estudantes. Dois experimentos foram realizados com uma lâmpada fluorescente: o primeiro analisa a relação entre a tensão de entrada e a distância crítica para a emissão de luz; o segundo explora a variação de iluminância em função da distância. Os resultados indicam uma correlação linear entre a tensão e a distância de acendimento da lâmpada, além de uma relação inversamente proporcional entre a iluminância e a distância. As atividades propostas podem facilitar a compreensão dos fenômenos eletromagnéticos, oferecendo uma abordagem prática para estudantes de física e o público em geral.

1. Introdução

O eletromagnetismo desempenha um papel fundamental

tanto na compreensão do universo quanto em diversas aplicações tecnológicas. Essa área da física examina fenômenos relacionados ao movimento de cargas elétricas, considerando as variações contínuas nos campos elétrico e magnético e baseando-se em leis fundamentais como a lei de Faraday da indução e a lei de Ampère-Maxwell [1-2]. Essas equações revolucio-

naram a física ao unificar as teorias fragmentadas da eletricidade e do magnetismo, antecipando a existência de ondas eletromagnéticas, incluindo a luz. As contribuições de Maxwell formaram a base para muitas inovações tecnológicas, moldando o mundo moderno e pavimentando o caminho para novas teorias [3-4].

No entanto, a teoria eletromagnética é frequentemente considerada uma das áreas mais complexas do currículo de física, o que demanda estratégias para tornar seu

O eletromagnetismo desempenha um papel fundamental tanto na compreensão do universo quanto em diversas aplicações tecnológicas, por examinar fenômenos relacionados ao movimento de cargas elétricas e considerando as variações contínuas nos campos elétrico e magnético

#Autor de correspondência. E-mail: thiago.muniz@ifsertao-pe.edu.br.

Este é um artigo de acesso livre sob licença Creative Commons



<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/>

aprendizado mais acessível [5]. Uma abordagem alternativa para o ensino do eletromagnetismo sugere a incorporação de atividades práticas experimentais que demonstrem os conceitos de forma tangível. Essas atividades permitem uma visualização direta dos fenômenos, enriquecendo a compreensão e tornando o processo de aprendizado mais concreto [6].

Além disso, a incorporação de atividades práticas favorece uma participação ativa e um envolvimento mais significativo dos alunos. Essa abordagem estimula um ambiente de aprendizado que ultrapassa a metodologia tradicional centrada exclusivamente no professor [7]. Com a realização dessas atividades, cria-se um espaço de questionamento e exploração, que oferece aos alunos oportunidades de testar diferentes cenários, desenvolvendo sua criatividade e raciocínio crítico [8-9].

Diante desse contexto, este trabalho tem como objetivo apresentar duas propostas experimentais que utilizam uma minibobina de Tesla de estado sólido como ferramenta didática. Nos experimentos, uma lâmpada fluorescente é utilizada para demonstrar quantitativamente, de forma prática, alguns conceitos do eletromagnetismo. Sendo assim, o diferencial da proposta é que a bobina de Tesla não seja usada apenas como recurso demonstrativo e lúdico, mas como objeto de estudo da física experimental em âmbito didático.

2. Fundamentação teórica

Nikola Tesla, nascido em 1856 e falecido em 1943, foi um visionário cujas inovações revolucionaram a eletricidade. Suas pesquisas em corrente alternada geraram patentes importantes para geradores, transformadores e turbinas, fundamentais para o sistema de energia atual. Tesla também foi pioneiro nas telecomunicações e sua bobina é vista como uma das primeiras tentativas de antena de rádio, influenciando tecnologias sem fio modernas [10].

A bobina de Tesla, patenteada em 1891, é famosa por gerar altas tensões com baixa corrente usando ressonância eletromagnética, criando impressionantes arcos elétricos [11-12]. Esse efeito tornou a bobina popular em demonstrações científicas e experimentos de alta tensão, mostrando fenômenos como acendimento de lâmpadas fluorescentes sem fios elétricos, uma propriedade que antecipa a ideia da transmissão de energia sem fio [13-14].

Nos primeiros modelos de bobinas de Tesla, usavam-se centelhadores fixos ou rotativos para induzir oscilações no circuito. Com o avanço da eletrônica, novos circuitos foram desenvolvidos, incorporando transistores [15-16]. Essa evolução tornou a tecnologia mais acessível e permitiu a criação de versões simplificadas da bobina de Tesla, viabilizando sua construção com

alguns componentes básicos, como resistores e indutores, o que incentivou sua exploração tanto por entusiastas quanto por estudiosos da ciência.

2.1. Tensão de saída na bobina de Tesla

A bobina de Tesla de estado sólido pode ser considerada um transformador ressonante, composto por dois circuitos LC em ressonância, conforme ilustrado na Fig 1. Ambos os circuitos compartilham exatamente a mesma frequência de ressonância [17-18]. O indutor armazena energia em um campo magnético, enquanto o capacitor armazena energia em um campo elétrico. A frequência de ressonância do circuito LC depende da indutância e da capacitância desses componentes. L_p e L_s são as indutâncias dos circuitos primário e secundário, associadas principalmente às bobinas, e C_p e C_s são as capacitâncias dos circuitos primário e secundário.

No circuito LC ideal, desconsidera-se a resistência elétrica, resultando em um sistema conservativo onde a energia total permanece constante ao longo do tempo, resultando que [3]

$$\frac{L_p i_p^2}{2} = \frac{L_s i_s^2}{2}, \quad (1)$$

$$V_p i_p = V_s i_s, \quad (2)$$

onde V_p e V_s representam a tensão de entrada e a tensão de saída, respectivamente. Embora existam perdas resistivas nos fios e componentes do circuito, como aquelas decorrentes do efeito Joule, assume-se que tais perdas são suficientemente pequenas para serem negligenciadas nessa análise simplificada. Desse modo, adota-se a hipótese de que toda a potência elétrica fornecida ao circuito primário é integralmente transferida ao circuito secundário, mantendo-se a relação idealizada de conservação de energia.

Ao combinarmos as Eqs. (1) e (2), obtemos uma expressão para a tensão de saída em função da tensão de entrada,

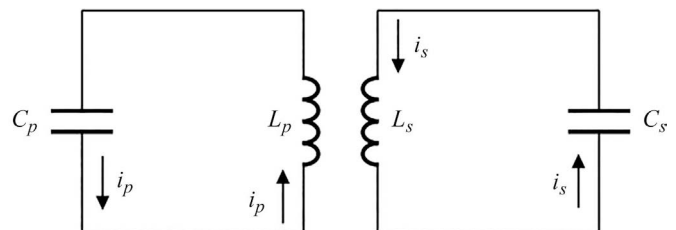


Figura 1 - Esquema de um transformador ressonante composto por dois circuitos LC .

$$V_s = V_p \sqrt{\frac{L_s}{L_p}}, \quad (3)$$

o que indica que, no caso ideal, as tensões são diretamente proporcionais.

3. Construção da bobina de Tesla de estado sólido

3.1. Materiais para o projeto

- Fio de cobre esmaltado de 0,05 mm;
- Um metro de fio de cobre sólido rígido de 1,5 mm;
- Tábua de madeira com dimensões de 20 × 15 cm;
- Transistor NPN TIP 31C;
- Dissipador de calor de alumínio para transistor;
- Um resistor de 100 k Ω ;
- Esfera de isopor de raio 3 cm;
- Folha de papel alumínio;
- Tubo cilíndrico de papel alumínio de 30 cm de comprimento;
- Botão interruptor (opcional);
- LED de 10 mm (opcional);
- Conector de saída jack P4 5 × 5 mm;
- Fonte de tensão de corrente contínua.

3.2. Indutor secundário

O indutor secundário é confeccionado utilizando-se um fio esmaltado de cobre, cuidadosamente enrolado em um suporte isolante, geralmente com formato cilíndrico (Fig. 2 (a)).

O processo inicia-se com a aplicação do fio de cobre (0,05 mm de espessura) ao redor do tubo cilíndrico, garantindo que não haja sobreposição dos enrolamentos. No caso presente, foram enroladas 600 voltas ao redor do tubo, como mostra a Fig. 2(b).

3.3. Carga superior

No topo do indutor secundário está o *topload*, um elemento metálico que pode ter várias formas (como esferas ou discos). Sua função principal é concentrar o campo elétrico e influenciar o comportamento das descargas elétricas. Para simplificar a montagem, optou-se por uma configuração esférica, usando-se uma esfera de isopor revestida com papel alumínio. A fixação é feita soldando-se um fio do indutor secundário à esfera e fixando-a no topo com cola. Esse *topload* metálico é essencial para que a bobina de Tesla concentre o campo elétrico, facilitando a produção de arcos elétricos.

3.4. Indutor primário

O indutor primário é caracterizado por ter um menor número de voltas. Nesse caso, é utilizado um fio de cobre de maior espessura, o qual foi enrolado diretamente na base do indutor secundário, totalizando 5



Figura 2 - Construção da bobina secundária.

voltas. Com o objetivo de prevenir o desenrolamento do indutor primário no experimento, empregou-se supercola.

3.5. Circuito elétrico

O circuito elétrico pode ser subdividido em duas malhas denominadas A e B; para montar a malha A, segue-se a rota do polo positivo até o polo negativo do conector de tensão. Conforme ilustrado na Fig. 3, observa-se que a extremidade positiva do conector deve ser adequadamente soldada ao resistor; na outra extremidade desse componente, a base do transistor deve ser devidamente conectada. Continuando a sequência do dia-

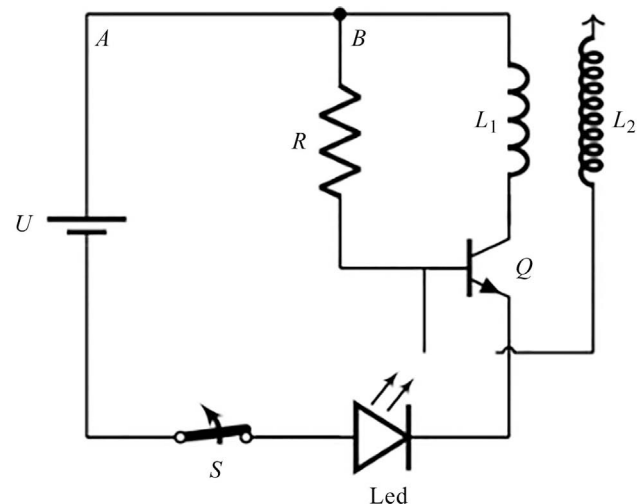


Figura 3 - Diagrama do circuito elétrico.

grama, integra-se o emissor ao LED, que está em série com o interruptor. Na extremidade oposta do interruptor, procede-se à soldagem no polo negativo do conector, finalizando a configuração da malha A.

A configuração da malha B é executada conectando-se uma das extremidades do enrolamento primário ao polo positivo do conector de tensão e em seguida soldando-se a outra extremidade no pino coletor do transistor, completando, assim, a malha B. Posteriormente, estabelece-se a interligação entre o pino base do transistor e a extremidade inferior do indutor secundário.

3.6. Funcionamento

A operação de uma bobina de Tesla de estado sólido envolve um transistor NPN, composto por materiais tipo N e tipo P, que regula o fluxo da corrente por meio de polarização direta. Quando acionado, o transistor permite a passagem de corrente pelo indutor primário, gerando um campo eletromagnético que induz corrente no indutor secundário, conforme a lei de Faraday. Esse processo alternado entre condução e interrupção cria ressonância eletromagnética. Durante o ciclo, forma-se um capacitor parasita (ver Fig. 4(a)), devido à falta de cargas negativas, gerando um campo elétrico de alta tensão. A corrente induzida amplifica e direciona energia para reiniciar o ciclo, otimizando o funcionamento do circuito. A Fig. 4(b) exibe o resultado da construção da bobina de Tesla de estado sólido e a Fig. 5(a) exibe seu funcionamento de forma lúdica, acendendo uma lâmpada à distância.

É proibido tocar na bobina durante sua operação, pois até mesmo um breve contato físico pode causar pequenas queimaduras. A Fig. 5 (b) ilustra a capacidade do arco elétrico de inflamar um palito de fósforo.

4. Propostas experimentais

Serão apresentadas duas propostas experimentais com a bobina de Tesla e a emissão de luz em lâmpadas fluorescentes, focando em conceitos de eletromagnetismo. O primeiro experimento analisa como a tensão de entrada da bobina afeta a distância mínima necessária para que a lâmpada emita luz, explorando a relação entre tensão e distância de ativação. O segundo experimento examina a variação da iluminância da lâmpada conforme a distância em relação à bobina, possibilitando a compreensão de como a intensidade luminosa muda com a distância.

4.1. Tensão de entrada em função da distância crítica de acendimento

À medida que nos aproximamos da lâmpada em relação ao terminal esférico da bobina, a luz começa a ser emitida a uma distância específica d . Esse evento ocorre quando a lâmpada é submetida a um potencial

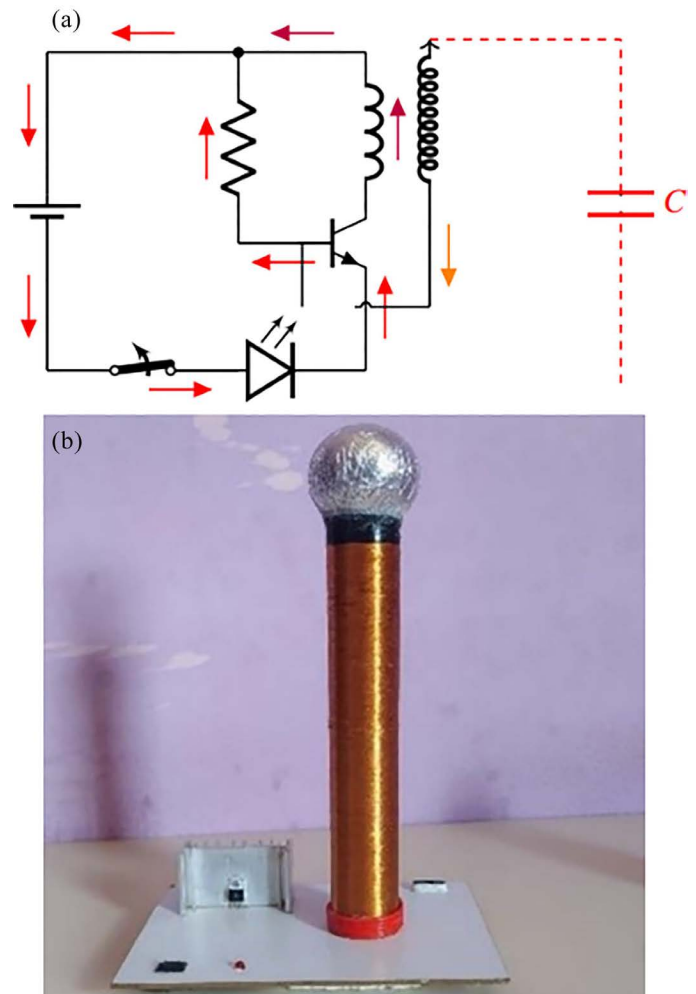


Figura 4 - Formação do capacitor parasita C e bobina de Tesla finalizada.



Figura 5 - Ionização da lâmpada fluorescente e exibição da capacidade da bobina de inflamar um palito de fósforo.

de corte designado como V_c . Esse potencial de corte é influenciado pelas propriedades do gás de mercúrio e argônio contidos na lâmpada.

Em um dado instante, o potencial elétrico na superfície do *topload* esférico é dado por [2]

$$V_s = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{R}, \quad (4)$$

enquanto o potencial de corte pode ser escrito como

$$V_c = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{d}. \quad (5)$$

Sabendo-se que a carga instantânea que gera o potencial é a mesma, pode-se combinar as Eqs. (4) e (5) e explicitar V_s :

$$V_s = \frac{V_c}{R} d, \quad (6)$$

onde V_c/R é uma constante. A Eq. (9) revela que a tensão de saída é diretamente proporcional à distância crítica na qual a lâmpada começa a emitir luz. A medição direta da tensão de saída não foi realizada devido à indisponibilidade de equipamentos adequados para medições de alta tensão. Como alternativa, utilizou-se a resposta da lâmpada fluorescente como indicador indireto da tensão de saída. Substituindo-se a Eq. (6) na Eq. (3) e explicitando-se V_p , obtém-se

$$V_p = \alpha d; \quad \alpha = \frac{V_c}{R} \sqrt{\frac{L_p}{L_s}}, \quad (7)$$

que diz que a tensão de entrada é diretamente proporcional à distância a partir da qual a lâmpada começa a emitir luz, no modelo em que as perdas por dissipação são desprezadas.

4.1.1. Objetivos

O experimento pretende investigar a proporcionalidade entre a tensão de entrada e a distância em que uma lâmpada fluorescente começa a emitir luz. Por meio dessa proposta experimental, procura-se compreender como a tensão de entrada influencia o comportamento da lâmpada fluorescente e se é possível estabelecer uma relação quantitativa entre essas variáveis.

4.1.2. Materiais

Os materiais necessários são:

- Suportes para dispositivo móvel;
- Lâmpada fluorescente;
- Régua;
- Fonte de tensão variável;
- Bobina de Tesla.

4.1.3. Procedimento

Ao se modificar o valor da tensão de entrada da bobina utilizando uma fonte de tensão variável, observa-se uma variação na distância em que a lâmpada começa a emitir luz. Essa relação entre a tensão aplicada e a distância de acendimento da lâmpada é um dos principais focos do experimento. O objetivo central é coletar os valores das distâncias em que a lâmpada inicia a

emissão de luz à medida que a tensão de entrada é incrementada. A Fig. 6 mostra a configuração detalhada do experimento.

Para iniciar o experimento, prenda a lâmpada fluorescente firmemente no suporte para dispositivo móvel. Posteriormente, posicione a bobina de Tesla na mesma linha horizontal à lâmpada. Assegure-se de que a lâmpada e a bobina estejam alinhadas adequadamente para garantir resultados precisos.

Conecte a bobina de Tesla a uma fonte de tensão variável, que será utilizada para alimentar o sistema. Escolha um valor inicial para a tensão. Em seguida, movimente gradualmente a bobina em direção à lâmpada, monitorando a distância a partir da qual a lâmpada começa a emitir luz - ao observar a primeira emissão de luz, registre a tensão aplicada e a distância correspondente. Repita esse procedimento para outras tensões.

4.1.4. Análise e explicação

Os dados obtidos durante a execução do experimento estão disponíveis na Tabela 1. A tabela apresenta os valores das tensões em volts (V) e as distâncias de ionização da lâmpada em centímetros (cm).

Na Tabela 2, destacamos a média das distâncias e o desvio-padrão correspondente.



Figura 6 - Distância crítica para o acendimento da lâmpada em função da tensão de entrada.

Tabela 1: Medidas das tensões em função das distâncias.

Tensão (V)	1° Ensaio (cm)	2° Ensaio (cm)	3° Ensaio (cm)	4° Ensaio (cm)	5° Ensaio (cm)
23,10	15,50	15,60	15,70	15,80	16,00
18,60	13,00	12,90	13,00	13,10	13,00
15,20	10,00	9,90	10,00	10,11	10,11
13,40	9,00	9,10	9,20	9,10	9,10
10,90	7,50	7,40	7,30	7,30	7,30
07,10	5,00	4,80	4,90	5,10	5,20
04,90	3,50	3,50	3,60	3,70	3,80

Tabela 2: Medidas da tensão em função da distância média.

Dados	Tensão de entrada (V)	Média das distâncias (cm)	Desvio padrão (cm)
1ª	23.10	15.72	0.29
2ª	18.60	13.00	0.05
3ª	15.20	10.02	0.09
4ª	13.40	9.10	0.06
5ª	10.90	7.34	0.16
6ª	07.10	5.00	0.14
7ª	04.90	3.62	0.10

A análise dos resultados indica que a distância necessária para acender a lâmpada aumenta proporcionalmente conforme a tensão aplicada. A linearidade observada nos dados sugere que o processo de ionização segue uma relação direta com a tensão fornecida. Para facilitar essa análise, foi elaborado um gráfico que mostra a tensão de entrada em função da distância de ionização da lâmpada, conforme ilustrado na Fig. 7.

Observa-se no gráfico uma alta correlação, o que sugere que o modelo teórico utilizado é adequado para descrever o comportamento do sistema. Isso permite a utilização do coeficiente angular α obtido experimentalmente para uma análise mais detalhada sobre o potencial de corte da bobina de Tesla.

Esse coeficiente indica quantos volts (V) são necessários para se aumentar a distância crítica de acendimento em um centímetro (cm), com unidade de medida V/cm. Fisicamente, α representa a taxa de variação da tensão de entrada em relação à distância crítica de acendimento da lâmpada. Um valor maior de α sugere que uma maior tensão é necessária para se aumentar a distância, indicando, indiretamente, um campo elétrico mais intenso.

No entanto, é importante destacar que o fenômeno de acendimento da lâmpada fluorescente não ocorre diretamente pela tensão, mas sim pelo campo elétrico

local ao qual a lâmpada está submetida. O processo de ionização do gás dentro da lâmpada acontece quando o campo elétrico atinge um valor crítico suficiente para arrancar elétrons dos átomos do gás. Esse campo elétrico depende não apenas da tensão de saída da bobina, mas também da geometria do sistema, especialmente da forma do terminal (*topload*) da bobina de Tesla, que influencia a distribuição das linhas de campo e, portanto, a intensidade do campo elétrico gerado.

No experimento, o coeficiente angular encontrado foi 1,478 V/cm, o que significa que para cada centímetro em que aumentamos a distância crítica precisamos aumentar a tensão em aproximadamente 1,478 V.

Além disso, a existência de uma tensão crítica constante (V_C) para o acendimento da lâmpada é outra observação importante. Essa tensão crítica corresponde ao valor mínimo de tensão de saída necessário para que o campo elétrico resultante atinja o limiar de ionização do gás. A constante V_C sugere que, independentemente da distância, a lâmpada só acende quando o campo elétrico atinge esse valor crítico.

O coeficiente linear β , obtido experimentalmente (0,158), difere do valor teórico (zero) devido a perdas de energia no circuito real, como resistências e efeitos parasitas. No modelo idealizado, essas perdas não são consideradas, o que resulta em um β nulo.

4.2. Iluminância em função da distância

4.2.1. Objetivo

O presente estudo tem como objetivo investigar a relação entre a iluminância e a distância de afastamento da bobina de Tesla em relação à lâmpada fluorescente, visando compreender como a intensidade da iluminação varia em função do afastamento da bobina de Tesla.

4.2.2. Materiais

- Dispositivo móvel;
- Notebook;
- Dois suportes para dispositivo móvel;
- Folha milimetrada ou régua;
- Lâmpada fluorescente;
- Fonte de tensão;
- Bobina de Tesla.

4.2.3. Procedimento sugerido

Antes de se iniciar a montagem, é fundamental proceder à instalação do aplicativo Phyphox em seu dispositivo móvel. Após a conclusão da instalação, deve-se acessar o aplicativo e selecionar a função “Luz” para realizar a medição da iluminância. Para otimizar o registro das medidas, é recomendável estabelecer uma conexão remota entre o dispositivo móvel e um

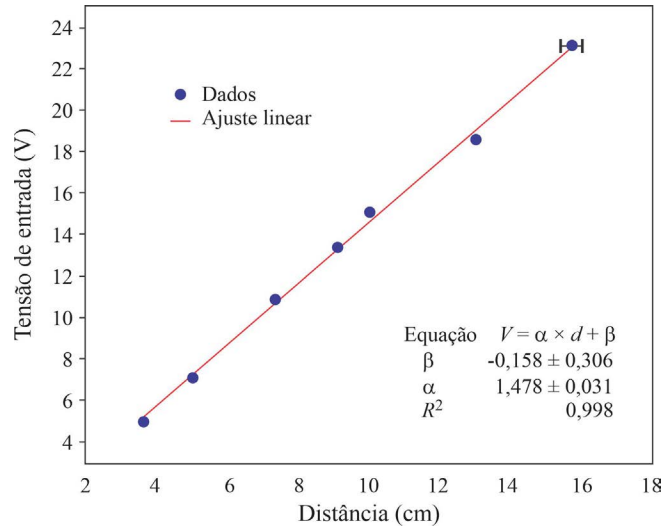


Figura 7 - Tensão de entrada em função da distância de ionização da lâmpada fluorescente.

notebook, utilizando-se a opção “Acesso Remoto” disponível no aplicativo (Fig. 8).

Subsequentemente, posicione uma folha milimetrada sobre uma superfície plana e fixe o dispositivo móvel a uma distância de 3,5 cm da lâmpada, utilizando um suporte apropriado. Para esse experimento, a bobina de Tesla foi alimentada com uma tensão de 24 V. Com a bobina ligada, afaste-a gradualmente em relação à lâmpada e repita esse procedimento para várias configurações de distância, registrando os valores correspondentes da iluminância em lux (lx) e da distância em centímetros (cm). As medições de iluminância foram realizadas com o Phyphox, que não dispõe de recurso de calibração integrado. Portanto, a precisão absoluta dos dados pode ser limitada, embora as variações relativas em função da distância mantenham validade para uma análise qualitativa.

4.2.4. Análise e explicação

A Tabela 3 apresenta os valores da iluminância em lux (lx), acompanhados das respectivas distâncias em centímetros (cm).

Ao analisarmos os dados, percebemos uma forte correlação linear entre a iluminância e os inversos de distância. Na Fig. 9, elaboramos um gráfico com os resultados. Essa abordagem tem o propósito de analisar a relação entre a iluminância e o inverso da distância, o qual está intimamente ligado ao potencial elétrico da bobina, conforme a Eq. (6).

Verificou-se uma tendência clara de diminuição da iluminância à medida que a distância aumenta. A análise de regressão linear indica uma forte correlação linear entre a iluminância e o inverso da distância, sugerindo que a iluminância possua relação direta com a diferença de potencial, ou tensão, à qual está sendo submetida.

Da teoria eletromagnética, é sabido que a iluminância tem relação direta com a intensidade de campo elétrico da onda eletromagnética associada à luz emitida. No entanto, este experimento procurou encontrar



Figura 8 - Experimento iluminância em função da distância.

Tabela 3: Iluminância em função da distância.

Medidas	Iluminância (lx)	Distância (cm)
1ª	378,10	7,40
2ª	301,80	8,80
3ª	252,30	10,00
4ª	205,70	11,40
5ª	178,20	12,60
6ª	151,10	14,30
7ª	133,20	15,50
8ª	116,20	16,90
9ª	100,40	18,30
10ª	85,90	19,50
11ª	74,80	20,70

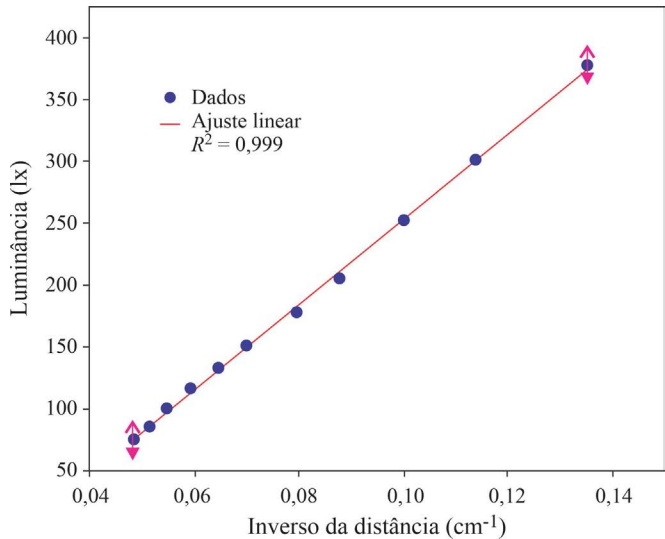


Figura 9 - Iluminância em função do inverso da distância.

uma possível relação entre a iluminância da lâmpada e o campo elétrico ou o potencial elétrico gerado pela esfera. Nas condições do experimento, com a lâmpada próxima e disposta de maneira radial, o experimento mostra que a intensidade luminosa da lâmpada cresce linearmente com a diferença de potencial entre pontos da lâmpada expostas a distâncias diferentes da bobina. Esse efeito pode ser parcialmente explicado pelo acoplamento capacitivo entre lâmpada e bobina, o que torna o fenômeno dependente da tensão, em vez de depender prioritariamente do campo em si.

5. Considerações finais

A abordagem proposta neste trabalho incluiu a criação de uma minibobina de Tesla de estado sólido, que se revelou uma ferramenta promissora para explorar os conceitos do eletromagnetismo de maneira tangível. As propostas experimentais desenvolvidas visaram explorar os princípios do eletromagnetismo de maneira prática e didática. Essas experiências podem reforçar os conceitos teóricos do eletromagnetismo e proporcionar uma visualização intuitiva dos fenôme-

nos estudados, tornando o aprendizado mais interessante para os alunos.

Os resultados encontrados dos experimentos mostraram-se consistentes e elucidativos em relação aos princípios do eletromagnetismo. No primeiro experimento, foi observada uma correlação linear entre a tensão aplicada e a distância de acendimento da lâmpada fluorescente, confirmando que aumentos na tensão de entrada resultam em um campo elétrico mais intenso, capaz de acender a lâmpada a maiores distâncias. No segundo experimento, a análise da variância da iluminância em função da distância revelou uma relação inversamente proporcional, indicando que a intensidade luminosa diminui à medida que a distância da bobina de Tesla aumenta. O possível comportamento de proporcionalidade da iluminância com o potencial elétrico suscita mais investigações futuras.

No geral, este trabalho mostra-se relevante para o ensino de física, pois introduz uma metodologia prática que pode facilitar a compreensão de seus conceitos. A utilização da bobina de Tesla como ferramenta educacional pode permitir aos envolvidos observar diretamente os efeitos dos campos eletromagnéticos e entender melhor os princípios teóricos por meio de experimentos práticos. Esta proposta de ensino enriquece o currículo escolar, podendo estimular o interesse e a curiosidade dos estudantes. Ao proporcionar uma experiência educativa e interativa, este trabalho tem o potencial de inspirar futuras gerações de cientistas, promovendo uma compreensão mais significativa dos fenômenos eletromagnéticos.

Recebido em: 19 de Novembro de 2024

Aceito em: 4 de Julho de 2025

Referências

- [1] J.D. Jackson, *Classical Electrodynamics* (American Association of Physics, Nova York, 1999), 3ª ed.
- [2] D.J. Griffiths, *Introduction to Electrodynamics* (Cambridge University Press, Nova York, 2018), 4ª ed.
- [3] H.M. Nussenzveig, *Curso de Física Básica: Eletromagnetismo (V. 3)* (Editora Blucher, São Paulo, 2015), 5ª ed.
- [4] J. Walker, *Halliday & Resnick Fundamentals of Physics* (Wiley, Hoboken, 2018), 10ª ed.
- [5] M.N.O. Sadiku, *Elementos de Eletromagnetismo* (Bookman, Porto Alegre, 2004), 3ª ed.
- [6] J. Dewey, *Experience and Education* (Free Press, Nova York, 2015).
- [7] V. Valdemar; M.P.D.B Ruver, *Guia para Atividades Práticas no Ensino de Física*, 2016. Disponível em <https://fisica.ufmt.br>, acesso em 1/10/2023.
- [8] J.A. Piaget, *A Equilíbrio das Estruturas Cognitivas: Problema Central do Desenvolvimento* (Zahar, Rio de Janeiro, 1975).
- [9] V. Fortuna, *Revista Brasileira de Ensino Superior* **1**, 64 (2015).
- [10] C. Gerekos, *The Tesla Coil*, 2011. Disponível em http://hazardousphysics.christophergerekos.eu/main/zeus/The_Zeus_Tesla_Coil_1.html, acesso em 8/10/2023.
- [11] M. Cheney, R. Uth, *Tesla Master of Lightning* (Barnes & Noble Publishing, Nova York, 1999).
- [12] C. Dommermuth-Costa, *Nikola Tesla: A Spark of Genius* (Lerner Publications Co, Nova York, 1994).
- [13] K. Dickerson, *Wireless Electricity? How the Tesla Coil Works*, 2014. Disponível em <https://www.livescience.com>, acesso em 8/10/2023.
- [14] G. Trinkaus, *The Tesla Coil* (High Voltage Press, Nova York, 1992).
- [15] P. Marek, *Historical Experiments and Apparatus*, 2023. Disponível em <https://weirdscience.eu/historical>, acesso em 10/10/2023.
- [16] M. Ridordan, *Transistor*, 2023. Disponível em <https://www.britannica.com/technology/transistor>, acesso em 8/10/2023.
- [17] M. Behrend, *How a Tesla Coil Works*, 2020. Disponível em <https://tayloredge.com/reference/Machines/TeslaCoil.pdf>, acesso em 8/10/2023.
- [18] J.C. Sprott, *Physics Demonstrations: A Sourcebook for Teachers of Physics* (Univ of Wisconsin Press, Nova York, 2006).