
DETERMINAÇÃO DA SENSIBILIDADE DE BOBINAS MAGNÉTICAS UTILIZANDO A LEI DE INDUÇÃO DE FARADAY⁺*

Mauro Sérgio Teixeira de Araújo

Queli Fuza Ferreira dos Anjos

Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas – Universidade Cruzeiro do Sul
São Paulo – SP

Resumo

Este trabalho descreve a elaboração de um aparato experimental que visa a determinar a sensibilidade S (área efetiva) de bobinas magnéticas por meio da utilização da lei de Faraday, sendo relatada o seu uso em atividades práticas realizadas na UNICSUL. Os valores experimentais da sensibilidade S mostraram-se concordantes com os valores teóricos obtidos através de considerações geométricas relacionadas com a construção das bobinas de prova, indicando adequação do procedimento adotado.

Palavras-chave: *Experimentação, ensino de Física, eletromagnetismo.*

Abstract

This article describes the elaboration of an experimental apparatus designed to determine the sensibility S (effective area) of magnetic coils by means of Faraday's law, relating its use in practical activities at Unicsul. The experimental values of sensibility S reach agreement with the theoretical values obtained based on

⁺ Determination of sensibility of magnetic coils using the Faraday's law

^{*} *Recebido: abril de 2005.
Aceito: abril de 2006.*

geometrical considerations, related to the construction of the experimental coils indicating that the adopted procedure was right.

Keywords: *Experimentation, Physics teaching, electromagnetism.*

I. Introdução

Este trabalho relata as atividades relacionadas ao desenvolvimento e utilização de um aparato experimental em aulas práticas de Física Experimental ministradas para alunos dos cursos de Engenharia da UNICSUL (ARAÚJO, 2005), tendo por base a aplicação e o entendimento da lei de Indução de Faraday visando a determinar a sensibilidade S (área efetiva) de uma bobina de prova colocada no interior de uma bobina de Helmholtz (REITZ, 2001), sendo a sensibilidade definida por $S = N A$, N correspondendo ao número total de espiras na bobina de prova e A a área da seção reta de cada enrolamento dessa bobina. A realização de atividades dessa natureza pode abrir espaço para que se desenvolvam discussões conceituais mais amplas e profundas, estimulando a participação ativa dos estudantes que podem, então, interagir com os equipamentos de modo a desenvolver uma percepção crítica da fenomenologia envolvida.

Nesse contexto, o trabalho busca contribuir para que os docentes possam planejar e aprimorar as atividades relacionadas às aulas práticas do Laboratório de Física, propondo-se para isto a utilização de um aparato que possibilite a abordagem de fenômenos eletromagnéticos, auxiliando assim o entendimento de aplicações tecnológicas que envolvem motores elétricos. Esse é um tópico da Física comumente presente no ensino médio, em disciplinas de Física Básica de cursos de formação de professores e em áreas técnicas de cursos como Engenharia e Ciências da Computação, entre outros. Desse modo, procurou-se abordar o uso da experimentação como uma estratégia de ensino de Física, enfocando os aspectos quantitativos relacionados à atividade prática (ARAÚJO, 2003) de modo a criar condições para que os estudantes possam realizar algumas ações inerentes ao método experimental, como a observação e a análise crítica dos fenômenos, o desenvolvimento de habilidades manuais e o uso de equipamentos de medidas, além de poderem familiarizar-se com procedimentos típicos da atividade experimental (ALVES FILHO, 2000).

II. Objetivos

Entre os objetivos do trabalho destaca-se a elaboração e a realização de uma atividade didática baseada na utilização de um arranjo experimental destinado ao estudo de fenômenos eletromagnéticos relacionados com a Lei de Indução de Faraday, visando a determinar a sensibilidade de bobinas de prova. Desse modo, busca-se, por meio da experimentação, o desenvolvimento de algumas competências e habilidades nos estudantes, como a capacidade de trabalho em grupo e o uso e a interpretação da linguagem matemática envolvida na determinação dos parâmetros físicos de interesse. Esse desenvolvimento de competências tem em vista possibilitar aos alunos a compreensão de outros fenômenos, com destaque para motores elétricos e outras aplicações tecnológicas, aspectos esses que vão ao encontro do que preconizam diversas orientações presentes na atual LDB (1996) e nos PCN (1999).

Entre os objetivos do trabalho destaca-se a elaboração e a realização de uma atividade didática baseada na utilização de um arranjo experimental destinado ao estudo de fenômenos eletromagnéticos relacionados com a Lei de Indução de Faraday, visando a determinar a sensibilidade de bobinas de prova. Desse modo, busca-se, por meio da experimentação, o desenvolvimento de algumas competências e habilidades nos estudantes, como a capacidade de trabalho em grupo e o uso e a interpretação da linguagem matemática envolvida na determinação dos parâmetros físicos de interesse. Esse desenvolvimento de competências tem em vista a compreensão de outros fenômenos, com destaque para motores elétricos e outras aplicações tecnológicas, aspectos esses que vão ao encontro do que preconizam diversas orientações presentes na atual LDB (1996) e nos PCN (1999).

III. Construção do arranjo experimental

Inicialmente foi construída uma bobina de Helmholtz (REITZ, 2001) a partir de um tarugo de nylon de diâmetro externo de 8 cm e interno de 6 cm, ao redor do qual foram torneadas duas canaletas para acomodar os enrolamentos condutores de fio de cobre esmaltado de diâmetro 1,0 mm. A corrente elétrica que circula por esses enrolamentos gera um campo magnético espacialmente quase uniforme em seu domínio, conforme ilustra a Fig. 1 a seguir.

Associando um circuito elétrico adequado a essa bobina é possível produzir uma corrente elétrica e um campo magnético constantes, cuja variação pode ser produzida pelas oscilações provenientes de um gerador de frequência

conectado ao circuito, permitindo a escolha da forma do sinal e de sua amplitude e frequência. Esse campo oscilante é responsável por induzir uma tensão em um solenóide de prova colocado em seu domínio. Esse solenóide é confeccionado a partir de um tarugo de nylon de 2,5 cm de diâmetro, em formato de carretel e em torno do qual foi fixado um enrolamento constituído de um fio de cobre esmaltado de 0,2 mm de diâmetro. Por sua vez, o circuito desenvolvido utilizou resistores, capacitores, trimpot e um transistor, todos soldados a uma placa de circuito impresso que foi embutida em uma caixa de plástico com conexões para a fonte de alimentação, o gerador e a bobina de Helmholtz. A Fig. 2 mostra o esquema do circuito.

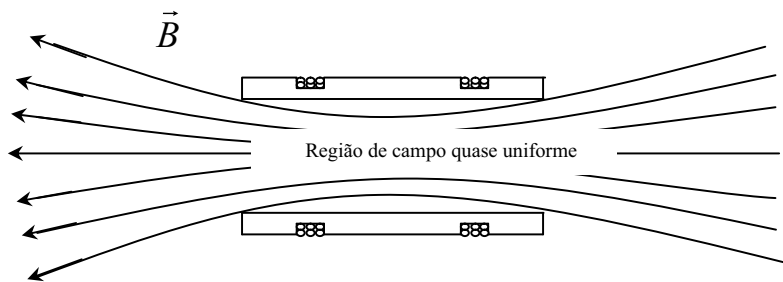


Fig. 1 – Esquema de uma bobina de Helmholtz.

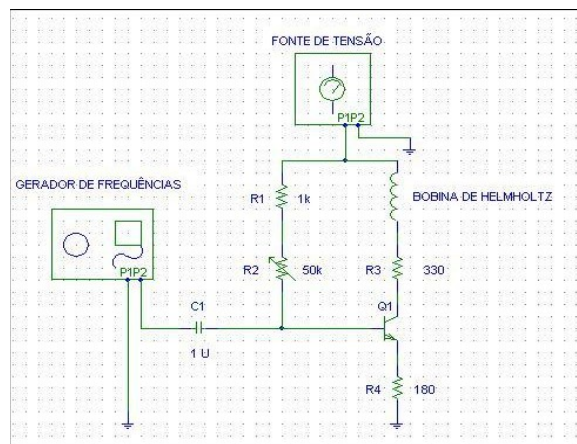


Fig. 2 - Esquema geral do circuito que permite selecionar o sinal produzido pela bobina de Helmholtz.

A tensão induzida nos terminais da bobina de prova colocada no interior da bobina de Helmholtz tem origem na variação do fluxo magnético Φ_B , definido por $\Phi_B = N A B = S B$. Conforme informado anteriormente, N é o número total de espiras na bobina de prova, A é a área da seção reta de cada

enrolamento da mesma e $S = NA$ é a sensibilidade ou área efetiva da bobina de prova a ser determinada.

IV. Fundamentos teóricos para determinação da sensibilidade da bobina

Sabe-se inicialmente que o campo magnético gerado pela bobina de Helmholtz é dado pela seguinte expressão (REITZ, 2001):

$$B_h(t) = \frac{32 \pi N_h}{5^{\frac{3}{2}} a} \times 10^{-7} I(t)$$

Nessa expressão $I(t)$ é a corrente, em ampères, que percorre os fios do solenóide, B_h é o campo induzido em Tesla, a é o raio do solenóide em metros e N_h é o número de espiras em cada um dos dois enrolamentos da bobina.

A bobina de Helmholtz utilizada neste trabalho apresentava os seguintes parâmetros geométricos:

$$a = 0,03 \text{ m}$$
$$N_h = 39 \text{ espiras,}$$

Portanto, utilizando esses parâmetros na expressão para o campo B_h temos, em unidade Tesla:

$$B_h(t) = 11,69 \times 10^{-4} I(t).$$

A intensidade da corrente que circula pela bobina de Helmholtz foi ajustada através do gerador de frequências regulando-se a amplitude da tensão nos terminais de um resistor de 330Ω colocado em série com essa bobina.

Tendo sido escolhido no gerador de sinais um sinal com formato senoidal, ou seja, $V(t) = V_0 \text{ sen}(\omega t)$, e sabendo-se que nos terminais da resistência de 330Ω a Lei de Ohm estabelece que a relação entre a tensão e a corrente é dada por $V(t) = 330 I(t)$, a expressão para o campo B_h torna-se:

$$B_h(t) = 11,69 \times 10^{-4} \frac{V_0}{330} \text{ sen}(\omega t).$$

A lei de Indução de Faraday estabelece que a tensão induzida na bobina de prova é decorrente da variação temporal do fluxo magnético, definido anteriormente como sendo $\Phi_B = N A B = S B$, em que $S = N A$ é a sensibilidade ou área efetiva da bobina de prova que se deseja determinar. Logo, ajustando-se a amplitude da tensão em 10 V pico a pico na resistência de 330Ω e utilizando-se

esses valores na expressão da lei de Indução de Faraday, é possível escrever a seguinte equação para a amplitude da tensão induzida:

$$V_b = \frac{d\Phi_B}{dt} = S \frac{dB_h}{dt} = 2,2258 \times 10^{-4} S f$$

Analisando a equação acima, é fácil perceber que a área efetiva (sensibilidade S) da bobina de prova pode ser determinada através do seguinte procedimento:

1) Realizar medidas da tensão induzida (V_b) na bobina de prova para diferentes valores de frequência f ajustados no gerador de frequências.

2) Construir um gráfico de V_b versus f , que deve apresentar um comportamento linear.

3) Determinar o coeficiente angular da reta, que está relacionado com a sensibilidade S da bobina, por meio da expressão:

$$\text{Coef. ang.} = 2,2258 \times 10^{-4} S.$$

Desse modo, a sensibilidade da bobina pode ser finalmente calculada por:

$$S = \frac{\text{coef. ang.}}{2,2258 \times 10^{-4}}$$

A Fig. 3 mostra a bobina de Helmholtz com a bobina de prova em seu interior, enquanto a Fig. 4 mostra o circuito elétrico montado dentro da caixa plástica.

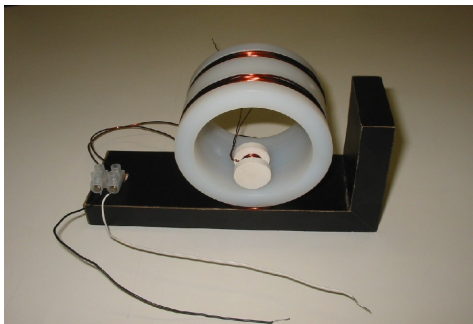


Fig. 3 - Bobina de Helmholtz e de prova.



Fig. 4 - Circuito elétrico na caixa plástica.

A Fig. 5 mostra a montagem geral do arranjo experimental com as bobinas de Helmholtz e de prova, a caixa com o circuito eletrônico, a fonte de

alimentação, o gerador de sinais e o osciloscópio utilizado para medir o sinal senoidal do campo magnético induzido.

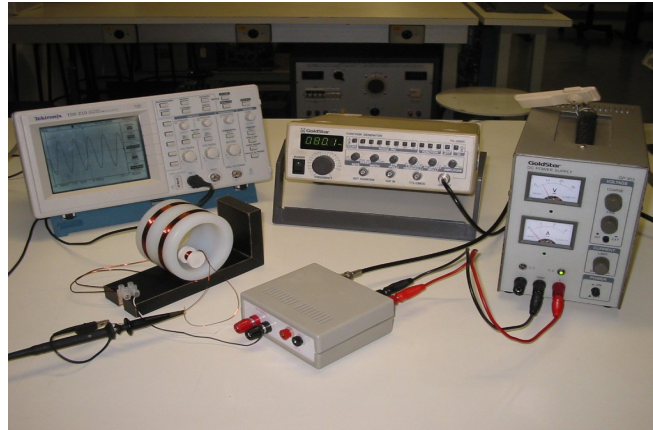


Fig. 5 - Montagem completa do arranjo experimental.

IV. Resultados obtidos

Como exemplo de resultados obtidos com um dos equipamentos utilizados nas aulas práticas, considerando o procedimento experimental descrito anteriormente e utilizando um sinal senoidal entre 0 kHz e 140 kHz, com medidas feitas em intervalos de 20 kHz, foi obtido um conjunto de dados que permitiu elaborar o gráfico apresentado abaixo.

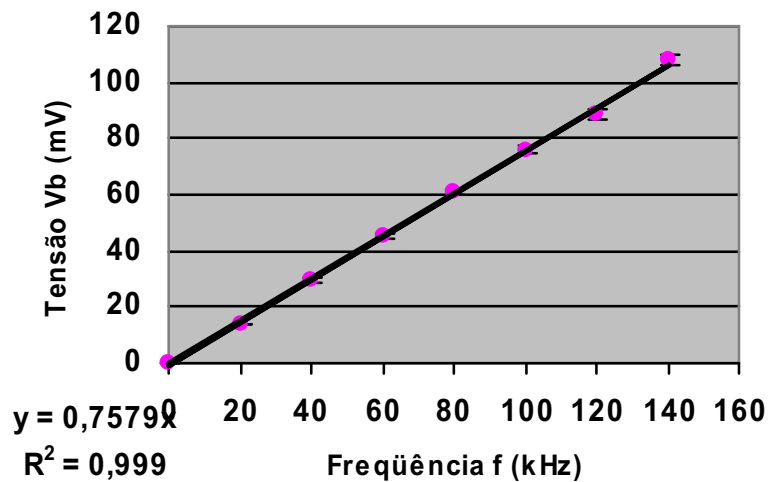
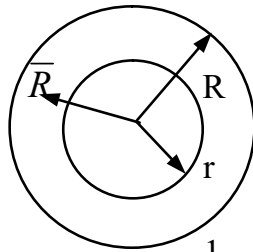


Gráfico 1 - Valores da tensão induzida V_b em função de f .

A reta média ajustada no gráfico de $V_b(f)$ foi determinada por meio de regressão linear, sendo a equação de regressão apresentada na área do gráfico juntamente com o parâmetro R^2 , conhecido por coeficiente de determinação, cujo valor $R^2 = 0,999$ indica que a tendência linear dos dados é bastante confiável. O coeficiente angular da reta ajustada tem valor $7,579 \times 10^{-7}$, a partir do qual foi determinada a sensibilidade da bobina de prova utilizada, que apresentou o valor $S = (3,40 \pm 0,18) \times 10^{-3} \text{ m}^2$.

A bobina de prova utilizada nas medições foi construída com quatro camadas de 10 enrolamentos sobre um carretel de nylon com diâmetro de 8 mm. Essa bobina apresentou um diâmetro externo com as quatro camadas de fios de $11,90 \pm 0,05 \text{ mm}$, valor esse medido com um paquímetro com incerteza de apenas 0,05 mm.

Assim, para comparar o resultado experimental obtido através da Lei de Faraday com o valor geométrico da sensibilidade da bobina, foi calculada uma área média utilizando o valor médio do diâmetro do enrolamento, considerando para isso o raio médio \bar{R} ilustrado na figura abaixo, ou seja:



$$\pi \bar{R}^2 - \pi r^2 = \frac{1}{2} (\pi R^2 - \pi r^2)$$

Desse modo, isolando o valor do raio médio obtém-se:

$$\bar{R} = \sqrt{\frac{1}{2} (R^2 + r^2)}$$

Assim, substituindo os valores $R = 5,95 \text{ mm}$ e $r = 4,0 \text{ mm}$, obtém-se para o raio médio o valor $\bar{R} = 5,07 \text{ mm}$, que permite então calcular a área geométrica do conjunto de 40 enrolamentos que compõem a bobina de prova, ou seja:

$$S_{\text{geo}} = 40 \pi \bar{R}^2 = 40 \pi 5,07^2 = (3,23 \pm 0,06) \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

A incerteza no valor da área geométrica foi determinada através do método de propagação de erros.

Dessa maneira, comparando-se o resultado experimental obtido com base na lei de Indução de Faraday, $S = (3,40 \pm 0,18) \times 10^{-3} \text{ m}^2$, com o valor geométrico da sensibilidade da bobina, $S_{\text{geo}} = (3,23 \pm 0,06) \times 10^{-3} \text{ m}^2$, constata-se uma diferença de apenas 5,0 %, comprovando a funcionalidade do equipamento que está sendo empregado no Laboratório de Física.

Verificou-se também nas atividades práticas realizadas utilizando o aparato experimental aqui descrito, que foi possível alcançar importantes objetivos, com destaque para o desenvolvimento de algumas competências nos estudantes, como a capacidade de realização de atividades em grupo e o uso de instrumentos de medidas, uma vez que os alunos atuaram desenvolvendo ações em pequenos grupos nas bancadas do laboratório e o processo de tomada de dados demandava uma manipulação adequada de equipamentos como multímetro e osciloscópio, a interpretação da fenomenologia envolvida, discutida previamente, e o uso da linguagem matemática, pois a determinação do parâmetro físico de interesse exigiu dos alunos a elaboração de gráficos e a realização de cálculos a partir dos mesmos. Através de discussões posteriores foi possível evidenciar que esse conjunto de elementos pode auxiliar a compreensão de aplicações tecnológicas relacionadas aos motores elétricos, uma vez que permitiram perceber o papel da lei de Indução de Faraday nesse fenômeno por meio da atividade desenvolvida.

V. Conclusões

A utilização de diferentes metodologias de ensino de Física tende a facilitar o alcance de diversos objetivos educacionais. Nesse sentido, é possível conferir às atividades experimentais um papel de destaque, dada a natureza intrínseca da Física, uma área de conhecimento que permite que sejam abordados tanto os aspectos práticos quanto os teóricos a ela relacionados. Desse modo, o uso das atividades experimentais pode fornecer significativas contribuições para os processos de ensino e aprendizagem, já que permitem o emprego de diferentes modalidades e enfoques de experimentação, capazes de auxiliar no planejamento didático dos professores (ARAÚJO; ABIB, 2003).

A importância e os significados que as atividades experimentais podem assumir em diferentes contextos são destacados em alguns trabalhos recentes (ALVES FILHO, 2000; COELHO, 2000; LABURÚ, 1996), de modo que

a elaboração de recursos instrucionais voltados para o ensino prático de Física constitui uma importante área de investigação que pode fornecer subsídios para aprimorar procedimentos pedagógicos capazes de estimular o espírito crítico e o pensamento reflexivo dos estudantes, aspectos defendidos na atual LDB. Ampliando os objetivos deste trabalho, acredita-se que, além dos aspectos já apontados, o uso adequado da experimentação e o esclarecimento do seu papel perante a Física podem, ainda, facilitar a aprendizagem de procedimentos científicos e possibilitar que seja transmitida aos estudantes uma visão epistemologicamente correta da Ciência e de seus métodos (MOREIRA, 1993). Esses aspectos, que levam os estudantes a refletirem sobre importantes elementos relacionados à produção do conhecimento, podem ser abordados pelo professor na introdução da atividade prática e, complementarmente, por meio de questões inseridas no roteiro da atividade.

Nesse contexto, foi desenvolvido um trabalho baseado na construção de um aparato experimental que possibilitou a realização de uma atividade prática por pequenos grupos de alunos, visando à abordagem de fenômenos eletromagnéticos relacionados com a Lei de Faraday, tópico normalmente abordado no ensino médio e também em disciplinas de alguns cursos superiores. O arranjo é baseado em uma bobina de Helmholtz acoplada a um circuito e a um gerador de sinais e permite produzir campos magnéticos que possibilitam a determinação da sensibilidade S , ou área efetiva, de bobinas de prova colocadas em seu interior. Isso é possível por meio de uma aplicação prática da lei de Indução de Faraday, cujos conceitos adjacentes podem ser utilizados para interpretar outros fenômenos relacionados com aplicações tecnológicas e científicas ou com motores elétricos, encontrados em equipamentos domésticos presentes no cotidiano dos estudantes. Assim, ao aproximar os estudantes de aspectos científicos e tecnológicos relacionados com a Física, os professores podem fazer uso de um ensino contextualizado e, desse modo, contribuir para que os alunos percebam alguns reflexos desta ciência no seu dia-a-dia. Essa abordagem contextualizada da Física atende algumas das orientações curriculares contidas nos PCN e em formulações e discussões posteriores nas quais esses aspectos são defendidos, tendo em vista as mudanças necessárias para a atualização do ensino de Física que deve, entre outros elementos, contemplar “aspectos cotidianos relacionados ao funcionamento dos aparelhos, como geladeiras, condicionadores de ar, motores etc” (KAWAMURA, 2003, p. 23).

No que se refere aos resultados experimentais obtidos, constatou-se que o arranjo proposto foi capaz de fornecer valores para a sensibilidade de

bobinas de prova bastante próximos dos obtidos a partir de cálculos que envolvem os parâmetros geométricos dessas bobinas. A diferença entre os valores apresentados neste trabalho foi de apenas 5 %. Esses resultados indicam que o arranjo mostra-se bastante adequado para os fins pretendidos e pode ser utilizado em outras atividades práticas, como o mapeamento de campos magnéticos constantes, ou para verificar a interação entre campos produzidos por correntes elétricas com bússolas, permitindo ilustrar outros aspectos da eletrodinâmica.

Referências

ALVES FILHO, J. P. Regras de transposição didática aplicada ao laboratório didático. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 17, n. 2, p. 174-188, 2000.

ARAÚJO, M. S. T.; ABIB, M. L. V. S. Atividades experimentais no Ensino de Física: diferentes enfoques, diferentes finalidades. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 25, n. 2, p. 176-194, 2003.

ARAÚJO, M. S. T.; ANJOS, Q. F. F. Determinação da sensibilidade de uma bobina magnética utilizando a Lei de Indução de Faraday. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, XVI, 2005, Rio de Janeiro. **Caderno de Resumos...** p. 152.

BRASIL. **Lei de Diretrizes e Bases da Educação**. N.9394/96.

BRASIL, MEC. Secretaria de Educação Média e Tecnológica. **Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio**. Brasília, 1999.

COELHO, S. M.; KOHL, E.; BERNARDO, S.; WIEHE, L. C. N. Conceitos, atitudes de investigação e metodologia experimental como subsídio ao planejamento de objetivos e estratégias de ensino. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 17, n. 2, p. 122-149, 2000.

KAWAMURA, M. R. D.; HOSOME, Y. A contribuição da Física para um novo ensino médio. **Física na Escola**, v. 4, n. 2, 2003.

LABURÚ, C. E.; ARRUDA, S. M. Considerações sobre a função do experimento no ensino de Ciências. **Ciência e Educação**, n. 3, Baurú, 1996.

MOREIRA, M. A.; OSTERMANN, F. Sobre o ensino do Método Científico. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 10, n. 2, p. 108-117, 1993.

REITZ, J. R.; MILFORD, F. J.; CHRISTIE, R. W. **Fundamentos da Teoria Eletromagnética**. São Paulo: Editora Campus, 2001.