



## **PROPOSTA DE UM ESTUDO DIRIGIDO SOBRE AS EQUAÇÕES DE MAXWELL NO CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

**Bruno Venício de Oliveira Silva** – bruno.venicio@uniderp.edu.br

Anhanguera - Uniderp - Universidade para o Desenvolvimento do Estado e da Região do Pantanal, Diretoria de Pós-Graduação Stricto Sensu Kroton  
Rua Ceará, 333, Bairro Miguel Couto  
CEP 79003-010 – Campo Grande – Mato Grosso do Sul

**Eliéverson Guerchi Gonzales** – elieverson@uniderp.edu.br

Anhanguera - Uniderp - Universidade para o Desenvolvimento do Estado e da Região do Pantanal, Diretoria de Pós-Graduação Stricto Sensu Kroton  
Rua Ceará, 333, Bairro Miguel Couto  
CEP 79003-010 – Campo Grande – Mato Grosso do Sul

***Resumo:** As equações de Maxwell são um grupo de quatro equações que compõem a base da eletricidade e do magnetismo. O desenvolvimento destas equações e o entendimento do eletromagnetismo gerou grande contribuição para uma revolução tecnológica iniciada no final do século XIX e continuada durante as décadas seguintes. As equações foram elaboradas por Maxwell, partindo do estado da arte em que a teoria eletromagnética se encontrava na época. Essas equações abordavam a presença de campo elétrico devido a sua fonte, a carga elétrica (Lei de Gauss), a interação entre duas correntes elétricas (Lei de Ampère), e como variações de campo magnético produzem campos elétricos (Lei da indução de Faraday). Maxwell, em 1864, foi o primeiro a juntar essas quatro equações e perceber que era necessário o seguinte incremento na lei de Ampère: as alterações no campo elétrico atuam como correntes elétricas, produzindo campos magnéticos. Além disso, Maxwell mostrou que as quatro equações, com sua incrementação, predizem a mensuração de ondas, via oscilações de campos magnéticos e campos elétricos, que propagam por meio do espaço vazio na velocidade que poderia ser entendida como a velocidade da luz. Este artigo propõe a elaboração de um estudo dirigido para compreensão e discussão das equações do ponto da história da física com ênfase no estudo da teoria eletromagnética.*

***Palavras-chave:** Lei de Gauss, Lei de Ampère, Lei de Faraday, Eletromagnetismo.*

### **1 INTRODUÇÃO**

A investigação das leis do eletromagnetismo é um episódio histórico que serviu como premissa para o desenvolvimento científico e tecnológico ao longo do tempo (SOUZA; OLIVEIRA, 2003). A maioria dos equipamentos de uso em geral, como por exemplo, motores de indução, telefonia móvel, microcomputadores, televisores entre outros, são resultado de pesquisas e testes experimentais pertencentes ao campo da teoria eletromagnética (LODER, 2005).

Organização



**UDESC**  
UNIVERSIDADE  
DO ESTADO DE  
SANTA CATARINA



Promoção





As leis do eletromagnetismo foram agrupadas em quatro equações gerais, conhecidas como Equações de Maxwell, recebeu este nome em homenagem a James Clerk Maxwell (1831, 1879) que foi o autor dessa formulação. Entre os pesquisadores que contribuíram para os estudos da teoria eletromagnética, cita-se Carl Friedrich Gauss (1777, 1855), responsável por definir as linhas de campo elétrico e magnético por meio de superfícies que este chamou de gaussianas; Michael Faraday (1791, 1867), sugeriu a hipótese da indução eletromagnética e André Marie Ampère (1775, 1836) que definiu que um campo magnético é gerado em torno de um condutor percorrido por corrente (SIQUEIRA, 2011).

Este artigo tem como objetivo discutir quatro equações do ponto da história da Física, com o foco no estudo da teoria eletromagnética. Essas descobertas e estudos realizados por estes estudiosos serão abordados para execução de uma proposta de estudo dirigido para ser utilizado nos cursos de graduação em engenharia elétrica.

## 2 CONTEXTO HISTÓRICO DA TEORIA ELETROMAGNÉTICA

James Clerk Maxwell (1831, 1879) foi um físico matemático escocês. Nasceu em Edimburgo na Escócia e faleceu em Cambridge na Inglaterra. Desde sua infância foi habilidoso em desenvolver cálculos matemáticos. Aos dezenove anos, Maxwell foi estudar matemática na Universidade de Cambridge. No ano de 1854, concluiu a graduação em matemática entre os melhores discentes referentes ao seu ano, assim, logo após apresentou um artigo puramente matemático à Sociedade Filosófica de Cambridge intitulado “*On the Transformation of Surfaces by Bending*” (OBERZINER, 2008).

Aos trinta anos de idade, Maxwell tornou-se professor do ramo Física Experimental na Universidade de Cambridge e, então em 1864 dedicou-se a formular matematicamente as teorias de Michael Faraday sobre a eletricidade e o magnetismo, conseguindo obter equações que descrevem os fenômenos elétricos e magnéticos que ocorrem no universo. São quatro equações que foram formuladas e reveladas em 1873, conhecidas como “Equações de Maxwell” (SIQUEIRA, 2011).

Em estudos dos trabalhos de Michael Faraday, Maxwell verificou que a oscilação de portadores cargas, sejam estes carregados positivamente ou negativamente, produzem campos elétricos e magnéticos oscilantes. Em análise as oscilações destes portadores de carga, Maxwell relacionou duas forças que estão presentes nesse fenômeno: as forças elétrica e magnética, conforme são mostradas nas “Equações (1) e (2)”.

$$F_e = k_e \frac{q_1 q_2}{r^2} \hat{r} \quad (1)$$

$$F_m = k_m \frac{P_1 P_2}{r^2} \hat{r} \quad (2)$$

Ambas as forças estão relacionadas ao inverso do quadrado da distância de acordo com um ponto referencial e, ao mesmo tempo, dependem de constantes específicas que não são independentes entre si, mas que sim, de alguma forma se relacionam.

$$k_e = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 8,987551788 \times 10^9 \text{ Nm}^2 / \text{C}^2 \quad (3)$$



$$k_m = \frac{\mu_0}{4\pi} = 1,000000000 \times 10^{-7} \text{ N s}^2 / \text{C}^2 \quad (4)$$

Em que  $k_e$  é a constante de permissividade elétrica no vácuo e  $k_m$  a constante magnética. A relação matemática entre as duas constantes são apresentadas nas “Equações (5) e (6)”.

$$\frac{k_e = 8,987551788 \times 10^9 \text{ N m}^2 / \text{C}^2}{k_m = 1,000000000 \times 10^{-7} \text{ N s}^2 / \text{C}^2} \quad (5)$$

$$\frac{k_e}{k_m} = 8,987551788 \times 10^{16} \text{ m}^2 / \text{s}^2 \quad (6)$$

Ao verificar essas constantes, Maxwell concluiu que a relação entre elas resultava em uma constante com unidade dimensional de metro ao quadrado por segundo ao quadrado, em outras palavras, conforme apresentado nas “Equações (7) e (8)”.

$$\frac{k_e}{k_m} = \sqrt{8,987551788 \times 10^{16} \text{ m}^2 / \text{s}^2} = c \quad (7)$$

$$c = 2,99792458 \times 10^8 \text{ m} / \text{s} \quad (8)$$

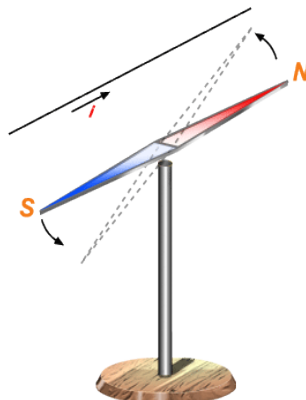
Assim, Maxwell concluiu que a oscilação de um portador de carga produz campo magnético e que com base em seus cálculos teóricos concluiu que esse campo magnético se propaga a uma velocidade de  $2,99792458 \times 10^8$  m/s, que é a velocidade de propagação da luz no vácuo. Maxwell afirmou que a luz nada mais era do que uma radiação eletromagnética e que se as cargas podiam oscilar com qualquer frequência, poderiam dar origem a radiações de todos os comprimentos de onda dentro do espectro eletromagnético, sendo a luz apenas uma variedade específica dessas variações (BASTOS; SADOWSKI, 2003). Essas ondas foram verificadas experimentalmente no ano de 1883 por Heinrich Rudolf Hertz (1857, 1894).

### 3 HISTÓRICO DE DESENVOLVIMENTO DAS EQUAÇÕES DE MAXWELL

O eletromagnetismo teve seu início com a descoberta feita pelo físico dinamarquês Hans Christian Ørsted (1777, 1851) no ano de 1820, no qual observou que, quando a agulha de uma bússola é colocada próxima de uma corrente elétrica, essa agulha é desviada de posição, consoante a “Figura 1”. Assim, uma agulha magnética, suspensa pelo centro de gravidade, só entrará em movimento quando estiver imersa em um campo magnético. O deslocamento da agulha é explicado pela formação de um campo magnético em torno do condutor percorrido por uma corrente elétrica. Essa foi a primeira vez que se observou o aparecimento de um campo magnético juntamente com uma corrente elétrica (ASSIS, 2010).

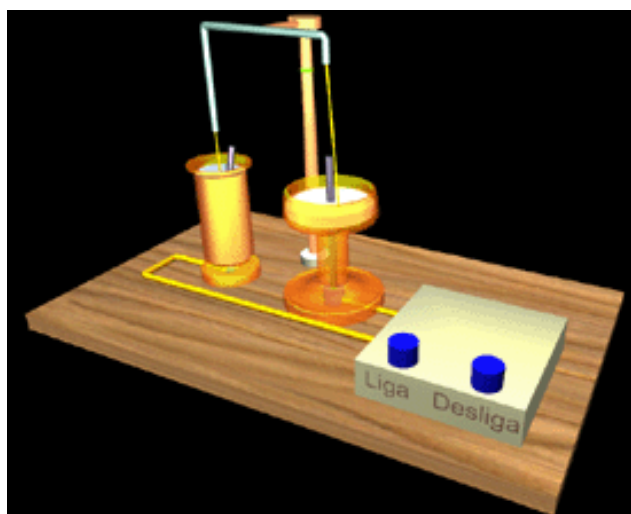


Figura 1 - Demonstração da deflexão da bússola devido a presença de uma corrente elétrica no Experimento de Ørsted. FONTE: <https://goo.gl/XikvBd> Acesso em 16 de abril de 2017.



Posteriormente Michael Faraday (1791, 1867) em sua experiência clássica conhecida como “Os Copos de Faraday” que nada mais é do que um copo de alumínio usado para análise da distribuição de cargas em um corpo metálico oco, conforme indicado na “Figura 2”. Os experimentos de Faraday deram uma contribuição segura à modelagem do fenômeno eletromagnético sem recorrer a postulações matemáticas. O artigo “*Experimenta circa effectum conflictus electric in acum magneticam*” publicado por Ørsted em julho de 1820 em Copenhague, comunica que sua descoberta é de natureza qualitativa e descritiva das observações feitas no momento experimental. Cientistas franceses, dentre eles, Jean Baptiste Biot (1774, 1862), Felix Savart (1791, 1841), André Marie Ampère (1775, 1836) e Dominique François Jean Arago (1786, 1853) deram, de imediato, um tratamento matemático ao fenômeno (SOUZA; OLIVEIRA, 2003).

Figura 2 - Imagem obtida da concepção, em realidade virtual, da Experiência dos Copos de Faraday. FONTE: <https://goo.gl/H9LzCm> Acesso em 15 de Abril de 2017.

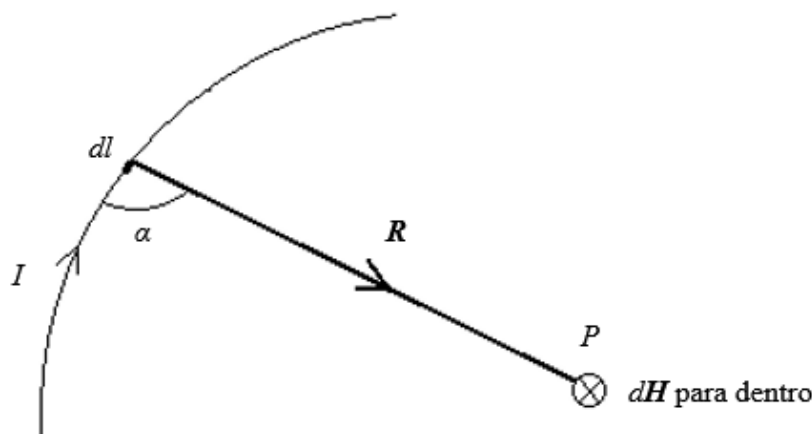


Biot e Savart estabeleceram que a intensidade do campo magnético  $dH$  gerada em um ponto  $P$ , conforme indicado na “Figura 3”, pelo elemento diferencial de corrente  $Idl$  é



proporcional ao produto entre  $I dl$  e o seno do ângulo  $\alpha$  formado entre o elemento e a linha que une  $P$  ao elemento, e é inversamente proporcional ao quadrado da distância  $R$  entre  $P$  e o elemento (SADIKU, 2004 p. 244, 3ed).

Figura 3 - Campo magnético  $dH$  em  $P$  devido ao elemento de corrente  $I dl$ . FONTE: (SADIKU, 2004 p. 244, 3ed).



Matematicamente, para descrever a intensidade do campo magnético gerado, foi estabelecida a “Equação (9)” que descreve a Lei de Biot-Savart:

$$d\vec{H} = \frac{I \cdot dl \cdot \text{sen}\alpha}{4\pi R^2} = \frac{\vec{I} dl \times \vec{a}_R}{4\pi R^2} = \frac{\vec{I} dl \times \vec{R}}{4\pi R^3} \quad (9)$$

Essa equação concretiza de maneira matemática a ideia de que o elemento de indução magnética  $dH$  está diretamente relacionado ao fluxo de corrente  $I$  que passa em um elemento infinitesimal de um condutor, representado por  $dl$ . Por intermédio da “Figura 3” fica visível que o sentido do campo magnético  $dH$  é perpendicular ao elemento infinitesimal  $dl$  e a reta que une  $dl$  ao ponto  $P$ . Ainda em análise à “Equação (9)”, é verificado que o valor de  $dH$  é diretamente proporcional ao comprimento  $dl$ , ao valor do módulo da corrente que atravessa o condutor e ao ângulo  $\alpha$  entre as direções de  $dl$  e do vetor distância  $R$ , inversamente proporcional ao quadrado do módulo da distância  $R$  que une o ponto  $P$  ao elemento infinitesimal  $dl$ .

A formulação matemática do fenômeno tornou-o mais rico e preciso em determinações. Essa representação matemática da descoberta de Ørsted, apesar de não contar precisamente com medidas de corrente, forneceu um caminho de desenvolvimentos matemáticos futuros (DELGADO; EUSTÁQUIO, 2005).

Após os experimentos realizados por Ørsted, Ampère fez o equacionamento das relações de força magnética entre dois condutores paralelos percorridos por corrente elétrica, concretizando de maneira concisa, matemática e conceitual o fato de que a corrente elétrica produz campo magnético que circula o condutor, além de fornecer bases quantitativas para a compreensão mais apurada do primeiro fenômeno eletromagnético historicamente documentado (SOUZA; OLIVEIRA, 2003).



#### 4 AS EQUAÇÕES DE MAXWELL NA FORMA INTEGRAL

O equacionamento matemático desenvolvido por Maxwell para o eletromagnetismo fornece informações que ao serem interpretadas, analisadas e combinadas, podem ser comprovadas experimentalmente em laboratório, como por exemplo, o experimento de Ørsted realizado no ano de 1820 em que um fio retilíneo conduzindo corrente elétrica orienta a agulha de uma bússola ou ainda, o experimento para análise da distribuição de cargas em um corpo metálico oco realizado por Michael Faraday em 1831 já citados na seção 3 deste artigo.

Após várias sintetizações, estas equações foram apresentadas em conjunto, unidas em um quarteto conhecidas como “Equações de Maxwell”. Estas equações, no formato integral, são apresentadas e explicitadas a seguir:

$$\oiint_{\partial V} \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{q_{env}}{\epsilon_0} \quad (10)$$

A “Equação (10)”, a primeira das equações de Maxwell, indica que a quantidade de linhas de campo elétrico  $\vec{E}$  através de uma superfície fechada é igual ao portador de carga fonte relacionado com a permissividade do vácuo  $\epsilon_0$ , isso pois as linhas de campo elétrico geradas por um portador de carga são ortogonais à superfície. Esta é a Lei de Gauss para a Eletricidade.

$$\oiint_{\partial V} \vec{B} \cdot d\vec{A} = 0 \quad (11)$$

Na “Equação (11)”, verifica-se que o campo magnético através de uma superfície fechada é sempre nulo, isso ocorre devido as linhas de campo magnético diferirem das de campo elétrico, pois as linhas de campo magnético  $\vec{B}$  formam um caminho fechado, fazendo com que o somatório das linhas de campo  $\vec{B}$  seja nulo. Assim fica comprovada a inexistência de monopólos magnéticos. Esta é a Lei de Gauss para o Magnetismo.

$$\oint_{\partial S} \vec{E} \cdot d\vec{l} = - \iint_S \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \cdot d\vec{A} \quad (12)$$

Michael Faraday, em 1824, realizou um experimento que marcou o início da sua busca a indução eletromagnética. Esse experimento consistiu na introdução de um ímã em um solenoide conectado à uma bateria, cujas extremidades estavam ligadas a um galvanômetro. Dando segmento ao experimento, Faraday concluiu que, se as correntes elétricas produziam efeitos sobre os ímãs, os ímãs deveriam produzir efeitos sobre as correntes elétricas. Com base nessa conclusão, realizou o experimento mais conhecido, conseguindo induzir corrente elétrica pela variação de um campo magnético. Após isso, Faraday, matematicamente provou essa relação, entre os campos elétrico  $\vec{E}$  e magnético  $\vec{B}$  como mostrado na “Equação (12)”. Esta é a Lei de Faraday para Indução Eletromagnética.



$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 I_s + \mu_0 \epsilon_0 \iint_S \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \cdot d\vec{A} \quad (13)$$

A quarta e última equação descreve que há duas maneiras de gerar um campo magnético  $\vec{B}$  circulante: por meio de correntes elétricas e também através de um campo elétrico  $\vec{E}$  variando temporalmente. André Marie Ampère em 1822 verificou que um fio percorrido por uma corrente elétrica, gera um campo magnético  $\vec{B}$  circulante. Em 1861, James Clerk Maxwell verificou que faltava algo na equação deduzida por Ampère, assim, após vários estudos Maxwell inseriu um termo extra que o chamou de corrente de deslocamento. Com a inserção desse termo extra na equação fica concluído que, a circulação magnética em uma trajetória fechada é provocada não só pela corrente elétrica que a atravessa, mas também pela razão de variação do fluxo elétrico através desta. A “Equação (13)” descreve a Lei de Ampère-Maxwell. Essas quatro equações juntas, descrevem todos os fenômenos elétricos e magnéticos conhecidos no universo.

## 5 UM ESTUDO DIRIGIDO PARA A COMPREENSÃO CONCEITUAL

O estudo dirigido é uma técnica fundamentada no princípio didático de que o docente não ensina, este influencia a aprendizagem e ajuda o discente a buscar conhecimento. É o incentivador e o ativador do aprender. De maneira especial, essa técnica põe em evidência o método de compreensão do discente em tal assunto. Com a intenção de atender às exigências do aprender, o estudo dirigido incentiva a capacidade intelectual do discente, forçando este a descobrir seus próprios recursos mentais de modo a facilitar o desenvolvimento das habilidades e operações de pensamento significativas como, identificar, selecionar, comparar, experimentar, analisar, concluir e solucionar problemas aplicando todo seu aprendizado, o que também possibilita o ajuste das tarefas que devem ser executadas para alcançar seus objetivos (QUADROS, 2011).

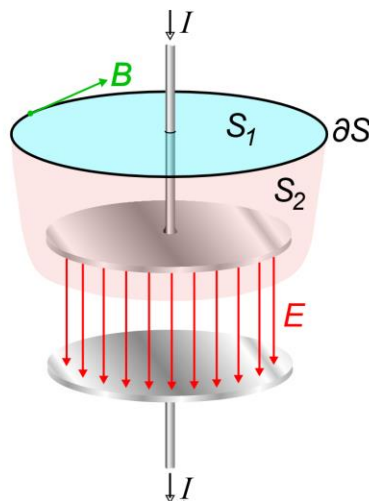
Com base nos estudos de Monsão (2014), um estudo dirigido complementa o conhecimento dos discentes por meio da atuação dos docentes e tutores voluntários somente como consultores, sanando dúvidas e oferecendo conhecimento sob demanda em suas áreas de especialização. Monsão (2014) ainda argumenta que também é descrita a criação de um ambiente adequado para o emprego desta metodologia de estudo, inclusive de fato, quando se tem uma disciplina que o conteúdo se torna abstrato como a teoria eletromagnética.

Ao tratar das equações de Maxwell, os docentes podem elaborar um roteiro de estudos com o intuito de direcionar os discentes quanto ao estudo e aprofundamento do tema. Nesse segmento, Simon (2014) verifica que quando há um direcionamento, um caminho para ser seguido, os resultados alcançados se tornam mais proveitosos quando se trata de uma avaliação individual futura.

Pode-se definir um estudo complementar simplificado para o direcionamento do discente, como por exemplo, a elaboração de questões que o levarão a buscar o conhecimento para a compreensão e resolução do problema proposto, ou até mesmo, destacar no roteiro do estudo dirigido uma imagem e propor ao discente uma análise desta para compreensão de conceitos específicos de certo tema. Na imagem exposta através da “Figura 4”, há uma situação problema em que se pode ser usado o estudo dirigido pelo docente.



Figura 4 - Representação da corrente de deslocamento em um capacitor. Dedução da Lei de Ampère-Maxwell.  
FONTE: <https://goo.gl/rvLuiG> Acesso em 29 de Abril de 2017.



Observando a “Figura 4”, o discente pode deduzir a equação que representa a Lei de Ampère já com o termo acrescentado por Maxwell e também a partir dela pode responder a um questionário que forçá-lo-á a compreender o assunto estudado. O questionário pode ser elaborado da seguinte forma:

- 1) Observando a figura, mostre que o segundo membro da lei de Ampère-Maxwell não produz ambiguidade quando aplicado ao capacitor, ao considerarmos as superfícies apresentadas.
- 2) Qual (ou quais) equação (ou equações) que está (ão) relacionada (s) com a produção de campo magnético?
- 3) Quais as maneiras de se produzir um campo magnético?
- 4) Qual o significado da Lei de Gauss do magnetismo?
- 5) As linhas de indução do campo magnético podem ter extremidades?
- 6) O que são monopólos magnéticos? Por qual razão é afirmado a sua inexistência?
- 7) Qual (ou quais) equação (ou equações) que está (ão) relacionada (s) com a produção de campo elétrico?
- 8) Como se pode produzir um campo elétrico?
- 9) As linhas de força do campo elétrico possuem extremidades?
- 10) O campo elétrico sempre é conservativo?
- 11) Ao acrescentar o termo de corrente de deslocamento, Maxwell percebeu que um campo elétrico variável produz um campo magnético e este, por sua vez, sendo variável, produz outro campo elétrico, num processo "cíclico". Como resultado, se tem a propagação na velocidade da luz de uma onda eletromagnética. Quais são as equações de Maxwell envolvidas na propagação da onda eletromagnética?
- 12) Tendo como base as quatro equações de Maxwell, descreva fisicamente cada termo destas equações.

Além do questionário, também pode-se desenvolver softwares livres em diversas linguagens de programação, como por exemplo, um software que utiliza recursos de Realidade Aumentada para análise e simulação de campos elétricos e magnéticos através de





manipulações das variáveis de cada equação, pois assim seria mais visível ao discente que busca compreensão a respeito da teoria das equações.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este artigo teve como objetivo a discussão das equações de Maxwell do ponto da história da Física, com o foco no estudo da teoria eletromagnética. No mundo em que vivemos, a maioria dos equipamentos que são usados para nos auxiliar no cotidiano, como televisores, motores de indução, telefones móveis, micro-ondas entre outros, têm em seu funcionamento a base conceitual do eletromagnetismo. Foi abordado, de forma resumida, o estudo de James Clerk Maxwell sobre os trabalhos de Michael Faraday, a respeito da indução eletromagnética, no qual concluiu que campos elétricos variáveis geram campos magnéticos e também que campos magnéticos variáveis geram campos elétricos. Esses percorrem o espaço vazio juntos perpendicularmente em uma onda na velocidade da luz.

Foi discutido o contexto histórico da teoria eletromagnética, que teve início no ano de 1820 quando Hans Christian Ørsted descobriu que quando uma bússola é colocada próxima de uma corrente elétrica, essa agulha é desviada da posição inicial. Com essa observação, concluiu que a agulha magnética suspensa pelo seu centro de gravidade só entrou em movimento porque estava imersa em um campo magnético, neste caso, o campo magnético gerado pela corrente elétrica passando pelo condutor. Ainda, na história da física, Biot e Savart concluíram que a intensidade de campo magnético gerada em torno de um condutor percorrido por corrente elétrica pode ser calculada através de uma relação que envolve o quadrado da distância entre o ponto em que está se calculando a intensidade do campo e o condutor, o ângulo de curvatura entre o vetor posição e o condutor, além do próprio módulo de intensidade da corrente.

Foram apresentadas de forma resumida as quatro equações de Maxwell e elaborado um estudo dirigido com a finalidade de estabelecer uma relação discente-disciplina mais proveitosa quando dizemos em “fazer a lição de casa”. Em trabalhos futuros, pode-se realizar um estudo com uma coleta de dados no curso de graduação em engenharia elétrica para verificar a validade do estudo dirigido no decorrer da disciplina de eletromagnetismo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSIS, A. K. T. **Os Fundamentos Experimentais e Históricos da Eletricidade**. Montreal: Apeiron, 2010. Disponível em: <[www.ifi.unicamp.br/~assis/](http://www.ifi.unicamp.br/~assis/)>.

KRAPAS, S. and SILVA, M. C. **Forças que atuam a distância**: Representações em livros didáticos do ensino médio e a história da ciência. In M. A. Moreira, C. C. Sahelices, and J. M. Villagnl, editors, Aetas do II Encuentro Iberoamericano sobre Investigación Básica em Educación em Ciências, pages 351-366. Servicios de Publicaciones, Burgos, 2005.

LODER, L. L. **Educação em Engenharia. Engenheiro em formação: o sujeito da aprendizagem e a construção do conhecimento em engenharia elétrica**, 2009. 341p, Tese de Doutorado (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

MARTINS, R. d. A. **Experiências sobre o efeito do conflito elétrico sobre a agulha magnética**. Cadernos de História Filosófica da Ciência 10: 115-122, 1986, tradução de R. de A. Martins.

Organização



Promoção





OBERZINER, Ana Paula Bertoldi. **As Equações de Maxwell e Aplicações**. 2008. 74 f. TCC (Graduação) - Curso de Matemática, Departamento de Matemática, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

QUADROS, Elizabeth. **ESTUDO DIRIGIDO: O que é?**. 2011. Disponível em:  
<<http://bbeducacao.blogspot.com.br/2011/01/estudo-dirigido-o-que-e.html>>. Acesso em: 26 abr. 2017.

SADIKU, Matthew N. O.. **Elementos de eletromagnetismo**. 3. ed. São Paulo: Bookman Companhia Ed, 2004. 688 p.

SALMERON, Roberto A.. **Eletromagnetismo - O Campo Magnético das Correntes Elétricas**: Experiência de Ørsted. 2007. Disponível em:  
<[http://efisica.if.usp.br/eletricidade/basico/campo\\_corrente/exper\\_oersted](http://efisica.if.usp.br/eletricidade/basico/campo_corrente/exper_oersted)>. Acesso em: 07 maio 2017.

SIQUEIRA, Felipe Coelho. **As Equações de Maxwell e as Ondas Eletromagnéticas**. In: ENCONTRO ANUAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UNESPAR, 2., 2011, Paranaíba. Programa de Iniciação Científica - (PIC). Paranaíba: Unespar, 2011. p. 12 - 21.

SOUZA, A. L.; OLIVEIRA, J. C COBENGE 2003 – **Diferentes Enfoques para o ensino da Teoria Eletromagnética nos cursos de Graduação em Engenharia Elétrica** - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de Engenharia, Departamento de Eletrotécnica – Rio de Janeiro/ RJ, 2003.

## **PROPOSAL FOR A DIRECTED STUDY ON MAXWELL'S EQUATIONS IN THE GRADUATION COURSE IN ELECTRICAL ENGINEERING**

**Abstract:** *Maxwell's equations are a set of four equations that make up the basis of electricity and magnetism. The development of these equations and the understanding of electromagnetism generated a great contribution to a technological revolution begun at the end of the 19th century and continued during the following decades. The equations were elaborated by Maxwell, starting from the state of the art in which the electromagnetic theory was at the time. These equations addressed the presence of an electric field due to its source, the electric charge (Gauss's Law), the interaction between two electric currents (Ampère's Law), and how magnetic field variations produce electric fields (Faraday's Law of Induction). Maxwell, in 1864, was the first to join these four equations and realize that the following increase in Ampère's law was necessary: changes in the electric field act as electric currents, producing magnetic fields. In addition, Maxwell showed that the four equations, with their increase, predict the measurement of waves, via oscillations of magnetic fields and electric fields, that propagate through the empty space at the speed that could be understood as the speed of light. This paper proposes the elaboration of a study aimed at understanding and discussing equations from the point of the history of physics with emphasis on the study of electromagnetic theory.*

**Key-words:** *Gauss's Law, Ampère's Law, Faraday's Law, Electromagnetism.*

Organização



Promoção

