

# O Uso do Software Educacional Modellus como Instrumento Complementar no Ensino de Física: Analisando um Gerador de Corrente Contínua

*The Use of the Educational Software Modellus as a complementary instrument in the teaching of Physics: Analyzing a Direct Current Generator*

Yan Pedro Ulrich Mendes Ferreira<sup>1</sup>, Alan Freitas Machado<sup>2</sup>, Claudio Elias da Silva<sup>3</sup>, Luiz Pinheiro Clodovil da Silva<sup>4</sup>

1 Graduando em engenharia química no Instituto de Química (IQ) da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), Brasil. E-mail: yanpedroulrichmf@gmail.com

2 Professor do Departamento de Física Teórica no Instituto de Física Armando Dias Tavares da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), Brasil. E-mail: alanfmac@gmail.com

3 Professor do Departamento de Eletrônica Quântica no Instituto de Física Armando Dias Tavares da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), Brasil. E-mail: claudio.elias13@gmail.com

4 Professor do Departamento de Eletrônica Quântica no Instituto de Física Armando Dias Tavares da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), Brasil. E-mail: luiz.pinheiro@gmail.com

Recebido em: 01/04/2015 | Aprovado em: 06/07/2017

DOI: 10.12957/interag.2017.1590

## Resumo

Esse artigo descreve uma experiência bem-sucedida de ensino e aprendizagem no qual o uso das modernas tecnologias de informação e comunicação (TIC) contribuem de forma efetiva para a aprendizagem significativa dos alunos. Através de uma abordagem didática no ensino de física, na parte de eletricidade e eletromagnetismo, introduziremos o contexto histórico, o grande responsável por impelir os pesquisadores nos seus experimentos, na descrição dos fenômenos observados e na elaboração das equações que hoje são as bases do eletromagnetismo, identificando a ligação entre magnetismo e eletricidade percorrendo a compreensão teórica e cronológica de tais descobertas e como elas estão presentes no nosso cotidiano, em especial no funcionamento do motor elétrico de corrente contínua. A partir da compreensão teórica avança-se para a parte prática, utilizando o software educacional Modellus, onde os alunos poderão elaborar e simular o seu próprio motor elétrico. Sendo assim, o ensino torna-se mais dinâmico, atrativo e explicativo, uma vez que através da modelagem computacional os alunos poderão observar em 'tempo real' como certos parâmetros: intensidade corrente, número de espiras e outros, influenciam diretamente no movimento, potência e rendimento do motor. Fatos que observados pelos alunos, possibilitam que os mesmos realizem análises qualitativas e quantitativas do sistema, possibilitando uma

## Abstract

*This article describes a successful teaching and learning experience in which the use of modern information and communication technologies (ICT) effectively contributed to successful learning. Through a didactic approach in the field of Physics, on the part of electricity and electromagnetism, we are going to introduce the historical context, which is responsible for impelling researchers in: their experiments, the description of the phenomena observed and the elaboration of the equations that nowadays are the bases of electromagnetism. Students were also encouraged to identify the connection between magnetism and electricity thus going through the theoretical and chronological understanding of such discoveries and how they are present in our daily lives, especially in the operation of the electric DC motor. From the theoretical understanding, one advances to the practical part. By using the educational software Modellus, students are going to be able to elaborate and simulate their own electric motor. Therefore, teaching becomes more dynamic, attractive and explanatory seeing that, through computer modeling, students can observe in 'real time' how certain parameters such as current intensity, number of turns and others, directly influence movement, power and engine performance. These facts allow the students to perform qualitative and quantitative analyzes of the system, favoring the comprehension of the contents and the improvement in their cognitive abilities, thus*

apropriação dos conteúdos (apreensão), melhora nas suas capacidades cognitivas atingindo assim uma aprendizagem significativa.

*reaching successful learning.*

**Palavras-chave:** Ensino de Física; Software Modellus; Eletromagnetismo.

**Keywords:** *Physics Education; Modellus Software; Electromagnetism.*

**Área temática:** Educação.

**Linha de extensão:** Metodologias e estratégias de ensino/aprendizagem.

## Introdução

Em pleno século XXI, no mundo globalizado, mesmo diante das transformações sociais ocorridas e do impacto causado pelas novas tecnologias da informação e comunicação (TIC), o ensino das ciências exatas no Brasil ainda é pautado em aulas puramente expositivas e na resolução de problemas. De acordo com Moreira<sup>1</sup>, as aulas em laboratórios são praticamente inexistentes por falta de tempo, habilidade, estímulo ou de conhecimento para elaborar e realizar este tipo de atividade por parte dos professores. Por isto, o objetivo deste artigo é mostrar como o uso da modelagem e simulação computacionais atuam como um elemento facilitador do processo de ensino e aprendizagem, visando a implementação e consonância das aulas teóricas em um contexto atual que engloba as inovações tecnológicas em conjunto de linhas de pesquisa, cujas finalidades são a de aprimorar os softwares educacionais no cotidiano escolar, segundo retrata Simões e García:

Atualmente existe um arsenal tecnológico que se encontra disponível e está praticamente incorporado às atividades cotidianas das pessoas, independentemente da classe social e faixa etária. Estas tecnologias impelem uma mudança no sistema educacional, visando que os professores venham a explorar ao máximo estes recursos tecnológicos nas suas práticas pedagógicas, pois estas, em conjunto com o trabalho dos professores pedem a vir a despertar o interesse e a motivação dos alunos, que aliados as Tecnologias de Inovação e Comunicação (TIC), exploram, principalmente o acesso irrestrito e imediato as formas de conhecimento via internet<sup>2</sup>.

Sendo justamente no seu aspecto comunicativo, através da troca de ideias, dúvidas e sugestões que as modernas tecnologias de informação e comunicação (TIC) estão ajudando a mudar o panorama do ensino e aprendizagem. Para Alves e Nova<sup>3</sup>, as possibilidades de acesso à informação e aos conhecimentos sistemáticos, assim como as interações entre diferentes sujeitos educacionais ampliam-se significativamente.

A relevância destas atividades também tem sido reconhecida pelo governo brasileiro, como pode-se observar nos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCNs) para o ensino de ciências. Os (PCNs) de ciências naturais deixam claro que são procedimentos fundamentais

para o ensino da área, aqueles que permitam a investigação, a comunicação e o debate de fatos e ideias, possibilitados pela observação, experimentação, comparação e o estabelecimento de relações entre fenômenos ou fatos, como citado no PCN:

Planejar a realização de uma tarefa, identificar formas de resolver um problema, formular boas perguntas e boas respostas, levantar hipóteses e buscar meios de verificá-las, validar raciocínios, resolver conflitos, cuidar da própria saúde e da de outros, colocar-se no lugar do outro para melhor refletir sobre uma determinada situação, considerar as regras estabelecidas<sup>4</sup>.

Mesmo assim, observa-se que o ensino de física ainda se restringe a uma explicação da teoria e posteriormente a resolução de exercícios de um determinado tópico, uma prática pouco ortodoxa, principalmente pelo fato da física ser uma ciência essencialmente experimental. A partir disto justifica-se o uso das modernas Tecnologias de Inovação e Comunicação (TIC), como o Software Modellus<sup>5</sup>, que promove, segundo Veit e Teodoro<sup>6</sup>, uma abordagem construtivista que se enquadra no conceito de ferramentas computacionais, as quais são capazes de auxiliar na construção do conhecimento. O Modellus possibilita a criação de um ambiente virtual no qual o usuário pode interagir com as representações criadas (sejam estas animações, gráficos, tabelas e etc.) e assim coletar dados qualitativos e quantitativos do experimento simulado, privilegiando a interação entre o ambiente virtual e os alunos. Tal ação irá solidificar os conhecimentos previamente existentes na estrutura cognitiva dos alunos<sup>7</sup>, levando à assimilação do conhecimento pelo aluno, segundo a teoria ausubeliana, como retrata Moreira<sup>8</sup>, o novo conhecimento adquire significado e o prévio fica mais diferenciado, mais estável, mais claro, mais rico em significados.

Dessa forma, no processo de aprendizagem deve-se introduzir em primeiro lugar os conceitos mais amplos e, progressivamente, deve-se detalhá-los<sup>9</sup>. Um processo denominado de diferenciação progressiva, que é dividida em duas hipóteses segundo Ausubel:

- 1 - É menos difícil para o ser humano captar aspectos diferenciados de um todo mais inclusivo previamente aprendido do que chegar ao todo a partir de suas partes diferenciadas previamente aprendidas;
- 2 - A organização do conteúdo de um corpo de conhecimento na mente de um indivíduo é uma estrutura hierárquica na qual as ideias mais inclusivas estão no topo da estrutura e, progressivamente, incorporam proposições, conceitos e fatos menos inclusivos e mais diferenciados<sup>10</sup>.

Logo, parte-se dos conceitos iniciais, empíricos, sobre eletricidade e eletromagnetismo e, caminha-se progressivamente pelas leis, equações e aplicações rotineiras destes fenômenos, até que seja possível que os alunos compreendam como cada parâmetro e equação influem nos objetos que fazem parte do nosso cotidiano. Neste artigo, os parâmetros, leis, equações e

aplicações serão voltadas especificamente para entender o funcionamento e modelagem do gerador de corrente contínua.

## Metodologia

É neste contexto que se apresenta, em seguida, um exemplo concreto de aula, abrangendo a metodologia da atividade prática, que envolve tanto a experimentação com o objeto físico, real, quanto a simulação com o objeto virtual, e que pode proporcionar uma aprendizagem ativa. O objetivo é discutir o motor elétrico de corrente contínua por meio de atividades práticas com enfoque na aprendizagem ativa até o momento da criação da modelagem. Para isto, apresenta-se nas subseções abaixo o complemento teórico, o princípio de funcionamento de um motor de corrente contínua e por fim a modelagem computacional.

### Primeiro passo (complemento teórico)

No início da aula, aborda-se de forma resumida, o contexto histórico que envolveu o desenvolvimento do eletromagnetismo, como por exemplo, a necessidade de transmissão de energia por longas distâncias, o aumento da potência elétrica transmitida, perdas, entre outros. A discussão inicia-se com o experimento de Hans Christian Oersted, que mostrou como os fenômenos elétricos e magnéticos estão relacionados.

Utilizou-se inicialmente de um fio condutor retilíneo, por onde passa uma corrente elétrica. Oersted posicionou sobre esse fio uma agulha magnética livremente orientada na direção norte-sul. Fazendo passar uma corrente no fio observou que a agulha sofria um desvio em sua orientação, e que esse desvio era perpendicular ao fio. Ao interromper a passagem da corrente elétrica a agulha voltou a se orientar na direção norte-sul. Assim, ele concluiu que a corrente elétrica no fio se comportava como um ímã colocado próximo à agulha magnética, como retrata Biscuala et al:

Ou seja, a corrente elétrica estabeleceu um campo magnético no espaço em torno dela, e esse campo foi o agente responsável pelo desvio da agulha magnética. Pode-se concluir, então, que as cargas elétricas em movimento criam numa região do espaço a ela, um campo magnético<sup>11</sup>.

Dessa forma, o aparecimento de um campo magnético, como resultado da passagem da corrente elétrica, foi observado pela primeira vez. Essa descoberta foi fundamental para o entendimento do eletromagnetismo, em que os fenômenos elétricos e magnéticos são vistos de forma unificada. A figura 1 ilustra uma montagem da experiência de Oersted:

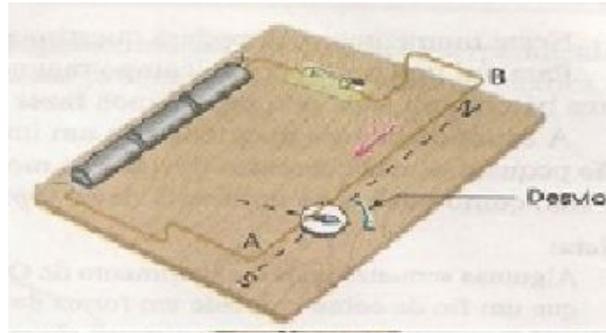


Figura 1: Experiência de Oersted<sup>11</sup>

Pouco mais de uma década após a descoberta de Oersted relacionada à produção de efeitos magnéticos por correntes elétricas, o inglês Michael Faraday, no início do século XIX, teve a curiosidade de realizar experimentos que pudessem resultar no efeito inverso, ou seja, a produção de uma corrente elétrica a partir da aplicação de um campo magnético como explica Elias et al:

Podemos dizer, atualmente, que um campo magnético variante no tempo produz uma força eletromotriz<sup>1</sup> que pode estabelecer uma corrente em um circuito fechado. Esse fenômeno é denominado indução eletromagnética, e a referida corrente elétrica é denominada corrente induzida. A descoberta desse fenômeno é a base do funcionamento de máquinas, motores e transformadores<sup>12</sup>.

Experimentos com bobinas concêntricas, conforme ilustrado na Figura 2, entre outras configurações foram concebidos, e em nenhum destes Faraday pôde confirmar a geração de corrente elétrica a partir de um campo magnético estacionário. Observou, no entanto, a perturbação na agulha magnética de seu galvanômetro apenas durante os breves intervalos de tempo em que ligava e desligava a bobina alimentada pela bateria<sup>12</sup>. Estava assim, Faraday, diante de uma das grandes descobertas da humanidade que, propriamente interpretada, implicaria no efeito, atualmente estabelecido, que um campo magnético variável no tempo induz nas vizinhanças um campo elétrico. Esse fenômeno é a base do funcionamento de máquinas, motores e transformadores.

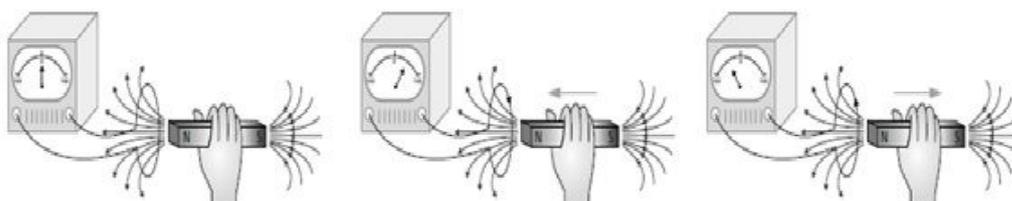


Figura 2: Experiência de Faraday<sup>12</sup>.

Esse efeito também foi demonstrado simultaneamente, e de forma independente, por Joseph Henry nos Estados Unidos e por isso é também denominado por autores como lei de Faraday-Henry. Neste texto, será adotada a terminologia “lei de Faraday”, que é a mais comumente utilizada na literatura.

A lei de Faraday estabelece que uma força eletromotriz é gerada em um circuito elétrico fechado, submetido a um fluxo magnético variável no tempo<sup>13</sup>. Esta lei pode ser expressa em termos dos campos, com base na Figura 3. O caminho C delimita a superfície aberta S e é orientado de acordo com a regra da mão direita, de forma que o sentido do polegar é o da normal à superfície  $\hat{n}$ .

O fluxo magnético através dessa superfície é representado pela integral sobre a área (envolvida por C) do produto escalar entre o campo magnético e o vetor elemento de superfície ( $d\vec{S} = \hat{n}dS$ ), isto é  $\Phi_B = \int \vec{B}\hat{n}dS$ , como descrito na figura 3:

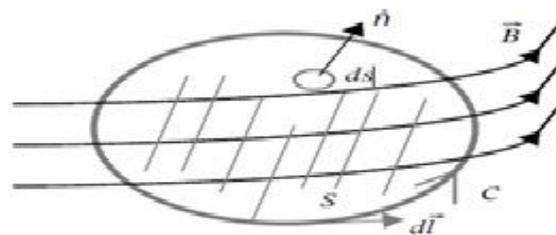


Figura 3: Linhas de campo em uma superfície<sup>14</sup>.

A lei de Faraday diz que quando o fluxo de  $\vec{B}$  começa a atravessar o circuito C, um campo induzido, responsável por uma força eletromotriz fem no circuito, será produzido em virtude da variação do fluxo  $\Phi_B$ <sup>15</sup>. O campo elétrico induzido  $\vec{E}$  no elemento  $d\vec{l}$  do circuito C, resultante da variação do fluxo magnético é dado por:

$$fem = \oint_C \vec{E} \cdot d\vec{l} \quad (1)$$

Onde  $\vec{E}$  é definido em termos da força de Lorentz, isto é, de forma que a força eletromagnética sobre uma carga de prova seja sempre a força de Lorentz. Essa redefinição de campo elétrico é necessária, uma vez que a definição usual pela lei de Coulomb é válida apenas na eletrostática.

Assim, pode-se enunciar a lei de Faraday como: “a fem induzida em um material condutor é proporcional ao valor negativo da taxa de variação do fluxo magnético”, a qual se representa como

$$\text{fem} = \frac{-d\Phi_B}{dt} \quad (2)$$

Para um campo especialmente homogêneo,  $\Phi_B = BS\cos\theta$ , então:

$$\text{fem} = \frac{-dB}{dt}(S\cos\theta) - \frac{dS}{dt}(B\cos\theta) - \frac{d(\cos\theta)}{dt}(BS) \quad (3)$$

O que mostra que a fem pode ser induzida variando-se a intensidade do campo magnético no tempo, ou variando-se a área do circuito no tempo, ou ainda, combinar qualquer uma destas três possibilidades.

O sinal negativo da eq(2) não foi determinado por Faraday, ele é devido ao trabalho de Lenz, denominado Lei de Lenz, definida segundo Halliday et al<sup>15</sup>, como sendo a variação do fluxo magnético através de uma espira cria nela uma corrente elétrica induzida, de modo que essa corrente crie um campo que se oponha a variação do fluxo através da espira. Essa lei, então, diz que a fem gera uma corrente que tende a se opor à variação do fluxo, estabelecendo o sentido da corrente induzida.

A lei de Lenz reflete o princípio da conservação de energia em circuitos nos quais há corrente induzida. Como efeito, se o lado direito da eq(2) tivesse sinal positivo, um aumento no fluxo tenderia a aumentar ainda mais o fluxo, levando a um fluxo infinito e, portanto, a uma corrente infinita, a partir do simples movimento do magneto na direção da espira. Nota-se ainda que o sinal equação está relacionado à conservação de energia, mesmo a lei de Faraday não sendo consequência de energia e sim uma lei experimental independente.

A aplicação da lei de Lenz a um circuito condutor colocado em campo magnético pode ser feita de acordo com os seguintes passos:

- a) Define-se a direção positiva para o vetor área S
- b) Admite-se o campo uniforme e efetua-se o produto escalar B.S para determinar o sinal do fluxo
- c) Determina-se a taxa de variação do fluxo que leva as três possibilidades:

$$\frac{d\Phi_b}{dt} < 0 \text{ fem} > 0$$

$$\frac{d\Phi_b}{dt} = 0 \text{ fem} = 0$$

$$\frac{d\Phi_b}{dt} > 0 \text{ fem} < 0$$

d) Determina-se o sentido da corrente induzida com base na regra da mão direita: “com o polegar apontado na direção de S, fechamos os dedos ao redor do eixo que define a direção de S. A corrente induzida segue mesma direção que nossos dedos apontam ao se encurvarem, se a fem for maior que zero, e na direção oposta se fem for menor que zero.

A tabela 1, segundo Elias et al<sup>16</sup>, resume a convenção de sinais para a indução eletromagnética.

$\Delta B$	$d\Delta B/ dt$	$\Delta$	I
+	+	-	Horário
	-	+	Anti-horário
-	-	+	Horário
	+	-	Anti-horário

Tabela 1: Convenção de sinais para a indução eletromagnética<sup>19</sup>.

### Segundo Passo (princípio de funcionamento de um motor elétrico de corrente contínua)

Os motores elétricos fazem parte de uma infinidade de equipamentos, desde pequenos motores que funcionam com pilhas até os grandes motores de máquinas industriais.

Motores são transdutores que convertem energia elétrica em energia mecânica. Nesta função, eles fazem parte de uma grande quantidade de equipamentos que encontramos no dia a dia. Atualmente, com a união cada vez maior da eletrônica com a mecânica, e o desenvolvimento de dispositivos mecatrônicos, os motores têm aparecido em quantidade cada vez maior e numa variedade de tipos até então nunca vistos.

A ideia de se obter energia mecânica a partir da energia elétrica, criando-se assim o primeiro motor de corrente contínua surgiu a partir dos trabalhos de Faraday. No entanto,

naquela época, as fontes de energia elétrica eram limitadas o que fez com que este motor apenas se tornasse uma curiosidade de laboratório sem nenhuma aplicação prática imediata.

Os motores modernos se baseiam no princípio de que quando uma corrente elétrica percorre um condutor (um fio, por exemplo) imerso em um campo magnético externo, surge uma força perpendicular ao fio que tende a movê-lo. Segundo Ramalho et al:

Se no lugar de um simples fio condutor for usada uma bobina com muitas espiras, apropriadamente disposta sobre um eixo e este sobre mancais, se o conjunto estiver imerso em um campo magnético uniforme externo, quando a bobina for percorrida por uma corrente elétrica está poderá girar devido à interação do campo magnético da bobina com o campo magnético uniforme externo<sup>17</sup>.

Esta ideia pode ser mais bem entendida com o auxílio da Figura 4.

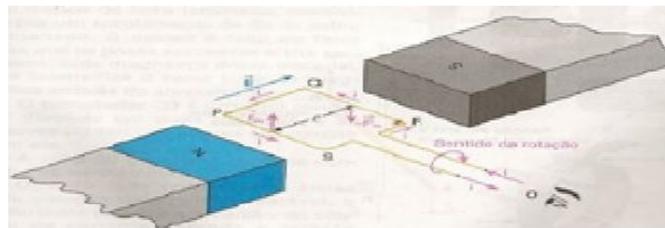


Figura 4: Rotação de um retângulo imerso em um campo magnético<sup>18</sup>.

Quando a corrente flui pela espira cria-se em torno desta um campo magnético. Este campo magnético interage com o campo magnético externo, gerando-se assim, um torque que faz a bobina girar<sup>18</sup>. Dito de outra maneira, cada lado da espira pode ser visto como um fio condutor conduzindo uma corrente, e então, em presença de campo magnético ficará sujeito a ação de uma força magnética que é perpendicular ao plano definido pela direção do campo e a direção do fio.

Forças de mesma intensidade, mas de sentidos contrários, atuam sobre lados opostos, e estão representadas em vermelho na Figura 4. Nos lados maiores, a direção do fio é a mesma do campo  $\vec{B}$  (admite-se que o campo só tem componente na direção indicada) e a força magnética é nula. As forças representadas na figura, embora simétricas, tem linhas de ação distintas e, então, produzem torque (indicado pelas setas curvas na Figura 4). Este torque pode ser transmitido de forma que possa fazer girar uma hélice, uma roda, uma engrenagem, etc., através do eixo sobre o qual está montada a bobina.

A modelagem deste motor pode ser feita diretamente de um experimento de Faraday, em que uma espira montada sobre um eixo, está imersa num campo magnético externo e é

percorrida por uma corrente elétrica contínua. A Figura 5 ilustra de maneira simplificada a experiência de Faraday.

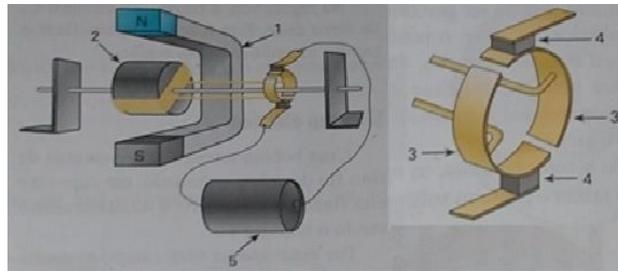


Figura 5: Esquema simplificado de um motor de corrente contínua (1 - ímã permanente, 2 - rotor, 3 - comutador, 4 - escovas e 5 - bateria<sup>18</sup>).

Uma espira de corrente pode ser compreendida como um fio condutor formando um circuito elétrico fechado. Em geral, este circuito tem o formato retangular, quadrado ou circular. O circuito da Figura 6 mostra uma espira retangular de comprimento A e largura B percorrida por uma corrente elétrica  $i$  na presença de um campo magnético uniforme  $\vec{B}$ , paralelo ao plano da espira e sentido de fora para dentro (entrando no plano hachurado). Este campo magnético pode ser criado por um ímã colocado próximo a espira, como indicado anteriormente.

Em geral, esta espira tem os seus terminais ligados a um gerador que é o aparelho responsável por fornecer a corrente elétrica que irá percorrer a espira. Sempre que tivermos um fio conduzindo uma corrente elétrica na presença de um campo magnético, este fio ficará sujeito a ação de uma força magnética, como ilustrado na Figura 6. No caso da espira, esta força irá fazê-la girar, devido à ação do torque.

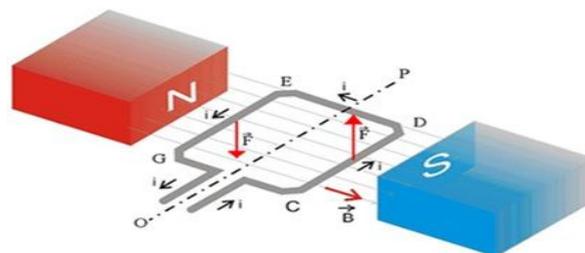


Figura 6: Esquema da torção de um motor elétrico de corrente contínua<sup>19</sup>.

O torque sobre a espira é dado por

$$\vec{\tau} = I\vec{S} \times \vec{B} \quad (3)$$

Cujo módulo é  $\tau$  é igual a  $ISB\sin\theta$ , onde  $\theta$  é o ângulo entre o vetor  $\vec{B}$  e a normal ao plano da espira. É a variação deste ângulo  $\theta$ , quando a espira gira, a responsável pela variação do fluxo magnético, como vimos na equação 3. Se em vez de uma única espira, tivermos várias espiras (como é o caso dos motores elétricos que estamos discutindo), temos uma bobina e, neste caso, o efeito do torque é multiplicado pelo número de espiras.

Na prática, esta bobina está ligada a um dispositivo mecânico que irá transformar a energia elétrica da bobina em energia mecânica realizando algum tipo de trabalho – um motor elétrico.

### Terceiro Passo (experimento com um motor elétrico de corrente contínua)

Geralmente, a bobina acima referida é enrolada sobre um cilindro que é montado sobre um eixo capaz de girar sobre mancais (veja Figura 5). Neste eixo é colocado um par de contatos metálicos, sobre um cilindro isolante, em forma de uma casca cilíndrica que formarão os comutadores e que estarão ligados aos terminais da bobina. Outros dois contatos fixos (as escovas) fazem contato elétrico com estas cascas cilíndricas de modo a transferir energia elétrica para a bobina.

A ligação destes comutadores se dá de tal forma que, em meia-volta da bobina, eles alimentam-na de maneira que a corrente circula num sentido enquanto que na outra meia-volta, com a inversão dos comutadores, a corrente na bobina circula na direção contrária.

Dessa maneira, o comportamento mecânico do dispositivo pode ser explicado da seguinte maneira:

- a) quando se aplica uma diferença de potencial entre os comutadores, através das escovas circulará uma corrente elétrica num sentido tal que tende a movimentar a bobina em meia-volta, num sentido que depende justamente do sentido de circulação dessa corrente;
- b) ao girar, a bobina alcança a posição de repouso, meia-volta depois. Os comutadores estão agora em uma nova posição tal que os polos, positivo e negativo da fonte de alimentação encontram-se invertidos em relação ao caso anterior, e assim, a corrente inverte seu sentido de circulação e, conseqüentemente ocorre a inversão do campo magnético;

c) o resultado disso, é que a posição que a bobina alcançou não é mais a posição de repouso, já que surge uma nova força que tende a fazê-la continuar girando. A nova posição de repouso estará agora meia-volta adiante;

d) a bobina gira de tal modo que alcança novamente a posição de repouso, mas ao chegar próximo dela, novamente entram em ação os comutadores e a corrente é novamente invertida. Uma nova posição de repouso aparece. Desta maneira, a nova posição de repouso estará novamente meia-volta à frente e a bobina continuará girando. É fácil perceber que a bobina nunca irá parar de girar enquanto houver disponibilidade de corrente para alimentar o circuito e obtém-se com isso o movimento giratório contínuo da bobina.

A força que aparece no eixo desse tipo de motor vai depender de diversos fatores, tais como o número de espiras da bobina, intensidade do campo magnético, intensidade da corrente e etc.

O funcionamento de um motor elétrico de corrente contínua desse tipo, é bem simples. Uma fonte de energia elétrica (pilhas, bateria, etc.) fornece corrente contínua a um comutador, uma peça de metal (bom condutor) que está dividida em dois anéis, onde cada anel está ligado a um fio, que por sua vez, está ligado a um dos polos da bateria, um ao polo negativo e outro ao polo positivo. Em contato com a superfície dos anéis do comutador estão dois fios de cobre que se estendem até formarem uma bobina, a qual envolve um cilindro feito de material condutor. Este conjunto (cilindro envolto pela bobina) está na região de um campo magnético gerado por um ímã. Então, quando a corrente flui pela bobina, criará um campo magnético que irá interagir com o campo magnético gerado pelo ímã, resultando em dois vetores de força magnética (veja Figura 6), de mesma magnitude e direção, porém com sentidos opostos e linhas de ação distintas, o que faz a bobina entrar em movimento. Esse movimento mecânico é transmitido através de eixos e poderá ser usado para realizar alguma coisa útil, como mover as pás de um ventilador caseiro, por exemplo.

#### **Quarto Passo (criação da modelagem computacional)**

Com a apropriação do conhecimento teórico e também do funcionamento de um motor de corrente contínua, passaremos para a manipulação e criação da modelagem computacional. Como dito anteriormente usaremos o software educacional Modellus. Este

programa é governado por um modelo matemático, no qual deverão ser inseridas todas as equações necessárias para a criação da animação desejada - etapa de manipulação. Na etapa da criação da modelagem devido à complexidade da sua confecção, que envolve escolha das variáveis de interesse, aproximações intrínsecas ao modelo físico, e etc, estará restrita a um conhecimento mais avançado no uso do software aos estudantes mais experientes e bolsistas de graduação.

Esta modelagem será criada, inserindo as devidas equações no software. Temos equações para descrever:

1. O movimento da bobina: a fim de exibir a intensidade do giro da bobina.
2. Dimensões da bobina: pela área da bobina que está imersa no campo magnético é possível observar principalmente a intensidade do torque que é gerado.
3. As direções dos vetores dos polos magnéticos: se o campo estiver na direção norte-sul a bobina irá girar para direita, se estiver na direção sul-norte a bobina irá girar para esquerda.

Estas equações, citadas acima, são para uma análise qualitativa da modelagem, pois todas estas equações fornecem as animações que são vistas na interface do software. Também foram inseridas equações para obter os seguintes dados:

4. Área da espira
5. Campo magnético gerado pela espira
6. Força resultante entre os campos magnéticos da bobina e do imã
7. Torque gerado pela bobina
8. Fluxo magnético na bobina
9. Força eletromotriz gerada
10. Diferença de potencial gerada pela força eletromotriz
11. Potencial total
12. Potencial útil
13. Rendimento

Equações utilizadas para fazer uma análise quantitativa, a partir dos dados que são gerados em função dos valores de entrada, que são os valores que atribuídos às variáveis influenciam o sistema:

14. Largura da espira que irá influenciar diretamente nos valores do campo magnético, na força resultante entre os campos magnéticos da bobina e do ímã, na força eletromotriz, na diferença de potencial, no rendimento útil e no total.
15. Comprimento da espira que irá influenciar diretamente na força resultante entre os campos magnético da bobina e do ímã, no torque da bobina, na força eletromotriz, na diferença de potencial, no rendimento útil e no total.
16. O tempo que influencia diretamente a força eletromotriz, diferença de potencial, potências útil e total e o rendimento.
17. Resistência do fio da bobina que influencia diretamente a diferença de potencial, potência útil e o rendimento.
18. Direção da espira, se esta é perpendicular ou paralela ao campo magnético, o que irá influenciar diretamente no fluxo magnético da bobina.

Após a apresentação da modelagem e uma nova explicação, os alunos terão a liberdade de alterar os parâmetros que influenciam na animação. Através de cada mudança realizada nas variáveis, o sistema como um todo será influenciado e nisso os alunos poderão fazer uma análise quantitativa e qualitativa do sistema.

Na figura 7, observamos os dados quantitativos obtidos pela modelagem:

$$\begin{array}{lll}
 \square A = 0.06 & \text{m}^2 & \square F_i = 5.77\text{E-}16 \text{ Wb} & \square P_t = 4.91\text{E}5 \text{ W} \\
 \square B = 157.08 & \text{T} & \square F_{em} = 1.96\text{E}4 \text{ V} & \square P_u = 4.81\text{E}5 \text{ W} \\
 \square Fl = 1.18\text{E}3 & \text{N} & \square U = 1.93\text{E}4 \text{ V} & \square N = 0.98 \\
 \square T = 2.36\text{E}5 & \text{N} & & 
 \end{array}$$

Figura 7: Tabela de dados gerados na modelagem<sup>20</sup>.

Na figura 8, observamos o aspecto final da modelagem:

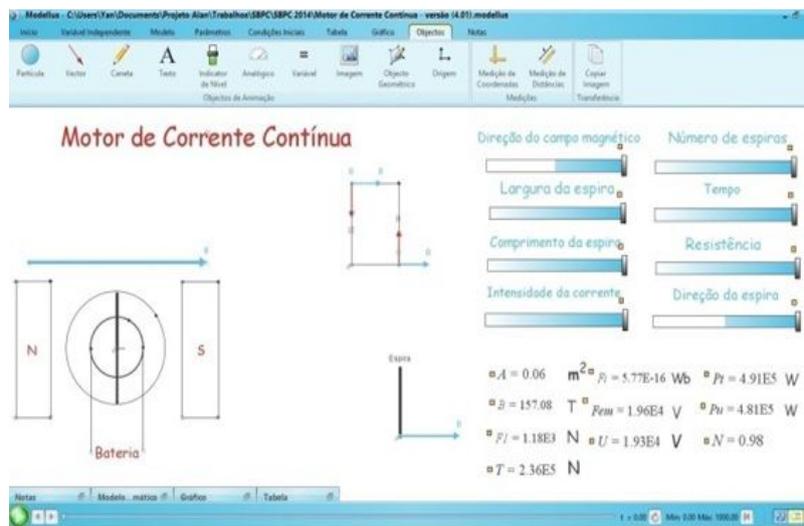


Figura 8: Interface do software Modellus com a modelagem pronta<sup>20</sup>.

A figura 9 apresenta a legenda de siglas dos dados da figura 8.

A	Área da espira
B	Campo magnético gerado pela espira
F1	Força resultante entre os campos magnéticos da bobina e do ímã
T	Torque gerado pela bobina
Fi	Fluxo magnético da bobina
E	Força eletromotriz gerada
U	Diferença de potencial gerado pela força eletromotriz
Pt	Potência Total
Pu	Potência Útil
N	Rendimento

Figura 9: Tabela de siglas utilizadas na modelagem<sup>20</sup>.

## Resultados e Discussão

Este trabalho foi desenvolvido pelos professores do Instituto de Física Armando Dias Tavares e alunos da Universidade do Estado do Rio de Janeiro, tendo como objetivo aprimorar o ensino e aprendizagem de um grupo de vinte jovens alunos do ensino médio do Colégio Pedro II. Após todo o processo descrito acima, os vinte alunos participantes foram entrevistados e responderam as seguintes perguntas:

Tabela 2: o software Modellus é amigável?

	Extremamente	Muito	Moderado	Pouco	Nada
Alunos	13	3	4	0	0

Tabela 3: como o uso do software foi aceito pelos seus colegas?

	Extremamente	Muito	Moderado	Pouco	Nada
Alunos	19	1	0	0	0

Tabela 4: quanto ao uso do software e a experiência: estimularam o seu aprendizado?

	Extremamente	Muito	Moderado	Pouco	Nada
Alunos	19	1	0	0	0

Tabela 5: O uso do software e a experiência ajudaram na compreensão do assunto abordado?

	Extremamente	Muito	Moderado	Pouco	Nada
Alunos	19	1	0	0	0

Tabela 6: As aulas se tornaram mais interessantes com o uso do software e da experiência?

	Extremamente	Muito	Moderado	Pouco	Nada
Alunos	19	1	0	0	0

Alunos	19	1	0	0	0
--------	----	---	---	---	---

### Tabelas de Respostas dos Alunos<sup>2</sup>

A partir das respostas dadas pelos alunos, pode-se observar através deste trabalho, que o emprego do computador como ferramenta no processo de ensino e aprendizagem é bastante válido, uma vez que os computadores serviram, segundo retrata Valente (1993)<sup>21</sup>, como uma ferramenta na qual o aluno desenvolve algo. Portanto, o aprendizado ocorre pelo fato de estar executando uma tarefa por intermédio do computador, através das modelagens computacionais, em que os alunos puderam conhecer melhor as equações matemáticas, o funcionamento de um motor elétrico de corrente contínua, ao mesmo tempo em que eles foram incentivados a pensar como se daria o seu desenvolvimento, como resolveriam os problemas para a criação da modelagem e simulação. Puderam conhecer a melhor forma de contornarem algumas limitações do software, a pesquisarem mais a fundo os fenômenos físicos que envolvem o funcionamento deste motor e o comportamento do mesmo mediante as mudanças em cada parâmetro. Toda uma gama de processos de ensino- aprendizagem que favorece a cognição dos alunos, ao mesmo tempo em que eles foram instigados a interagirem com o ambiente criado pelo software, entre eles e com o professor, levando-os a uma percepção de como cada parâmetro pode influenciar na rotação da bobina, nos valores para cada dado gerado e etc., possibilitando uma análise qualitativa e quantitativa do sistema.

### Conclusão

Podemos então concluir que o uso de software para complementar o ensino das ciências exatas, neste caso a física, mostra-se bem eficiente. Os alunos tiveram uma aprendizagem teórica e sólida sobre o tema, souberam as aplicações cotidianas do eletromagnetismo e o principal - puderam observar os resultados teóricos e simulados. Como os alunos foram estimulados a pesquisarem mais sobre o eletromagnetismo, eles puderam compreender alguns dos fenômenos, a sua maneira, não ficando somente com a explicação dada pelo professor. Através de um estudo mais aprofundado das equações usadas, que num primeiro momento foram apenas apresentadas, os alunos puderam fortalecer as correlações entre os diversos fenômenos naturais envolvidos nesta modelagem e simulação, favorecendo o dialogismo, beneficiando os alunos no

processo modelagem e simulação, favorecendo o dialogismo, beneficiando os alunos no processo de ensino- aprendizagem e no aumento das suas capacidades cognitivas, dando-lhes também uma visão mais ampliada do nosso mundo e das tecnologias que nele existem.

## Referências

1. MOREIRA, Marco Antônio; AXT, Ronaldo Moreira. Tópicos em Ensino de Ciências. Editora Sagra Luzzatto. 1ª ed. Porto Alegre/Brasil, p. 79-90. 1991.
2. SIMÕES, Darcilia e GARCÍA Flavio. A Pesquisa Científica com Linguagem e Práxis. 1ª ed. Publicações Dialogarts. Rio de Janeiro/Brasil. p. 52. 2014.
3. ALVEZ, L e NOVA, C. Educação a Distância: uma nova concepção de aprendizagem e epistemologia. 1. ed. Editora Futura. São Paulo/Brasil, p. 6. 2003.
4. BRASIL, MISTÉRIO DA EDUCAÇÃO. SECRETARIA DE EDUCAÇÃO FUNDAMENTAL. Parâmetros Curriculares Nacionais: Ciências Naturais. Rio de Janeiro: DP&A, p 62. 2000.
5. TEODORO, V. D.; VIEIRA, J. P. D.; VIEIRA, P. D. In: Modellus v4.5. Modellus < <http://modellus.co/index.php/pt/baixar>>. Acesso em 25 agosto de 2016.
6. VEIT, Eliane Ângela e TEODORO, Vitor Duarte. Modelagem no Ensino/Aprendizagem de Física e os Novos Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio. Revista Brasileira de Ensino de Física. Vol 24, ano 2, junho 2002, p. 87.
7. SANTOS, Gustavo Henrique; ALVES Lynn e MORET, Marcelo Albano. Modellus: Animações Interativas Mediando a Aprendizagem Significativa dos Conceitos de Física no Ensino Médio. Revista Sitientibus Série Ciências Físicas. Feira de Santana/Brasil. v. 2, p. 59, dez. 2006.
8. MOREIRA, Marcelo Antônio. Aprendizagem significativa em mapas conceituais. Texto de Apoio ao Professor de Física. Porto Alegre/Brasil, v. 24, n. 6, p. 8, 2013.
9. MENDES, Janduí Farias; COSTA Ivan F e SOUZA, Célia M.S.G. O uso do software modellus na integração entre conhecimentos teóricos e atividades experimentais de tópicos de mecânica. Revista Brasileira de Ensino de Física v. 34, n. 1, p. 2042-3, jun. 2012.
10. AUSUBEL, David Paul; NOVAK, Joseph Donald e HANESIAN, Helen. Educational psychology: a cognitive view. 2nd ed. New York: Holt Rinehart, and Winston, 1978. 190 p.
11. BISCUOLA, Gualter José; BÔAS, Newton Villas; DOCA, Ricardo Helou. Tópicos de Física 3: eletricidade, física moderna. 15ª ed. São Paulo: Saraiva, p. 304 e 305. 2001.

12. SILVA, Claudio Elias da; SANTIAGO, Arnaldo José; MACHADO, Alan Freitas; ASSIS, Altair Souza. Eletromagnetismo: fundamentos e simulações. 1ª ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, p.307 - 308. 2014.
13. HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jear. Fundamentos de Física, volume 3: eletromagnetismo. 8ª ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 2009. 265 p.
14. SILVA, Claudio Elias da; SANTIAGO, Arnaldo José; MACHADO, Alan Freitas; ASSIS, Altair Souza. Eletromagnetismo: fundamentos e simulações. 1ª ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2014. 308 p.
15. HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jear. Fundamentos de Física, volume 3: eletromagnetismo. 8ª ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, p.266 e 267. 2009.
16. SILVA, Claudio Elias da; SANTIAGO, Arnaldo José; MACHADO, Alan Freitas; ASSIS, Altair Souza. Eletromagnetismo: fundamentos e simulações. 1ª ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2014. 312 p.
17. RAMALHO, Francisco Jr; FERRAO, Nicolau Gilberto; SOARES, Paulo Antônio de Toledo. Os Fundamentos da Física, volume 3. 9ª ed. São Paulo: Moderna, p.326, 327 e 328. 2007.
18. BISCUOLA, Gualter José; BÔAS, Newton Villas; DOCA, Ricardo Helou. Tópicos de Física 3: eletricidade, física moderna. 15ª ed. São Paulo: Saraiva, p.343 a 345. 2001.
19. SILVA, Domiciano Correa Marques Da. In: Aplicações da Força Magnética em um Condutor. Brasil Escola. <<http://www.brasilecola.com/fisica/aplicacoes-forca-magnetica-um-condutor.htm>>. Acesso em 27 de agosto de 2016.
20. MACHADO, Alan Freitas; FERREIRA, Yan Pedro. Foto Print e Tabelas geradas pelos autores.
21. VALENTE, J. A. Computadores e Conhecimento: representando a educação. 1ª ed. São Paulo: Gráfica Central UNICAMP, 1993, p.13.