

**Universidade Estadual de Campinas
UNICAMP**

RELATÓRIO FINAL

F 809

**Visualização das Linhas de Campo
Provocadas por um Solenóide Finito**



Aluno: Danilo Tristão Santos
nnddg1000@yahoo.com.br
RA: 011763

Orientador: Dr. Carlos A. P. Leite
capleite@ifi.unicamp.br

Coordenador: Prof. Dr. Joaquim José Lunazzi
lunazzi@ifi.unicamp.br

1 - Introdução

Os primórdios da ciência do magnetismo perdem-se na história, quando se descobriu que um pedaço de óxido de ferro natural, chamado *magnetita*, suspenso livremente, se orientava aproximadamente ao longo da direção norte-sul. Este objeto formava uma bússola magnética primitiva. Mais tarde, descobriu-se que barras de ferro podiam adquirir esta mesma propriedade do magnetismo. Barras assim diziam-se magnetizadas e eram conhecidas como ímãs. Ímãs atraem também limalha de ferro e a região onde se acumula a limalha é conhecida como pólo do ímã. Os ímãs possuem um pólo norte (N) por onde saem as linhas de campo e um pólo sul (S) por onde elas entram. Se uma bússola é colocada nas proximidades de um ímã, aparecerão forças nos pólos da agulha da bússola. Diz-se que na região em volta do ímã há um campo magnético e que a agulha da bússola se alinha na direção deste campo.

Em 1819, o físico dinamarquês Hans Christian Oersted (1777-1851), foi o primeiro cientista a notar a deflexão sofrida pela agulha de uma bússola quando colocada nas proximidades de um fio percorrido por corrente elétrica. Esta observação teve importância fundamental, pois sugeriu imediatamente que deve haver alguma ligação entre eletricidade e magnetismo. Foi observado também que as linhas de campo em torno de um fio longo percorrido por corrente, formam círculos concêntricos que obedecem a conveniente Regra da Mão Direita (Figura 1).

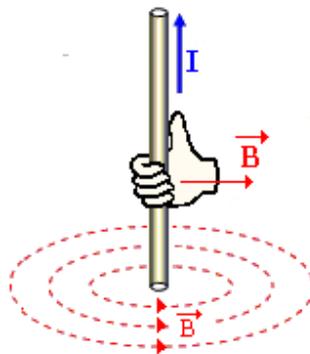


Figura 1 – Regra da Mão Direita.

As descobertas de Oersted influenciaram trabalhos de outros grandes cientistas que tiveram importantes contribuições no estudo das relações entre eletricidade e magnetismo. Entre os principais nomes podemos citar: Jean Baptiste Biot, Felix Savart, André-Marie Ampère, Joseph Henry, Michael Faraday, Heinrich Lenz, entre outros. De fato, poucas semanas após a descoberta de Oersted, o brilhante físico francês André-Marie Ampère (1775-1836) mostrou experimentalmente que, quanto aos efeitos magnéticos externos, um ímã permanente pode ser substituído por um solenóide conveniente.

Uma bobina, ou solenóide, é constituída por um fio enrolado várias vezes, tomando uma forma cilíndrica. Cada uma das voltas do fio da bobina é uma espira. Observe a figura 2.

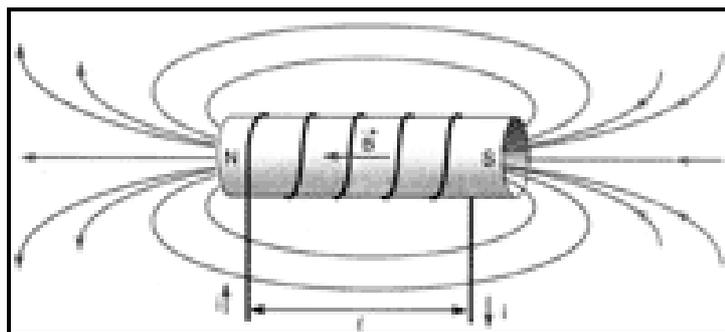


Figura 2 – Solenóide característico, mostrando as linhas de campo e o sentido de B dado pela Regra da Mão Direita.

Ligando-se as extremidades da bobina a uma bateria, isto é, estabelecendo-se uma corrente em suas espiras, essa corrente cria um campo magnético em torno do solenóide.

Se o comprimento do solenóide for da ordem ou maior que cerca de dez vezes o seu diâmetro, o campo magnético produzido em seu centro, quando percorrido por uma corrente, é bastante uniforme. Seu valor, ao longo do eixo central, depende da intensidade da corrente elétrica, do número de espiras e do comprimento do solenóide.

Se o solenóide não é longo, então, a densidade de fluxo magnético em um ponto P no eixo no solenóide, pode ser calculada a partir da Lei de Ampère, obtendo-se então:

$$B = \frac{\mu_0 n I}{2} (\text{sen } \Phi_2 - \text{sen } \Phi_1) \quad [1] \quad (\text{solenóide finito})$$

onde n é o número de espiras por unidade de comprimento (N/L), μ_0 a permeabilidade magnética do vácuo e os ângulos Φ_1 e Φ_2 estão definidos na figura 3.

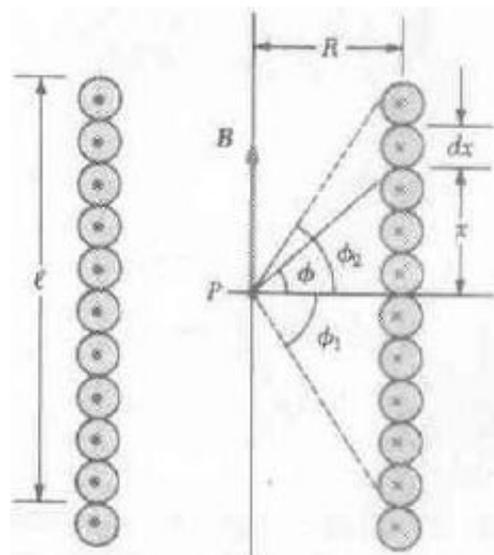


Figura 3 : Geometria utilizada para determinar o campo magnético produzido por um solenóide finito em um ponto P de seu eixo central.

Essa expressão se reduz ao caso de um solenóide longo quando extrapolamos os ângulos de tal maneira que Φ_1 e Φ_2 tendam a 90° :

$$B = \mu_0 n I \quad [2] \quad (\text{solenóide ideal})$$

No interior de um solenóide longo, o campo magnético não é uniforme, sendo mais intenso no centro, decrescendo com uma dependência dos ângulos Φ_1 e Φ_2 nas extremidades e indo

rapidamente a zero, à medida que nos afastamos do centro. Este comportamento está ilustrado na figura 4.

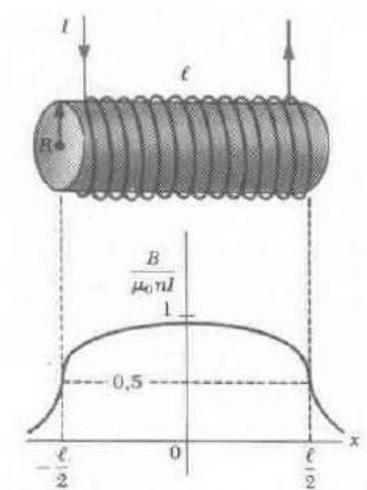


Figura 4: Intensidade do campo magnético ao longo do eixo de um solenóide compacto e longo.

É importante notar que o campo magnético próximo ao centro do solenóide, mostra-se bastante uniforme, caindo praticamente pela metade nas bordas. No caso da bobina utilizada neste experimento, o campo magnético ao longo do eixo central depende da geometria do carretel sobre o qual o enrolamento foi feito, ou seja, depende de L , Φ_1 e Φ_2 .

Para saber qual das extremidades de um solenóide é o pólo norte, você pode aplicar a regra da mão direita, da mesma maneira que fez com o fio condutor e com a espira.

A intensidade de um eletroímã depende também da facilidade com que o material em seu interior é magnetizado. A maior parte dos eletroímãs é feitos de ferro puro, que se magnetiza facilmente.

Corpos de ferro (pregos, fragmentos de limalha) não são magnetizados. Todavia, um corpo de ferro não magnetizado, quando imerso em um campo magnético B (no interior de um Solenóide, por exemplo), passa a magnetizar-se, então exibindo pólos magnéticos N e S; ele se torna ímã temporário. Se tiver liberdade suficiente para

girar, ele se alinha com o campo, assim comportando-se como bússola.

Os eletroímãs são utilizados nas campainhas elétricas, telégrafos, telefones, amperímetros, voltímetros, etc.

2 - Objetivo do Experimento

O experimento é voltada para o Ensino Médio, afim de que os alunos possam analisar mais uma aplicação importantíssima que envolve à Física, o Solenóide, e a partir dele, observar todo conteúdo físico existente, que vai desde a Regra da Mão Direita até a existência de linhas de campo em torno do solenóide e como essas linhas se comportam em materiais magnéticos.

3 - Montagem Experimental

O experimento consiste em uma bobina (indicada por R_1) acoplada em série a uma lâmpada L, ligados a uma fonte de 110V, conforme indicado na Figura 5.

Utilizaremos uma plataforma de madeira na qual se encontra nela um solenóide finito que vai gerar um campo magnético (em que o sentido é dado pela Regra da Mão Direita) em seu interior.

Utilizamos um cano de PVC para fazermos o solenóide, e ele está acoplado na plataforma de madeira de acordo com a figura 6. O cano de PVC tem raio externo de 1,6 cm e comprimento de 12 cm.

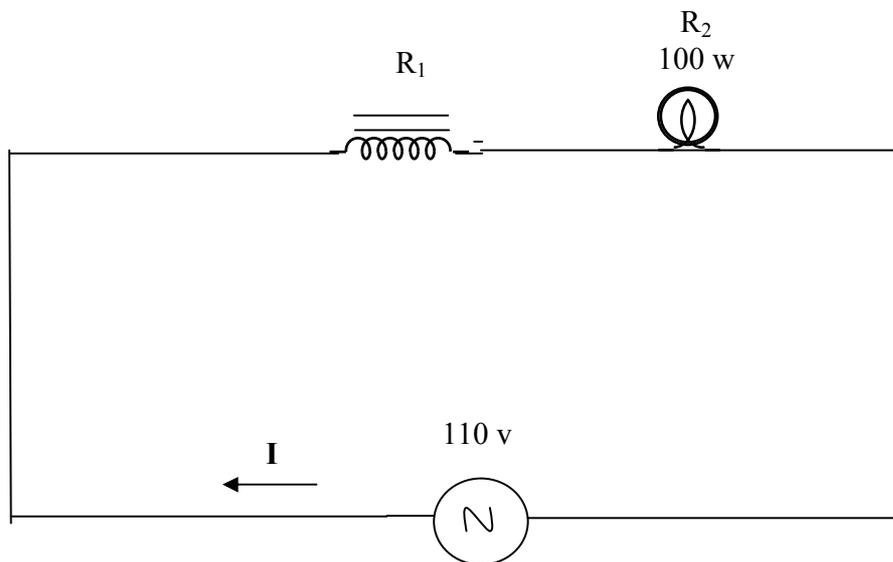


Figura 5 – Esquema do circuito realizado no projeto



a)



b)

Figura 6 – Plataforma de madeira com o tudo de PVC.

Utilizamos um fio de cobre para fazer o solenóide devido a sua alta condutividade elétrica. As características do fio são apresentadas na tabela 1.

Número AWG	Diâmetro (mm)	Secção (mm ²)	Espiras / cm	Peso kg / km	Resistência (Ω / km)	I _{máxima} (A)
28	0,3211	0,080	28,400	0,720	212,50	0,230

Tabela 1 – Dados relevantes sobre o fio utilizado no solenóide

A figura 7, mostra como ficou a bobina na plataforma de madeira.



a)



b)

Figura 7 – Representação da bobina na plataforma de madeira.

Foi acoplado à bobina uma lâmpada de 100w, com auxílio de um “molex” e este aparato ligado numa tomada de 110V. Também, colocamos um papel (cartolina) em torno da bobina, para facilitar a visualização das linhas formadas pela limalha de ferro. A figura 8 mostra como ficou o experimento completo, isto é, com a bobina e a lâmpada ligadas em série, numa tensão de 110V.



a)



b)

Figura 8 – Aparato Experimental

4 - Resultados Obtidos

Cada volta do fio em torno do tubo de PVC tem $3,2 \pi$ cm ($C = \text{Raio} \cdot 2 \pi$) e como foi utilizado 277 metros (ou 27700 cm) de fio enrolado, dividindo o segundo valor pelo primeiro, encontramos o número de espiras da bobina, que nos dá aproximadamente 2755 espiras.

Na tabela 1, vimos que o fio utilizado tem uma Resistência de $212,5 \Omega / \text{km}$ e, como dito anteriormente, utilizamos 277 m (ou 0,277 km) de fio, o que nos dá uma resistência em torno de $R_2 = 59 \Omega$.

Utilizamos uma lâmpada de 100w, e como estamos aplicando um potencial de 110V nela, encontramos então uma resistência da lâmpada de $R_1 = 121 \Omega$ ($P = U^2 / R$).

A corrente no circuito é calculada fazendo $I = U / (R_1 + R_2)$ e encontramos a corrente como sendo aproximadamente $I = 611 \text{ mA}$.

Com o intuito de obter um campo magnético relativamente grande, para facilitar a visualização das linhas de campo, foi

utilizado um núcleo de ferro puro no interior do solenóide (com dimensões equivalentes) e, então, no lugar de usarmos a equação 2, utilizaremos a Equação do campo magnético no interior do solenóide longo como sendo

$$B = \mu \cdot n \cdot I \quad [3]$$

onde $\mu = \mu_r \cdot \mu_0$ é a permeabilidade magnética do material (que no caso é o ferro puro) e, μ_r é a permeabilidade magnética relativa além de μ_0 sendo a permeabilidade magnética no vácuo

Assim, para o Ferro Puro, temos $\mu_r = 200$, ou seja, aumentamos o campo magnético 200 vezes em relação ao vácuo e assim, encontramos o campo magnético no interior do solenóide como sendo $B = (200 \cdot 4\pi \cdot 10^{-7}) \cdot (2755 / 0,12) \cdot 0,611$, o que nos dá aproximadamente $B = 3,52 \text{ T}$.

Depois de calcular o campo magnético e verificado que o seu valor é razoavelmente grande, espalhamos no papel (cartolina) ao redor do solenóide, a limalha de ferro por toda sua região para que possamos observar as linhas de campo, como mostra a figura 9, a seguir.



a)



b)

Figura 9 – Limalha de Ferro colocada ao lado do Solenóide

Após ter feito todos os cálculos e procedimentos necessários, ligamos o experimento na tomada de 110V e obtivemos o resultado esperado e exigido no Projeto, mostrando a organização da limalha de ferro em linhas que convergem para extremidades do solenóide. A visualização das linhas de campo no interior do solenóide exige um outro tipo de arranjo experimental.



a)



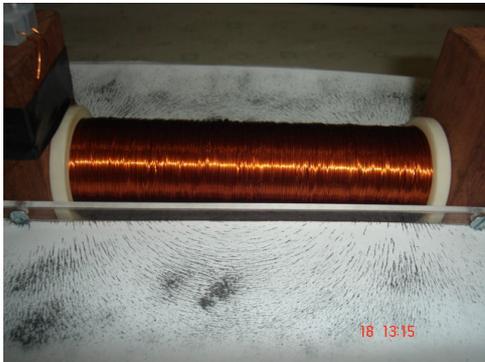
b)



c)



d)



e)



f)

Figura 10 – Visualização das linhas de campo de um Solenóide

5 – Materiais Utilizados

- Plataforma de Madeira;
- Fio de Cobre;
- “ Molex “;
- Parafusos;
- Fita Isolante;
- Lâmpada (100w);
- Tudo de PVC;
- Limalha de Ferro;
- Núcleo de Ferro;
- Papel (cartolina);
- Fonte de 110 v.

6 – Conclusão

A figura 10 ilustra com muita exatidão o comportamento das linhas de campo comentada na Introdução desse projeto (figura 2), o que nos leva a dizer que o experimento alcançou seu objetivo, que foi mostrar a visualização das linhas de campo magnético produzidas por um solenóide.

7 – Referências

- [1] - Halliday, D.; Resnick, R; Walker, J. Fundamentos de Física, volume III;
- [2] – <http://www.feiradeciencias.com.br> ;
- [3] - Ference Jr.; Harvey B. Lemon; Reginald J. Stephenson, Curso de Física . Eletromagnetismo, Editora Edgard Blücher Ltda.;
- [4] - <http://www.ifi.unicamp.br/~lunazzi/F809.htm> ;
- [5] Notas de aula do Professor Antônio Marcos de Souza ;
- [6] Apostila de Materiais Elétricos: Professor Ronaldo Cavalcante.

8 – Agradecimentos

- Carlos A. P. Leite (Orientador);
- Fernando Tessari de Lima (Técnico em Eletrônica);
- José Luiz dos Santos (Técnico em Mecânica).

“ Em uma vida longa, uma coisa eu aprendi: que toda a nossa ciência, comparada com a realidade, é primitiva e infantil e, mesmo assim, é o que temos de mais precioso ”.

Albert Einstein