



**Universidade Estadual de Campinas**

**Instituto de Física Gleb Wataghin**

**F 609 – Tópicos de Ensino de Física I**

**Medida da força de repulsão entre dois campos magnéticos e  
observação de linhas de campo.**



Aluno: Guilherme Erran Prevedel  
RA: 023949

Orientador: Dr. Juan Carlos Paredes Campoy

Orientador de Disciplina: José Joaquim Lunazzi

**Maio de 2007**

## INTRODUÇÃO

A história do magnetismo começou, aparentemente, com um mineral chamado magnetita ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), talvez a primeira substância com propriedades magnéticas conhecida pelo homem. Os depósitos mais abundantes se encontravam na região chamada Magnésia, localizada onde hoje é a Turquia, e a palavra magneto é derivada de uma similar grega, que acredita-se ter sido originado do nome desta região.

Já no século III a.C., adivinhadores chineses da sorte utilizavam duas placas, uma sobre a outra, sendo que a superior, representando o céu, girava num pivô colocado sobre a placa inferior, a qual simbolizava a Terra. Na placa superior também estava representada a constelação da Ursa Maior, que, para um observador fixo na Terra, gira, no céu, ao redor do eixo Norte-Sul. O adivinho atirava contra as placas algumas peças de magnetita, que simbolizavam vários objetos e a partir de suas posições era deduzido o futuro [1].

O primeiro a escrever sobre o magnetismo no Ocidente foi Peter Peregrinus que escreveu um tratado datado de 1269 onde, além de descrever a magnetita e suas propriedades, definia a propriedade do ímã de apontar sempre para o Norte [2]. Mas a pesquisa em materiais com propriedades magnéticas começou, pode-se dizer, com a invenção do eletromagneto [3], em 1825, uma vez que com ele se tornou possível obter campos magnéticos muito mais intensos do que aqueles produzidos por ímãs ou magnetos feitos com ímãs férreos, sendo portanto muito mais fácil mensurar os fenômenos de campos magnéticos. Uma análise matemática completa dos fenômenos elétricos e magnéticos, unificando-os sob um mesmo arcabouço matemático, apareceu em 1873, quando o escocês James Clerk Maxwell publicou seu Tratado sobre Eletricidade e Magnetismo [4].

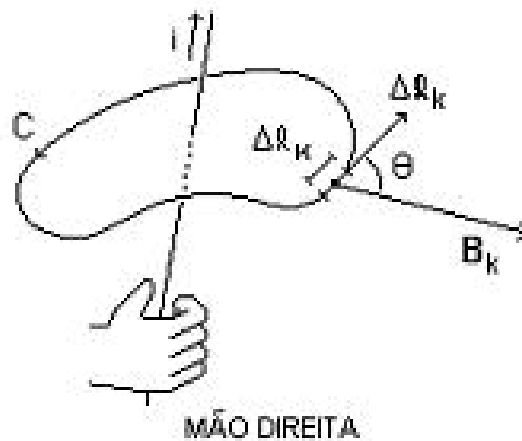
Hoje em dia as características dos objetos magnéticos, como o porque de atrair ou não outros materiais, é muito conhecida. Os fenômenos ocasionados pelos campos elétricos e magnéticos também já são comuns a todos nós, apesar de não conseguirmos vê-los claramente, eles estão presentes em muitos produtos do cotidiano, como a geladeira e motores elétricos.

O conceito fundamental do Eletromagnetismo é o de campo eletromagnético. O campo eletromagnético é constituído de dois campos distintos, o elétrico e o magnético,  $\vec{E}$  e  $\vec{B}$ , respectivamente. O campo eletromagnético é na verdade uma onda tal que as suas componentes  $\vec{E}$  e  $\vec{B}$  se alternam não existindo ao mesmo tempo. O que ocorre é que o campo magnético surge quando há variação de campo elétrico, sendo o inverso necessariamente válido. A idéia é a mesma em um pêndulo onde a energia cinética aumenta enquanto que a energia potencial diminui, e vice-versa, enquanto as

oscilações se sucedem, na radiação eletromagnética, a energia passa do campo elétrico para o campo magnético e deste para aquele, enquanto a onda se propaga no espaço. No caso do pêndulo ignora-se a perda de energia por atrito com o ar (vácuo) de tal maneira que a energia é constante. No caso da onda eletromagnética, esta energia também é constante. O campo eletromagnético pode ser percebido pelo homem sem o uso de equipamentos somente no caso em que os campos elétricos e magnéticos oscilam com frequências muito altas, entre  $4 \times 10^{14}$  Hz e  $7,5 \times 10^{14}$  Hz, quando, então, são percebidos através dos olhos como luz.

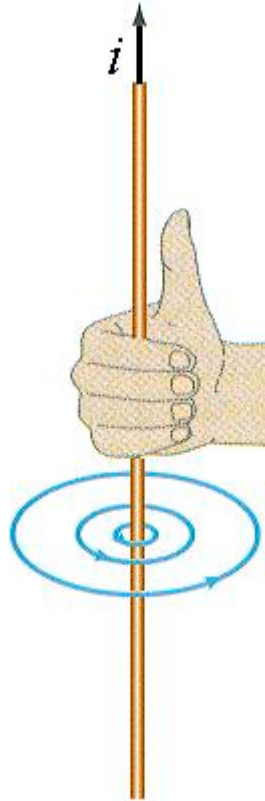
## CONCEITOS TEÓRICOS

Lei de Ampère é a lei que relaciona o campo magnético sobre um laço com a corrente elétrica que passa através do laço em um fio condutor, como exemplificado na figura 1.



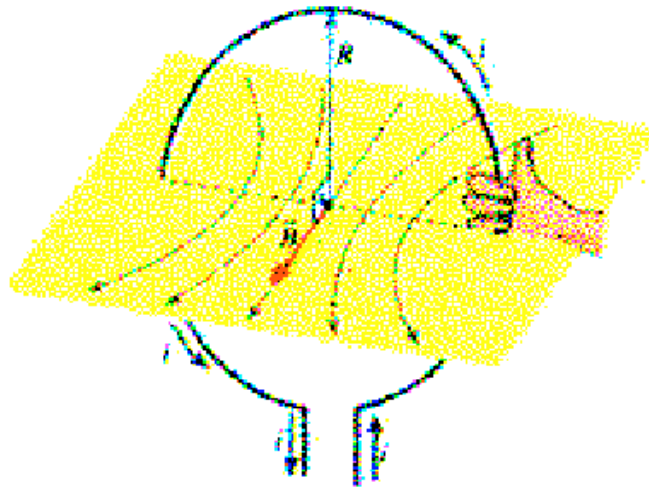
*Fig.1 Lei de Ampère – campo magnético quando aplica-se uma corrente em um fio.*

Essa lei exemplifica o processo de análise através da “Regra da mão direita”, onde com a mão fechada e o polegar para cima tem-se que este irá representar o sentido da corrente no fio e o restante dos dedos identificará o sentido do campo neste caso como exemplificado na figura 2.



*Fig. 2: regra da mão direita para determinação do campo magnético gerado pela corrente no fio.*

Podemos ter vários tipos de disposição de fios onde circulará a corrente e em cada caso ter-se-á um valor de campo diferenciado. Suponha uma espira circular conforme a figura 3.



*Fig. 3 Espira – campo formado pela corrente em um arco.*

Nesta espira passa uma corrente  $i$ , portanto, irá determinar um campo magnético ao redor desta espira. O valor deste campo é dado por:

$$B = \frac{\mu_0 \cdot i}{2 \cdot R} \quad (\text{Eq. 1})$$

onde  $\mu_0$  é a constante de permeabilidade magnética característica para cada material,  $i$  é a corrente que passa pelo fio e  $R$  é o raio desta espira.

No caso de uma espira com  $n$  voltas tem-se que o campo magnético é agora dado por:

$$B = n \cdot \frac{\mu_0 \cdot i}{2 \cdot R} \quad (\text{Eq. 2})$$

Pode-se calcular o valor da força de interação entre espiras através da intensidade do campo utilizando a seguinte equação:

$$F = i \vec{L} \times \vec{B} \quad (\text{EQ. 3})$$

sendo  $L$  o comprimento de amostragem da bobina.

Outro exemplo seria um enrolamento helicoidal, chamado de solenóide. A Fig. 4 representa um solenóide e as respectivas linhas de campo magnético atuando sobre este. Basta lembrar da “Regra da mão direita”.

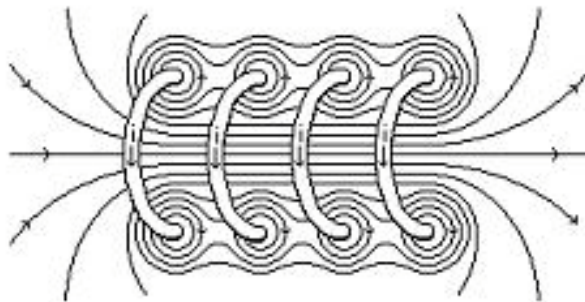


Fig. 4 – Enrolamento helicoidal formando um solenoide.

Como exemplo para a aplicação da lei de Ampère e cálculo do valor de campo considere um solenóide com  $n$  espiras por unidade de comprimento com uma corrente  $i$ . Se as espiras estiverem muito próximas e o solenóide for muito comprido, o campo magnético é uniforme e está confinado completamente ao seu interior (Fig. 5).

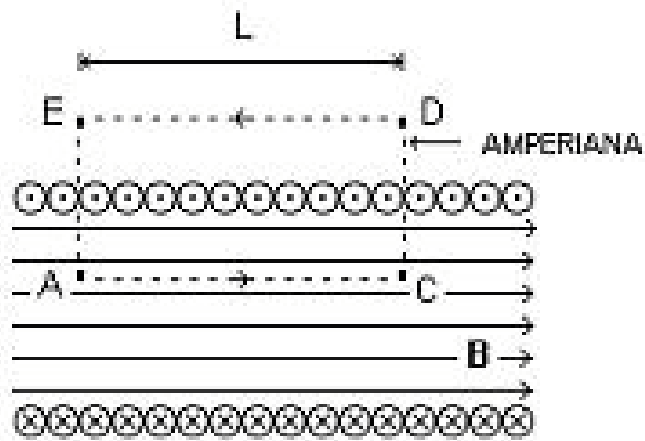


Fig. 5 – Solenóide construído pela justaposição de  $n$  espiras por unidade de comprimento

O campo magnético dentro do solenóide é dado por:

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{s} = \mu_0 i_{env} \quad (\text{Eq. 4})$$

Para simplificar vamos supor que este nosso solenóide seja ideal, assim tem-se que o campo produzido por ele é dado por:

$$B = \frac{\mu_0 n i}{L} \quad (\text{Eq. 5})$$

onde  $L$  é o comprimento do solenóide.

## **PROPOSTA DE TRABALHO:**

Durante este semestre nos propomos a realizar a montagem de um experimento que permita avaliar a força magnética produzida por duas correntes elétricas e observar os efeitos do campo. Para isto, vamos realizar dois experimentos distintos.

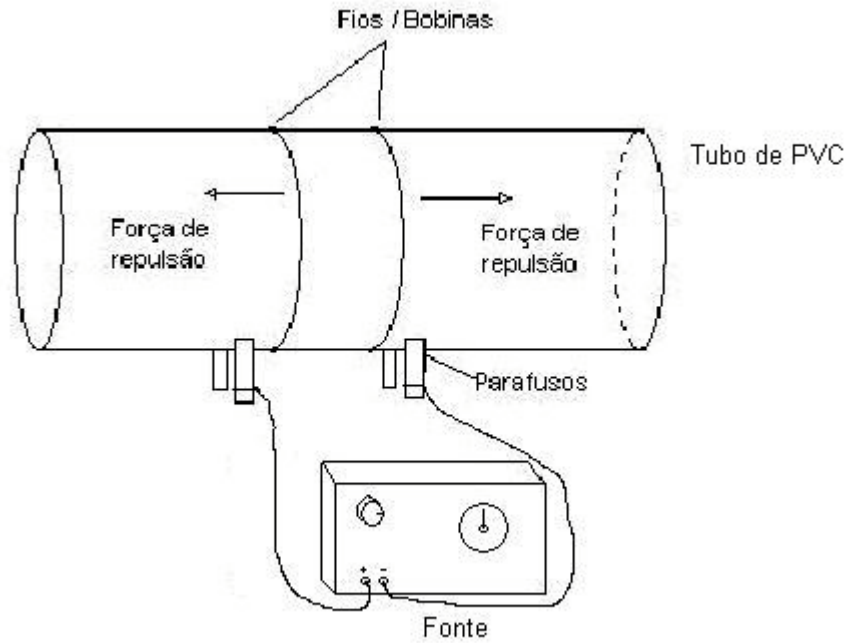
### *Repulsão entre dois campos magnéticos*

Serão feitas duas bobinas chatas utilizando fios de cobre. O material para tal experimento é constituído de:

- Dois fios de cobre diâmetro X e de Y cm cada um;
- Tubo de PVC;
- Quatro parafusos com porcas;
- Fonte de corrente de 6A (CENCO).

Serão feitas duas bobinas, com 16 voltas onde suas extremidades deverão ser ligadas aos parafusos. É importante ressaltar que a bobina não deve ficar muito rente ao PVC para não haver muito atrito entre eles. O uso de um papel apropriado envolto ao PVC ajudará para a diminuição do atrito.

Ligando-se os fios na polaridade correta da fonte ter-se-á uma corrente de mesmo sentido nos fios, que produzirão campos magnéticos contrários (“Regra da mão direita”) e, portanto, criará uma força contrária entre eles ocasionando a repulsão entre as bobinas. O caso onde a corrente segue sentido opostos ter-se-á atração entre as bobinas.



*Figura 6: Força de repulsão entre bobinas.*

O campo produzido poderá ser variado conforme a corrente na bobina, portanto a força de repulsão entre elas. Através das equações 2 e 3 pode-se obter os valores de campo e de força entre as bobinas.

### Observação de linhas de campo

Outra proposta seria a construção de um solenóide criando campos e influenciando limalhas de ferro. Os materiais a serem utilizados para este experimento seriam:

- Uma placa de acrílico;
- Fios de cobre diâmetro X cm e Y cm de comprimento;
- Fonte de 6A (CENCO).

O enrolamento do fio é feito na placa de acrílico através de pequenas furações. As extremidades do fio são ligadas na bateria e as limalhas de ferro são espalhadas sobre a placa. Ao ser ligada a fonte de corrente o campo magnético irá espalhar as limalhas em direções definidas, conforme o campo.



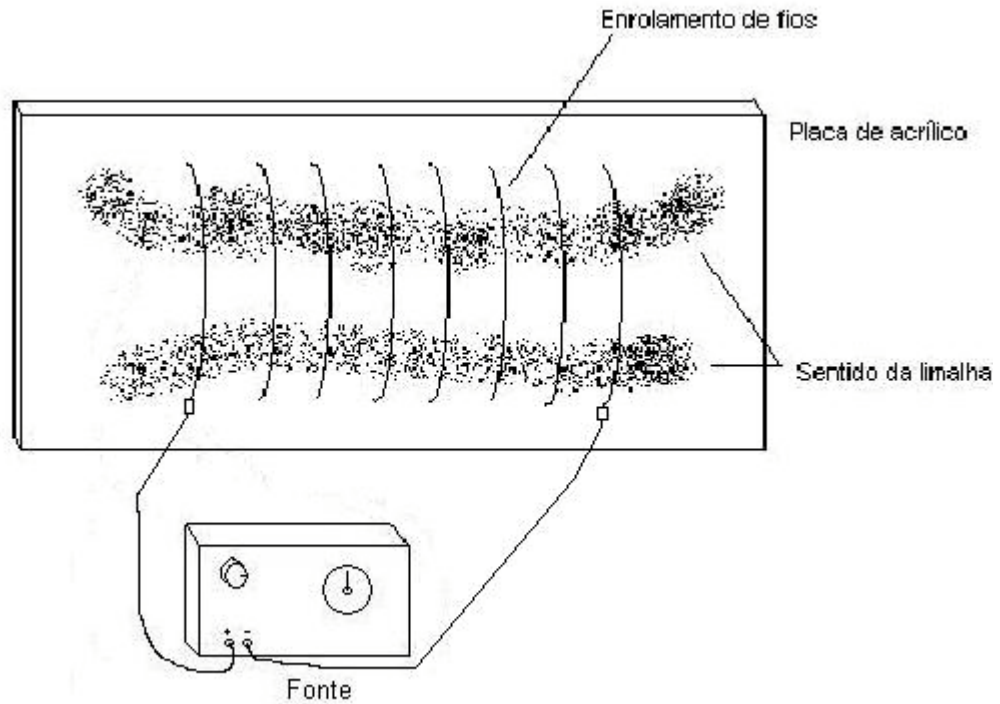


Figura 6: influência do campo sobre a limalha de ferro.



Figura 7 – Solenóide – projeto de montagem.

O cálculo do valor deste campo é obtido através da equação 5.

## REFERÊNCIAS

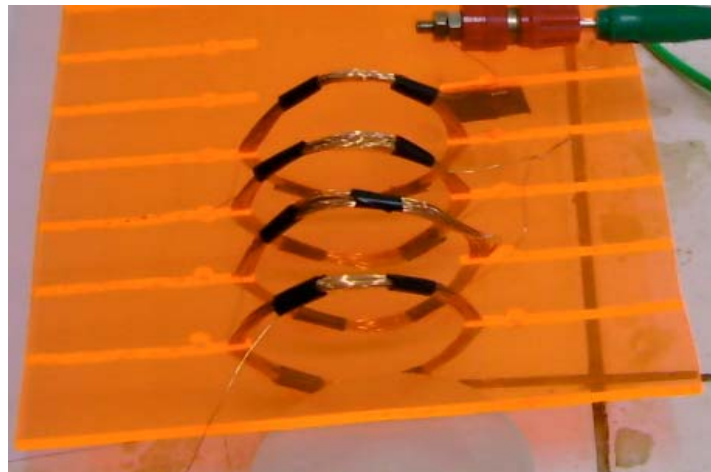
- [1] <http://www.scite.pro.br/emrede/eletricidade/magnetismo/bussola.html>
- [2] <http://www.britannica.com/eb/article-9059211/Peter-Peregrinus-of-Maricourt>  
[http://en.wikipedia.org/wiki/Peter\\_Peregrinus](http://en.wikipedia.org/wiki/Peter_Peregrinus)
- [3] R. P. Feynman, R. Leighton e M. Sands, **Feynman Lectures on Physics v.2**,
- [4] <http://www.ifi.unicamp.br/~ghc/Biografias/Maxwell/Maxwelltrat.html>
  
- [5] J. Goldemberg, **Física Geral e Experimental v.2**, Companhia Editora Nacional (1970)
- [6] R. Ehrlich, **Turning the World Inside Out**, Princeton University Press (1938);
- [7] D. Halliday, R. Resnick, J. Walker **Fundamentos de Física Vol. 3**, LTC Editora (2005)

*ANEXO I – Desenvolvimento do trabalho.*

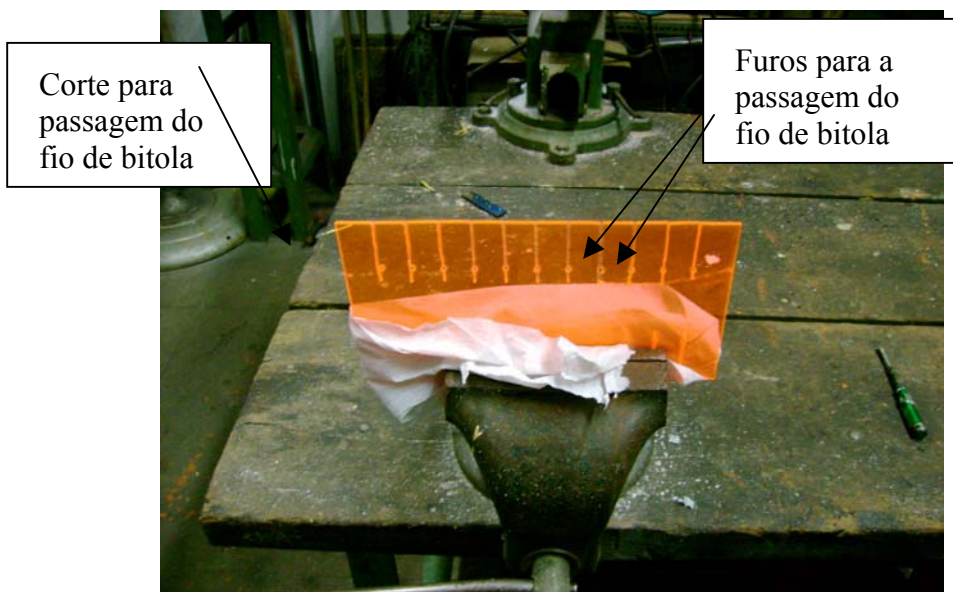
Experimento realizado para demonstração das forças magnéticas.

O orientador do projeto sugeriu algumas mudanças na proposta de trabalho para enriquecer o conteúdo e a análise dos resultados do experimento.

Foi testado o solenóide com fio rígido de bitola aproximada de 2,6 mm, mas o raio do solenóide era muito grande (10 cm), assim como a distância entre as espiras (3 cm). O fato do fio ser muito grosso fez com que a corrente necessária para se produzir o efeito também era muito grande (maior que 6A). Foi decidido então a alteração do fio de bitola grande por um fio menor, de bitola 0,6mm. Foi então realizada o enrolamento do fio (50 voltas) em cada espira (figura 1) mas alterando o raio do solenóide para 6 cm, utilizando uma serra manual (figura 2).

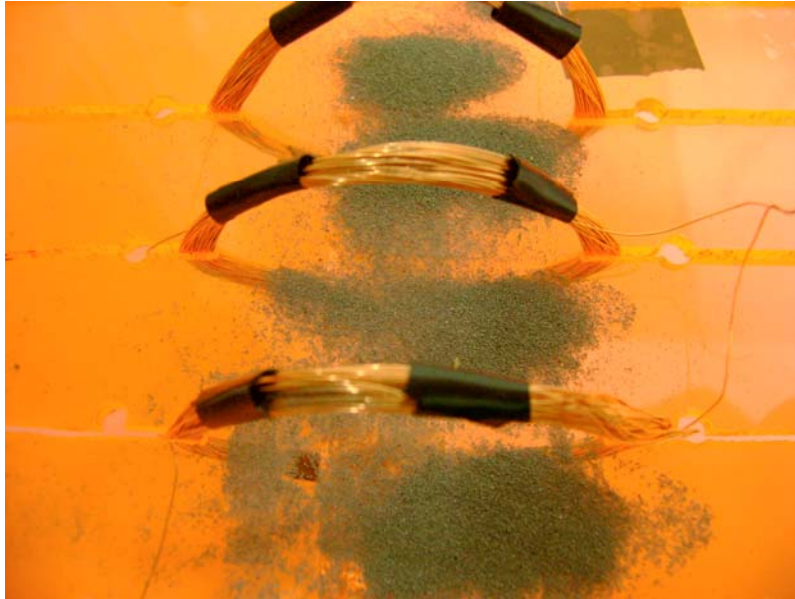


*Figura 1: enrolamento do fio na placa de acrílico.*



*Figura 2: corte da placa de acrílico com serra manual.*

Aplicou-se uma corrente de 500  $\mu\text{A}$  mas não houve efeito algum sobre as limalhas de ferro. Ao aumentar a corrente para 600 $\mu\text{A}$  houve superaquecimento do fio sem ocorrer alteração alguma no campo da limalha (figura 3).



*Figura 3: não houve alteração da limalha com a passagem de corrente no fio.*

Foi então proposto o enrolamento do fio para se criar uma bobina simples a ser colocada sob a placa de acrílico para visualizar o campo magnético gerado por este. Foi feita uma bobina com 200 voltas e diâmetro de aproximadamente 35 mm e uma outra com 500 voltas e mesmo diâmetro (figura 4).



*Figura 4: enrolamento com 200 e 500 voltas respectivamente.*

A primeira delas tem aproximadamente 200 voltas / cm (20000 / m) e a segunda 300 voltas / cm (30000 / m) dando um campo magnético no eixo “z” das bobinas de

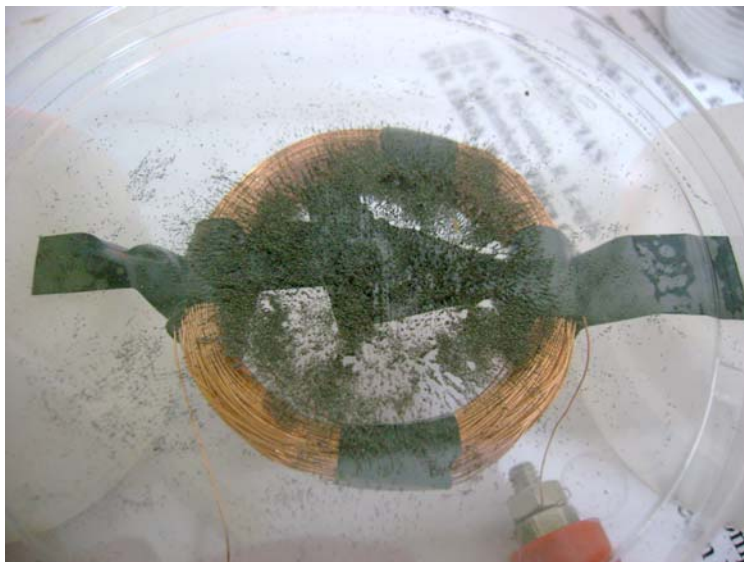
$$B \approx \mu_0 ni \quad \text{onde } \mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{T \cdot m}{A}, \quad n = \frac{\text{número de espiras}}{m} \text{ e } i = \text{corrente}.$$

A bobina de 200 voltas mostrou um efeito pequeno sobre a limalha quando se aplicou 500 uA, já a segunda bobina mostrou um efeito mais intenso (figura 5).



*Figura 5: efeito observado ainda é infimo usando a segunda bobina..*

Decidiu-se trocar a placa de acrílico que possuía aproximadamente 6 mm por outra de 1 mm para observar o campo (figura 6).



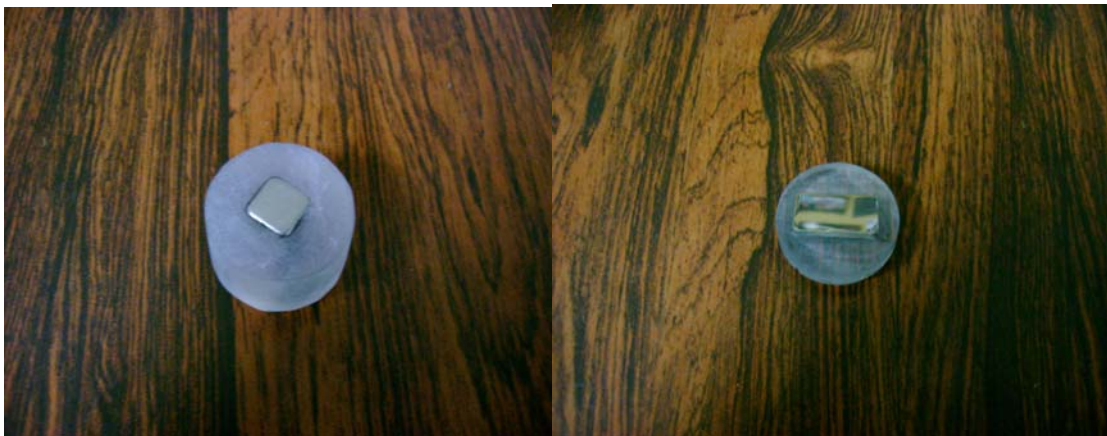
*Figura 6: campo é mais intenso quando utilizado placa mais fina.*



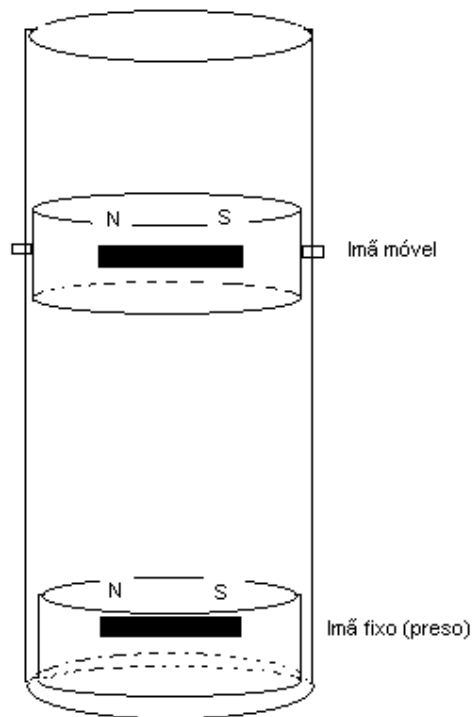
O campo neste caso foi mais intenso por estar mais próximo a borda da bobina.

Para o prosseguimento será então montada uma bobina única com maior número de voltas utilizando um fio de bitola um pouco maior para suportar corrente também maior sem haver o risco de superaquecimento. A montagem do solenóide será portanto descartada por implicar em uma situação mais complexa.

Para a segunda parte do projeto será utilizado um tubo com ímãs encapsulados em resina para observação do efeito magnético de repulsão em contraposto a força gravitacional. Para isto foram encapsulados em resina acrílica dois ímãs (figura 7) que serão colocados em um tubo (figura 8).



*Figura 7: encapsulamento dos ímãs em resina.*



*Figura 8: tubo transparente com os ímãs encapsulados. O ímã superior tem um eixo para evitar o giro sobre o plano azimutal.*

Os encapsulamentos serão colocados no tubo de maneira que seus pólos fiquem juntos criando repulsão entre eles. Será então colocado peso (massas diferentes) sobre o ímã móvel para observar a aproximação entre ambos dando a relação da força magnética com a força gravitacional. A distância entre eles será medida com uma régua.

Comentário:

O trabalho bem sendo desenvolvido satisfatoriamente pelo aluno, o qual tem conseguindo os resultados esperados devido ao empenho mostrado.

Juan Campoy

Orientador do trabalho.