



Universidade Estadual de Campinas

Instituto de Física Gleb Wataghin

1º semestre de 2010

Relatório Final

Projeto: Quase-Levitação Magnética com Contenção Lateral

Disciplina: F 609 - Tópicos de Ensino de Física I



Aluno: Leandro das Mercês Silva – R.A.: 081900
(leandrodasmerceshotmail.com)



Orientador: Flávio Garcia – Pesquisador do LNLS
(fgarcialnls.br)

15 de junho de 2010

ÍNDICE

01. RESUMO

02. INTRODUÇÃO

03. TEORIA

04. DESCRIÇÃO DO EXPERIMENTO

05. RESULTADOS OBTIDOS

06. COMENTÁRIO DO ORIENTADOR

07. CONCLUSÃO

08. REFERÊNCIAS

09. APÊNDICE

10. AGRADECIMENTOS

01. RESUMO

Este projeto, sugerido primeiramente pelo professor José Joaquim Lunazzi, tendo como objeto de estudo inicial o brinquedo “levitador magnético” a ele apresentado pela Professora Beatriz Alvarenga e posteriormente adquirido por ele nos Estados Unidos, tem por finalidade apresentar um estudo sobre o comportamento de materiais magnéticos (ímãs permanentes, no caso) e como estes podem ser utilizados na tentativa de se construir e/ou entender o funcionamento de um possível levitador ou um quase-levitador magnético. O comportamento magnético em ímãs começa a ser estudado ainda durante o nível médio e o estudo do magnetismo e de suas leis fundamentais se consolida no ensino superior.

02. INTRODUÇÃO

Desde a Antiguidade, os gregos já conheciam o fato de que certas pedras possuíam a capacidade de atrair pequenos objetos metálicos. Os chineses já conheciam o fato de certos materiais terem a estranha propriedade de apontarem sempre para o pólo norte, o que os levou a descoberta da *bússola*. Sabe-se hoje que tais pedras constituem os chamados *ímãs naturais* e são compostas por um minério chamado de *magnetita*.

Sabe-se hoje que o magnetismo está íntima e diretamente ligado ao movimento dos elétrons nos átomos, pois uma carga em movimento gera um campo magnético. O comportamento das substâncias quando sobre influência de campo magnético deve então ser explicado pelo número e a forma de organização dos elétrons nesta substância.

O modo utilizado para determinar se um material é ou não magnético consiste colocá-lo sobre a influência de um campo magnético. Se aparecerem forças ou torques, trata-se de uma substância magnética. Isso é verdadeiro para todas as substâncias, mas em algumas o efeito é bem mais evidenciado, e essas são chamadas de magnéticas. Dentre as últimas, estão os materiais ferromagnéticos, os quais mantêm os spins de seus elétrons alinhados, mesmo que sejam retiradas da influência do campo magnético. Esse alinhamento é responsável por um outro campo e por isso materiais ferromagnéticos são utilizados para produzir ímãs permanentes. Ferro, Níquel, Cobalto e ligas que contenham pelo menos um desses elementos são exemplos de materiais ferromagnéticos. Dentre os materiais não-magnéticos, vale relatar os diamagnéticos e os paramagnéticos. Materiais diamagnéticos são ligeiramente repelidos por ímãs, uma vez que o campo magnético por este gerado faz com que o movimento dos elétrons se altere, gerando um outro campo magnético, o qual se alinha em direção oposta ao do ímã, causando repulsão. Os paramagnéticos são ligeiramente atraídos pelos ímãs, pois possuem elétrons desemparelhados que se movem na direção do campo magnético, diminuindo a energia. Notemos que sem o campo, o material mantém os spins de seus elétrons orientados aleatoriamente, o que os difere dos ferromagnéticos.

Quanto aos fenômenos de levitação, que é justamente o estado de um corpo que permanece no espaço a uma certa distância de uma superfície, sem que nada aparentemente o sustente, muitos são os casos destes no mundo da magia, porém, são raros os que não passam de truques e ilusões.

No campo da Física, muito sobre isso já foi discutido. Em 1842, Earnshaw, ao estudar o comportamento de ímãs permanentes, chegou ao seguinte teorema: “É impossível realizar levitação estática de objetos usando qualquer que seja a combinação de ímãs permanentes”. Este teorema gerou diversas controvérsias ao longo dos anos e hoje sabemos que ele possui ao menos uma exceção, com respeito aos materiais diamagnéticos. De qualquer forma, vários aparatos já foram criados com o intuito de chegar a tão esperada levitação magnética, utilizando apenas ímãs permanentes. O que se nota, contudo, é que na verdade estas não constituem puramente uma levitação, do ponto de vista físico, no sentido de que a resultante das forças que equilibram o corpo não é apenas a força peso e a força magnética, mas sim a combinação delas com uma ou mais

forças, dentre elas, forças do tipo normal, forças centrípetas, forças de tensão, e assim por diante. O que se faz na realidade são quase-levitadores magnéticos, que encantam muitas vezes pelo mistério em desvendar quais mais forças estão envolvidas em sua situação de equilíbrio.

Mesmo não parecendo, os ímãs estão bastante presentes em nosso cotidiano, seja ele científico ou não. Ímãs fazem parte desde bússolas, microfones, gravadores, fones de ouvido, pequenos motores e alternadores, alto-falantes e monitores até galvanômetros, freios magnéticos, amortecedores de oscilações, bombas magnéticas e ciclotrons.

03. TEORIA

Também conhecido como magneto, um ímã é qualquer substância capaz de atrair substâncias magnéticas (ferro e outros metais). Ímãs permanentes, como os utilizados no projeto, são constituídos de material ferromagnético e suas propriedades magnéticas são originadas no spin eletrônico, no interior dos átomos que o compõem. Como característica geral, temos que um ímã é sempre um dipolo magnético, ou seja, possui pólo norte e pólo sul, os quais não podem ser separados. Estas extremidades recebem este nome por serem sempre atraídas, respectivamente, pelos pólos norte e sul terrestres. É fato conhecido que, em um ímã, os pólos de mesmo nome se repelem, enquanto que os de pólos de nomes contrários se atraem. Lembremos que se dividirmos um ímã ao meio teremos outros dois ímãs com as mesmas características do anterior, de modo que nunca se consegue separar os seus pólos.



Figura 01: Ímã – Dipolo Magnético.

3.1 TIPOS DE ÍMÃS

Os ímãs podem ser classificados segundo dois critérios, a natureza (natural ou artificial) e a duração de seu campo magnético (permanente ou temporal).

- Ímã natural:

É um mineral com propriedades magnéticas, como a magnetita ou óxido de Ferro (Fe_3O_4).

- Ímã artificial:

É um corpo de material ferromagnético que é submetido à um intenso campo magnético. Isso pode ser feito atritando-o com um ímã natural ou também pela ação de correntes elétricas. Um ímã de neodímio é um poderoso ímã, produzido, geralmente, a partir de uma combinação de neodímio, ferro e boro – $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$. Esses ímãs são muito poderosos em vista de sua pequena massa e grande intensidade, porém são mecanicamente frágeis e perdem seu magnetismo em temperaturas razoavelmente elevadas.

- Ímã permanente:

É um material magnético feito de aço magnetizado, afim de manter permanentemente seu poder magnético. Também é utilizado ferrite em alguns casos. No entanto, uma forte descarga elétrica, um impacto de grande magnitude, ou uma aplicação de uma elevada quantidade de calor podem causar perda de força magnética deste tipo de ímã. A altas temperaturas, os ímãs permanentes perdem seu magnetismo temporariamente, readquirindo quando são resfriados.

- Imã temporal:

É um material magnético temporariamente magnetizado por uma fonte de ondas eletromagnéticas. Quando a emissão dessas ondas cessa o ímã temporal deixa de possuir seu campo magnético. Esses ímãs são feitos com matérias paramagnéticas (normalmente ferro com baixo teor de carbono). O eletroímã, que uma espira por onde circula uma corrente elétrica, gerando um campo magnético é de certa forma um ímã temporal, pois seu campo magnético acaba quando é interrompida a passagem da corrente elétrica.

A utilização por nós de ímãs de neodímio faz nos lembrar de algumas precauções, já que mesmo um dos pequenos ímãs utilizados é capaz de destruir o conteúdo de um disco de gravação de modo que seja irrecuperável. pois são intensos o suficiente não apenas para magnetizar as cores de televisores, mas também para deformar fisicamente partes do monitor. Esse tipo de dano é tipicamente irreparável desmagnetizando-o apenas via sua configuração. A preocupação com a temperatura é logo eliminada pelo fato de trabalharmos sempre à temperatura ambiente.

3.2 – UM POUCO DE MAGNETISMO

Não tem como se referir ao estudo magnético sem ao menos citar o estudo da eletricidade. O campo magnético, tal como o campo elétrico, é um campo vetorial e seu valor e orientação em qualquer ponto são especificados por um vetor **B**, o vetor indução magnética. De forma genérica, define-se como campo magnético toda a região do espaço em torno de um ímã, ao qual atribui-se um pólo norte, do qual as linhas de campo saem, e um pólo sul, ao qual as linhas de campo chegam.

De maneira análoga ao campo elétrico uniforme, existe o campo magnético uniforme, definido como o campo ou parte dele onde o vetor indução magnética **B** é igual em todos os pontos, em módulo, direção e sentido. Assim sua representação por meio de linha de indução é feita por linhas paralelas e igualmente espaçadas. Um exemplo aproximado de campo magnético uniforme é

a parte interna dos ímãs em forma de U.

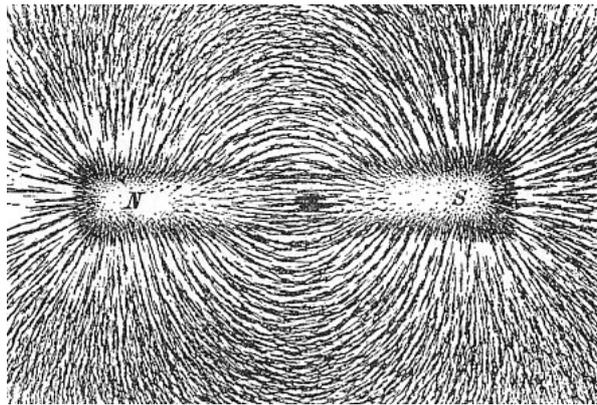


Figura 02: Linhas de campo.

A força magnética que age em cargas elétricas ou em condutores percorridos por corrente, em um campo magnético, é fundamental. Através de seu conhecimento pode-se explicar os fenômenos magnéticos, inclusive a levitação do ímã no quase-levitador com contenção lateral.

É sabido que cargas elétricas em movimento originam campos magnéticos. Considere uma espira percorrida pela corrente elétrica I , como mostra a Fig.03. Observa-se uma distribuição das linhas de campo que é análoga à de um ímã, podendo-se diferenciar o pólo norte do pólo sul.

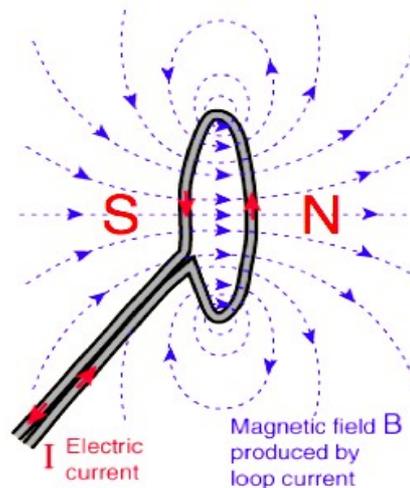


Figura 03: Espira percorrida por uma corrente.

Suponha então que uma carga elétrica q se move em uma região mergulhada em um campo magnético \mathbf{B} . Surge então uma interação entre este campo e o campo intrínseco da carga q em movimento. Esta interação manifesta-se por uma força que age diretamente sobre q , a força magnética. Se a carga q se move com uma velocidade v ao longo do campo magnético \mathbf{B} , a intensidade da força magnética \mathbf{F} sobre a carga será:

$$\mathbf{F} = \mathbf{B} v \sin\theta$$

em que θ é o ângulo entre a direção da velocidade da carga e o campo magnético.

Para determinar a direção de \mathbf{F} , quando a carga for positiva, utiliza-se a seguinte regra

prática, mostrada na figura que se segue:

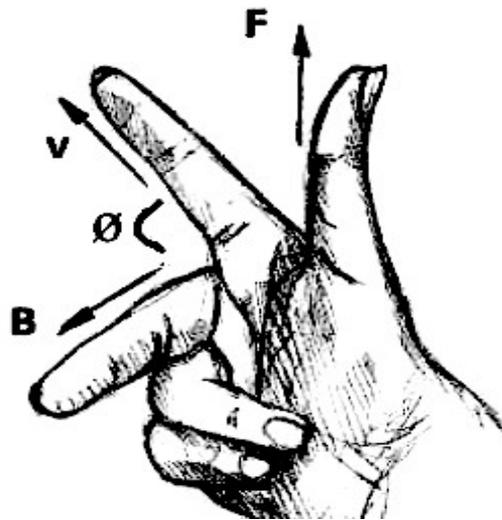


Figura 04: Regra da mão direita.

Se a carga for negativa, a direção será a mesma, porém em sentido contrário.

Considere agora um condutor reto, de comprimento L , percorrido por uma corrente i em um campo magnético uniforme B , fazendo um ângulo θ com a direção do condutor. Se Δq é a carga transportada pela corrente i , no intervalo de tempo Δt , ao longo do condutor de comprimento L , temos:

$$i = \Delta q / \Delta t$$

$$\Delta q = i \Delta t$$

$$F = B i \Delta t v \text{ sen} \theta$$

Por outro lado,

$$L = v \Delta t$$

Assim:

$$F = B i L \text{ sen} \theta$$

Para determinar a direção da força magnética, basta trocar v por i na regra prática anterior.

Suponha agora que ao invés de passar uma corrente no condutor, este se mova com velocidade v ao longo de B . Como os elétrons livres acompanham o movimento do condutor, eles ficam sujeitos à força magnética. Desta maneira surge uma diferença de potencial entre as extremidades do condutor. Se este deslizar sobre um outro fixo, dobrado em forma de U, onde se adapta um amperímetro A de graduação zero, no centro, temos então um circuito fechado, como mostra a Fig.05, e a diferença de potencial entre os terminais determinará a passagem de uma corrente denominada corrente induzida.

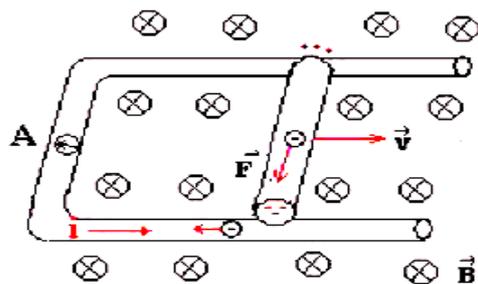


Figura 05: Circuito fechado.

Em 1831, Faraday realizou uma série de experimentos e concluiu que surge uma força eletromotriz induzida em um circuito, desde que o fluxo magnético através deste varie, fenômeno que veio a ser chamado Indução Eletromagnética. A lei de Lenz determina o sentido da corrente induzida, da seguinte forma: uma corrente induzida possui um sentido tal que o campo magnético devido à corrente se opõe à variação no fluxo magnético que induz a corrente. Uma variação bastante interessante das correntes induzidas são as correntes de Foucault, correntes circulares geradas a partir de fluxos magnéticos variáveis.

Consideremos a figura seguinte, que mostra o fluxo do campo magnético \mathbf{B} através de uma superfície S :

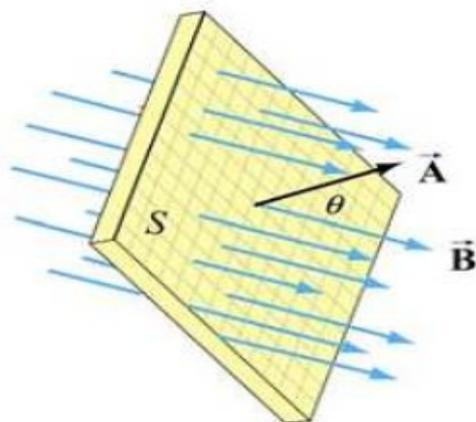


Figura 06: Fluxo de \mathbf{B} através de uma superfície S .

O fluxo magnético Φ através da superfície fechada S , cujo vetor de área é $\mathbf{A} = \mathbf{n} A$, em que \mathbf{n} é um vetor unitário perpendicular à superfície S , é:

$$\Phi = \oint_S \mathbf{B} \cdot \mathbf{n} dS$$

Como sabemos, não existem monopólos magnéticos. Analogamente, então, à Lei de Gauss para a eletricidade, temos:

$$\oint_S \mathbf{B} \cdot d\mathbf{A} = 0$$

04. DESCRIÇÃO DO EXPERIMENTO

O objetivo deste experimento é montar um levitador magnético com contenção lateral, utilizando como fonte de campo magnético apenas ímãs permanentes.

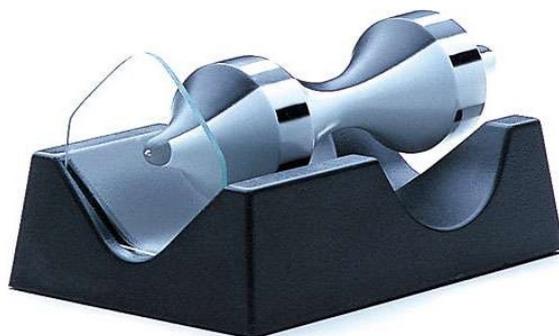


Figura 07: Brinquedo 'levitador magnético'.

Após examinar o brinquedo "levitador magnético" apresentado pelo coordenador da disciplina, com o auxílio de uma bússola, pôde-se determinar a posição dos ímãs e a também a sua polarização, como mostrado pela Fig.08, abaixo:

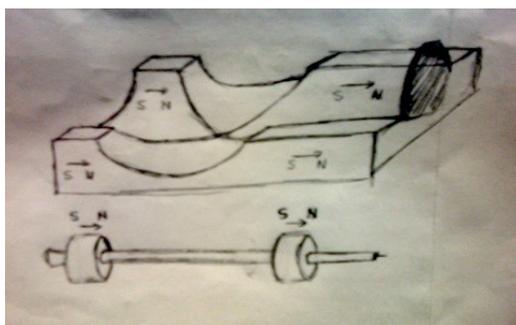


Figura 08: Brinquedo decifrado.

Para a construção de nosso levitador, foram utilizados os seguintes materiais:

- Hastes de madeira;
- Seis ímãs cilíndricos de neodímio (5mm diâmetro x 5mm altura);
- Conjunto de chaves allen;
- Recipientes plásticos;
- Tinta spray branca;
- Tubos de caneta;
- Fita isolante;
- Lixa d'água;
- Bússola;
- Tesoura.



Figura 09: Alguns materiais.

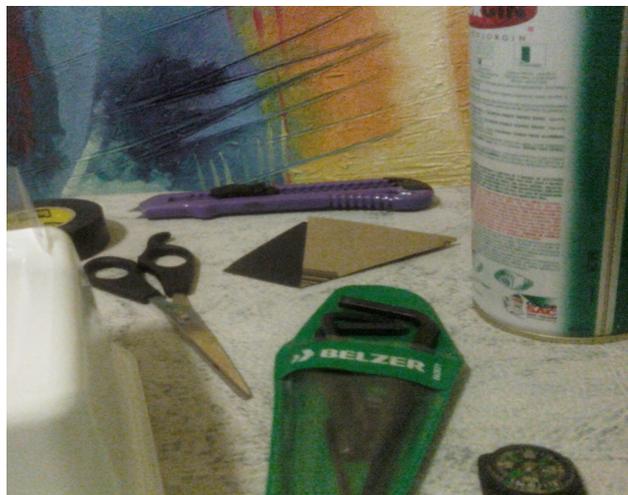


Figura 10: Mais materiais utilizados.

Os ímãs foram numerados de 1 a 4, e um esboço de como deve ser o levitador está mostrado na figura abaixo:

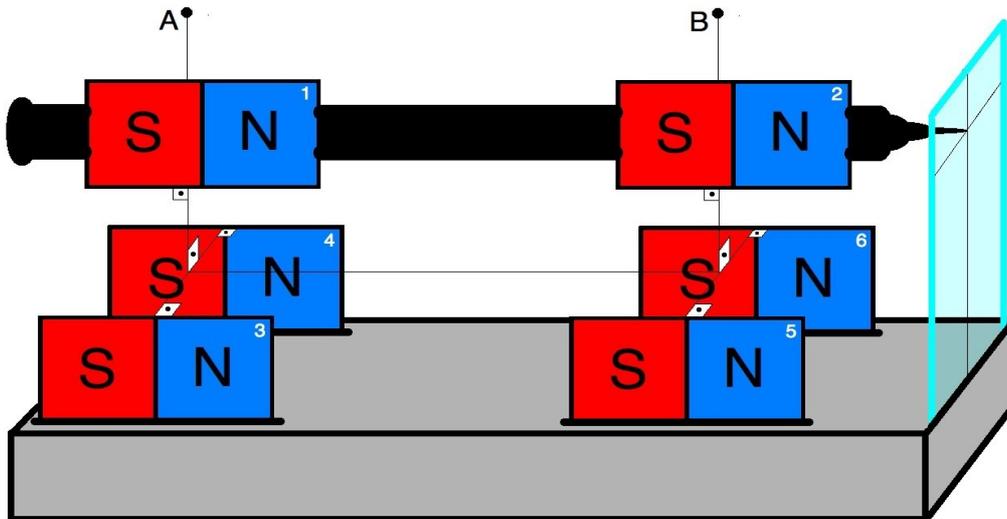


Figura 11: Levitador magnético com contenção lateral.

O estudo realizado sobre o sistema permite-nos concluir a posição em que deve ficar a haste que sustenta os ímãs 1 e 2. Notemos, como mostra a Fig.11, que os ímãs fixados a esta haste ficam ligeiramente deslocados para a esquerda com relação aos segmentos que contêm os pontos A e B. Esta é uma condição necessária para que ocorra este tipo de levitação. A posição dos ímãs 3 e 4 faz com que qualquer dipolo magnético colocado sobre a linha em que se encontra A sinta com igual intensidade o campo gerado por estes ímãs. O mesmo ocorre com um dipolo magnético colocado sobre a linha em que se encontra B, com relação aos ímãs 5 e 6. Quando se coloca a haste com os ímãs 1 e 2 sobre as linhas em que se encontram A e B, respectivamente, uma situação de equilíbrio se configura, como mostramos a seguir:

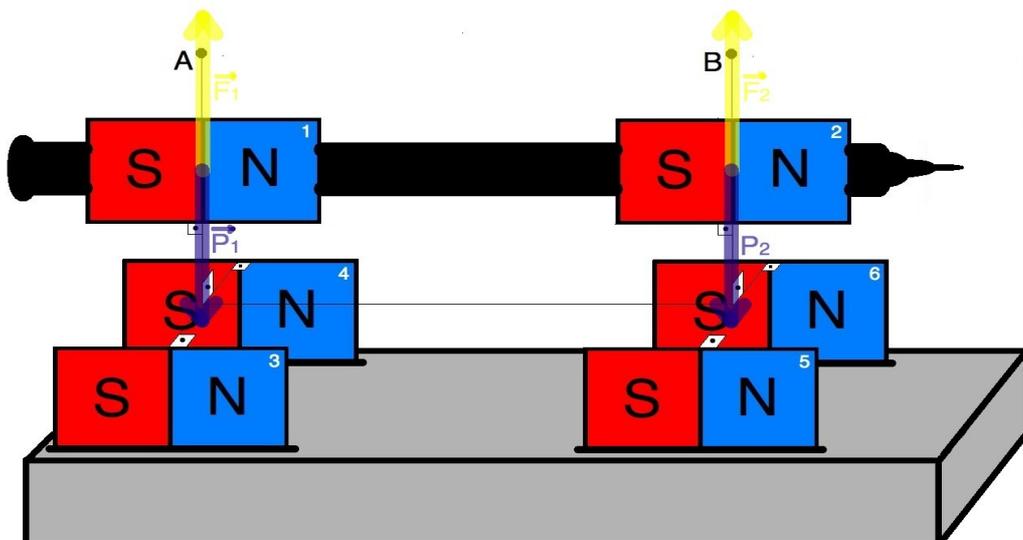


Figura 12: Situação de equilíbrio instável.

Onde F_1 e F_2 são forças magnéticas atuantes em 1 e 2, respectivamente, referentes ao par de ímãs mais próximos, e P_1 e P_2 são as forças peso dos ímãs 1 e 2, respectivamente. Considere a haste isenta de massa.

Como pode-se notar, esta constitui uma situação de equilíbrio instável, ou seja, um ponto de máximo para a energia do sistema. Qualquer perturbação causaria o desmanche desta situação. O simples fato de a haste possuir massa já interfere na situação ideal. Faz-se necessário comentar que as forças magnéticas presentes em 1 e 2, F_1 e F_2 respectivamente, são devidas aos ímãs 3 e 4 e aos ímãs 5 e 6, respectivamente. A força magnética dos ímãs 3 e 4 sobre o ímã 2 e a força magnética dos ímãs 5 e 6 sobre o ímã 1 possuem módulos muito pequenos, devido a maior distância entre os ímãs, além de se anularem horizontalmente devido à presença da haste, de modo que apenas suas componentes verticais (ainda menores) se somam a F_1 e F_2 , não representando portanto uma alteração de fato significativa.

Se deslocarmos para a esquerda ou para a direita, um mínimo que seja, a haste, ela sairá de sua situação de equilíbrio instável e iniciará um movimento horizontal simultaneamente com a queda. A Fig.13 mostra o desequilíbrio entre as forças, e uma resultante não nula:

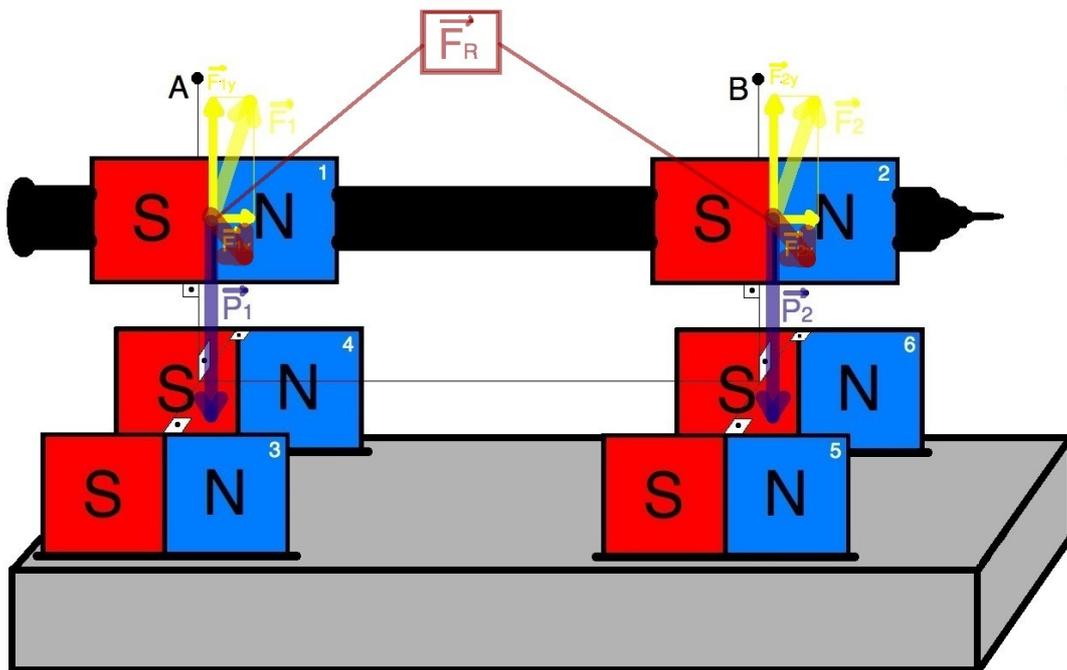


Figura 13: Desequilíbrio.

Onde F_R é a força resultante sobre os ímãs.

Para esta situação, a componente 'y' das forças magnéticas não é suficientemente grande para anular a força peso, de forma com que apareça uma componente vertical não nula da força resultante, com sentido '-y'. A componente 'x' das forças magnéticas se tornam a contribuição horizontal para a força resultante, com sentido '+x'. Dessa maneira a haste logo cairia por sobre a base.

Uma maneira eficaz de se obter o equilíbrio estável, e estático, é acrescentando à situação descrita pela Fig.13 um anteparo, como o mostrado na Fig.11. Desta forma, a haste tocará no anteparo fazendo com que uma nova força apareça no sistema, como o mostrado pela Fig.14, a seguir, atingindo assim a situação desejada:

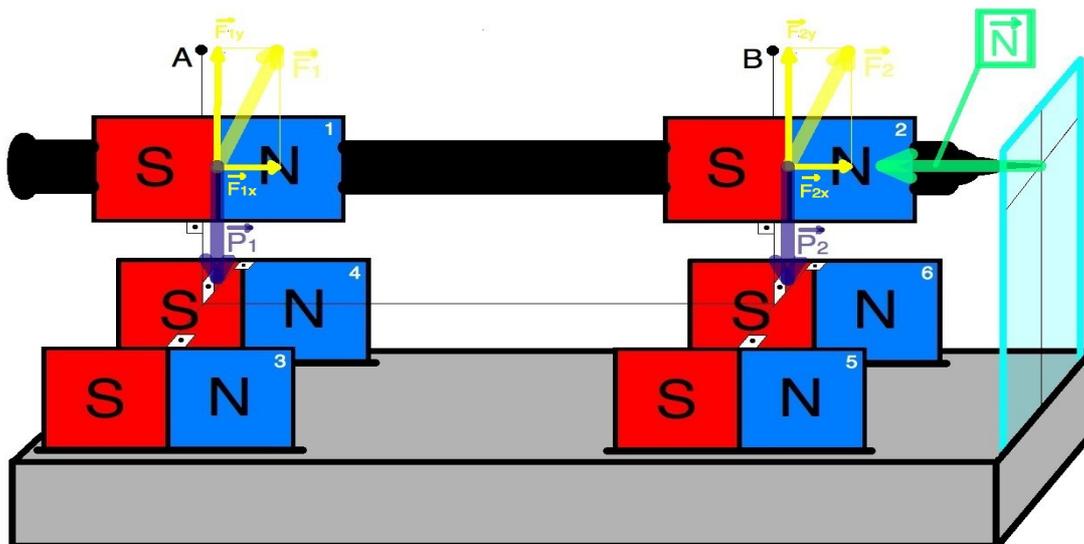


Figura 14: Equilíbrio estável.

Onde N é a força normal que atua sobre a haste devido ao seu contato com o anteparo.

Notamos que a força normal é responsável por equilibrar a componente horizontal da força resultante presente na Fig.13. A componente vertical da força resultante, a primeiro momento não é equilibrada por força alguma o que faz a haste começar a descer. Contudo, quanto mais ela desce, mais próxima fica dos ímãs das bases, o que provoca um aumento no módulo das forças magnéticas nos ímãs 1 e 2. Desta forma, as componentes 'y' das forças magnéticas nestes ímãs atingem o valor da força peso, levando a zero também a componente vertical da força resultante. Temos então a situação de equilíbrio desejada.

05. RESULTADOS OBTIDOS

Com o modelo devidamente descrito, finalmente montamos o experimento. Os resultados obtidos estão mostrados nas figuras que se seguem:

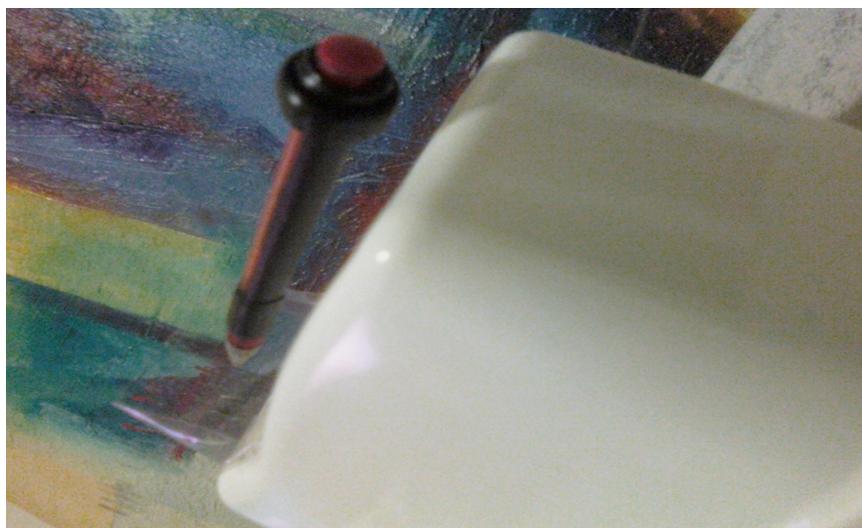


Figura 15



Figura 16



Figura 17



Figura 18



Figura 19



Figura 20

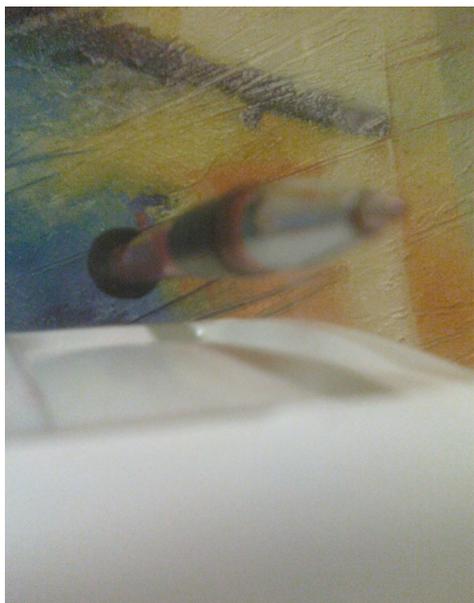


Figura 21



Figura 22

06. COMENTÁRIO DO ORIENTADOR

O meu orientador, Flávio Garcia, realizou os seguintes comentários:

- O experimento de fato se mostrou bastante interessante, principalmente pelo fato de que aguça a curiosidade e pode ser feito com materiais simples, de uso diário, com exceção dos ímãs, que devem possuir características como simetria, alta intensidade e tamanho reduzido.
- A escolha de materiais descartáveis e/ou recicláveis para o experimento se mostrou, além de ecologicamente correto, eficaz. Estes materiais, a exemplo dos recipientes plásticos utilizados em fase de teste e também no projeto definitivo, são no geral leves e não possuem o comportamento alterado perante campos magnéticos, fatos que contribuíram para quase dois centímetros de "levitação".
- O uso talvez excessivo de fita isolante foi devido à não aderência da cola-quente. Esta foi a solução mais rapidamente encontrada.

07. CONCLUSÃO

Este projeto possuía como finalidade “apresentar um estudo sobre o comportamento de materiais magnéticos (ímãs permanentes em particular) e como estes podem ser utilizados na tentativa de se construir e/ou entender o funcionamento de um possível levitador ou um quase-levitador magnético”. Felizmente o estudo acerca dos ímãs nos permitiu entender e não apenas tentar construir, mas finalizar com êxito o projeto. Os materiais utilizados nos permitiram obter um 'quase-levitador' bastante leve, o que atrapalha um pouco sua estabilidade, porém, o faz ficar mais elevado.

Não há dúvidas que o projeto, tanto em fase de andamento quanto depois de concluído, manteve-nos envolvido, pois é realmente interessante, como ressaltou o meu orientador. Didaticamente, fica a proposta de promover o aprendizado começando por despertar a curiosidade, gerar dúvidas, perguntas, motivando o pequeno descobridor que habita em cada aluno!

08. REFERÊNCIAS

1. Para uma breve descrição sobre sistemas de levitação magnética, um estudo simples sobre as linhas de indução magnética e o comportamento de ímãs permanentes e não permanentes, consultar:

SOUSA, B. Sistema de Levitação Magnética. 2007. Dissertação Instituto Politécnico de Tomar, Tomar Portugal.

2. Para conhecer mais sobre materiais diamagnéticos, Lei de Faraday, Lei de Lenz, supercondutores, tipos de levitação magnética, levitação eletrodinâmica ou repulsão magnética, levitação eletromagnética ou por atração magnética e levitação supercondutora, bem como algumas de suas aplicações, consultar:

<http://www.ebah.com.br/levitacao-magnetica-pdf-a15118.html>.

3. Para maiores esclarecimentos sobre o sistema conhecido como “Levitron”, como o seu funcionamento e sua situação de equilíbrio, extremamente importante para sua levitação, consultar:

<http://www.levitron.com/physics.html>.

4. Segue agora um vídeo postado no Youtube que mostra uma situação em que ocorre levitação ou quase levitação magnética. De forma semelhante ao Quase-Levitador Magnético com Contenção Lateral aqui construído, outras forças agem no sistema, além da magnética, promovendo assim o equilíbrio estático estável necessário para que ocorra levitação. Neste caso este equilíbrio é obtido pela resultante zero entre as forças de tensão dos fios presos aos ímãs, a força peso e a força magnética de repulsão entre os pólos dos ímãs.

<http://www.youtube.com/watch?v=j1F76s3WQ-w>.

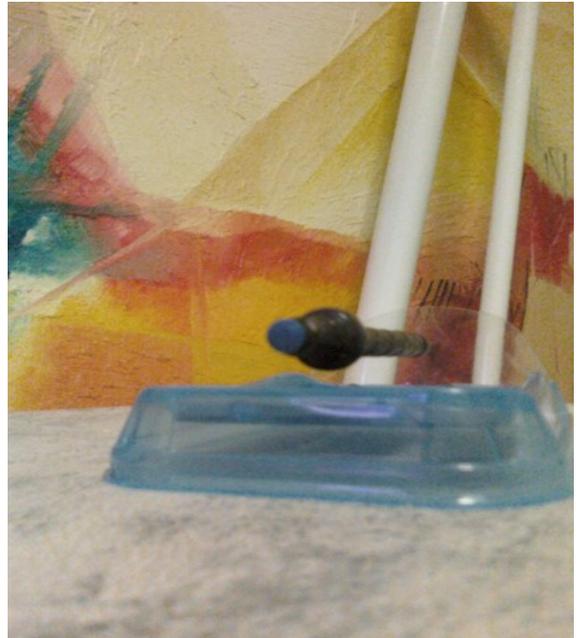
5. Um estudo mais aprofundado, a nível de Ensino Superior, sobre o Eletromagnetismo, a carga elétrica, o campo elétrico, o potencial elétrico, a capacitância, as leis que regem os fenômenos que envolvem estas grandezas, assim também como o campo magnético, a indutância e as propriedades magnéticas, pode ser encontrado nos livros abaixo:

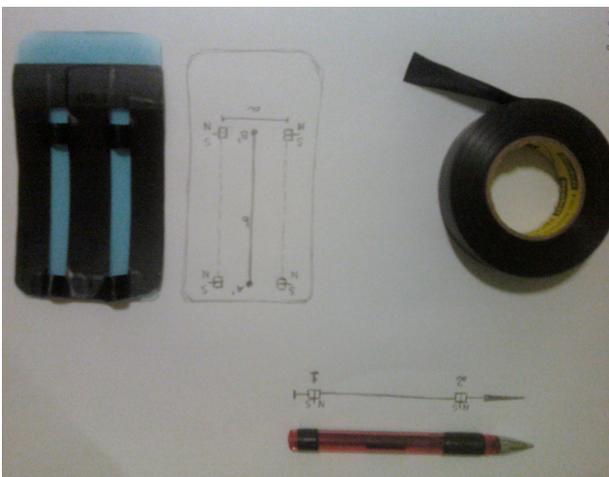
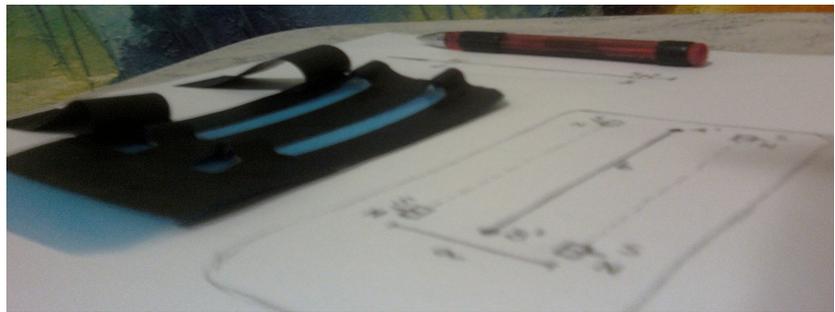
- NUSSENZVEIG, Moyses, Curso de Física Básica, Vol. 3;
- TIPLER, Paul, Física, Vol. 2;
- Sears e Zemansky, Física, Vol.3;
- HALLIDAY D. e RESNICK R., Fundamentos da Física III – Eletromagnetismo, Vol.3; LTC, Rio de Janeiro, 1995.

09. APÊNDICE

Seguem algumas fotos do projeto em fase de andamento. O 'quase-levitador' de base azul foi o construído apenas para testar, mostrado no relatório parcial. Na sequência aparecem fotografias do definitivo, de base branca e haste vermelha. Por último, uma foto da bússola utilizada e do 'brinquedo levitador', uma das motivações do projeto.









10. AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu orientador, Flávio Garcia, por ter aceitado me orientar neste projeto e por todo o apoio que tive neste período e ao coordenador do curso, José Joaquim Lunazzi, que se mostrou sempre atencioso às dúvidas que tive e disponível para conversar sobre o projeto.