



RELATÓRIO FINAL DE ATIVIDADES

F-809 – INSTRUMENTAÇÃO PARA ENSINO

CAMPO MAGNÉTICO DE UM SOLENÓIDE



ALUNO:

FELIPE TIJIWA BIRK

RA: 004910

COORDENADOR DO CURSO.....PROF. DR. JOSÉ JOAQUIM LUNAZZI

ORIENTADOR.....PROF. DR. MÁRCIO A. A. PUDENZI

OBJETIVOS

Este projeto tem como principal objetivo, mostrar a existência de um campo magnético no interior de um solenóide finito (ou bobina), quando uma corrente elétrica flui através do mesmo. O efeito visual adotado também permite a exploração do conceito de empuxo. Para um entendimento mais completo e eficiente, serão ilustrados exemplos simples de aplicações práticas envolvendo o princípio físico do eletroímã.

INTRODUÇÃO TEÓRICA

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).

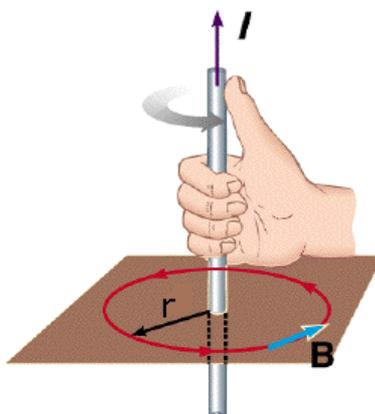


Figura 1. A "Regra da Mão Direita" é um truque simples para saber a direção do campo magnético em torno de um fio percorrido por corrente elétrica. O polegar aponta no sentido da corrente e os demais dedos definem o sentido do campo magnético.

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 solenóide¹ conveniente.

¹ "Solenóide" vem da palavra grega *solen* que significa "tubo"

Um solenóide é feito enrolando-se um fio isolado de forma tubular e compacta. 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. As linhas de campo para uma corrente que percorre um solenóide são mostradas na figura 2.

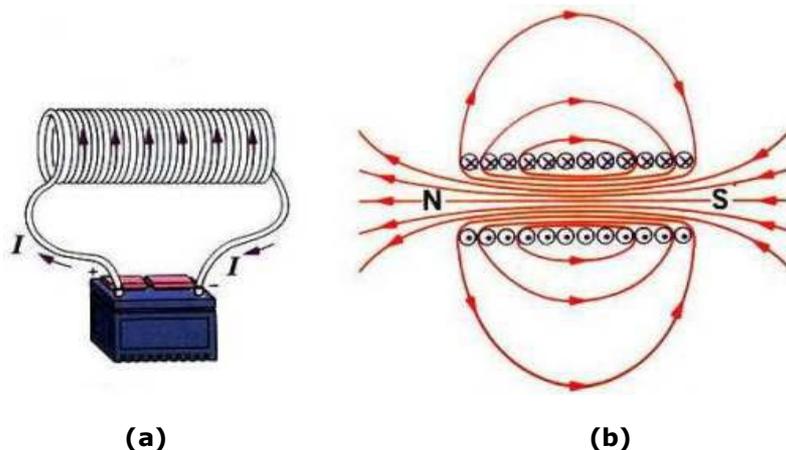


Figura 2. (a): Solenóide percorrido por uma corrente elétrica; (b):Linhas de campo magnético em um solenóide percorrido por essa corrente. Note a semelhança com as linhas de campo geradas por um magneto natural.

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 então²:

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

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

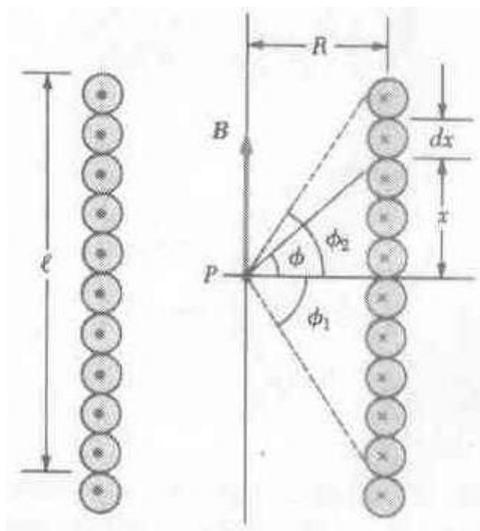


Figura 3. Geometria utilizada para determinar o campo magnético produzido por um solenóide finito em um ponto P de seu eixo central.

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° .

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

² Para uma abordagem mais completa desta derivação, ver referência 1, pág. 189.

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, conforme nos afastamos do centro. Este comportamento está ilustrado abaixo na figura 4.

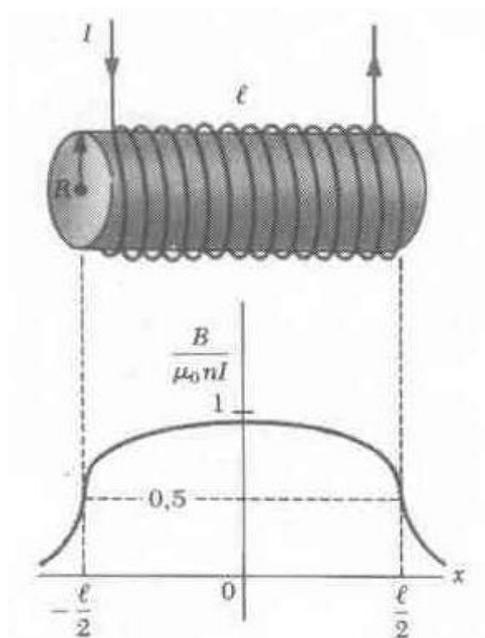


Figura 4. Intensidade do campo magnético ao longo do eixo de um solenóide compacto e longo.

É importante notar que o campo magnético próximo ao centro do solenóide, mostra-se bastante uniforme, caindo praticamente pela metade nas pontas. 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 . Estes valores serão mostrados mais adiante.

Baseando-se num grande número de resultados experimentais, podemos fazer a seguinte generalização: cargas em movimento em relação ao observador, criam campos magnéticos.

DESCRIÇÃO DO EXPERIMENTO

Este experimento consiste basicamente em mostrar a ação do campo magnético produzido por um solenóide finito sobre um corpo metálico, quando este corpo encontra-se suspenso em meio líquido com o auxílio de outro material com densidade menor. O líquido a ser utilizado será água e para manter o corpo metálico suspenso usaremos cortiça. A montagem experimental utilizada, está ilustrada na figura 5.

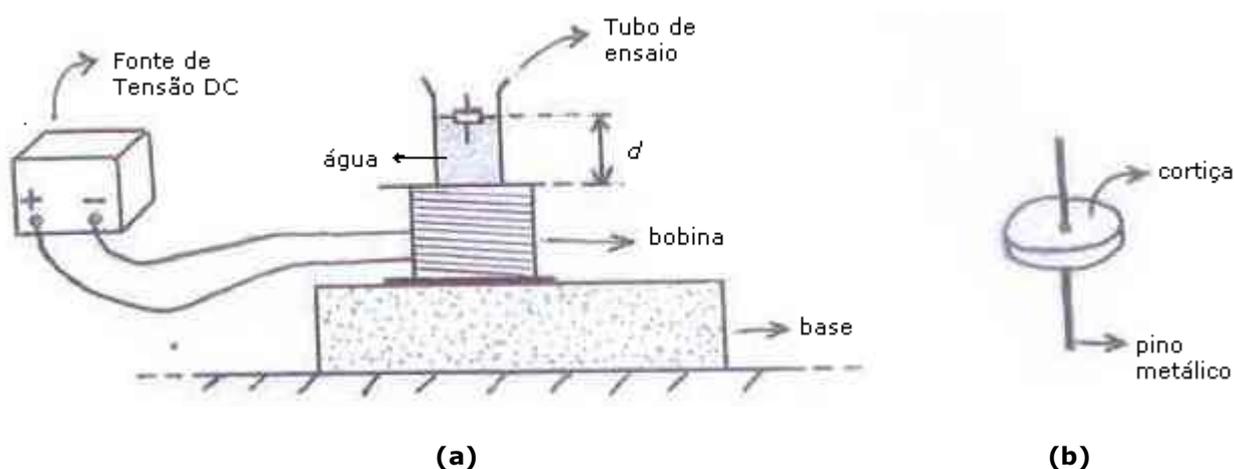


Figura 5. (a): Montagem experimental ; (b): Detalhes do corpo de prova.

Espera-se que o corpo de prova afunde quando for estabelecida a corrente no circuito. O corpo metálico usado no experimento consiste de um pedaço de clip de metal inserido num disco de cortiça obtida a partir de uma rolha de garrafa. Para a confecção da bobina, foi utilizado fio de cobre esmaltado 20 AWG³ e para os testes experimentais, utilizamos uma fonte de tensão contínua variável (0 a 15V ; 2 A). A base é feita de espuma e possui um furo de forma a manter o tubo de ensaio estável.

No período inicial do trabalho foram realizados cálculos teóricos para obter uma estimativa das ordens de grandeza envolvidas no projeto, principalmente o número de espiras por unidade de comprimento (n). Para isso foram realizadas medidas experimentais do campo magnético na superfície de um "ímã de geladeira", para que pudéssemos ter uma idéia da magnitude do campo a ser alcançado e, desta forma, fazer uma estimativa de n e da corrente elétrica a ser utilizada. As medidas do campo foram realizadas com um 'Gaussímetro' digital e o valor medido foi em torno de 10^{-2} Tesla, sendo este o valor definido nos cálculos. Como o solenóide a ser utilizado não é ideal, ou seja, seu comprimento (L) não é muito maior que o raio (r), devemos utilizar a equação [1] para determinarmos n .

Para obtermos um campo magnético da ordem de 10^{-2} Tesla sem que fosse necessário um n muito grande, definimos um valor alto, porém acessível, para a corrente elétrica. Assim, os valores de n e I tornaram-se viáveis para a confecção da bobina. Considerando um ponto P exatamente no centro da bobina, os ângulos estimados foram:

$$\Phi_1 = \Phi_2 \cong 45^\circ$$

Então, através da equação [1] e fixando os valores de B e I , obtemos:

$$\left. \begin{array}{l} B = 1,2 \times 10^{-2} \text{ T} \\ I = 1,3 \text{ A} \\ \mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ T} \cdot \text{m/A} \end{array} \right\} n \cong 104 \text{ esp/cm ; para } L = 3 \text{ cm teremos } \cong 312 \text{ espiras}$$

Utilizando este valor para n , foi feito o enrolamento ao longo dos 3cm do carretel, resultando num total de aproximadamente 315 espiras. Esse enrolamento foi realizado na Oficina Eletrotécnica do IFGW e os testes experimentais realizados nos Laboratórios de Ensino (LEI).

Durante os testes foi observado que o fenômeno esperado ocorre apenas a partir de uma certa distância (d) entre o corpo de prova e a borda superior da bobina (ver figura 5). Para distâncias menores que d , a força magnética que atua sobre o corpo, é suficiente para superar o empuxo⁴ que mantém o corpo suspenso. Caso contrário, o corpo não afundará.

A resistência da bobina foi medida com um 'Ohmímetro' resultando num valor de aproximadamente $1,6 \Omega$. Então, fixando-se o valor da corrente em $1,3 \text{ A}$, determinamos o valor da tensão a ser ajustada na fonte através da Lei de Ohm: $U = R \cdot I = 1,6 \Omega \cdot 1,3 \text{ A} \cong 2,1 \text{ V}$.

O valor de $1,3 \text{ A}$ para a corrente foi escolhido levando-se em conta a capacidade do fio ($1,6 \text{ A}$) e da fonte (até 2 A), sendo apropriado para atender às expectativas do experimento.

COMENTÁRIOS

Durante o desenvolvimento das atividades referentes ao projeto, foram feitas algumas modificações com relação ao modelo proposto inicialmente. Uma das mudanças foi o fato de termos utilizado uma bobina ao invés de enrolarmos o fio diretamente ao longo do tubo de ensaio (conforme sugerido no projeto). Isso foi feito devido a dificuldades encontradas na obtenção de uma fonte apropriada, visto que a corrente que passaria pelo enrolamento seria muito alta (da ordem de dezenas de Ampères), a menos que esta corrente agisse num intervalo

³ Ver tabela AWG (American Wire Gauge) no Apêndice II

⁴ Uma breve ilustração do conceito de empuxo está incluída no Apêndice I

de tempo bastante curto. Mesmo assim, estaríamos colocando em risco a viabilidade do experimento.

Um outro ponto a ser destacado refere-se ao estudo em regime alternado. O fato de estarmos trabalhando com uma voltagem baixa (aproximadamente 2 V), dificulta a obtenção de uma fonte alternada segura e estável para o circuito (eventualmente um Variac), sendo que o efeito visual do experimento seria pouco enriquecido. A solução destes problemas, bem como aplicações práticas⁵ envolvendo este projeto, podem ser desenvolvidas em futuros trabalhos.

Apesar dessas modificações, o objetivo central do projeto permaneceu inalterado. Através de procedimentos simples, pode-se explorar conceitos físicos importantes e, em conjunto com uma abordagem histórica, despertar no aluno o interesse pelo estudo dos fenômenos naturais.

APLICAÇÕES PRÁTICAS

Nesta seção serão mostradas algumas aplicações práticas envolvendo o princípio físico dos eletroímãs. Muitas dessas aplicações, estão presentes em nosso dia a dia, sendo que muitas delas passam despercebidas pela maioria das pessoas. A seguir são mostradas ilustrações sobre o esquema básico de funcionamento de: (6a) uma trava magnética; (6b) um acendedor de fogão antigo e (6c) uma campainha domiciliar. Inúmeros outros exemplos poderiam ser citados, entre eles: alto-falantes, motores elétricos, bombas para aquário, etc.

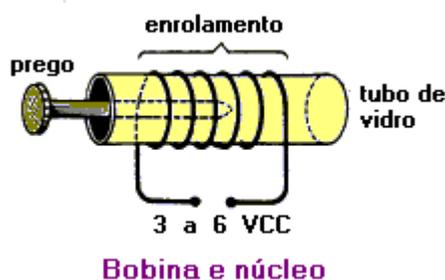


Figura 6a. Esquema básico de uma trava magnética, na qual o prego é atraído para o centro da bobina quando o circuito é fechado.

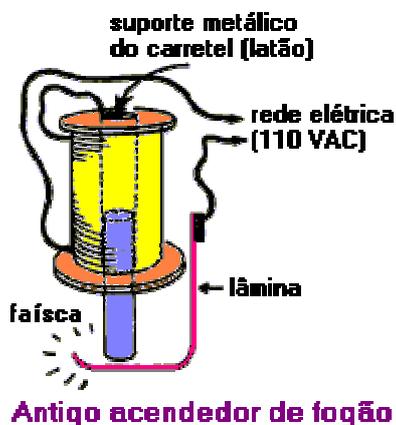
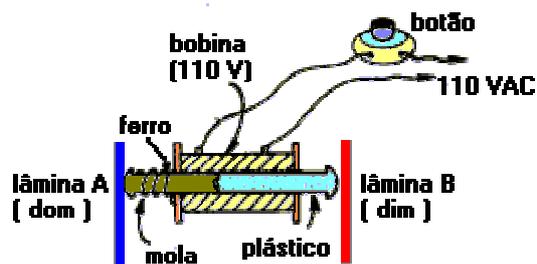


Figura 6b. Esquema básico de um antigo acendedor de fogão. Quando o cilindro de ferro toca a lâmina, o mesmo é atraído para o centro do carretel, abrindo o circuito e produzindo uma faísca. A força gravitacional se encarrega de completar o ciclo.

⁵ Por exemplo, pode-se calibrar uma escala de modo a medir densidades ou viscosidades de fluidos. Uma mola presa ao corpo de prova servirá de ponteiro para o instrumento.



Campainha doméstica Dim-Dom

Figura 6c. Esquema de uma campainha residencial "dim-dom". O mesmo princípio dos dois exemplos anteriores está envolvido. Quando o botão é pressionado, pino de ferro é atraído para o centro do enrolamento e a parte de plástico produz o "dim". Quando o circuito é aberto novamente, uma mola faz com que o pino de ferro volte à posição original, assim produzindo o "dom".

APÊNDICE I

Este Apêndice inclui uma breve ilustração do conceito de empuxo aplicado a corpos flutuantes.

FLUTUAÇÃO DE EMBARCAÇÕES

A madeira (que não seja aroeira) flutua e o ferro afunda. Antigamente (no tempo de Cabral) todos os navios eram de madeira. Quando, há mais de 100 anos, surgiram os primeiros navios de ferro, havia marinheiros que se recusavam a entrar nestes navios, porque achavam que afundariam. No entanto, os modernos navios de ferro afundam menos que as caravelas do tempo das descobertas.

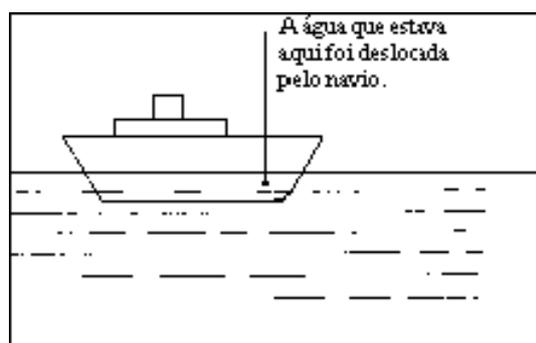


Figura 7. O peso referente ao volume de água deslocado pelo navio (empuxo), equilibra o peso total do navio fazendo com que o mesmo flutue.

Como é possível um barco de ferro flutuar?

O navio é oco. Quando chega à água, ele desloca (empurra) uma parte da água, até que o peso da água deslocada seja igual ao peso total do navio (fora e dentro d'água). Neste instante ele pára de afundar e flutua. Se furar o casco do navio, entra água e o peso do navio mais a água que entrou se torna maior que da água deslocada e ele afunda, como afundou o submarino do

qual aspiramos ar entrando água.

Não adianta fazer navios de madeira, pois o navio sempre leva carga que o torna pesado e se furar o casco, ele acaba afundando. Uma embarcação que aproveita a flutuação da madeira é a jangada feita de troncos amarrados uns aos outros.

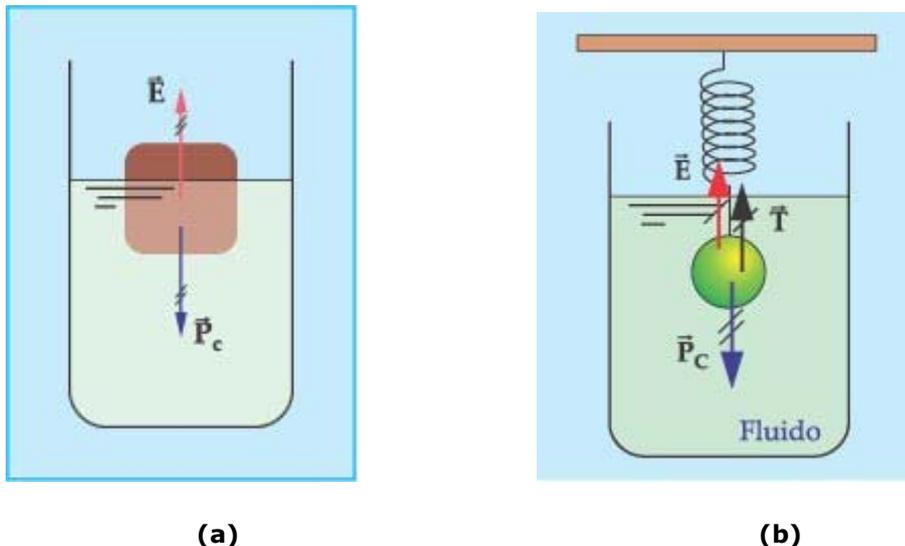


Figura 8. (a): Peso e empuxo atuando sobre um corpo flutuando num fluido; (b): Diagrama de forças em um dinamômetro. A força de tração imposta pela mola é somada ao empuxo do corpo, de forma a cancelar seu peso.

APÊNDICE II

TABELA AWG (American Wire Gauge) – Fios e Cabos Padrão

Nesta Tabela não são mostrados todos os números dos fios (apenas de 14 a 28)

Número AWG	Diâmetro (mm)	Secção (mm ²)	Número de espiras por cm	Kg por Km	Resistência (ohms/Km)	Capacidade (A)
14	1,628	2,08	5,6	18,5	8,17	6,0
15	1,450	1,65	6,4	14,7	10,3	4,8
16	1,291	1,31	7,2	11,6	12,9	3,7
17	1,150	1,04	8,4	9,26	16,34	3,2
18	1,024	0,82	9,2	7,3	20,73	2,5
19	0,9116	0,65	10,2	5,79	26,15	2,0
20	0,8118	0,52	11,6	4,61	32,69	1,6
21	0,7230	0,41	12,8	3,64	41,46	1,2
22	0,6438	0,33	14,4	2,89	51,5	0,92
23	0,5733	0,26	16,0	2,29	56,4	0,73
24	0,5106	0,20	18,0	1,82	85,0	0,58
25	0,4547	0,16	20,0	1,44	106,2	0,46
26	0,4049	0,13	22,8	1,14	130,7	0,37
27	0,3606	0,10	25,6	0,91	170,0	0,29
28	0,3211	0,08	28,4	0,72	212,5	0,23

REFERÊNCIAS

1. Raymond A. Serway, Física 3 para Cientistas e Engenheiros com Física Moderna, 3ª edição, Livros Técnicos e Científicos Editora ;
2. Ference Jr.; Harvey B. Lemon; Reginald J. Stephenson, Curso de Física – Eletromagnetismo, Editora Edgard Blücher Ltda.;
3. D. Halliday; R. Resnick; J. Walker, Fundamentals of Physics-Extended, 6a edição, John Wiley & Sons Inc.;
4. hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/magnetic/solenoid.html ;
5. farside.ph.utexas.edu/teaching/302l/lectures/node61.html ;
6. www3.ltu.edu/~s_schneider/physlets/main/bsolenoid.shtml ;
7. www.physics.sjsu.edu/facstaff/becker/physics51/mag_field.htm ;
8. www.cdac.sc.usp.br/roteiros/fluemp.htm ;
9. www.howstuffworks.com