

Campo Magnético e Distância

FERNANDO SODRÉ

Instituto Tecnológico de Aeronáutica*, São José dos Campos SP

Recebido em 3 de Setembro de 1971

An apparatus of great **simplicity**, for the study of magnetic **fields** as a function of position, is described. It allows the determination of the magnetic moments of bar **magnets** and compares the magnetic fields produced by different **coils**.

É descrito um aparelho, simples, para estudo do campo magnético como função da distância. O aparelho, de grande sensibilidade, permite, ainda, a determinação do momento de dipolo magnético de barras imantadas e a comparação de campos magnéticos produzidos por bobinas diferentes.

1. Introdução

Um dos itens importantes num curso de Física é o cálculo da função $B = B(x)$, onde B é a indução magnética ao longo do eixo perpendicular ao plano de uma bobina. Um outro aspecto do estudo dos campos magnéticos é a noção de momento de dipolo. Em geral, no entanto, não encontramos nos laboratórios de Física uma verificação experimental das fórmulas deduzidas analiticamente ou, mesmo, uma comparação entre os campos magnéticos produzidos por bobinas e barras imantadas. A partir da comparação desses campos pode ser fácil e rapidamente visualizada a utilidade da noção de momento de dipolo. Naturalmente, um aparelho que possibilite a análise e a comparação de campos magnéticos deve conter uma escala para posicionamento do elemento produtor do campo e um processo para medida da intensidade do campo magnético.

O aparelho aqui descrito é usado nos laboratórios de ensino do I.T.A. desde 1969.

*Enderêço: 12200 – São José dos Campos SP.

2. Descrição do Instrumento

Na Fig. 1 temos uma vista lateral e a fotografia 1A permite uma idéia mais objetiva do instrumento. As funções e material de construção de cada parte estão relacionadas a seguir:

Escala graduada circular: é uma régua milimetrada plástica, apoiada num suporte metálico, o qual lhe dá um raio de curvatura de 1 m. Uma vez que a distância entre a escala e o espelho é de 1 m, as medidas do ângulo de deflexão do espelho são efetuadas diretamente em radianos. **Regua potenciométrica:** esta regua, também usada em nossos laboratórios para a ponte de Wheatstone e para o circuito potenciométrico, consiste numa escala milimetrada plástica apoiada numa base de madeira. Nos extremos da régua estão presos bastões de alumínio, que suportam a escala graduada e o sistema imã-espelho. **Fonte de luz:** a fonte de luz, Fig. 2, totalmente construída de material não ferromagnético (alumínio e latão), possui um retículo iluminado por uma lâmpada tipo baioneta (6 V e 10 W) e uma lente com distância focal de 10 cm. **Barra imantada com espelho:** esta é a parte do aparelho sensível ao campo magnético. A barra imantada, **sobre** a qual agirá o campo magnético a ser medido, é protegida das correntes de ar por um recipiente de alumínio e está suspensa por um finíssimo fio de "nylon" (do tipo usado em tecelagem) de diâmetro 0,5 μm . O recipiente de alumínio serve, ainda, para amortecer as oscilações da barra imantada por meio de correntes de Foucault induzidas em suas paredes. A pequena espessura do fio de suspensão assegura um momento restaurador nulo por parte do mesmo. Detalhes e dimensões desta parte encontram-se na Fig. 3.

3. Utilização do Instrumento

Para o seu uso, o aparelho não exige qualquer tipo de calibração. Deve-se, apenas, ajustar para 1 m a distância entre o centro da escala circular e o espelho suspenso, e focalizar o retículo da fonte de luz (após a reflexão no espelho) **sobre** a escala circular. Feitos **estes** ajustes, o sistema é então suavemente deslocado, até que a imagem do retículo coincida com o centro da escala circular. Esta última operação assegura que a régua está perpendicular a direção do campo magnético da terra. O sistema, devido a **pequena** constante de torção da fibra de "nylon", apresenta grande sensibilidade; é necessário afastar quaisquer objetos magnetizados, incluindo voltímetros e amperímetros que contenham imãs.

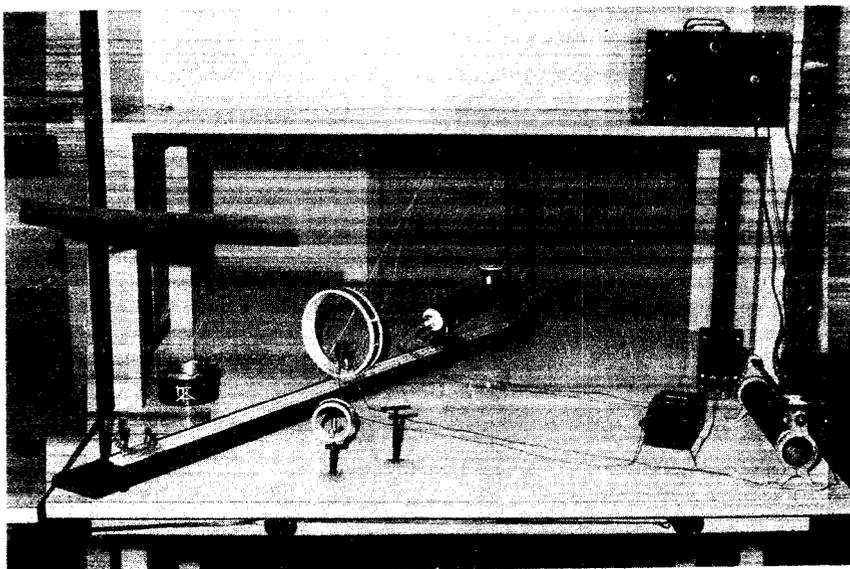


Fig. 1A

Podem ser analisados quaisquer campos magnéticos estáticos, cujas direções a analisar possam tornar-se perpendiculares ao campo magnético da terra e cujas intensidades sejam da ordem de grandeza da intensidade do campo magnético da terra.

O processo de medida é essencialmente de comparação do campo magnético desconhecido com o campo magnético da terra. Assim, é necessário conhecer a intensidade da componente horizontal do campo magnético terrestre.

A componente horizontal do campo magnético da terra, medida na sala do laboratório pelo processo sugerido por Daniels¹, é de $(1,9 \pm 0,1)10^{-5} \text{ W/m}^2$.

São estudados por nossos alunos, no decorrer de uma das práticas de laboratório, os campos magnéticos produzidos por: uma barra imantada (campo analisado para distâncias maiores que o comprimento da barra e na direção da mesma), uma bobina circular com 30 espiras e diâmetro de 15,5 cm e uma bobina também circular, de diâmetro 5,5 cm, porém, com o mesmo número de espiras que a bobina maior.

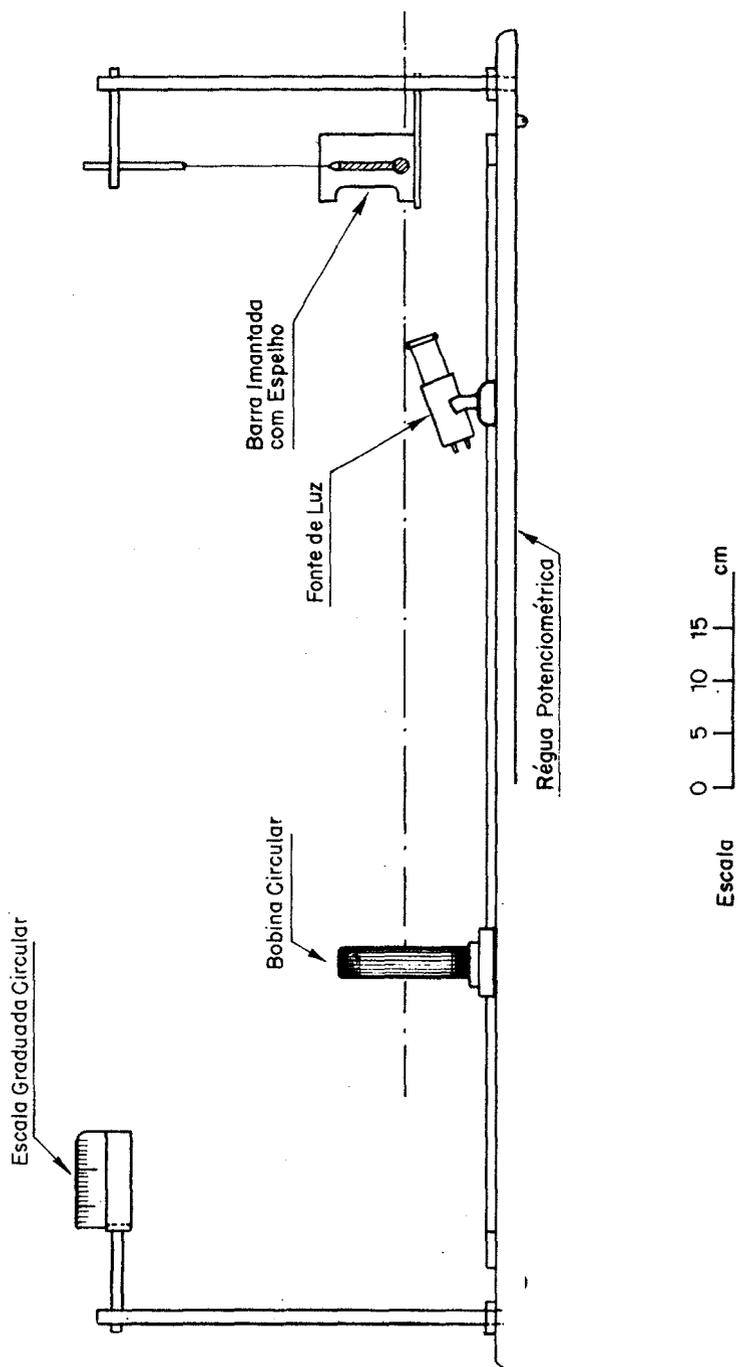


Fig. 1

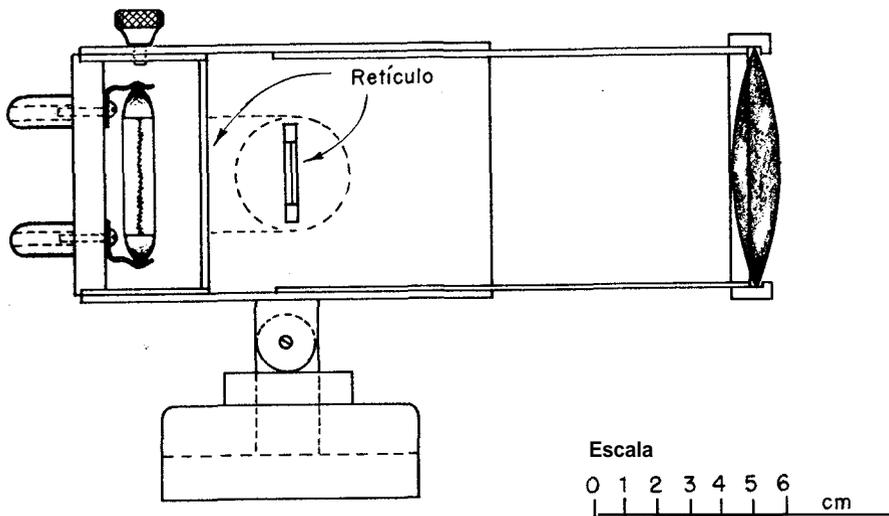


FIG. 2 - FONTE DE LUZ

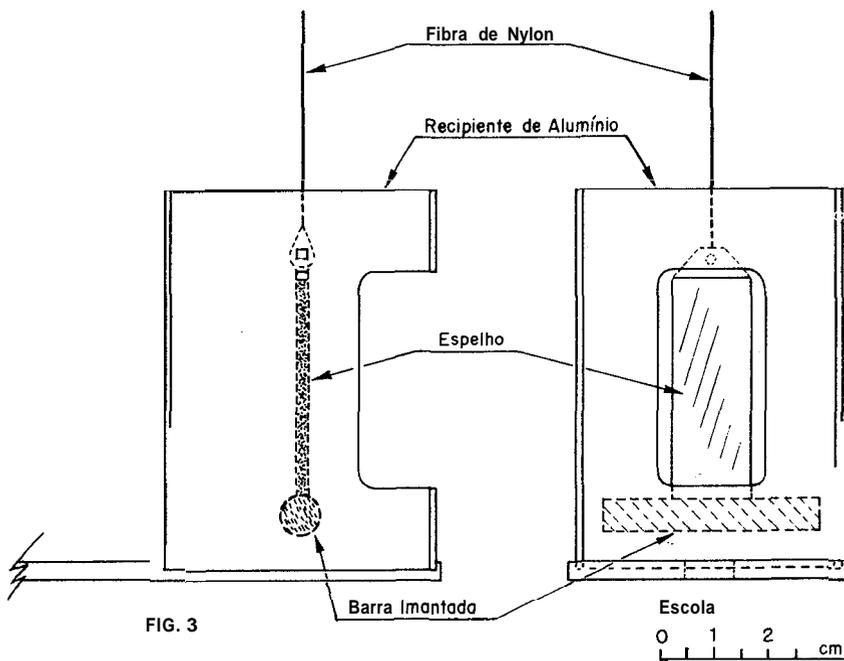


FIG. 3

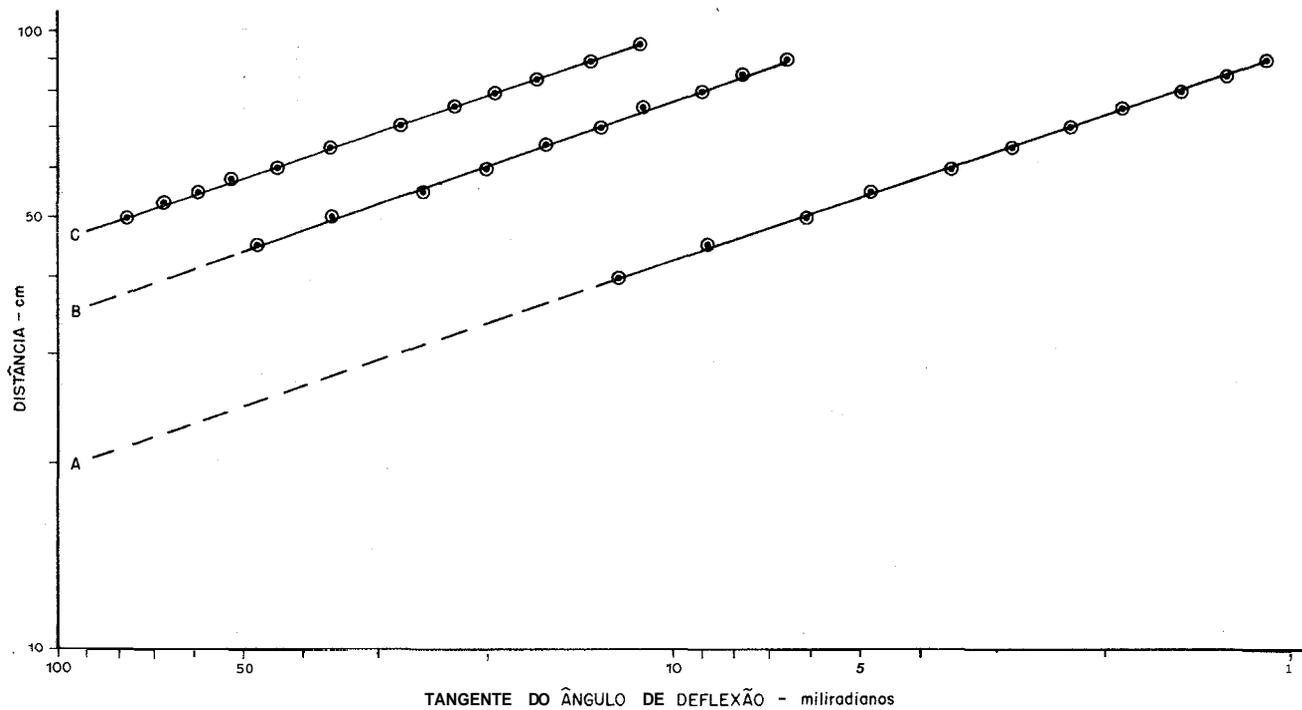


FIG. 4 - INDUÇÃO MAGNÉTICA x DISTÂNCIA

$$B = B_T \cdot \text{tang. } \theta \text{ E cte. } \theta$$

INCLINAÇÃO
RETA

- A = BOBINA MAIOR - 2.86
- B = " MENOR - 2.95
- C = BARRA IMANTADA - 2.94

4. Teoria e Resultados

Admitindo-se que o campo magnético produzido pelas bobinas ou pelo imã seja aproximadamente uniforme na região da barra imantada suspensa, podemos escrever a relação

$$|\mathbf{B}_x| \cong |\mathbf{B}_T| \operatorname{tg} \theta,$$

onde: B_x , campo em estudo; B_T , campo magnético da terra; θ , ângulo de deflexão do sistema barra-espelho.

O ângulo (θ) de deflexão do espelho é metade da leitura efetuada na escala graduada circular. O ângulo máximo legível na escala é **250** miliradianos, o que corresponde a **125** miliradianos de deflexão do espelho. Usando-se em toda a prática a aproximação $\operatorname{tg} \theta \approx \theta$, tem-se um desvio percentual de **0,5%** para a máxima deflexão, desvio este em geral menor que o dos instrumentos de medidas elétricas.

A indução magnética, num ponto (x) sobre o eixo perpendicular ao plano de uma bobina, é dada por

$$B = \frac{\mu_0}{2\pi} \frac{N I A}{x^3 \cdot [1 + (R/x)^2]^{3/2}}, \quad (1)$$

onde: N , número de espiras da bobina;

I , corrente na bobina;

A , área da bobina;

R , raio médio do enrolamento;

x , distância à bobina, medida sobre o eixo perpendicular ao plano da mesma.

Quando $x > R$, a expressão torna-se mais simples

$$B = \frac{\mu_0}{2\pi} \frac{N I A}{x^3}. \quad (2)$$

A indução magnética para pontos (x) distantes de uma barra imantada de momento de dipolo magnético M , é dada por:

$$|\mathbf{B}| = \frac{\mu_0}{2} \frac{|\mathbf{M}|}{x^3}. \quad (3)$$

Os gráficos da Fig. 4 representam as equações (2) e (3). Observe-se que as inclinações das retas no papel logarítmico aproximam-se razoavelmente do expoente da variável (x). As bobinas e o imã foram deslocados até **50** cm, o que dá, para a bobina maior, uma aproximação da expressão (3) de **1%**.

O momento de dipolo magnético da barra imantada, determinado a partir do gráfico, foi de $8,5 \times 10^{-1} \text{ A m}^2$.

5. Conclusões

O aparelho, de fácil construção, é bem aceito pelos alunos devido aos bons resultados que com êle se conseguem. O fato de não exigir calibrações prévias simplifica sua montagem e uso.

Pode ser usada qualquer barra ou agulha magnética para o imã suspenso. No entanto, deve ser escolhida aquela que permita um freiamento magnético efetivo.

Existe ainda a possibilidade de estudar os campos magnéticos acima citados em direções perpendiculares aquelas analisadas. Para tanto, necessita-se apenas colar o espelho fazendo um ângulo de 90° com a barra imantada suspensa e, naturalmente, orientar a régua na mesma direção do campo magnético da terra.

Observamos que o sistema, devido a sua grande sensibilidade, está sujeito a erros devidos a campos magnéticos estranhos. Tivemos assim oportunidade de observar a influência de uma das mesas de nosso laboratório, com armação fabricada de canos de ferro.

A interferência devido a proximidade de dois aparelhos limita o uso de aparelhos numa mesma sala. Verificamos que uma distância, entre aparelhos, de 2 m é suficiente.

Além do erro devido a aproximação $\sin \theta \approx \theta$, o outro erro importante reside na presença de campos magnéticos estranhos e numa possível má orientação da régua. É, no entanto, possível corrigir a má orientação. Para tanto, faz-se passar pela bobina correntes numa e, após, noutra direção, observando a simetria no deslocamento do espelho. Havendo assimetria, deve ser corrigida a orientação.

Os gráficos da Fig. 4 foram obtidos por um dos nossos alunos, numa aula normal de laboratório. As nossas aulas de laboratório duram, no máximo, três horas.

Agradeço aos colegas Roberto A. Stempniak e Francisco Moral pelas sugestões, discussões e ajuda quando do teste do protótipo.

Referência

1. B. Daniels, The Physics Teacher 5, 177 (1967).

SOCIEDADE BRASILEIRA DE FÍSICA

1. DIRETORIA (1971-1973)

Presidente - Alceu G. de Pinho Filho (PUC-GB)
Vice-presidente - Ernst Wolfgang Hamburger (USP)
Secretário Geral - Giorgio Moscati (USP)
Secretário - Carlos A. Dias (UFBa)
Tesoureiro - Olácio Dietzsch (USP)
Secr. p/Assuntos de Ensino - Beatriz Alvarenga (UFMG)
Secr. Adjunto p/Ass. de Ensino - Marco Antonio Moreira (UFRGS)

2. SECRETÁRIOS ESTADUAIS (1970-1972)

Rio Grande do Sul - Victoria E. Herscovitz (UFRGS)
São Paulo - Nelson Jesus Parada (UEC)
Minas Gerais - Manoel Lopes Siqueira (UFMG)
Bahia - Antônio G. Oliveira (UFBa)
Ceará - Homero Lenz Cesar (UFCE)

3. CONSELHO

Jayme Tiomno (Princeton, EUA)
Ross Alan Douglas (USP)
Ramayana Gazzinelli (IPR)
José Leite Lopes (Strasbourg - França)
José Goldemberg (USP)
Shiguo Watanabe (USP)
Erasmo Madureira Ferreira (PUC-GB)
Jorge André Swieca (PUC-GB)
Cesare M. Lattes (UEC)
Francisco A. Germano (UFCE)

Suplentes

Luiz Carlos Gomes (UNB)
Henrique Fleming (USP)
Fernando de Souza Barros (UFRJ)
Rogério C. Cerqueira Leite (UEC)
Nelson Jesus Parada (UEC)

Enderêços

PUC - Instituto de Física
Pontifícia Universidade Católica
Rua Marquês de São Vicente, 209
20000 - Rio de Janeiro GB

USP - Instituto de Física
Universidade de São Paulo
Caixa Postal 20516
01000 - São Paulo SP

- UFBa** - Instituto de Física
Universidade Federal da Bahia
Federação
40000 - Salvador BA
- UFMG** - Instituto de Ciências Exatas
Universidade Federal de Minas Gerais
30000 - Belo Horizonte MG
- UFRGS** - Instituto de Física
Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Av. Luiz Englert s/n
90000 - Pôrto Alegre RS
- UEC** - Instituto de Física
Universidade Estadual de Campinas
Cidade Universitária
13100 - Campinas SP
- UFCe** - Instituto de Física
Universidade Federal do Ceará
Caixa Postal 1262
60000 - Fortaleza CE
- IPR** - Instituto de Pesquisas Radioativas
Universidade Federal de Minas Gerais
Caixa Postal 1941
30000 - Belo Horizonte MG
- UNB** - Departamento de Física
Universidade Nacional de Brasília
70000 - Brasília DF
- UFRJ** - Instituto de Física
Universidade Federal do Rio de Janeiro
Ilha do Fundão
20000 - Rio de Janeiro GB