

Relatório: Fenômenos magnéticos e corrente elétrica. Lei de Ampère

Luis Gustavo Dias Simão
Pedro Paulo Henrique da Fonseca
Ramon Gregório Percy
Instituto de Matemática e Física
Universidade Federal de Itajubá
Turma: 09

21/10/19

Resumo

Este relatório apresenta o estudo de conceitos relativos ao campo magnético e a Lei de Ampère, por meio da observação de corpos condutores sob o efeito de campo magnético. Também foi possível verificar as relações do campo magnético para com a intensidade da corrente elétrica, distância e deflexão da agulha imantada de uma bússola, calculando-se o campo magnético da Terra.

Palavras-chave: Corrente elétrica. Ímãs. Campo magnético. Lei de Ampère.

1 Introdução

Segundo [Halliday, Resnick e Walker \(2013\)](#), os campos magnéticos são produzidos de duas maneiras. Utilizando-se partículas elementares, como os ímãs, que produzem campo magnético de maneira intrínseca. Ou então através de partículas eletricamente carregadas em um fluxo líquido de elétrons.

Este experimento busca: descrever campos magnéticos produzidos por ímãs e correntes elétricas; verificar o efeito de uma corrente elétrica sobre uma agulha imantada; investigar a dependência do campo magnético com corrente e distância, à fim de determinar o valor do módulo do campo magnético da Terra.

Para visualizar o efeito do campo magnético, foram realizados experimentos utilizando os ímãs sobre a mesa projetável para espectros magnéticos e uma corrente através de espiras retangulares que passavam por placas de plástico. Por último, visando compreender a relação entre a força, corrente e distância, aferiu-se a variação angular da bússola imantada à diversas correntes e distâncias de um fio condutor.

Foi possível deduzir “que o módulo da força \vec{F}_B que age sobre uma partícula na presença de um campo magnético é proporcional à carga q e à velocidade v da partícula. Assim, a força é zero se a carga é zero ou se a partícula está parada. A [Equação 1](#) também mostra que a força é zero se v e B são paralelos ($\phi = 0^\circ$) ou antiparalelos ($\phi = 180^\circ$) e é máxima quando v e B são perpendiculares” ([HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2013](#)), considerando-se os erros da experimentação.

$$\vec{F}_B = q\vec{v} \times \vec{B} \quad (1)$$

Também foi possível, por meio da Lei de *Biot-Savart* dada pela [Equação 2](#), onde $(d\vec{B})$ é a variação do campo magnético, podemos definir o módulo do campo magnético (B_F) para um fio retilíneo. Para tanto, utilizou-se a Lei de Ampère

dada pela [Equação 3](#) e obteve-se a [Equação 4](#).

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{id\vec{s} \times \vec{r}}{r^2} \quad (2)$$

$$\oint_S \vec{B} \cdot d\vec{S} = \mu_0 i \quad (3)$$

$$B_F = \frac{\mu_0}{2\pi} \frac{i}{\rho} \quad (4)$$

Foi possível estimar o valor de campo magnético da Terra.

2 Metodologia

Para este experimento foram utilizados os instrumentos listados abaixo, com suas respectivas especificações abaixo.

- 1 Fonte de tensão/corrente, [Tabela 1: Fonte de Tensão/Corrente](#)
- 1 Amperímetro ¹, [Tabela 2: Amperímetro](#)
- 2 Ímãs cilíndricos de 100 mm com protetores
- 1 Ímã retangular
- 1 Bússola graduada de agulha imantada, [Tabela 3: Bússola Graduada](#)
- 2 Espiras retangulares
- Limalha de Ferro
- 1 Fio de cobre
- 1 Mesa projetável para espectros magnéticos
- 2 Placas de plástico
- 1 Régua milimetrada, com erro de 0,5(mm)

¹ “Precisão em porcentagem da leitura mais número de dígitos menos significativos”, ([ICEL, 2016](#)).

Marca	Elektro-Automatik
Modelo	EA-PS 2032-050
Faixa Dinâmica	0 a 5(A)

Tabela 1: Fonte de Tensão/Corrente
Fonte: Adaptado de Elektro-Automatik (2019)

Marca	ICEL-Manaus
Modelo	MD-6111
Faixa Dinâmica	0, 01 a 20(A)
Precisão	$\pm(2\% + 5d)$

Tabela 2: Amperímetro
Fonte: Adaptado de ICEL (2016)

Faixa Dinâmica	0 a 360($^{\circ}$)
Precisão	$\pm 2,5(^{\circ})$

Tabela 3: Bussola Graduada
Fonte: Adaptado de Elektro-Automatik (2019)

2.1 Fenômenos Magnéticos

2.1.1 Linhas de campo magnético gerado por ímãs

Sobre a mesa projetável para espectros magnéticos, posicionou-se um ímã verticalmente, tal como apresentado na Figura 4: Ímã cilíndrico sobre mesa para espectros magnéticos

Ainda sobre a mesa projetável para espectros magnéticas, posicionou-se outro ímã tal que ambos ficaram com os mesmos polos virados para cima, ver Figura 5: Imãs cilíndricos de mesma polaridade sobre mesa para espectros magnéticos

Inverteu-se um dos ímãs, de tal forma que um destes ficasse com o polo sul e o outro com o polo norte apontados para cima, observou-se a Figura 6: Ímãs cilíndricos de polos distintos sobre mesa para espectros magnéticos.

Agora sobre a mesa, posicionou-se ao centro, o ímã retangular horizontalmente e observou-se a Figura 7: Ímã retangular sobre mesa para espectros magnéticos.

2.1.2 Linhas de campo magnético gerado por correntes elétricas

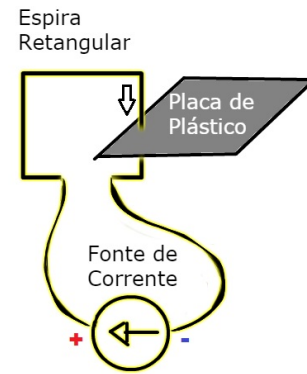
Com o multímetro em 20(A), ajustou-se a saída de corrente da fonte para $4,0 \pm 0,1(A)$. Conectou-se à esta uma espira retangular, que por sua vez passa pelo buraco entre as placas de plástico, tal como ilustrado pela Figura 1: Esquema ilustrativo de ligação em série da fonte de corrente à uma espira. Com a fonte de tensão ligada, polvilhou-se limalha de ferro sobre as placas de plástico, dando leves batidas sobre a superfície e observou-se a Figura 8: Limalha de ferro submetida à campo magnético gerado por corrente elétrica.

Em seguida, posicionou-se a segunda espira, também atravessando a placa de plástico. A ligação como ilustrada na Figura 2: Esquema ilustrativo de ligação em série da fonte

de corrente à duas espiras com correntes em mesmo sentido, faz com que o sentido da corrente que atravessa as placas seja o mesmo. Novamente, polvilhando-se a limalha de ferro sobre a superfície e dando leves batidas, foi possível observar a Figura 9: Limalha de ferro submetida à campo magnético gerado por correntes elétricas de mesmo sentido.

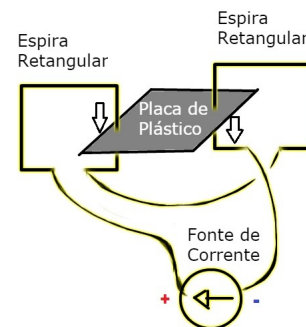
Alterando a ligação, tal como ilustrado na Figura 3: Esquema ilustrativo de ligação em série da fonte de corrente a duas espiras com correntes em sentidos opostos, foi possível observar um comportamento distinto da limalha de ferro, tal como apresentado na Figura 3: Esquema ilustrativo de ligação em série da fonte de corrente a duas espiras com correntes em sentidos opostos.

Figura 1: Esquema ilustrativo de ligação em série da fonte de corrente à uma espira



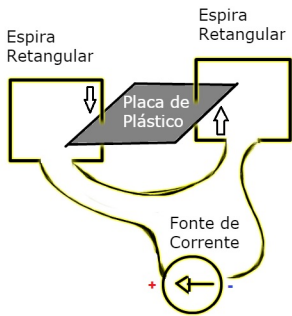
Fonte: Autoria Própria

Figura 2: Esquema ilustrativo de ligação em série da fonte de corrente à duas espiras com correntes em mesmo sentido



Fonte: Autoria Própria

Figura 3: Esquema ilustrativo de ligação em série da fonte de corrente a duas espiras com correntes em sentidos opostos



Fonte: Autoria Própria

2.1.3 Força entre condutores percorridos por corrente elétrica

Estando uma das espiras suspensa por um barbante e a outra cerca de 1,0 cm, fixa em um suporte, tal que no trecho mais próximo entre elas suas correntes estivessem em paralelo. Em seguida alterou-se as ligações de maneira que as correntes tivessem sentidos opostos.

2.2 Campo magnético gerado por corrente elétrica

2.2.1 Dependência do campo com a corrente

Com a bússola, sobre um fio de cobre à aproximadamente 1,0(cm), verificou-se a variação angular $\alpha(^{\circ})$ da agulha em relação à 1,0, 2,0, 3,0 e 4,0(A). A [Tabela 4: Variação do ângulo da bússola pela variação da corrente](#)

Tabela 4: Variação do ângulo da bússola pela variação da corrente

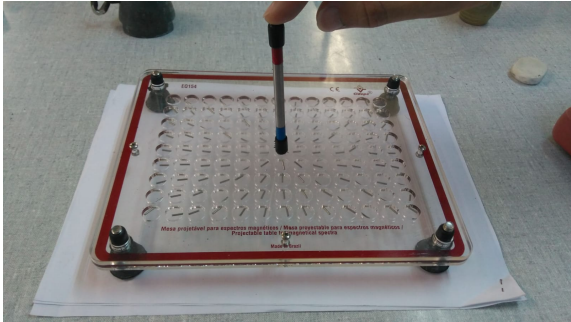
$d(mm)$	$i(A)$	$\alpha(^{\circ})$
$1,00 \pm 0,05$	$1,0 \pm 0,1$	$15,0 \pm 2,5$
$1,00 \pm 0,05$	$2,0 \pm 0,1$	$28,0 \pm 2,5$
$1,00 \pm 0,05$	$3,0 \pm 0,1$	$38,0 \pm 2,5$
$1,00 \pm 0,05$	$4,0 \pm 0,1$	$45,0 \pm 2,5$

3 Resultados e discussões

3.1 Fenômenos magnéticos

Um único ímã, sobre a mesa projetável para espectros magnéticos, se comporta como o nó próprio das linhas formadas, ou seja, um único polo sobre um plano provoca linhas radiais a si.

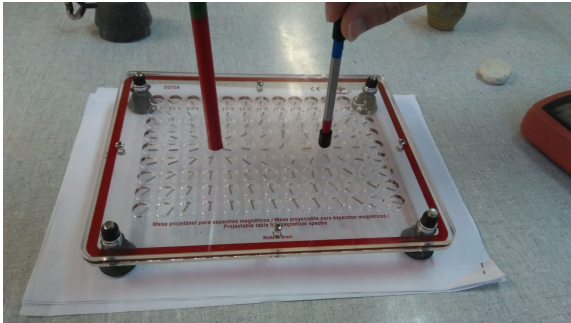
Figura 4: Ímã cilíndrico sobre mesa para espectros magnéticos



Fonte: Autoria Própria

Para dois polos iguais, os segmentos apresentaram comportamento de repulsa entre si, como quando carregados com cargas iguais.

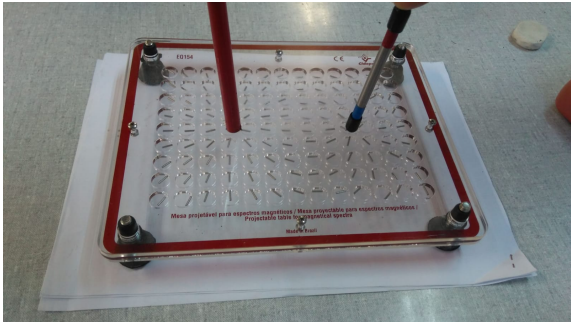
Figura 5: Ímãs cilíndricos de mesma polaridade sobre mesa para espectros magnéticos



Fonte: Autoria Própria

Como esperado quando os polos são invertidos, as linhas parecem partir de um dos polos e incidir no outro, tal como cargas elétricas distintas.

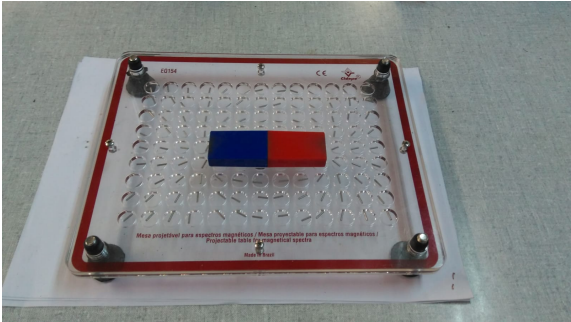
Figura 6: Ímãs cilíndricos de polos distintos sobre mesa para espectros magnéticos



Fonte: Autoria Própria

Por fim, o mesmo resultado para polos distintos foi observado com o ímã magnético retangular.

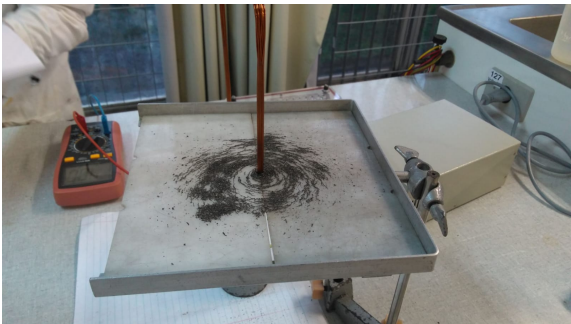
Figura 7: Ímã retangular sobre mesa para espectros magnéticos



Fonte: Autoria Própria

Outro fenômeno magnético observado foi a disposição da limalha de ferro sobre as placas de plástico. Quando submetida à um campo magnético gerado por uma corrente, observou-se a formação de órbitas concêntricas à espira.

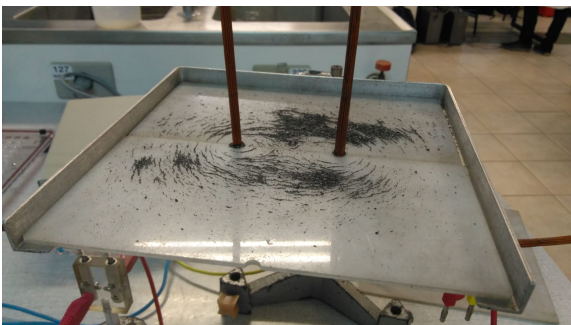
Figura 8: Limalha de ferro submetida à campo magnético gerado por corrente elétrica



Fonte: Autoria Própria

Ao adicionar outra espira com uma corrente em sentido iguais, notou-se a formação de uma elipse com centro entre as espiras.

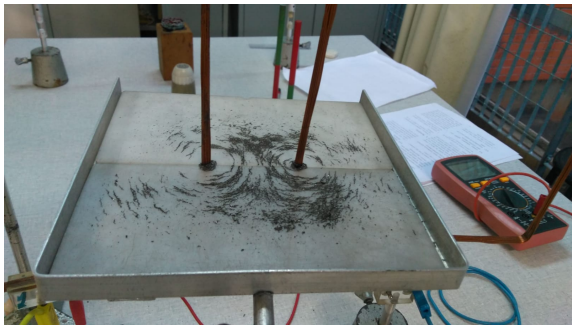
Figura 9: Limalha de ferro submetida à campo magnético gerado por correntes elétricas de mesmo sentido



Fonte: Autoria Própria

Alterando o sentido de uma das correntes, de modo que estas se encontrem em sentidos opostos, é possível notar duas órbitas concêntricas uma à cada espira.

Figura 10: Limalha de ferro submetida à campo magnético gerado por correntes elétricas de sentidos opostos



Fonte: Autoria Própria

Em seguida, foi possível observar uma força de atração entre as espiras, postas a um centímetro de distância uma da outra e percorridas por correntes elétricas com sentidos opostos. Com o sentido invertido de uma das correntes, de modo que elas tenham sentidos iguais, notou-se uma força de repulsão. Tais fenômenos são explicados pela relação entre a direção da corrente e direção do campo magnético na geração da força magnética.

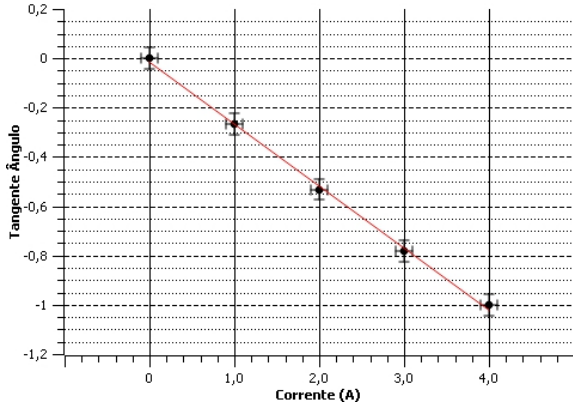
3.2 Campo magnético gerado por uma corrente elétrica

Com o fio condutor, posto a uma distância fixa (ρ) = $0,01 \pm 0,0005(m)$ da bússola graduada imantada, aplicando diferentes valores de corrente ($i(A)$), obteve-se a mudança angular da agulha, chamada de ângulo de deflexão (α). Os dados aferidos são apresentados na Tabela 5, destes dados obteve-se o gráfico apresentado pela Figura 11: Gráfico entre a tangente do ângulo de deflexão pela corrente, relacionando a $\tan(\alpha)$ pela corrente (i).

Tabela 5: Tangente do ângulo de deflexão da bússola imantada sob efeito de campo gerado por fio variando a corrente

$i(A)$	$d(cm)$	$\alpha(^{\circ})$
$0,0 \pm 0,1$	$1,00 \pm 0,05$	$0,0 \pm 2,5$
$1,0 \pm 0,1$	$1,00 \pm 0,05$	$-15,0 \pm 2,5$
$2,0 \pm 0,1$	$1,00 \pm 0,05$	$-28,0 \pm 2,5$
$3,0 \pm 0,1$	$1,00 \pm 0,05$	$-38,0 \pm 2,5$
$4,0 \pm 0,1$	$1,00 \pm 0,05$	$-45,0 \pm 2,5$

Figura 11: Gráfico entre a tangente do ângulo de deflexão pela corrente



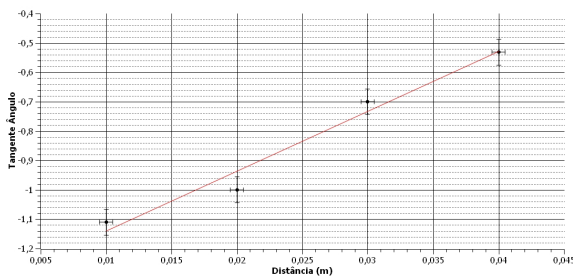
Fonte: Autoria Própria

Em seguida, mantendo-se a fonte de corrente com um valor constante de $i = 3,0 \pm 0,1 (A)$, foi possível avaliar a relação entre a tangente do ângulo de deflexão e a distância do fio retilíneo à bússola imantada, os dados obtidos são apresentados na Tabela 6 e na Figura 12: Gráfico entre a tangente do ângulo de deflexão pela distância

Tabela 6: Ângulo de deflexão da bússola imantada sob efeito de campo gerado por fio com variação da distância

$i(A)$	$d(cm)$	$\alpha(^{\circ})$
$3,0 \pm 0,1$	$1,00 \pm 0,05$	$-48,0 \pm 2,5$
$3,0 \pm 0,1$	$2,00 \pm 0,05$	$-45,0 \pm 2,5$
$3,0 \pm 0,1$	$3,00 \pm 0,05$	$-35,0 \pm 2,5$
$3,0 \pm 0,1$	$4,00 \pm 0,05$	$-28,0 \pm 2,5$

Figura 12: Gráfico entre a tangente do ângulo de deflexão pela distância



Fonte: Autoria Própria

Sabendo que $\vec{B}_R = \vec{B}_T + \vec{B}_F$, é possível determinar uma relação entre a tangente do ângulo de deflexão e os módulos do campo magnético da Terra e do fio retilíneo, dada pela Equação 5.

$$\tan(\alpha) = \frac{|\vec{B}_F|}{|\vec{B}_T|} \quad (5)$$

Aplicando-se a Equação 2, ao fio retilíneo podemos determinar a relação entre o módulo do campo magnético do fio retilíneo ($|B_F|$) e a corrente (i) através da Equação 6.

$$B_F \int_0^{2\pi} \rho d\varphi = 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot i \therefore B_F = 2 \cdot 10^{-5} \cdot i \quad (6)$$

Os coeficiente da reta obtidos através da função *Fit Linear* do software *SciDavis* para o gráfico da Figura 11: Gráfico entre a tangente do ângulo de deflexão pela corrente foram, $B = -0,01 \pm 0,03$ e $A = -0,25 \pm 0,01$ para a Equação 7.

$$\tan(\alpha) = Ai + B \quad (7)$$

O coeficiente A da reta entre a tangente do ângulo de deflexão ($\tan(\alpha)$) e a corrente (i) é dado pela Equação 8. Isolando o campo magnético da Terra $|\vec{B}_T|$, temos a Equação 9.

$$A = \frac{\mu_0}{2\pi\rho|\vec{B}_T|} \quad (8)$$

$$|\vec{B}_T| = \frac{\mu_0}{2\pi\rho A} \quad (9)$$

Sendo assim, temos que $|\vec{B}_T| = 8,0 \cdot 10^{-5} (T)$ ou $|\vec{B}_T| = 0,8 (\mu T)$.

4 Conclusão

Primeiramente, comprovou-se que ímãs e corrente elétricas geram campo magnético, visto que a presença destes próximo à corpos condutores livres, exerceram forças de atração ou repulsão, conforme a disposição dos polos ou sentido da corrente. Esta dedução é empírica, ao observar que os corpos sofreram uma força estando próximos ao ímã ou ao fluxo de correntes do fio. Da mesma maneira, verificou-se que o campo magnético possui relação direta com a polaridade e sentido da corrente, visto que cada configuração produziu espectros distintos.

Comprovou-se que é possível determinar o valor do campo magnético da Terra de maneira favorável considerando-se os erros de instrumentos e medição, utilizando-se a variação angular da bússola. Para uma precisão maior deste valor, faz-se necessário a utilização de instrumentos mais precisos.

Referências

- ELEKTRO-AUTOMATIK, E. *Laboratory Power Supplies Series Ps 2000*. [S.l.], 2019. Disponível em: <https://datasheet.octopart.com/EA-PS-2032-050-EA-Elektro-Automatik-datasheet-8397323.pdf>. Acesso em: 24 ago. 2019.
- HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. *Fundamentos de Física: Eletromagnetismo*. 9. ed. Cleveland State University: Grupo Editorial Nacional, 2013. v. 3.
- ICEL. *Manual de instruções do multímetro digital modelo MD-6111*. [S.l.], 2016. Disponível em: www.icel-manaus.com.br. Acesso em: 19 out. 2019.