

INSTITUTO DE FÍSICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

Laboratório de Eletromagnetismo (4300373)
2º SEMESTRE DE 2013

Grupo:
.....
.....
(nome completo)

Prof(a).: Diurno () Noturno ()

Data : ____/____/____

Experiência 7

MAPEAMENTO DE CAMPO MAGNÉTICO

1. Introdução

Nesta experiência iremos observar como um campo magnético que varia no tempo pode produzir um campo elétrico. O objetivo básico da experiência é o de utilizar uma sonda magnética para determinar o campo magnético gerado por um dispositivo conhecido como Bobina de Helmholtz.

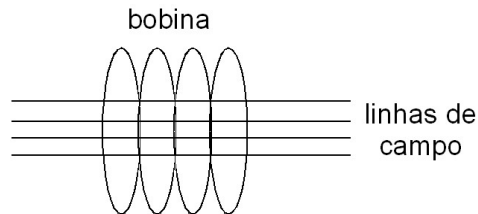
Primeiramente apresentaremos a teoria necessária para o entendimento da experiência, seguida do procedimento experimental composto por duas seções. A primeira seção destina-se à calibração da sonda para a realização da medição, na qual será utilizado um solenóide longo, e a segunda destina-se às medições propriamente ditas, na Bobina de Helmholtz, utilizando-se a sonda calibrada na primeira parte.

2. Teoria

A sonda magnética baseia-se na lei de indução de Faraday,

$$\boldsymbol{\varepsilon} = \frac{d\boldsymbol{\varphi}_B}{dt}, \text{ onde } \boldsymbol{\varphi}_B = \int \vec{\mathbf{B}} \cdot d\vec{\mathbf{S}} \quad (1)$$

Sendo $\boldsymbol{\varepsilon}$ a força eletromotriz (a ser medida) induzida pela variação temporal do fluxo do campo magnético $\vec{\mathbf{B}}$ (que se pretende determinar), e que possui uma dependência temporal conhecida.



Suponha que uma sonda de prova consista de uma espira de fio condutor, plana e com área A seja colocada em um campo magnético uniforme \vec{B} com seu eixo orientado na direção do campo. O **fluxo** do campo magnético pela espira será BA . Se a sonda permanece parada e o campo magnético oscila harmonicamente no tempo com frequência angular ω

$$B = B_0 \text{sen}(\omega t), \quad (2)$$

o fluxo também oscila harmonicamente, de maneira que

$$\frac{d\phi_B}{dt} = \omega B_0 A \text{cos}(\omega t). \quad (3)$$

Assim, se medimos a força eletromotriz \mathcal{E} , conhecendo a frequência de oscilação do campo magnético e a área A da espira, podemos determinar B_0 , empregando as expressões (3) e (1).

A sonda de prova, que utilizaremos para medir o campo, possui uma bobina foi construída com muitas espiras, de maneira a induzir um sinal mensurável em um osciloscópio. Mediremos com o osciloscópio o valor da força eletromotriz \mathcal{E} na sonda, por meio da tensão pico a pico V_{pp} ¹. A área da sonda é fixa, de maneira que podemos incorporar esse parâmetro na calibração, bem como a frequência de oscilação do campo (lembrando que, em medidas posteriores, utilizaremos fontes de corrente de mesma frequência que a empregada para a calibração). Teremos, então, calibrado a nossa sonda para que ela forneça B (diretamente a partir de V_{pp}). Note que, se a sonda é formada por muitas espiras de área A , a força eletromotriz aumenta proporcionalmente ao número de espiras N , de maneira que o procedimento de calibração permanece inalterado. Nesta experiência estaremos supondo que: (i) *o campo é uniforme dentro da sonda de prova* e (ii) *efeitos de auto-indução na sonda são desprezíveis* (eles serão significativos apenas a partir do momento em que as correntes na sonda forem muito grandes).

Assim, **tudo se resume na determinação com o osciloscópio de V_{pp} com a sonda colocada em um campo magnético conhecido**. Em nosso experimento, para gerar um campo magnético \vec{B} , usaremos um solenóide alimentado por uma corrente variável I , produzida por um gerador de ondas, ajustado para uma frequência (que deve ser mantida fixa), de aproximadamente 1kHz (lembre-se que a frequência angular correspondente é: $\omega = 2\pi f \text{ rad.s}^{-1}$). Esta será nossa fonte de campo magnético uniforme e conhecido. Posteriormente, a sonda calibrada será empregada para determinar o campo B na bobina de Helmholtz.

¹ Como será observado V_{pp} no osciloscópio, e a impedância de entrada é da ordem de $M\Omega$, o que é lido no osciloscópio é a própria força eletromotriz. O efeito da auto-indução na bobina da sonda deve ser considerado pequeno.

Um solenoide pode ser interpretado como um conjunto muito grande de espiras condutoras, de mesma área e com o eixo comum, enroladas com a partir de um fio contínuo. Aplicando uma corrente I nesse fio temos um campo magnético \vec{B} uniforme no interior do solenóide. Conhecendo esta corrente I podemos determinar o módulo do campo \vec{B} gerado, pela relação:

$$B = \frac{\mu_0 NI}{L} \quad (4) \quad (\text{No relatório, deduza esta expressão})$$

onde : $\mu_0 = 4 \pi \times 10^{-7} \text{ N.A}^{-2}$ (valor exato);
N é o número de espiras do solenóide;
I é corrente que alimenta o solenóide;
L é o comprimento do solenóide.

3. Material Utilizado

- osciloscópio digital + ponta de prova;
- multímetro;
- gerador de ondas;
- resistor de 1Ω (10 W);
- solenóide de 80 cm e bobina de Helmholtz;
- sonda de campo magnético;
- mesa de madeira para a sonda;
- suporte de montagem e fios de ligação.

4. Procedimento Experimental e Tomada de Dados

A. Calibração da Sonda

1) Utilizando o solenoide. Monte o circuito da figura 1.

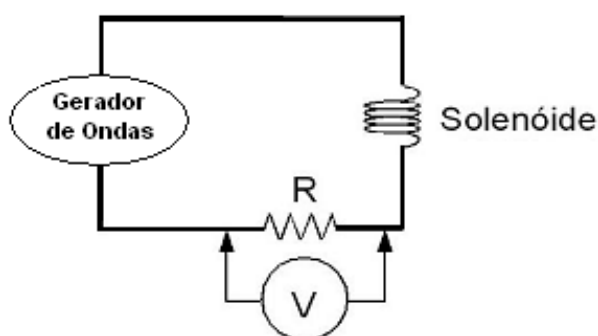


Figura 1 - Esquema do circuito com solenóide.

2) Medindo o campo com a sonda. Um esquema da sonda pode ser vista na Figura 2.

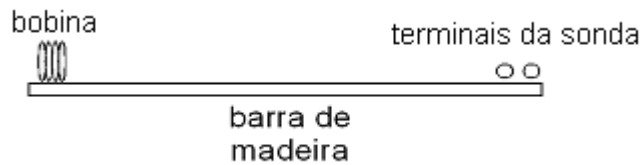


Figura 2 – Sonda da medida de campo magnético

O conjunto consiste de uma barra de madeira sobre a qual estão montados uma bobina, numa ponta, e alguns terminais, na outra ponta. A sonda é introduzida na região de campo magnético, para determinar o seu valor. Atenção: repare que a sonda e o osciloscópio não estão descritos no circuito e que nenhuma tensão é aplicada à sonda. **Nesta parte de experiência** ela é introduzida no interior do solenóide (vide ilustração na Figura 3). A parte ativa é a ponta com a bobina. Para auxiliar nos procedimentos, se necessário, existe uma pequena 'mesa' de madeira para apoiar a sonda. Conecte a ponta de prova no canal 1 (CHI) do osciloscópio, para medir a tensão nos terminais da sonda. A região de campo \vec{B} mais constante está no centro do solenóide (tanto em relação ao comprimento quanto em relação à direção radial). A **leitura da tensão da sonda**, a ser feita **através do osciloscópio**, é a **tensão pico a pico** (V_{pp}).

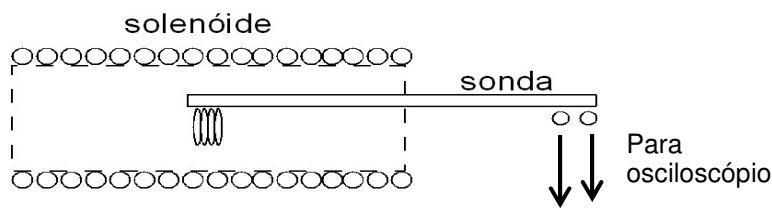


Figura 3 - Calibração da sonda.

Anote abaixo os valores marcados no solenóide. Quanto ao resistor, é aconselhável a medida da sua resistência utilizando-se o multímetro, já que alguns resistores podem sofrer alteração de seus valores com o tempo:

solenóide : $L = \dots \pm \dots$ (comprimento)
 $N = \dots \pm \dots$ (número de espiras)
 resistor : $R = \dots \pm \dots$

Em seguida, utilize o botão <Autoset> para ajustar o osciloscópio, antes de realizar qualquer leitura. Mude as escalas de voltagem e tempo para poder visualizar na tela do osciloscópio algumas oscilações completas (devido ao excesso de ruído na experiência, talvez seja necessário usar a função do osciloscópio que realiza a média de algumas medidas).

3) Medida da corrente I no solenóide. Você vai determinar a corrente I , medindo com o multímetro a tensão V sobre o resistor R , cujo valor de resistência já foi medido.

4) Variando a amplitude da onda. Com o botão de amplitude do gerador de ondas, varie a amplitude da onda e meça vários valores de I no solenoide e os valores de tensão V_{pp} correspondentes nos terminais da sonda. Preencha, então, a tabela I com

esses valores e os valores de **B** calculados com a eq.(4).

5) Obtendo a curva de calibração. Faça o gráfico de **B x V_{pp}** para determinar a curva de calibração da sonda magnética.

Tabela I – valores obtidos para calibrar a sonda de medida de campo magnético.

	V_{resistor} ()	σ_{Vresistor} ()	I_{circuito} ()	σ_{Icircuito} ()	V_{pp} ()	σ_{Vpp} ()	B ()	σ_B ()
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								
10								

No espaço em branco abaixo, obtenha a expressão de **σ_B**, calculando as derivadas parciais explicitamente. Não é preciso colocar os valores numéricos. Se fizer alguma aproximação, deixe este procedimento explícito.

Faça o gráfico de **B x V_{pp}** com os dados da tabela acima e não se esqueça de colocar as barras de incerteza nos valores do campo magnético. Faça o ajuste de reta **B = α + β V_{pp}** (complete abaixo) e imprima o gráfico.

α = ±

β = ±

Agora a sonda está devidamente calibrada para a frequência empregada para gerar o campo magnético.

B. Campo Magnético produzido por uma Bobina de Helmholtz

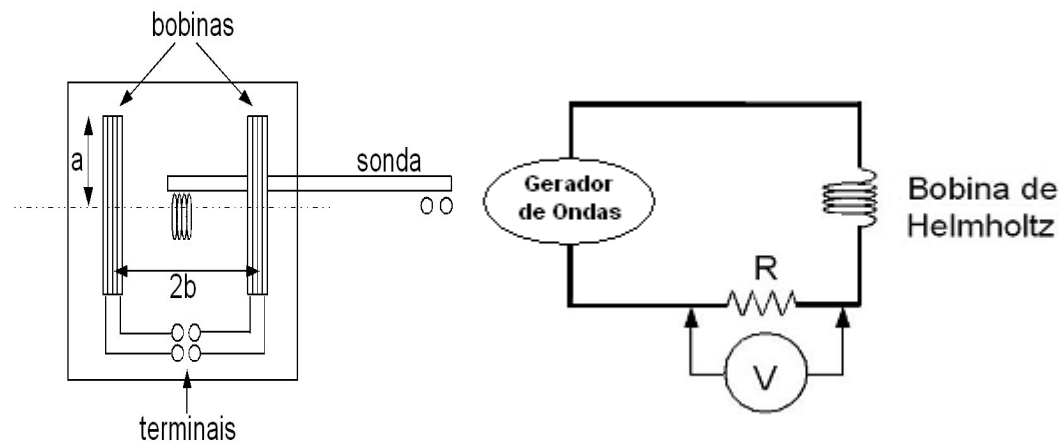


Figura 4 - Bobina de Helmholtz, onde $2b = a$.

Monte agora o circuito descrito na Figura 1, porém usando uma bobina de Helmholtz no lugar do solenóide, como pode ser visto na Figura 4. Observe que a bobina de Helmholtz possui 4 terminais, 2 de cada lado. Para que a mesma corrente percorra as duas bobinas, conecte adequadamente os cabos da montagem.

Posicione a sonda na região central da bobina, entre as duas bobinas. Centralize bem a posição da sonda.

(Leitura COMPLEMENTAR aconselhada: cap. 8 de J.R. Reitz e F.J. Milford, Fundamentos da Teoria Eletromagnética, Addison & Wesley.)

Anote os valores dos componentes usados:

bobina $N = \dots \pm \dots$ (número de espiras)
 $a = \dots \pm \dots$ (raio da espira)

Meça a tensão V_{pp} na sonda, através do osciloscópio para **dois valores de corrente** escolhidos por você para alimentar a bobina de Helmholtz e preencha a tabela abaixo. Obtenha destas duas medidas os valores de **B** (e respectivas incertezas) obtidos **diretamente a partir da reta de calibração** do gráfico anterior:

	$V_{\text{multímetro}}$ ()	$\sigma V_{\text{multímetro}}$ ()	I ()	V_{pp} ()	B ()
1					
2					

Agora usando a equação teórica:

$$B_z = \frac{8\mu_0 NI}{5^{3/2} a}$$

onde : $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ N A}^{-2}$ (valor exato);
 N é o número de espiras da bobina;
 I é corrente que alimenta a bobina;
 a é o raio da bobina.

Calcule **B** para os mesmos valores de **I**:

	I ()	B ()
1		
2		

Compare os valores de **B** obtidos e comente. Ajudaria, na comparação, calcular a incerteza nas medidas de **B** desta última tabela?

.....

O grupo deve entregar este guia no final da aula.

5. Relatório

Para quem sortear o relatório desta experiência: além de descrever o experimento e discutir os resultados:

- 1) Calcule o valor esperado para a força eletromotriz induzida na bobina de prova (utilize a área e o número de espiras anotados por você no experimento), por unidade de campo magnético. Determinando a relação entre V_{pp} e a força eletromotriz, compare o valor calculado com o obtido pela reta de calibração.
- 2) Compare os resultados experimentais obtidos para os valores do campo no eixo (posição central) da bobina de Helmholtz com os calculados a partir dos parâmetros anotados (corrente na bobina, número de espiras em cada enrolamento e distância entre eles), levando em conta todas as incertezas medidas.