



Grupo:

.....

.....

(nomes completos)

Prof(a): Diurno () Noturno ()

Data : ____/____/____

Experiência 6

MAPEAMENTO DE CAMPO MAGNÉTICO

1. Introdução

Nesta experiência iremos constatar que um campo magnético que varia no tempo pode produzir um campo elétrico que induz uma força eletromotriz em um circuito aberto. 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*.

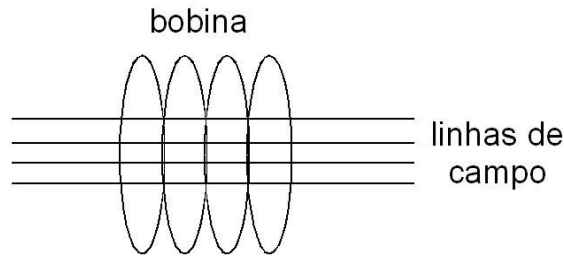
Primeiramente apresentaremos a teoria necessária para o entendimento da experiência, seguida do procedimento experimental composto por duas seções. A primeira delas destina-se à calibração da sonda utilizando o campo magnético criado por um solenóide longo, enquanto que a segunda destina-se à medição do campo magnético criado por uma *Bobina de Helmholtz*, através da sonda previamente calibrada na primeira parte.

2. Teoria

O funcionamento da sonda magnética baseia-se na ***lei de indução de Faraday***:

$$\varepsilon = \frac{d\phi_B}{dt}; \quad \text{onde } \phi_B = \int \mathbf{B} \cdot d\mathbf{S} \quad (1)$$

sendo ε a *força eletromotriz* (a ser medida) induzida pela variação temporal do fluxo do campo magnético B (que se pretende determinar), e que possui uma dependência temporal conhecida.



Considere uma sonda de prova consistindo de uma espira de fio condutor, plana e com área A , sendo colocada em um campo magnético uniforme B , com o seu eixo orientado na direção das linhas de força do campo, conforme mostrado na figura acima. O **fluxo** do campo magnético pela espira, então, será BA . Se a sonda permanece parada e o campo magnético oscila harmonicamente no tempo com frequência angular ω , teremos:

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

Como o fluxo também varia harmonicamente temos, conseqüentemente:

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

Assim, se medimos a força eletromotriz ε , conhecendo a frequência angular de oscilação ω do campo magnético e a área A da espira, podemos determinar B_0 , empregando as expressões (1) e (3).

A sonda de prova que utilizaremos para medir os campos possui uma bobina que foi construída com muitas espiras, de maneira a induzir um sinal mensurável em um osciloscópio. Mediremos com o osciloscópio o valor da força eletromotriz ε nas extremidades da 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 medições 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).

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.

Assim, **tudo se resumirá na determinação, com o osciloscópio, dos valores V_{pp} obtidos com a sonda colocada em um campo magnético conhecido.** Em nosso experimento, para gerar um campo magnético B , usaremos primeiro um **solenóide** longo alimentado por uma corrente variável I , produzida por um gerador de ondas ajustado para uma frequência (que **deve ser mantida fixa**) de **aproximadamente 500 Hz** (lembre-se que a frequência angular correspondente é $\omega = 2\pi f$ rad.s⁻¹). Esta será nossa fonte de campo magnético uniforme e conhecido. Posteriormente, a sonda assim calibrada será empregada para determinar o campo B na bobina de Helmholtz.

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-se uma corrente I nesse fio temos um campo magnético B uniforme no interior do solenoide. Conhecendo esta corrente I podemos determinar o módulo do campo B gerado através relação:

$$\rightarrow \quad B = \frac{\mu_0 N I}{L} \quad (4)$$

(No relatório, deduza esta expressão)

onde : $\mu_0 = 4 \pi \times 10^{-7}$ N.A⁻² (valor exato);

N é o número de espiras do solenoide;

I é corrente que alimenta o solenoide;

L é o comprimento do solenoide.

3. Material a ser Utilizado

- osciloscópio digital + ponta de prova;
- gerador de ondas;
- resistor de 1 Ω - 10 W;
- solenóide de 80 cm
- 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 abaixo.

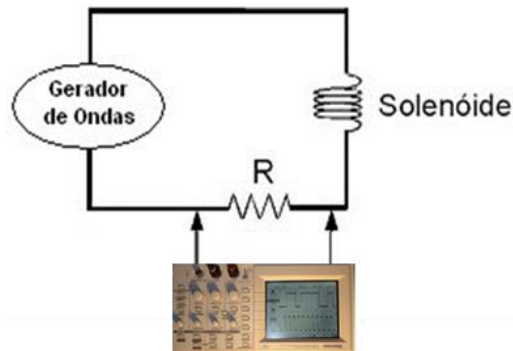


Figura 1 - Esquema do circuito com solenoide.

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

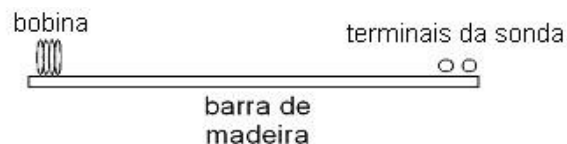


Figura 2 – Sonda da medida de campo magnético

O conjunto da figura 2 consiste de uma barra de madeira sobre a qual estão montados uma bobina (numa ponta) e seus terminais (na outra ponta). A sonda é então introduzida no interior do solenoide para se determinar o valor do campo magnético criado pela corrente que circula por ele. **Atenção:** repare que a sonda e o osciloscópio não estão descritos no circuito acima e que nenhuma tensão é aplicada à sonda. Introduza a sonda conforme ilustrado na Figura 3, observando que a região ativa corresponde à ponta da barra 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 (**CH1**) do osciloscópio, para medir a tensão nos terminais da sonda. A região de campo B mais constante e uniforme situa-se no centro do solenoide (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})**.

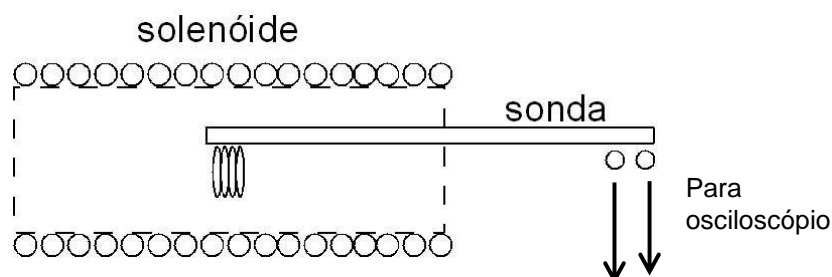


Figura 3 – Arranjo para a calibração da sonda.

Anote abaixo os valores que se encontram marcados no solenoide. 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, pressione o botão <Autoset> para ajustar o osciloscópio, antes de se realizar qualquer leitura. Mude as escalas de voltagem e tempo para poder visualizar, na tela do osciloscópio, algumas oscilações completas (atenção: devido ao excesso de ruído na experiência, talvez seja necessário usar a função do osciloscópio que realiza a média de algumas medidas).

- 3) Obtendo a corrente I no solenoide: Você vai determinar a corrente I , medindo a tensão V_{pp} (com o osciloscópio) sobre o resistor R , cujo valor de resistência é conhecido (assumir valor nominal).
- 4) Variando a amplitude da onda: Para obter vários valores distintos de corrente no solenoide, utilize o botão do gerador de ondas que permite variar a amplitude da onda e meça, à sua escolha, vários valores de V_{pp} resistor. Anote também os valores de tensão V_{pp} sensor correspondentes nos terminais da sonda. Preencha a tabela 1 com esses valores.

Tabela 1 – valores obtidos para calibrar a sonda de medida de campo magnético

	V_{pp} resistor ()	σV resistor ()	V_{pp} sensor ()	σV sensor ()
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				

- 5) Calcule o valor da corrente I no solenoide usando os valores de V_{pp} resistor bem como o respectivo valor de campo magnético dentro do solenoide. Não se esqueça de usar o valor efetivo da tensão ($V_{pp}/2\sqrt{2}$). Apresente esses valores na tabela 2.

Tabela 2 – valores de corrente no circuito e campo magnético

	I_{circuito} ()	σ_{circuito} ()	B ()	σ_B ()
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				

6) Obtendo a curva de calibração: Construa o gráfico de $B \times V_{pp \text{ sensor}}$ para determinar a curva de calibração da sonda magnética. Não se esqueça de colocar as barras de incerteza nos valores do campo magnético. Imprima o gráfico e faça o ajuste de reta $B = \alpha + \beta V_{pp}$

$$\alpha = \dots \pm \dots$$

$$\beta = \dots \pm \dots$$

Agora a sonda está devidamente calibrada para a frequência correspondente à variação do campo magnético escolhida.

B. Campo Magnético produzido por uma Bobina de Helmholtz

Monte novamente o circuito descrito na Figura 1; porém usando agora uma *bobina de Helmholtz* no lugar do solenoide, como mostrado 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.

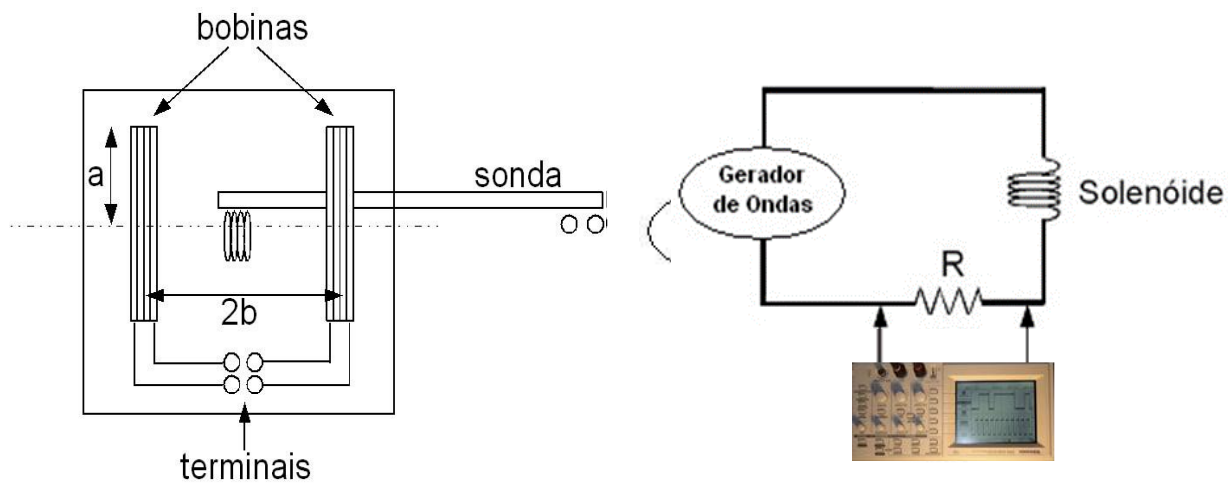


Figura 4 - Bobina de Helmholtz, onde $2b = a$.

Posicione a sonda na região central, 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 os **dois valores de corrente** escolhidos por você para alimentar a bobina de Helmholtz, preenchendo a tabela 3 abaixo. Para estas duas medidas obtenha agora os valores de B (e respectivas incertezas) **diretamente a partir da reta de calibração** do gráfico anterior:

Tabela 3: Valores medidos para a bobina de Helmholtz

	$V_{pp\ resistor}$ ()	$\sigma_{Vresistor}$ ()	$V_{pp\ sensor}$ ()	$\sigma_{Vsensor}$ ()
1				
2				

Agora, a partir da equação teórica:

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

onde : $\mu_0 = 4 \pi \times 10^{-7} \text{ N.A}^{-2}$ (valor exato);

N é o número de espiras em cada bobina ;

I é corrente que alimenta a bobina;

a é o raio da bobina

calcule os valores de corrente e respectivos campo $B = B_z$.

	I_{circuito} ()	σ_{circuito} ()	B ()	σ_B ()
1				
2				

Compare os valores de B obtidos e comente.

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.

O grupo deve entregar este guia no final da aula