

Campo Magnético

André Ramos Gonçalo Quintal Pedro Silva Rui Claro

14 de Maio de 2009

Neste trabalho estudou-se de campos magnéticos gerados por várias fontes, a saber: uma bobine, duas bobines de Helmholtz, um solenoide e ainda um solenoide com um núcleo ferromagnético. As intensidades do campo magnético foram obtidas por uma sonda de Hall o que nos permitiu também seleccionar as direcções segundo as quais estas eram medidas. Foi ainda analisada a curva de histerese para os campos envolvidos num transformador o que nos permitiu calcular a característica $B(H)$ do núcleo do transformador em questão.

Introdução

Apesar de conhecidos desde a antiguidade, os fenómenos do magnetismo só começaram a ser explicados no início do século XIX em particular a partir da constatação de Oersted em 1819 de que a circulação de corrente eléctrica num fio provocava uma deflexão nas agulhas magnética, posteriormente ampliada por Ampère que observou a atracção magnética entre dois circuitos percorridos por corrente.

Mais tarde obteve-se a expressão para o campo elementar criado por uma corrente num troço de circuito, conhecida como lei de Biot-Savart

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0 \cdot i}{4\pi r^2} [d\vec{s} \times \nabla r]$$

Neste trabalho analisou-se o comportamento dos campos magnéticos gerados por circuitos de diferentes geometrias, como uma bobine, bobines de Helmholtz e solenoides com e sem núcleo ferromagnético. Analisando a adequação da integração da lei de Biot-Savart para os diferentes casos.

Ainda neste trabalho observamos a curva de histerese, isto é, a curva característica de $B(H)$, de onde se pode portanto calcular vários que caracterizem a curva.

Experiência realizada

Esta experiência consiste em vários tipos de bobines, cujos campos magnéticos mediremos através de uma sonda de efeito de Hall. Iremos também determinar a característica $B(H)$ de um material fer-

romagnético através da utilização de um transformador.

Começámos a experiência por induzir uma corrente numa das bobines¹, no centro da qual a sonda estava em repouso. Aumentámos o valor da corrente induzida de 0,1A em 0,1A até chegar-mos aos 1,5A e registámos os valores. De seguida induzimos uma corrente de 1A na bobine e medimos a intensidade do campo magnético ao longo do eixo da bobine, registando os valores, até estes chegarem a $\frac{1}{20}$ do valor na origem. Repetimos o procedimento anterior para um eixo paralelo ao eixo da bobine, afastado 2,5cm deste. A seguir, medimos o campo de indução desde o plano do eixo da bobine até a sua periferia em intervalos de 0,5cm. Para os pontos seguintes do protocolo, induzimos uma corrente de 1A nas duas bobines. A partir do centro do conjunto das duas bobines, começámos a medir em intervalos de 1cm, a intensidade do campo magnético, até o valor deste chegar a $\frac{1}{20}$ do original. De seguida, repetimos o mesmo procedimento mas para um eixo paralelo ao eixo das bobines, afastado 2,5cm deste e registámos os valores. A seguir, medimos o campo de indução desde o plano do eixo do conjunto das bobines até a sua periferia em intervalos de 0,5cm e registámos os valores. Para a segunda parte da experiência, substituímos as bobines de Helmholtz por um solenóide e induzimos uma corrente de 1A neste. Como anteriormente, medimos a intensidade do campo magnético ao longo do eixo do solenóide, em intervalos de 1cm, até que este estivesse a $\frac{1}{20}$ da intensidade original. De seguida repetimos o procedimento para um eixo paralelo ao eixo do solenóide,

¹Esquema eléctrico da figura 1.

afastado 1,5cm deste. A seguir, efectuámos o mesmo procedimento num solenóide com núcleo de ferro, registámos os valores das medições ao longo do eixo deste, até a intensidade do campo magnético ser $\frac{1}{20}$ do valor original.

Para a última parte da experiência, e após o professor ter verificado o sistema², procedemos a regulação do osciloscópio de maneira a se poder observar a curva de histerese; atingida esta, regulámos a tensão de modo a podermos observar a saturação do núcleo. Registámos os valores necessários para a determinação do campo coercivo, da indução remanescente e da indução de saturação.

Resultados

Para a variação de campo magnético com a intensidade de corrente obtivemos o gráfico presente na figura 3 de onde se retira o declive de $(0,292 \pm 0,0002) \times 10^{-2}$.

Nas figuras 4 e 5 apresentam-se, respectivamente, os gráficos do valor das componentes do campo magnético criado por uma bobine, ao longo do seu eixo e paralelamente a este. Sendo que no gráfico da figura 5 os pontos a vermelho se referem à componente tangencial ao eixo.

Na tabela seguinte podemos observar a variação do campo (na sua componente paralela ao eixo) ao longo do raio da bobine:

x (m)	B (T)
$0,00 \times 10^0$	$-2,87 \times 10^{-3}$
$5,00 \times 10^{-3}$	$-2,90 \times 10^{-3}$
$1,00 \times 10^{-2}$	$-2,92 \times 10^{-3}$
$1,50 \times 10^{-2}$	$-3,00 \times 10^{-3}$
$2,00 \times 10^{-2}$	$-3,07 \times 10^{-3}$
$2,50 \times 10^{-2}$	$-3,20 \times 10^{-3}$
$3,00 \times 10^{-2}$	$-3,35 \times 10^{-3}$
$3,50 \times 10^{-2}$	$-3,58 \times 10^{-3}$
$4,00 \times 10^{-2}$	$-3,88 \times 10^{-3}$
$4,50 \times 10^{-2}$	$-4,30 \times 10^{-3}$
$5,00 \times 10^{-2}$	$-4,99 \times 10^{-3}$
$5,50 \times 10^{-2}$	$-5,85 \times 10^{-3}$

De modo similar nas figuras 6 e 7 apresentam-se os gráficos para o campo criado pela associação de bobines de Helmholtz. Assim como na tabela se pode observar o decaimento do campo radialmente.

²Esquema electrico da figura 2.

x (m)	B (T)
$0,00 \times 10^0$	$-4,14 \times 10^{-3}$
$5,00 \times 10^{-3}$	$-4,15 \times 10^{-3}$
$1,00 \times 10^{-2}$	$-4,15 \times 10^{-3}$
$1,50 \times 10^{-2}$	$-4,13 \times 10^{-3}$
$2,00 \times 10^{-2}$	$-4,13 \times 10^{-3}$
$2,50 \times 10^{-2}$	$-4,11 \times 10^{-3}$
$3,00 \times 10^{-2}$	$-4,06 \times 10^{-3}$
$3,50 \times 10^{-2}$	$-4,00 \times 10^{-3}$
$4,00 \times 10^{-2}$	$-3,85 \times 10^{-3}$
$4,50 \times 10^{-2}$	$-3,72 \times 10^{-3}$
$5,00 \times 10^{-2}$	$-3,46 \times 10^{-3}$
$5,50 \times 10^{-2}$	$-3,05 \times 10^{-3}$

Os gráficos respeitantes ao solenoide são apresentados nas figuras 8 e 9 enquanto que a gráfico da representação da atenuação do campo no exterior do seu solenoide com núcleo metálico está patente na figura 10.

Da análise da curva de histerese observada retiram-se os seguintes valores, que definem a característica $B(H)$

$$\begin{array}{l} B_s \parallel 1,3790 \\ B_r \parallel 0,6831 \\ H_c \parallel 55,7290 \\ \mu \parallel 18724,5790 \times \mu_0 \end{array}$$

Análise de resultados

Como se conclui pelo gráfico da figura 1 o campo magnético criado por uma bobine varia linearmente com a intensidade de corrente que a percorre, como se evidencia pela fórmula:

$$|\vec{B}| = \frac{\mu_0 \cdot N}{2r} i$$

obtivemos a para o declive da recta o valor de $(0,292 \pm 0,0002) \times 10^{-2}$ sendo que o valor teórico é de $0,335 \times 10^{-2}$

Ajustando a função:

$$|\vec{B}| = \frac{\mu_0 \cdot N \cdot R^2 \cdot i}{2\sqrt{(d^2 + R^2)^3}}$$

aos valores de campo medidos ao longo do eixo da bobine temos o gráfico da figura 4 em que o ajuste apresenta um $\chi^2 = 42,451$ para 19 graus de liberdade. As discrepâncias observadas devem ter ficado a dever-se essencialmente a ruído de fundo na célula de Hall, bem como na possibilidade de terem existido direccionamentos do sensor ligeiramente incorrectos.

Para o caso das bobines de Helmholtz a função que nos dá o campo magnético ao longo do eixo destas é:

$$|\vec{B}| = \frac{\mu_0 \cdot N \cdot R^2 \cdot i}{2} \left(\frac{1}{\sqrt{\left(d - \frac{R}{2}\right)^2 + R^2}^3} + \frac{1}{\sqrt{\left(d + \frac{R}{2}\right)^2 + R^2}^3} \right)$$

efectuando mais uma vez um ajuste chegamos ao gráfico da figura 6 tendo um $\chi^2 = 3,411$ para os mesmos 19 graus de liberdade

Na determinação da característica $B(H)$ do material do transformador foi produzida uma curva de histerese no osciloscópio. Os valores de tensão lidos foram então convertidos segundo as expressões:

$$H = \frac{n_1 \cdot V}{l \cdot R}$$

$$B = \frac{R \cdot C}{n_2 \cdot S} U_c$$

Os valores obtidos tornam-se todavia um pouco ambíguos ao tentarmos determinar a composição do núcleo do transformador pois não se enquadram simultaneamente nos valores tabelados expectáveis.

Anexos

Esquemas de montagem

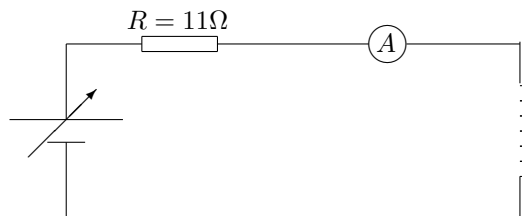


Figura 1: Esquema de montagem 1

Conclusão e críticas

Neste trabalho verificou-se que os dados experimentais estão todos dentro do valor esperado, apesar de existirem algumas discrepâncias derivadas do ruído criado pela célula de Hall. No caso do transformador houve uma diferença para com os valores expectados, devido a possíveis erros derivados da montagem.

Bibliografia

- Cheng, David K., 1983, *Field and Wave Electromagnetics*, Addison-Wesley.
- Loureiro, Jorge, 1992, *Electromagnetismo*, Secção de folhas da AEIST.
- Mendirata, Sushil, 1995, *Introdução ao Electromagnetismo*, Fundação Calouste Gulbenkian.

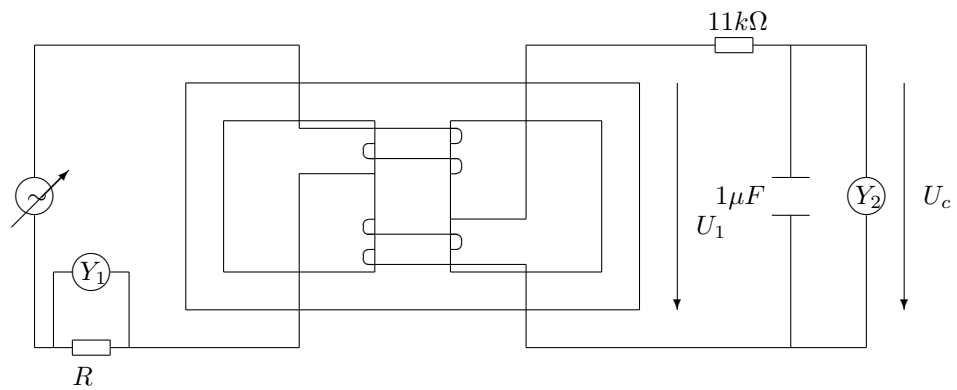


Figura 2: Esquema de montagem 2

Gráficos obtidos

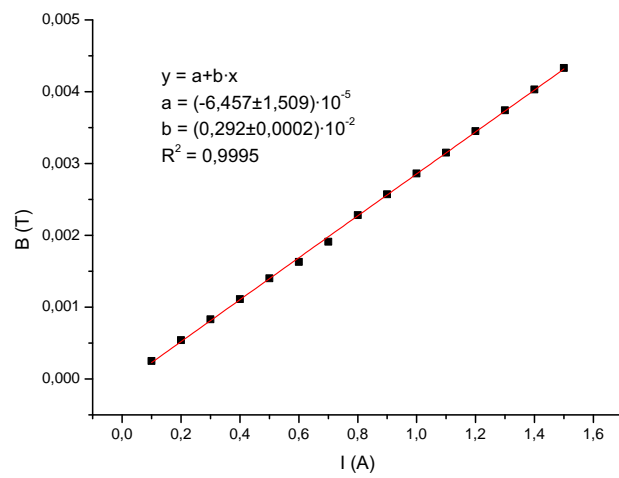


Figura 3: Campo vs. intensidade de corrente

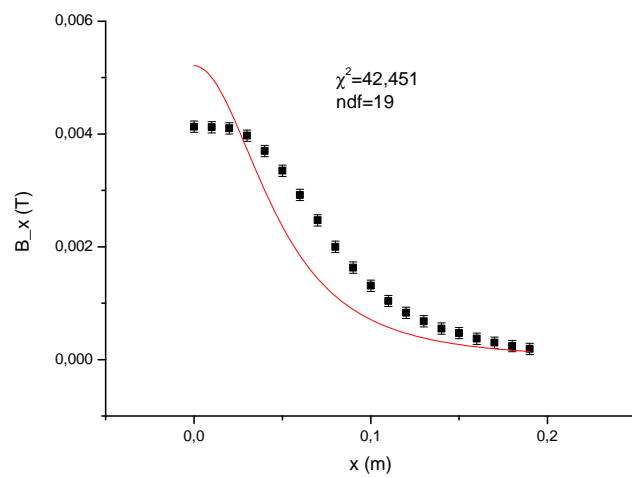


Figura 4: Campo ao longo do eixo da bobine

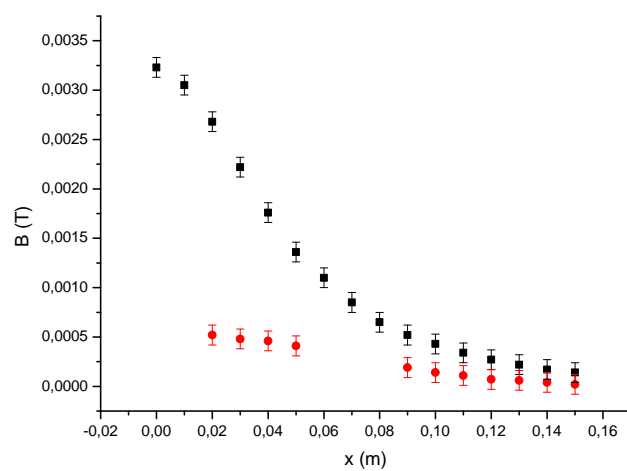


Figura 5: Componentes do campo para pontos fora do eixo da bobine

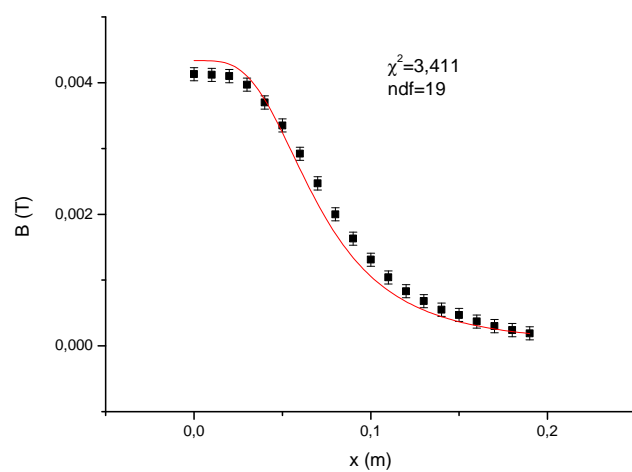


Figura 6: Campo ao longo do eixo das bobines de Helmholtz

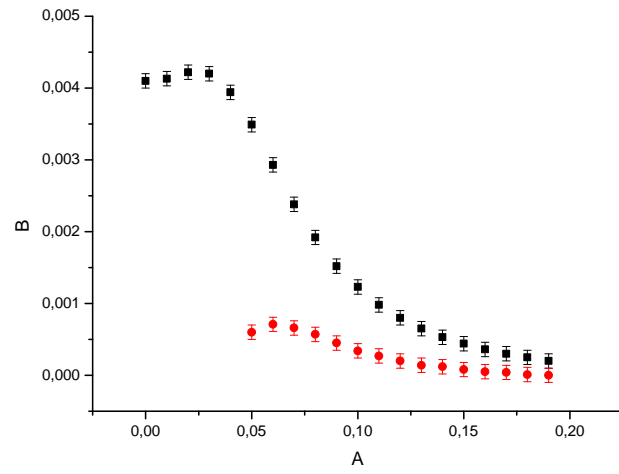


Figura 7: Componentes do campo para pontos fora do eixo das bobines de Helmholtz

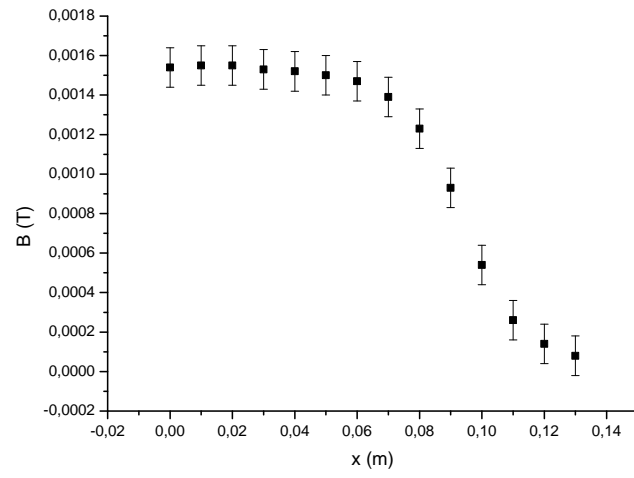


Figura 8: Campo magnético ao longo do eixo do solenoide (a partir do centro)

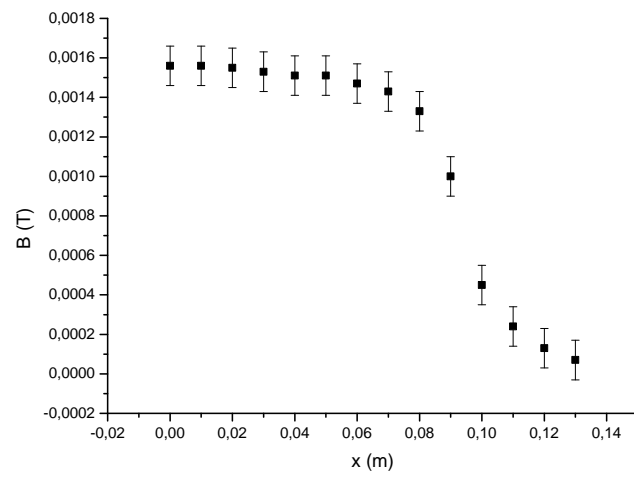


Figura 9: Campo magnético afastado do eixo do solenoide (a partir do centro)

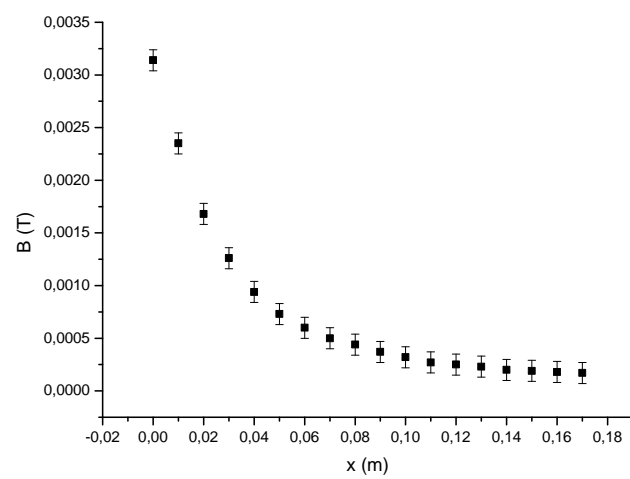


Figura 10: Campomagnético ao longo do eixo solenoide com núcleo (a partir da extremidade)