

Bobines de Helmholtz

Universidade de Aveiro

Ana Santos, Joana Santiago, Mafalda França



Bobines de Helmholtz

Departamento de Eletrónica, Telecomunicações e
Informática

Universidade de Aveiro

Ana Santos, Joana Santiago, Mafalda França
120039, 119705, 113808

5 de dezembro 2024

Conteúdo

1	Sumário	1
1.1	Objetivos	1
2	Introdução do Relatório	2
3	Introdução Teórica	3
4	Procedimento Experimental	6
4.1	Parte A	6
4.2	Parte B	8
4.3	Apresentação de Resultados	9
4.3.1	Parte A	9
4.3.2	Parte B	10
5	Conclusão	13
6	Bibliografia	14

Capítulo 1

Sumário

Este relatório descreve a análise experimental da calibração de uma sonda de efeito de Hall e do estudo do campo magnético gerado por bobinas de Helmholtz. O foco principal foi determinar o número de espiras das bobinas, medir o campo magnético em diferentes configurações e verificar o Princípio da Sobreposição. Os dados obtidos permitiram calcular a constante de calibração C_c e analisar o comportamento do campo magnético em função da posição. Foram calculadas as incertezas associadas às medições e verificou-se a concordância entre os resultados experimentais e as previsões teóricas. O campo magnético máximo foi medido com boa precisão, e os gráficos gerados confirmaram o comportamento esperado. Apesar de pequenas discrepâncias atribuídas a variações na corrente elétrica e incertezas nos dispositivos de medição, os objetivos do trabalho foram atingidos com sucesso. Este estudo reforça a importância de técnicas de calibração e medições precisas em experiências de caráter eletromagnético.

1.1 Objetivos

- Calibrar uma sonda de efeito de Hall por meio de um solenoide padrão.
- Medir o campo magnético ao longo do eixo de duas bobinas estreitas.
- Estabelecer a configuração de Helmholtz e medir o campo magnético ao longo do eixo das respectivas bobinas.
- Verificar o princípio da sobreposição.

Antes da realização da experiência, foram discutidos os possíveis resultados teóricos, como por exemplo, constantes conhecidas e número de espiras conhecido. Após a realização da experiência, conseguimos obter os resultados esperados e efetuar todos os cálculos necessários.

Capítulo 2

Introdução do Relatório

Nesta atividade experimental, conseguimos colocar em prática os conhecimentos adquiridos nas aulas teóricas. Como na T1, onde aprendemos no capítulo 3 o Campo magnético, a Lei de Ampère, o Fluxo do campo magnético e ainda as equações de Faraday.

Capítulo 3

Introdução Teórica

A componente longitudinal do campo é dada por:

$$B_{sol} = \mu_0 \left(\frac{N}{l} \right) I_s \quad (3.1)$$

- μ_0 - Permeabilidade magnética do vácuo.
- $\frac{N}{l}$ - Número de espiras por unidade de comprimento.
- I_s - Corrente elétrica que percorre o solenoide.

Cálculo de uma expressão para o campo magnético criado pelas bobinas num ponto x genérico:

$$B(x) = \frac{\mu_0}{2} \frac{I \cdot R^2}{(R^2 + x^2)^{3/2}} \quad (3.2)$$

- $B(x)$ - Campo magnético no eixo de um anel de corrente numa posição x (centrado em $x = 0$).
- μ_0 - Permeabilidade magnética do vácuo.
- R - Raio da bobina.
- I - Corrente.

A fórmula para o cálculo da incerteza relativa é dada por:

$$\frac{\Delta C}{C} = \frac{\Delta N}{N} + \frac{\Delta l}{l} + \frac{\Delta m}{m} \quad (3.3)$$

Onde:

- C : Constante que está sendo calculada (por exemplo, a constante de calibração);

- ΔC : Variação ou incerteza associada à constante C ;
- N : Número total de espiras do solenoide;
- ΔN : Variação ou incerteza no número de espiras N ;
- l : Comprimento do solenoide;
- Δl : Variação ou incerteza no comprimento l ;
- m : Massa utilizada (ou algum outro fator proporcional que influencia o cálculo de C);
- Δm : Variação ou incerteza associada à massa m .

A relação entre o campo magnético e a constante de calibração é dada por:

$$B = C_c V_H \quad (3.4)$$

Onde:

- B : Campo magnético gerado no experimento (em teslas, T por Volt);
- C_c : Constante de calibração, que relaciona a tensão de Hall (V_H) ao campo magnético;
- V_H : Tensão de Hall medida no circuito (em volts, V).

O campo magnético ao longo de x devido a um solenoide é dado por:

$$B(x) = \frac{\mu_0 I R^2}{2 (R^2 + (x - x_0)^2)^{3/2}} \quad (3.5)$$

Onde:

- $B(x)$: Campo magnético ao longo do eixo x (em teslas, T);
- μ_0 : Permeabilidade magnética do vácuo ($\mu_0 \approx 4\pi \times 10^{-7} Tm/A$);
- I : Corrente elétrica no solenoide (em amperes, A);
- R : Raio do solenoide (em metros, m);
- x : Posição ao longo do eixo x (em metros, m);
- x_0 : Posição central do solenoide no eixo x (em metros, m).

O número de espiras por unidade de comprimento é dado por:

$$\frac{N}{l} = \frac{B_{max}}{B_x} \quad (3.6)$$

Onde:

- $\frac{N}{l}$: Número de espiras por unidade de comprimento do solenoide (em espiras por metro);
- B_{max} : Valor máximo do campo magnético gerado pelo solenoide (em teslas, T);
- B_x : Componente do campo magnético em uma posição específica x ao longo do solenoide (em teslas, T).

Tensão de Hall:

$$V_h = f(I_s) \quad (3.7)$$

- V_h - Tensão de Hall.
- f - Função.
- I_s - Corrente elétrica que percorre o solenoide.

A constante de calibração é dada por:

$$C_c = \mu_0 \frac{N}{l} m \quad (3.8)$$

Onde:

- C_c : Constante de calibração (em $T \cdot m/A$);
- μ_0 : Permeabilidade magnética do vácuo ($\mu_0 \approx 4\pi \times 10^{-7} Tm/A$);
- $\frac{N}{l}$: Número de espiras por unidade de comprimento do solenoide (em espiras por metro);
- m : Fator de proporcionalidade ou outro parâmetro relevante no cálculo da constante (adimensional ou com unidades conforme o contexto do experimento).

Capítulo 4

Procedimento Experimental

4.1 Parte A

Material

1. Voltímetro
2. Amperímetro
3. Fonte de tensão de 15 V
4. Resistência de $10\ \Omega$
5. Reóstato de $330\ \Omega$
6. Sonda de efeito de Hall
7. Solenoide
8. Bobinas de Helmholtz

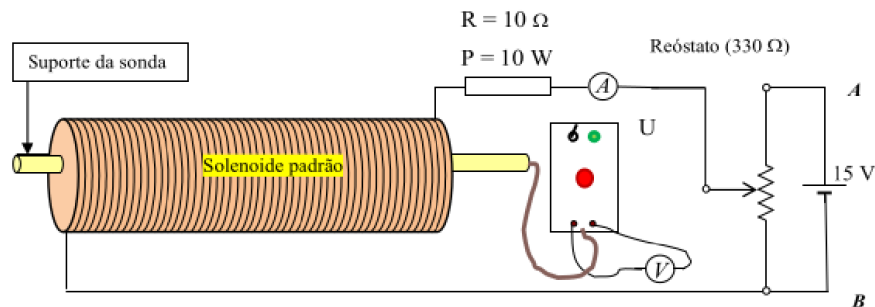


Figura 4.1: Esquema de Montagem da Parte A

Procedimento: Acompanhar Figura 4.1:

1. Liga-se a sonda ao voltímetro e regula-se o potenciômetro da sonda para que o voltímetro indique 0 V quando não está sujeita a um campo magnético.
2. Monta-se agora o resto do circuito, como na figura 4.1.
3. Regista-se o valor N_l , que é o número de espiras por unidade de comprimento do solenoide.
4. Coloca-se a sonda no interior do solenoide, procurando o ponto onde a aproximação utilizada de solenoide infinito é válida.
5. Ajusta-se o reóstato de modo a obter 10 valores de corrente I_S diferentes, registrando-se os diferentes valores da tensão V_H para cada valor da corrente.
6. Registrar os resultados numa tabela e identificar as variáveis para realizar o gráfico pedido.
7. Efetuar o gráfico $V_h = f(I_s)$.

4.2 Parte B

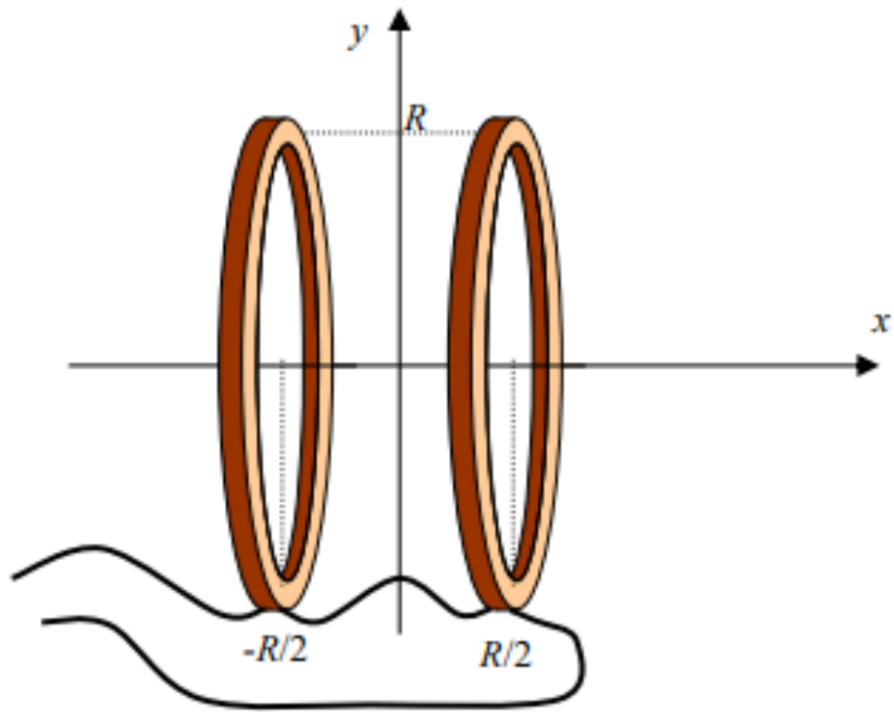


Figura 4.2: Esquema de Montagem da Parte B

Procedimento:

1. Ajustar a intensidade da corrente a um valor que será mantido fixo ao longo da experiência ($I = 0,495 \text{ A}$).
2. Utilizando a sonda de Hall, medir o campo magnético criado pela bobina ao longo do seu eixo, de centímetro em centímetro, registrando os pares de valores (posição da sonda, tensão de Hall).
3. Remover a tensão aplicada à bobina e aplicá-la, de seguida, à outra bobina (repetir o passo 2 de seguida).
4. Ligar as duas bobinas em série, certificando-se de que a corrente fluirá no mesmo sentido em ambas as bobinas.

4.3 Apresentação de Resultados

4.3.1 Parte A

Discussão

Para o cálculo da constante de calibração, foi utilizada a montagem referida no enunciado, e registados os valores de I_s e V_H . No gráfico abaixo é representada a reta de aproximação da função $V_h = f(I_s)$, elaborada pelo software Excel com base nos dados obtidos experimentalmente.

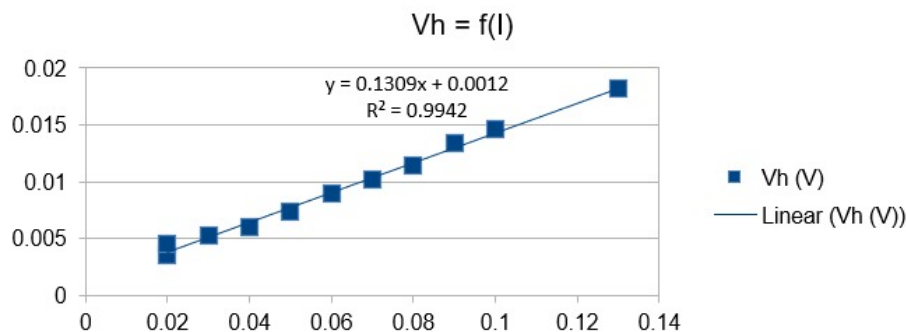


Figura 4.3: Gráfico da Parte A

A maior fonte de erro é a falta de consistência da força da mola e, também, a pessoa que dispara, disparar de maneiras diferentes para cada tentativa. Para melhorar o resultado obtido, um maior número de repetições da experiência, leva a uma maior precisão dos resultados.

I (A)	Vh (V)	Declive
0.02	0.0036	0.1309
0.02	0.0046	
0.03	0.0053	Const Calibração
0.04	0.0061	0.033283122
0.05	0.0074	
0.06	0.009	
0.07	0.0102	
0.08	0.0115	
0.09	0.0134	
0.1	0.0146	
0.13	0.0182	

Figura 4.4: Dados da Parte A

Análise

Quanto aos resultados obtidos, o valor de C_c foi calculado usando a equação (3.8), e este tem um erro associado que foi calculado utilizando a equação (3.3). O desvio associado foi de $\Delta C_c = 3.33 \times 10^{-2}$.

4.3.2 Parte B

Na parte B, foram efetuadas medições em 3 partes, repartidas em 3 tabelas e gráficos. Estas representam a variação dos campos magnéticos gerados pelas bobines, consoante a posição da sonda de Hall. Na tabela 1, apenas a bobine imóvel tem corrente elétrica. Na tabela 2, apenas a bobine móvel tem corrente elétrica. Na tabela 3, as duas bobines estão ligadas em série, ambas com a mesma corrente elétrica. Estas tabelas estão representadas na figura abaixo.

R1 = 6.25 ± 0.01 cm			R2 = 6.25 ± 0.01 cm					
X01 = 0 ± 0.01 cm			X02 = 6.25 ± 0.01 cm					
I = 0.5 ± 0.01 A								
Tabela 1 (Bobine 1)			Tabela 2 (Bobine 2)			Tabela 3 (B1+B2)		
x ± 0.01 cm	Vh ± 0.1 mV	B (mT)	x ± 0.01 cm	Vh ± 0.1 mV	B (mT)	x ± 0.01 cm	Vh ± 0.1 mV	B (mT)
1	3.1	1.03E-01	1	2.1	6.99E-02	1	5.0	1.66E-01
2	3.8	1.26E-01	2	2.5	8.32E-02	2	6.0	2.00E-01
3	4.7	1.56E-01	3	3.0	9.98E-02	3	7.3	2.43E-01
4	5.8	1.93E-01	4	3.7	1.23E-01	4	8.7	2.90E-01
5	6.9	2.30E-01	5	4.5	1.50E-01	5	10.0	3.33E-01
6	8.0	2.66E-01	6	5.6	1.86E-01	6	11.1	3.69E-01
7	8.6	2.86E-01	7	6.6	2.20E-01	7	12.0	3.99E-01
8	8.8	2.93E-01	8	7.6	2.53E-01	8	12.5	4.16E-01
9	8.6	2.86E-01	9	8.5	2.83E-01	9	12.9	4.29E-01
10	7.7	2.56E-01	10	8.8	2.93E-01	10	12.8	4.26E-01
11	6.7	2.23E-01	11	8.6	2.86E-01	11	12.5	4.16E-01
12	5.6	1.86E-01	12	8.0	2.66E-01	12	12.1	4.03E-01
13	4.6	1.53E-01	13	7.1	2.36E-01	13	11.2	3.73E-01
14	3.8	1.26E-01	14	6.0	2.00E-01	14	10.1	3.36E-01
15	3.0	9.98E-02	15	4.9	1.63E-01	15	8.7	2.90E-01
16	2.5	8.32E-02	16	4.0	1.33E-01	16	7.2	2.40E-01
17	2.1	6.99E-02	17	3.3	1.10E-01	17	6.1	2.03E-01
18	1.7	5.66E-02	18	2.8	9.32E-02	18	5.0	1.66E-01

Figura 4.5: Dados da Parte B

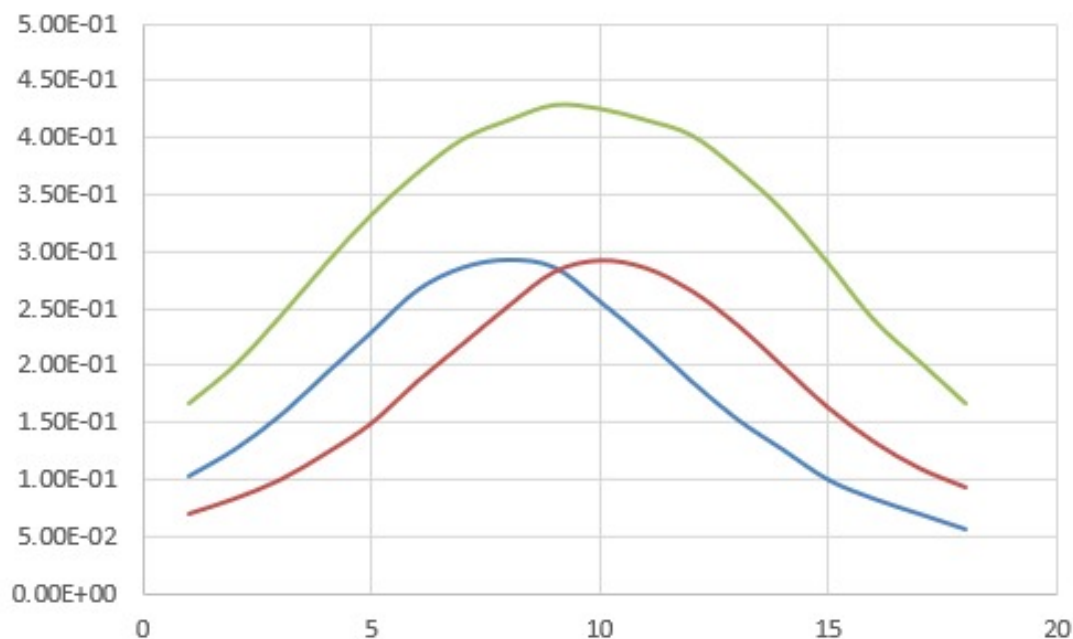


Figura 4.6: Gráficos da Parte B.

Análise

O Princípio da Sobreposição do campo magnético consiste em que, numa configuração de Helmholtz, a soma do valor dos campos individualmente gerados numa dada posição da sonda de Hall será igual ao valor medido com as duas bobinas ativas. Ao observar os resultados obtidos, a propriedade fundamental do Princípio da Sobreposição verifica-se de forma aproximada, ou seja, embora a soma dos campos individualmente medidos não seja exatamente igual ao valor medido aquando da medição simultânea dos dois campos, os valores são próximos. Nos gráficos está apresentado de forma mais clara este princípio. Com isto, podemos afirmar que ocorre sobreposição dos campos magnéticos. Para estimar o n^o de espiras, foi utilizada a equação (3.5) para calcular o campo magnético no eixo de um anel de corrente. Após obter o resultado do campo magnético, utiliza-se o B_{max} obtido na tabela 3, usando a equação (3.6).

Discussão

Dado por completo os cálculos necessários, e a análise dos resultados obtidos, e a discrepância entre os valores teóricos e práticos, para a verificação do Princípio

da Sobreposição do campo magnético. Estes desvios são originados por margens de erro, nos valores que este está dependente, como a constante de calibração e as medições da diferença de potencial numa dada posição. No cálculo do n^o de espiras, o erro associado à estimativa deve-se a diversos fatores, como os erros associados ao cálculo do valor máximo obtido no campo magnético, e o cálculo de $B(x)$.

Capítulo 5

Conclusão

Após obter todos os resultados necessários, foi-nos possível estimar, com objetividade, o número de espiras contido nas bobinas de Helmholtz. O valor provém da equação $B = \mu_0 C V_h$, em que o valor de B é calculado através da fórmula $B(0) = \mu_0 R$. Assim, a nossa estimativa aponta para o valor aproximado de 158 espiras por unidade de comprimento. contidas na bobina A e a bobina B contém 158 espiras por unidade de comprimento. Também foi possível verificar o Princípio da Sobreposição do campo magnético através do tipo de gráfico obtido em que o gráfico das duas bobinas em série corresponde à soma dos dois gráficos das bobinas isoladas. Para reduzir os erros provenientes desta experiência, o nosso grupo identificou como o maior problema a instabilidade do valor da intensidade da corrente elétrica providenciada pelo reóstato que originou erros pequenos que foram posteriormente desprezados por essa mesma razão. Outros erros que possam ter influência nos resultados provêm de incertezas dos dispositivos usados para o cálculo dos resultados.

Capítulo 6

Bibliografia

Durante a realização do trabalho, utilizámos os documentos "Guião de análise de dados" e "T2.1 Bobinas de Helmholtz 2024/2025", ambos disponibilizados pelos professores na plataforma digital elearning, acessível em <https://elearning.ua.pt/>.