

Universidade de Aveiro



Mecânica e Campos Eletromagnéticos

AUTORES:

- | | |
|-----------------------------------|----------|
| • RAFAEL MATOS AMORIM | Nº 98197 |
| • JOAQUIM PEDRO GONÇALVES ANDRADE | Nº 93432 |
| • JOÃO RICARDO CIDRA FIGUEIREDO | Nº 98506 |

Sumário

Os principais objetivos deste trabalho são essencialmente, calibrar uma sonda de efeito de Hall por meio de um solenóide padrão, medir o campo magnético ao longo do eixo de duas bobinas, estabelecer a configuração de Helmholtz e medir o campo magnético ao longo do eixo das respetivas bobinas e, por fim, verificar o princípio da sobreposição, deste modo, foram realizadas duas atividades experimentais.

Na parte A:

1. Calibração da sonda de Hall, as grandezas a serem medidas são a intensidade (que produz vários valores de campo magnético) e a tensão de Hall. Pretende-se obter uma reta em função.

Na parte B:

2. Com a intensidade da corrente para 0,5 A, serão medidas a posição e a tensão para posteriormente se calcular o campo magnético e se observar o princípio da sobreposição, com o auxílio da Parte A.

No seguimento da concretização do trabalho foi fornecido vários documentos para uma melhor compreensão do que se havia de realizar nas aulas, consequentemente no relatório.

Os objetivos atingidos nas respetivas aulas foram:

1. A constante de calibração, cc: 0,031779955 V/A;
2. Verificação do princípio da sobreposição;
3. Número de espiras é igual a 119,6.

Introdução

Este relatório será posteriormente elaborado com recurso a toda a informação recolhida durante as aulas Prática Laboratoriais.

O conteúdo enquadra-se, relativamente, às aulas TP no EletroMagnetismo. Mais precisamente no:

Capítulo 3.6: Campo magnético: (Lei de Biot-Savart); Lei de Ampère.

Capítulo este, em que se estuda a produção de **campo magnético** a partir de correntes elétricas e, para tal, calcula-se através da Lei de *Biot-Savart* e de *Ampère*, no entanto, neste caso, em que o solenoide tem comprimento infinito é preferencial recorrermos à Lei de *Ampère*.

$$\oint \vec{B} \times d\vec{l} = \mu_0 \times I_{int} \Rightarrow B \times l = \frac{\mu_0 \times N \times l}{L} I \Leftrightarrow B_{sol} = \mu_0 \frac{N}{L} I_s$$

Sendo $\frac{N}{L}$ o número de espiras por unidade de comprimento do solenóide, I_s corrente que percorre o solenóide e a constante de permeabilidade magnética do vácuo $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} (T.m/A)$.

Considera-se assim, esta expressão válida, pois o comprimento é muito superior ao do que o raio da bobina. Este enrolamento designa-se por **Solenóide Padrão**.



Contrariamente, as **Bobinas de Helmholtz** são constituídas por dois enrolamentos de raio muito superior ao comprimento, dando a entender que parecem mais anéis do que solenóide e desta forma no espaço entre as espiras é possível criar um campo magnético muito mais uniforme do que sem espaço entre eles.

Para o caso de duas bobinas apresentarem o mesmo raio e número de espiras, de estarem coaxiais (coligadas), de terem a distância entre si igual à dos raios e, ainda, de serem percorridas por iguais correntes com o mesmo sentido. Definindo os eixos x e y com a origem no ponto médio entre as 2 bobinas e alinhado com o centro das espiras, permite-nos calcular o campo magnético centrado em $x = 0$, criado por bobinas a partir da expressão do campo magnético no eixo de um anel de corrente.

$$B(x) = \frac{\mu_0}{2} \frac{IR^2}{(R^2 + x^2)^{\frac{3}{2}}}$$

Prevê-se que o campo magnético atinge o seu valor máximo, B_{HMax} , na origem dos eixos definido pelas bobinas, considerando o campo total resultante da soma dos campos de cada bobina (B_1+B_2).

Analisando a variação do valor de BH ao longo da secção, pode, ainda, concluir-se que o valor de BH não é inferior a 95% de B_{HMax} , sendo, em 60% dessa mesma secção, superior a 99% de B_{HMax} .

Considerando um bloco de um semicondutor percorrido por uma corrente I_H , e colocado num campo magnético, os portadores de carga vão necessariamente sentir o efeito da força magnética dada pela expressão da **Força de Lorentz**: $\vec{F}_m = q\vec{v} \times \vec{B} \hat{z}$, os portadores acumulam-se na face inferior do semicondutor, originando campo elétrico, \vec{E} , estes ficam então sujeitos a uma força, $\vec{F}_E = -q\vec{E} \hat{z}$.

Na situação de equilíbrio as forças igualam-se, $qE = qvB$, o que permite calcular a diferença de potencial que se originou entre as 2 faces do semicondutor, designa-se assim por **Tensão de Hall**.

A **Tensão de Hall** mede-se segundo:

$$qE = q \frac{V_H}{h} = qvB \Rightarrow V_h = v h B$$

A tensão de Hall é proporcional à corrente de Hall que percorre o material e à intensidade do campo magnético.

Por fim, para medir campos magnéticos com a sonda de Hall, é preciso calibrá-la para determinar a constante de proporcionalidade entre V_h e B , isto é, CC (**Constante de Calibração**).



Desenvolvimento Experimental

Parte A – Calibração da sonda de Hall

Um dos erros experimentais implícitos nesta parte é o erro da paralaxe, isto é, quando fizemos as nossas medidas colocámo-nos sempre perpendicularmente ao ponto que se encontrava a ser medido.

Material utilizado:

- Fonte de alimentação simétrica;
- Reóstato;
- Medidor para o Efeito de Hall;
- Multímetros;
- Solenoide;
- Sonda;
- Cabos (interligações de componentes).

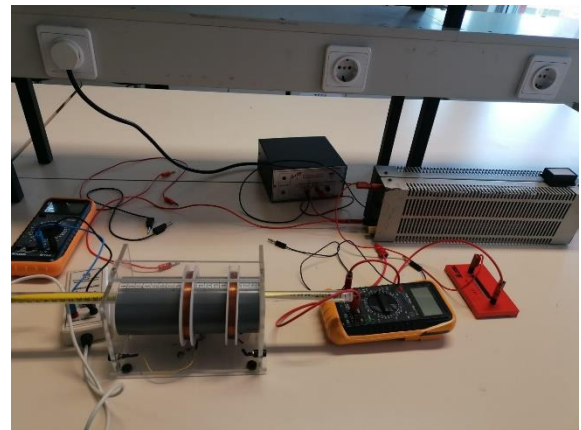
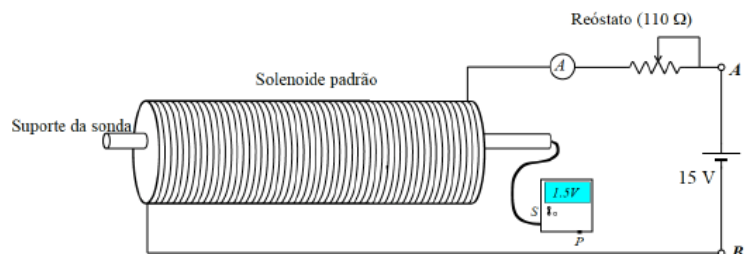


Figura 1- Fotografia do equipamento

Metodologia:

1. Fechou-se o circuito de forma a passar corrente elétrica na sonda. Para tal, teve-se de ligar, respetivamente, os terminais da sonda e o voltímetro, à entrada e à saída do amplificador.
2. Registou-se o comprimento do solenoide que por sua vez já nos era dado correspondendo a 18cm;
3. De seguida, o valor de N/L , este também era nos dado com valor de (3467 ± 60) espiras;
4. Verificou-se, se o campo magnético permanecia nulo, se não, anulava-se a tensão residual atuando no potenciômetro.
5. Inseriu-se a sonda no solenoide de modo a que a mesma se encontre num ponto do eixo que minimize a aproximação de solenoide infinito (P_m);
6. Os multímetros foram regulados para medir a intensidade e a tensão;
7. Registou-se todos os valores obtidos.



Cálculos:

Antes demais temos de determinar o declive da função entre a tensão de Hall e a Intensidade do Solenoide que, por sua vez, permite obter a Constante de Calibração, cuja será precisa, posteriormente para a Parte B como valor exato.

Tabela 1: Correspondência entre a Intensidade e a tensão de Hall

Tensão (V_H)	Intensidade do Solenoide, I_S (A)		
0,001	0,01	0,037	0,27
0,0035	0,03	0,0396	0,29
0,006	0,05	0,0418	0,31
0,0098	0,07	0,0449	0,33
0,0116	0,09	0,0485	0,35
0,0142	0,11	0,0505	0,37
0,0173	0,13	0,0533	0,39
0,0201	0,15	0,0562	0,41
0,0232	0,17	0,0593	0,43
0,0257	0,19	0,0618	0,45
0,0288	0,21	0,0645	0,47
0,0313	0,23	0,0667	0,49
0,0338	0,25	0,07	0,51
		0,0738	0,53
		0,0755	0,55
		0,0785	0,57

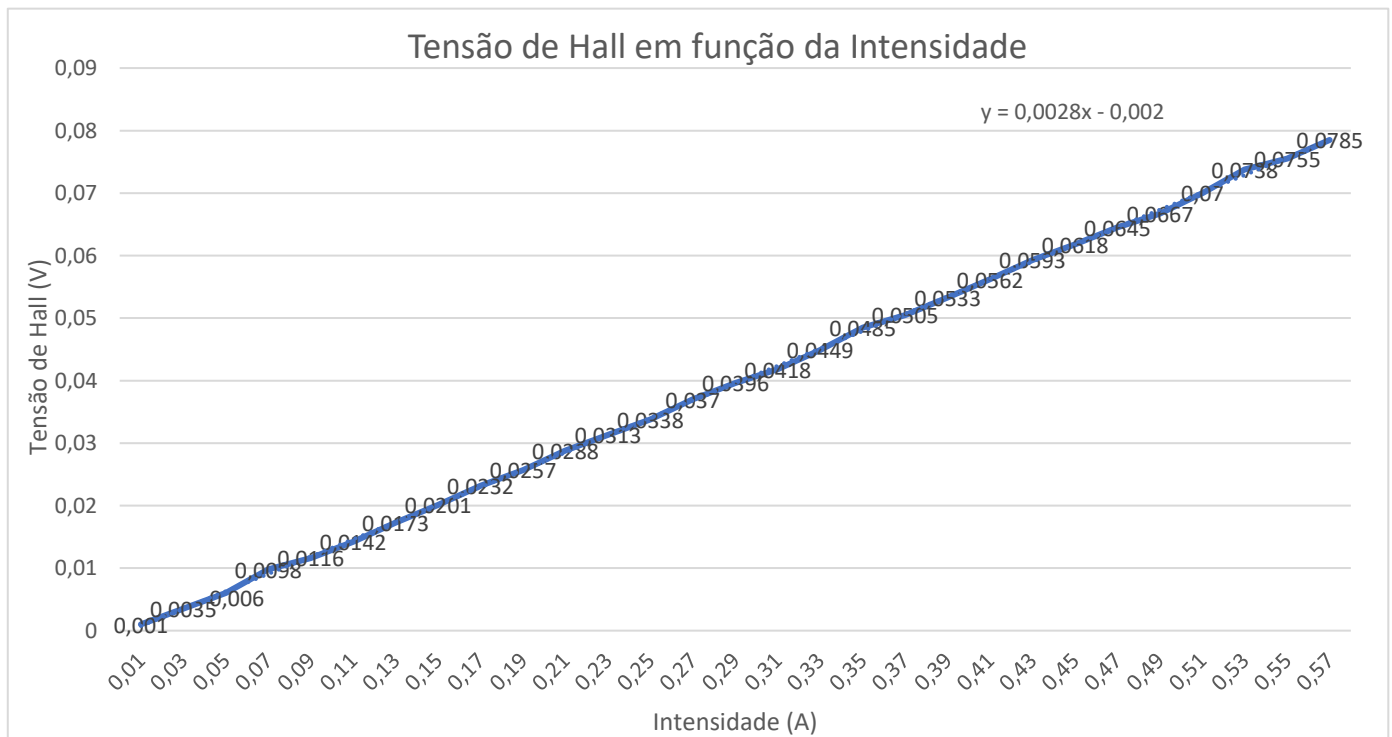


Figura 2- Gráfico para adquirir o declive entre Tensão de Hall e a Intensidade



Continuação dos Cálculos:

Equação da reta: $Y = mX + b$, temos que b passa na origem logo é zero e = declive,

$$m = \frac{V_H}{I_S} = 0,0028 \text{ V/A.}$$

A constante de calibração, cc é:

$$cc = \frac{V_H}{\mu_0 \times \frac{N}{L} \times I}$$

$$cc = \frac{0,0028}{4\pi \times 10^{-7} \times 3467} = \mathbf{0,6427 \text{ V/A}}$$

Acompanhada com o seu respetivo erro:

Tendo como dados que o erro do amperímetro, $\Delta I = 0,01 \text{ A}$, o erro do número de espiras, $\Delta \frac{N}{L} = 60$ espiras e o erro do Voltímetro, $\Delta V_H = 0,001 \text{ V}$ temos, portanto, que o erro da calibração é:

$$\Delta cc = \left| \frac{1}{\mu_0 \times \frac{N}{L} \times l} \right| \times \Delta V_H + \left| \frac{V_H}{-\mu_0 \times \left(\frac{N}{L}\right)^2 \times l} \right| + \Delta \frac{N}{L} + \left| \frac{V_H}{-\mu_0 \times \frac{N}{L} \times l^2} \right| \times \Delta I = \mathbf{6,24 \times 10^{-5} \text{ (V/A)}}$$

Com estes dados resolve-se o erro relativo:

$$\frac{\Delta cc}{cc} \times 100 = \frac{6,24 \times 10^{-5}}{0,6427} \times 100 = 9,7\%$$

Parte B – Verificação do princípio da sobreposição para o campo magnético

Material utilizado:

- Fonte de alimentação;
- Reóstato;
- Multímetros;
- Bobinas;
- Sonda;
- Cabos;
- Medidor Efeito Hall.



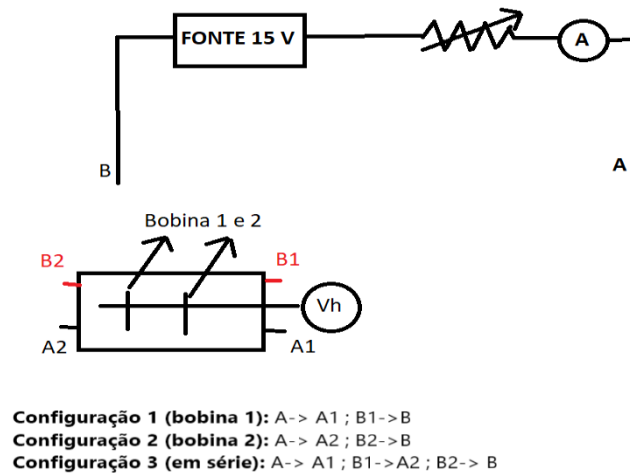


Figura 3- Ilustração do circuito geral da parte B

Análise e Tratamento de Dados:

Raio das bobinas = $0,043 \pm 0.0005$ m

Para este valor de raio das bobinas conseguimos obter os seguintes valores para a tensão da bobina 1, bobina 2 e bobina 1 + bobina 2

Metodologia:

1. Mediu-se o raio das bobinas, de seguida, ajustou-se as bobinas uma distância igual à do raio adquirido;
2. Regulou-se os multímetros para medirem intensidade e tensão;
3. Ajustou-se a resistência de modo a que a intensidade fosse igual a 0,5 A;
4. Colocou-se a sonda no interior das bobinas efetuando várias medições para a bobina 1 apenas;
5. Depois seguiu-se o mesmo raciocínio para a bobina 2 apenas e para as 2 bobinas em série;
6. Mediu-se os vários valores de tensão para cada posição da sonda para os 3 circuitos;
7. Efetuou-se os cálculos com esses valores para comprovar o princípio da sobreposição;



Tabela 2 – Tensão em função da distância

Posição(m) ± 0.05 (m)	Tensão da bobina 1 (V)	Tensão da bobina 2 (V)	Tensão da bobina 1 + bobina 2 (V)
0	0,0035	0,0044	0,0046
0,01	0,0035	0,0044	0,0046
0,02	0,0037	0,0045	0,0049
0,03	0,0036	0,0045	0,0049
0,04	0,0036	0,0045	0,005
0,05	0,0036	0,0045	0,005
0,06	0,0036	0,0046	0,0051
0,07	0,0036	0,0046	0,0051
0,08	0,0037	0,0046	0,0052
0,09	0,0038	0,0046	0,0053
0,1	0,0039	0,0046	0,0055
0,11	0,0041	0,0048	0,0056
0,12	0,0041	0,0047	0,0058
0,13	0,0044	0,0048	0,0061
0,14	0,0046	0,0048	0,0063
0,15	0,0048	0,0049	0,0068
0,16	0,0052	0,005	0,0073
0,17	0,0055	0,0051	0,0078
0,18	0,0061	0,0055	0,0088
0,19	0,0067	0,0056	0,0099
0,2	0,0078	0,0058	0,0115
0,21	0,0092	0,006	0,0138
0,22	0,0111	0,0064	0,017
0,23	0,0141	0,0069	0,0223
0,24	0,0184	0,0075	0,0284
0,25	0,0241	0,0085	0,0378
0,26	0,0318	0,0098	0,0493
0,27	0,0425	0,0117	0,06
0,28	0,0527	0,0143	0,0655
0,29	0,0583	0,0182	0,0652
0,3	0,0548	0,024	0,061
0,31	0,045	0,0324	0,0587
0,32	0,0342	0,042	0,0607
0,33	0,0248	0,0531	0,0662
0,34	0,0186	0,0572	0,0697
0,35	0,0143	0,0514	0,0593
0,36	0,0115	0,0384	0,0443
0,37	0,0095	0,0281	0,0311
0,38	0,0081	0,0209	0,0226
0,39	0,0071	0,0158	0,0173
0.40	0,0064	0,0126	0,0136

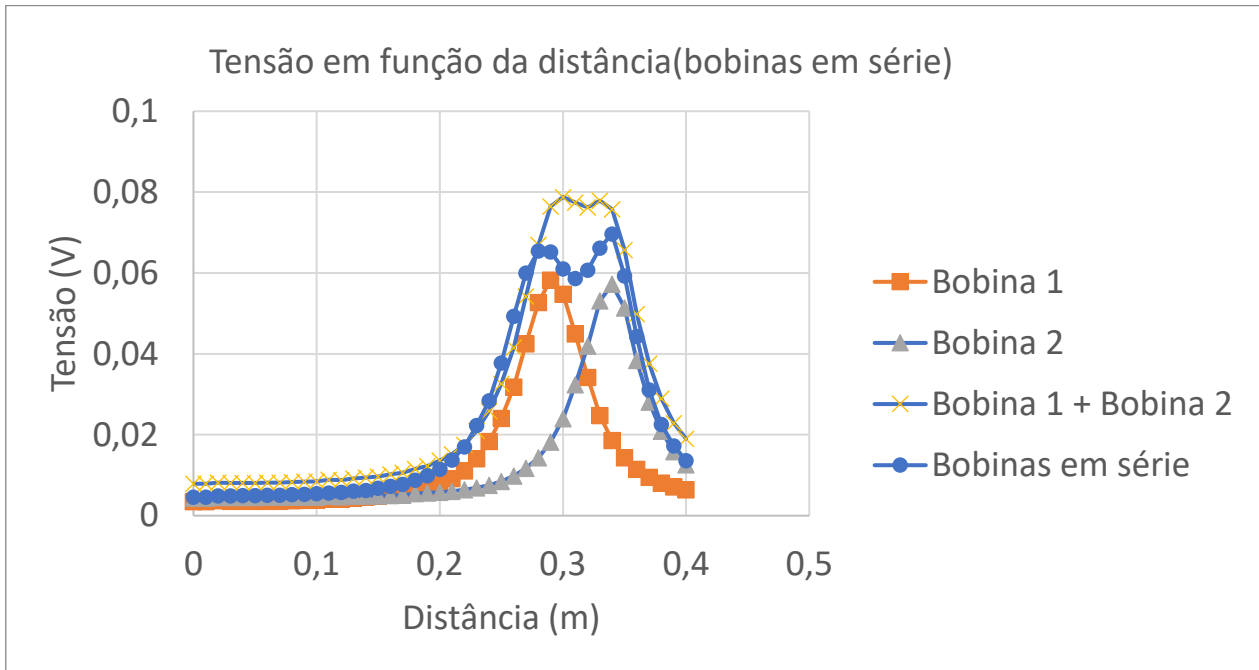


Figura 4-Tensão em função da distância

Tendo o CC sido calculado previamente, agora somos capazes de calcular o campo magnético usando a seguinte fórmula:

$$B = CC \times V_h \Leftrightarrow \frac{B}{V_H} = CC \Leftrightarrow CC = \frac{m}{\mu_0 \times \frac{N}{L}} \Leftrightarrow B = \frac{m}{\mu_0 \cdot \frac{N}{L}} \cdot V_H$$



Tabela 3 – Campo Magnético em função da distância

Posição (T)	Campo Bobina 1 (T)	Campo Bobina 2 (T)	Campo Bobina 1 + Bobina 2 (T)
0	0,000111	0,00014	0,000251062
0,01	0,000111	0,00014	0,000251062
0,02	0,000118	0,000143	0,000260596
0,03	0,000114	0,000143	0,000257418
0,04	0,000114	0,000143	0,000257418
0,05	0,000114	0,000143	0,000257418
0,06	0,000114	0,000146	0,000260596
0,07	0,000114	0,000146	0,000260596
0,08	0,000118	0,000146	0,000263774
0,09	0,000121	0,000146	0,000266952
0,1	0,000124	0,000146	0,00027013
0,11	0,00013	0,000153	0,000282842
0,12	0,00013	0,000149	0,000279664
0,13	0,00014	0,000153	0,000292376
0,14	0,000146	0,000153	0,000298732
0,15	0,000153	0,000156	0,000308266
0,16	0,000165	0,000159	0,000324156
0,17	0,000175	0,000162	0,000336868
0,18	0,000194	0,000175	0,000368647
0,19	0,000213	0,000178	0,000390893
0,2	0,000248	0,000184	0,000432207
0,21	0,000292	0,000191	0,000483055
0,22	0,000353	0,000203	0,000556149
0,23	0,000448	0,000219	0,000667379
0,24	0,000585	0,000238	0,000823101
0,25	0,000766	0,00027	0,001036027
0,26	0,001011	0,000311	0,001322046
0,27	0,001351	0,000372	0,001722474
0,28	0,001675	0,000454	0,002129257
0,29	0,001853	0,000578	0,002431167
0,3	0,001742	0,000763	0,00250426
0,31	0,00143	0,00103	0,002459769
0,32	0,001087	0,001335	0,002421633
0,33	0,000788	0,001688	0,002475659
0,34	0,000591	0,001818	0,002408921
0,35	0,000454	0,001633	0,002087943
0,36	0,000365	0,00122	0,00158582
0,37	0,000302	0,000893	0,001194926
0,38	0,000257	0,000664	0,000921619
0,39	0,000226	0,000502	0,000727761
0,4	0,000203	0,0004	0,000603819

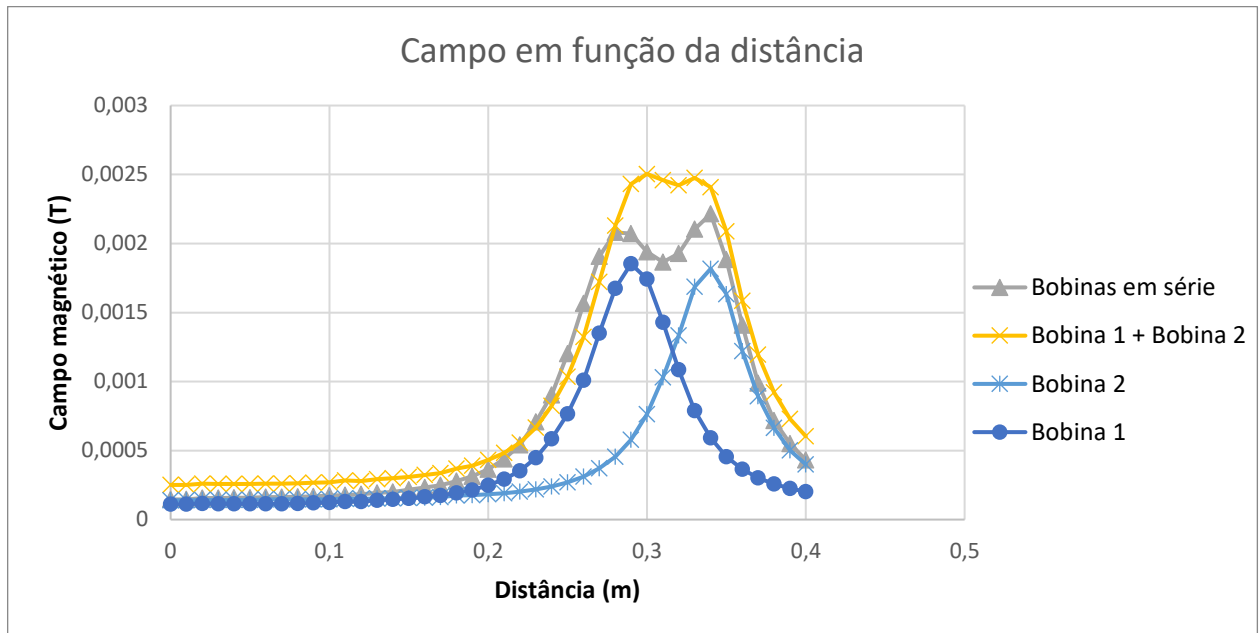


Figura 5- Princípio da sobreposição

Tendo a experiência sido realizada, agora temos a capacidade de calcular o número de espiras visto que conhecemos o valor do campo magnético teórico e prático.

O valor do campo magnético prático, B_p , é obtido através do cálculo da média dos valores de campo magnético registados, já o valor teórico, B_t , é obtido através da seguinte fórmula:

$$B_t = \frac{4\pi \times 10^{-7}}{2} \times \frac{0.5 \times 0.03^2}{(0.03 + 0.015)^2} = 7,49314 \times 10^{-6} \text{ T}$$

Este valor representa o campo magnético para uma espira.

$$B_p = N \times B_t \Leftrightarrow N = \frac{B_p}{B_t} \Leftrightarrow N = \frac{0.00895962}{7,49314 \times 10^{-6}} \Leftrightarrow N = 119,571 \text{ espiras}$$



Possíveis fontes de erro:

Podemos atribuir os dois máximos (ao invés de apenas um, que seria o ideal) no gráfico, por erros humanos, em particular erros na medida do raio da bobina, falhando a configuração de Helmholtz e afastando as bobinas em demasia. Também podem ser atribuídos erros à não estabilização da sonda ao longo do eixo das bobinas, sendo que a mesma rodava e pode ter criado algumas oscilações nos resultados.

Conclusão

Os objetivos foram todos concluídos com sucesso, ou seja, na parte A encontrámos o valor da constante de calibração, com um erro correspondente a 9,7%, ou seja, foi um sucesso tendo sido abaixo de 10%. Na parte B, de acordo com os valores do campo em série notámos um ligeiro decaimento o que no leva acreditar que o número de espiras não esteja igualmente dividido pelas bobinas, ou que uma das bobinas possuísse espiras sobrepostas, em vez de lado a lado, neste caso considerámos que fosse na bobina 1, pois apresenta um maior campo, menos inclinado, logo o campo da bobina 2 iria ter um impacto decrescente quando montado em série, daí o resultado não ser totalmente igual à soma dos campos das bobinas. Embora nos tenhamos deparado com erro, conseguimos demonstrar que o princípio da sobreposição do campo magnético comprovou-se com a exceção no ponto de decaimento e de seguida calculámos o número de espiras, chegando a um valor de 119,57 espiras,

Contribuições:

Os 3 elementos do grupo contribuíram de forma unânime na realização do trabalho e para tal decidiu-se atribuir uma avaliação igual para todos, ou seja, 33,(3) % para cada um.

Bibliografia

[1] Serway, R. A., Physics for Scientist and Engineers with modern Physics, 2000, SaunderCollege Publishing.

