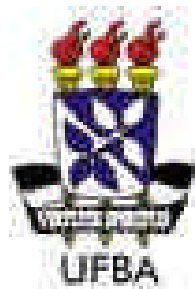


UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
INSTITUTO DE FÍSICA
DEPARTAMENTO DE FÍSICA DO ESTADO SÓLIDO
FIS 101 – ESTRUTURA DA MATÉRIA I
PROF.: Edmar M do Nascimento
Turma: Teórica/ Prática
Equipe: *Adriano L. do Valle*

Data: Dezembro de 2004



MEDIDAS DE CAMPOS MAGNÉTICOS
(RELATÓRIO / EXPERIMENTO - 4)

I - OBJETIVOS

Investigar o campo magnético entre as peças polares de um eletroímã, como função da corrente magnética e também função da distância ao eixo..

II - PARTE TEÓRICA

A medida da indução magnética B , que abordaremos a seguir, está baseada na lei de Faraday e nas propriedades de integração de carga de um galvanômetro do tipo balístico.

Consideremos uma bobina com um número de espiras N , conhecidas e cuja área de uma espira é S . O fluxo F , do vetor indução magnética, através desta bobina é dado por: $\Phi = B \cdot N \cdot S \cdot \cos j$, onde B é a indução magnética (em Wb/m^2), j é o ângulo entre as linhas de indução e o eixo da bobina. Ver Fig. 1.

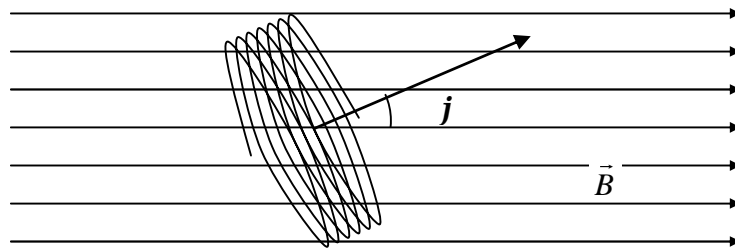


Fig.1

Suponhamos que a bobina esteja imersa num campo de indução magnética. Quando desligamos esse campo de indução magnética num tempo finito ou retiramos a bobina desse campo, o fluxo decresce do valor inicial Φ_o até zero. A medida que o fluxo varia com o tempo, aparece uma força eletromotriz induzida na bobina $e = -\frac{d\Phi(t)}{dt}$. Se os terminais da bobina estão ligados a um circuito fechado com resistência total R (incluindo a própria resistência da bobina) uma corrente flui durante o processo de desaparecimento do fluxo magnético.

$$I = \frac{e}{R} = -\frac{1}{R} \cdot \frac{d\Phi(t)}{dt}$$

A carga total que passa através do circuito fechado é obtida por integração $Q = \int_{t=0}^{\infty} Idt$. Contando o tempo a partir do instante $t = 0$ quando o fluxo magnético F_o começa a cair, chegamos a:

$$Q = -\frac{1}{R} \cdot \int_0^{\infty} \frac{d\Phi(t)}{dt} dt = -\frac{1}{R} \cdot \int_{\Phi_o}^0 d\Phi(t) = \frac{\Phi_o}{R}.$$

É importante observar que a carga total não depende da forma de $F(t)$, mas tão somente dos valores inicial e final do fluxo.

Podemos medir a carga total Q inserindo um galvanômetro balístico em série com a bobina. Esse galvanômetro possui uma bobina móvel com um momento de inércia muito elevado. Ao contrário dos galvanômetros convencionais, o período de oscilação da bobina é muito longo, da ordem de dezenas de segundos. Esse galvanômetro tem a propriedade de integrar uma corrente impulsiva dando como resultado um deslocamento angular “a” da bobina móvel proporcional à carga total. A condição necessária para que isso ocorra é que o tempo de duração da corrente seja muito menor que o período de oscilação da bobina móvel. Normalmente, um pequeno espelho acoplado à bobina móvel reflete uma imagem luminosa de um retículo sobre uma escala graduada onde podemos fazer a leitura do deslocamento.

Ao ligarmos um galvanômetro balístico em série com a bobina, a deflexão causada pela passagem da carga é proporcional ao fluxo magnético inicial e portanto à indução magnética B .

Se desejarmos determinar o valor absoluto de B , devemos calibrar o galvanômetro. É conveniente realizar a calibração fazendo uso de uma indutância mútua padrão (ver a figura 2).

Uma fonte DC de tensão ajustável é conectada a uma chave inversora de polaridade e alimenta o primário de um transformador com núcleo de ar (indutância mútua padrão). Essa fonte estabelece uma corrente no primário cujo valor final é definido pelo valor da tensão e pela resistência do circuito primário. A chave inversora permite fazer uma inversão rápida no sentido da corrente primária. A corrente no primário do transformador estabelece um fluxo de indução magnética que se acopla ao secundário do transformador pois as bobinas primária e secundária são enroladas com espiras muito próximas umas das outras, sobre a mesma fôrma (com núcleo de ar).

De acordo as leis do eletromagnetismo, o fluxo no secundário é produzido pela corrente no primário I_1 e pela corrente no secundário I_2 . A resistência do circuito do secundário é suficientemente grande para que possamos desprezar I_2 com relação a I_1 ($I_2 \ll I_1$) de modo que o fluxo no secundário pode ser escrito como $F_2 = M_{12} I$ onde M_{12} é a indutância mútua entre as bobinas primária e secundária. Esse é um parâmetro conhecido que depende apenas da geometria de construção das bobinas.

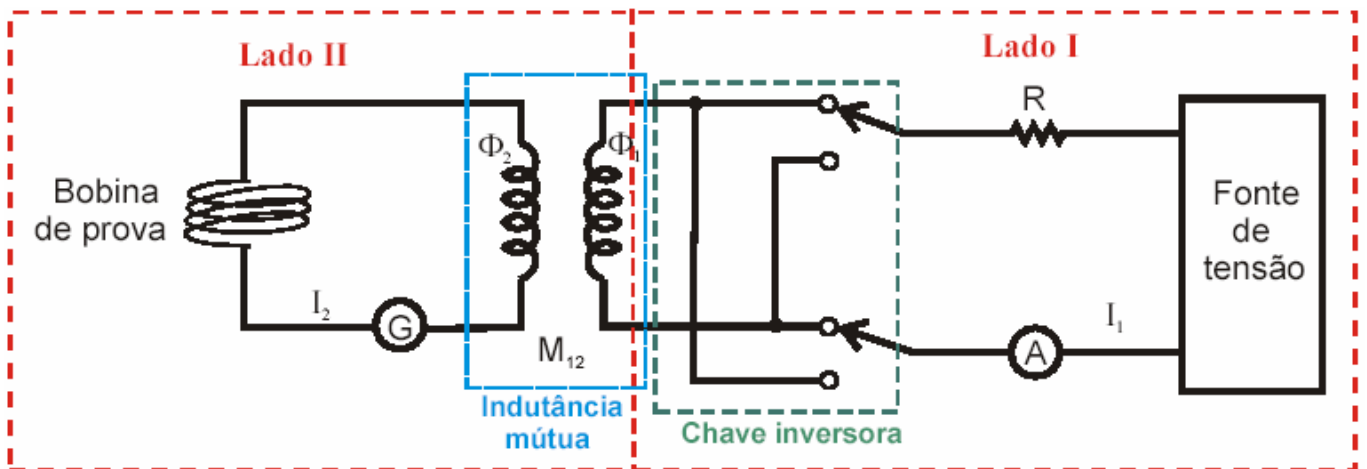


Fig. 2. Circuito de calibração do galvanômetro

Iniciando com uma corrente I_1 e em seguida invertendo-se o sentido da corrente de I_1 para $-I_1$ por meio da chave de inversão, a variação total do fluxo magnético no secundário será $2M_{12} I_1$. Pelas razões anteriormente discutidas, circulará então uma carga $Q' = (1/R \cdot 2 M_{12} I_1)$ através do secundário. Pelo fato da deflexão no galvanômetro balístico ser proporcional à carga total que passa através dele, teremos $a = C_b Q$, onde a é o ângulo de deflexão e C_b é a constante balística do galvanômetro. O ângulo de deflexão a_1 ao invertermos a corrente será então:

$$a_1 = 2C_b M_{12} I_1 / R, \text{ sendo } R \text{ a resistência total do circuito secundário.}$$

A constante balística não é conhecida mas seu valor também aparece quando retiramos rapidamente a bobina de prova da região entre os pólos do eletroímã onde havia um campo de indução magnética B e um fluxo F_o .

Sendo a_o o ângulo de deflexão obtido ao retirar a bobina da região de fluxo F_o , teremos:

$$a_o = C_b F_o / R, \text{ onde } F_o = B N S. \text{ Portanto, } a_o = C_b B N S / R$$

Dividindo a_o por a_1 a constante e a resistência podem ser eliminadas e podemos determinar B a partir dos dois ângulos de deflexão:

$$B = \left(\frac{a_o}{a_1} \right) \cdot \frac{2 \cdot M_{12} \cdot I_1}{N \cdot S}$$

III - PARTE EXPERIMENTAL

MATERIAL

1. Eletroímã (I_{\max} 1,5 A), com peças polares cilíndricas.
2. Fonte de alimentação CENCO 50 V DC, 5 A.
3. Multiteste Minipa ET-2080, 0 - 20 A, DC (medida da corrente do imã).
4. Multiteste Minipa ET-2080, 0 - 400 mA, DC (medida da corrente da indutância mútua padrão).
5. Fonte de tensão ajustável SME.
6. Chave inversora (Relê acionado por “toggle flip-flop”).
7. Indutância mútua padrão.
8. Galvanômetro balístico WPA EDSPOT.
9. Bobina de prova, com N espiras.
10. Resistência de proteção

MONTAGEM EXPERIMENTAL E PROCEDIMENTOS:

1. *Ligamos os terminais das bobinas do eletroímã na fonte de alimentação CENCO (figura 3). Esta fonte consiste de um autotransformador variável e um retificador de onda completa. Para maior exatidão na leitura da corrente de magnetização I_{mag} que circulará pelas bobinas do eletroímã utilizamos um amperímetro digital ligado em série no circuito*

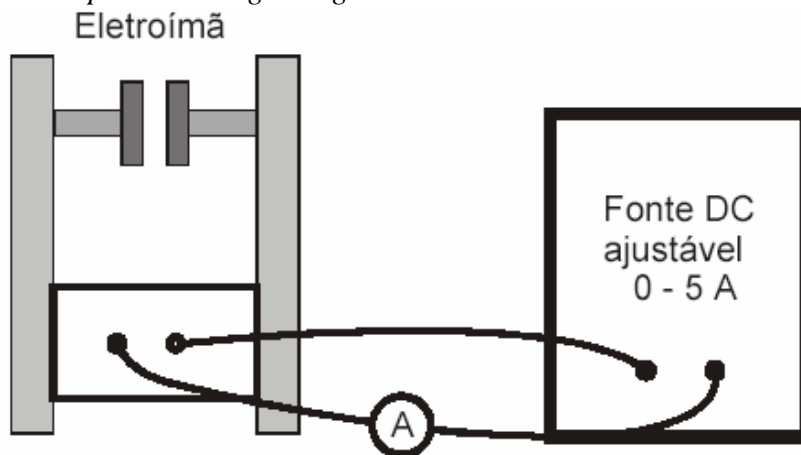


Figura 3

2. *Montamos o circuito indicado na figura 2. Nesta parte do experimento usaremos apenas o “lado II” do circuito, permanecendo o “lado I” inativo. A bobina de prova deve ser colocada no centro do espaço entre as peças polares do eletroímã, com o ângulo f (da figura 1) nulo. Fizemos as medidas da indução magnética, retirando a bobina de prova do campo magnético do eletroímã tão rápido quanto possível, pois condição de uma medida balística é que a carga total medida passe através do galvanômetro num tempo bem mais curto que o seu período. Anotamos sempre a primeira deflexão máxima, a_0 , bem como a corrente de magnetização I_{mag} . Fizemos as medidas variando a corrente de magnetização desde zero até 1,5 A, em passos de 0,1 A, em ambas as direções de corrente.*

MEDIDAS DA INDUÇÃO MAGNÉTICA COM O ELETROÍMÃ		
I_{mag} (A)	Deflexão a_0 (Lado Esquerdo)	Deflexão a_0 (Lado Direito)
0,00	0,1	- 0,2
0,10	0,6	- 0,8
0,20	1,0	- 1,2
0,30	1,5	- 1,7
0,40	2,1	- 2,3
0,50	2,5	- 2,7
0,59	3,1	- 3,2
0,70	3,6	- 3,7
0,80	4,1	- 4,2
0,90	4,3	- 4,5
1,00	5,0	- 5,1
1,10	5,5	- 5,6
1,20	5,8	- 5,8
1,30	6,0	- 6,2
1,40	6,3	- 6,3
1,50	6,5	- 6,5

Tabela -1

3. Depois de terminada essa série de medidas do campo, fazemos a calibração. Usamos agora apenas a “parte I” da figura 2, permanecendo outra “parte” inativa. Ajustamos a corrente I_1 no primário para um determinado valor. Faça uma comutação na chave inversora e observe uma deflexão a_1 no galvanômetro. Anote este valor, bem como o da corrente I_1 . Repita este procedimento para mais 10 valores de corrente, até atingir o seu valor máximo. O knob (botão) de sensibilidade do galvanômetro deve estar na mesma posição durante toda a operação de calibração e medida. O Shunt calibrado que pode existir no galvanômetro não é aplicável em medidas balísticas, portanto não o selecione.

I_1	a_1
0,4	0,2
0,8	0,5
1,2	0,7
1,6	0,9
2,0	1,1
2,4	1,3
2,8	1,6
3,2	1,7
3,6	2,0
4,0	2,2
4,4	2,5
4,7	2,6

Tabela – 2

4. A determinação de B pode ser feita, através da expressão

$$B = \left(\frac{\mathbf{a}_0}{\mathbf{a}_1} \right) \cdot \frac{2 \cdot M_{12} \cdot I_1}{N \cdot S} \quad \text{ou} \quad B = \mathbf{a}_0 \left(\frac{I_1}{\mathbf{a}_1} \right) \cdot \frac{2 \cdot M_{12}}{N \cdot S}$$

Anotamos os valores de N e S da bobina de prova, bem como o valor M_{12} da indutância mútua padrão.

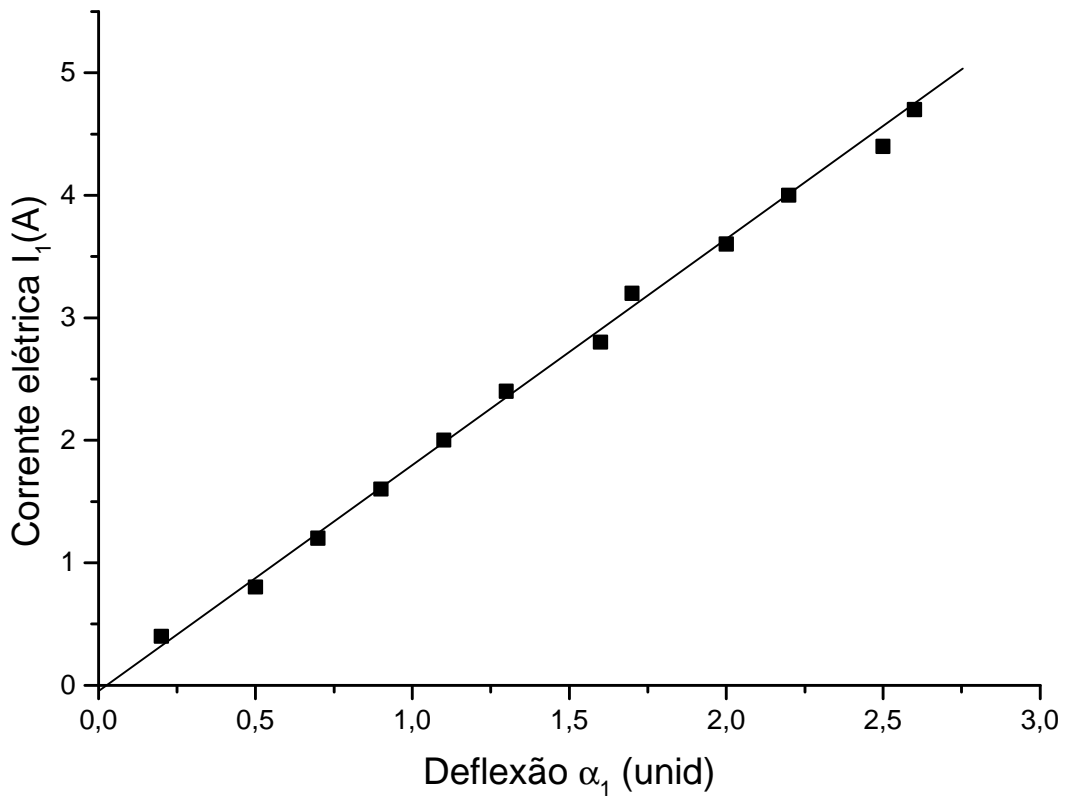
BOBINA DE PROVA	INDUTOR
$N = 25$ Espiras	381 Espiras
Diâmetro = 24,31 mm	Área = 49,76 cm ²
$S = 4,64 \cdot 10^{-4}$ m ²	$M_{12} = 0,83$ mH (Indutância mútua)

Tabela - 3

Onde temos: $\frac{2 \cdot M_{12}}{N \cdot S} = 0,143$

Vamos determinar a relação I_1/a_1 através da tabela “ 2”

GRÁFICO - $I_{\text{mag}} \propto a_1$



$$I_1 = a \cdot a_1 + b \Rightarrow a = \frac{I_1}{a_1} = 1,81 \text{ e } b = -0,015 \Rightarrow$$

A equação da melhor reta fica:

$$I_1 = 1,81a_1 - 0,015$$

Então B será dado por:

$$B = a_0 1,81 \cdot 0,143 \Rightarrow B = a_0 1,81 \cdot 0,143 \Rightarrow B = 0,259 a_0$$

Calculamos a indução magnética B e traçamos o gráfico de B em função da corrente de magnetização I_{mag} correspondente às medidas realizadas nos itens precedentes.

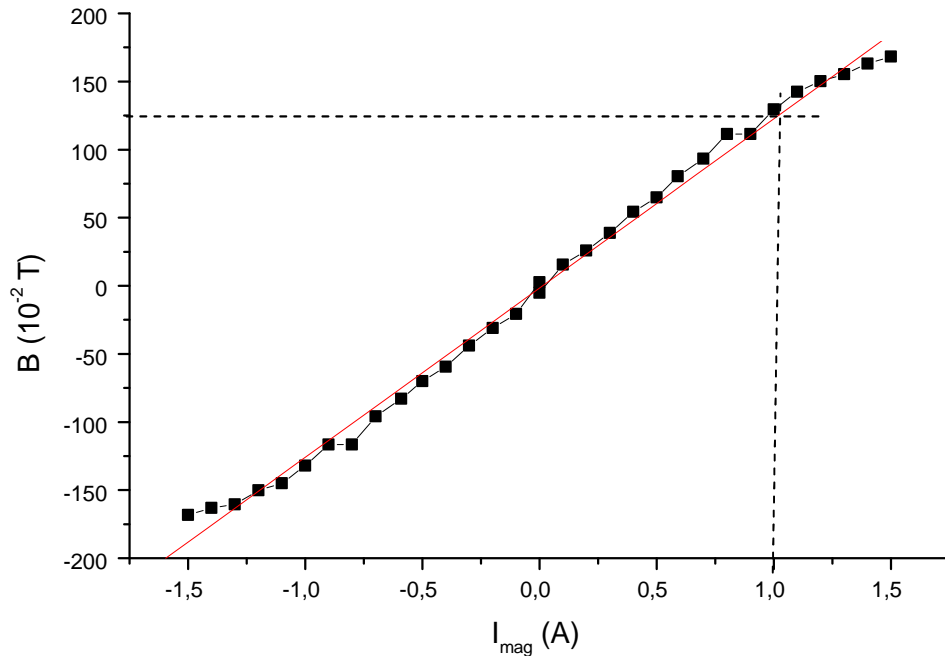
$$B = 0,259 a_0$$

I_{mag} (A)	a_0 (unid)	$B(10^{-2} \times T)$
-1,50	-6,50	-168,35
-1,40	-6,30	-163,17
-1,30	-6,20	-160,58
-1,20	-5,80	-150,22
-1,10	-5,60	-145,04
-1,00	-5,10	-132,09
-0,90	-4,50	-116,55
-0,80	-4,50	-116,55
-0,70	-3,70	-95,83
-0,59	-3,20	-82,88
-0,50	-2,70	-69,93
-0,40	-2,30	-59,57
-0,30	-1,70	-44,03
-0,20	-1,20	-31,08
-0,10	-0,80	-20,72
0,00	0,10	2,59
0,00	-0,20	-5,18
0,10	0,60	15,54
0,20	1,00	25,90
0,30	1,50	38,85
0,40	2,10	54,39
0,50	2,50	64,75
0,59	3,10	80,29
0,70	3,60	93,24
0,80	4,30	111,37
0,90	4,30	111,37
1,00	5,00	129,50
1,10	5,50	142,45
1,20	5,80	150,22
1,30	6,00	155,40
1,40	6,30	163,17
1,50	6,50	168,35

Tabela - 4

Com base na tabela – 4, construímos o gráfico $B \times I_{\text{mag}}$

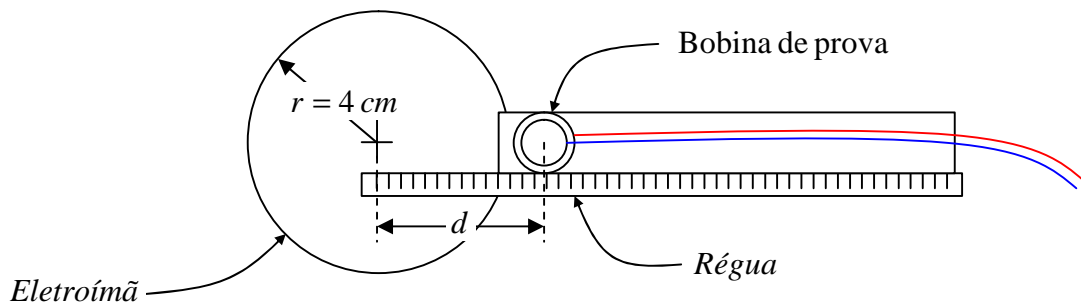
GRÁFICO - $B \times I_{\text{mag}}$



OBS.: Os sinais negativos da corrente e do campo são devido à inversão do sentido da corrente na chave comutadora.

$$B = 124,31I_{\text{mag}} - 1,69 \Rightarrow I = 1 \text{ A} \quad B = 122,62 \times 10^{-2} \text{ T}$$

- Para um dado valor fixo de corrente “1 A” medimos a homogeneidade do campo, colocando a bobina de prova à distâncias diferentes (gradualmente) do eixo das peças polares, tanto no interior quanto no exterior do eletroímã. Para tanto utilizamos uma régua graduada fixada numa das peças polares.



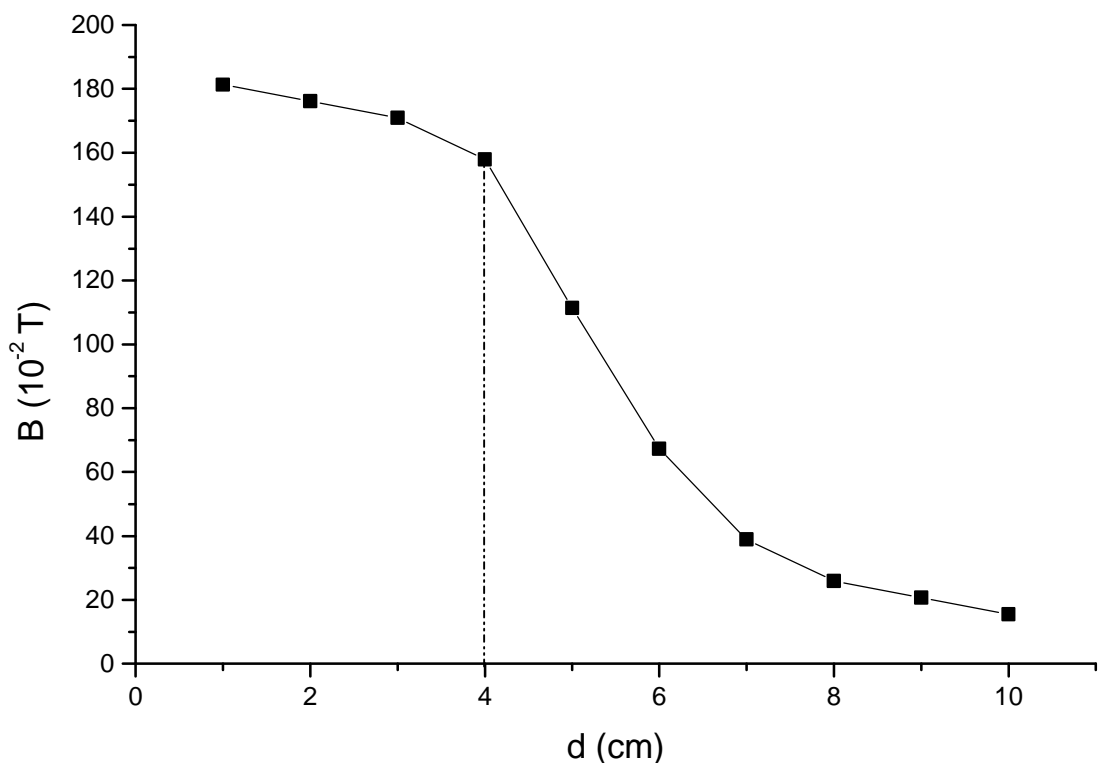
E construímos a tabela a seguir onde $B = 0,259 a$:

d(cm)	a (unid)	B (10^{-2} T)
1,0	7,0	181,30
2,0	6,8	176,12
3,0	6,6	170,94
4,0	6,1	157,99
5,0	4,3	111,37
6,0	2,6	67,34
7,0	1,5	38,85
8,0	1,0	25,90
9,0	0,8	20,72
10,0	0,6	15,54

Tabela - 5

Com base na tabela – 5, traçamos o gráfico da indução magnética B em função da posição medida “d” com relação ao eixo do eletroímã.

GRÁFICO - B ´ d



IV – CONCLUSÃO

Neste experimento conseguimos investigar o campo magnético entre as peças polares de um eletroímã, como função da corrente magnética e também função da distância ao eixo e verificamos que o campo aumenta com a corrente de magnetização e que na região interna ao eletroímã ele é quase uniforme e vai diminuindo a medida que nos afastamos do centro da bobina..

V - BIBLIOGRAFIA

Física, Halliday D. e Resnick R. vol 3, 4a ed.