



## LABORATÓRIO DE CONVERSÃO ELETROMECAÂNICA DE ENERGIA

### PRÁTICA #1 - CIRCUITOS MAGNÉTICOS (2 aulas)

**Professor:** Luís Fernando Costa Alberto.

**Alunos:** \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

#### TABELA DE AVALIAÇÃO

Item Avaliado	Nota
Esquema proposto de aparato experimental para realização da prática	
Escolha e Utilização correta de equipamentos na montagem	
Organização da montagem	
Condução cuidadosa e criteriosa dos experimentos	
Relatório	
<b>Média</b>	

#### OBJETIVOS:

O principal objetivo desta prática é o estudo experimental de circuitos magnéticos. Espera-se que o estudante compreenda a curva de magnetização  $B \times H$  de núcleos ferromagnéticos, verificando efeitos de saturação e histerese, visualize a não linearidade da corrente de excitação (magnetização) em corrente alternada, verifique o efeito do entreferro em circuitos magnéticos e aprenda a calcular forças/torques em circuitos ferromagnéticos.

#### DISPOSITIVO EM ESTUDO

O dispositivo em estudo é um eletroímã com núcleo ferromagnético e duas bobinas, conforme mostrado na Figura 1.

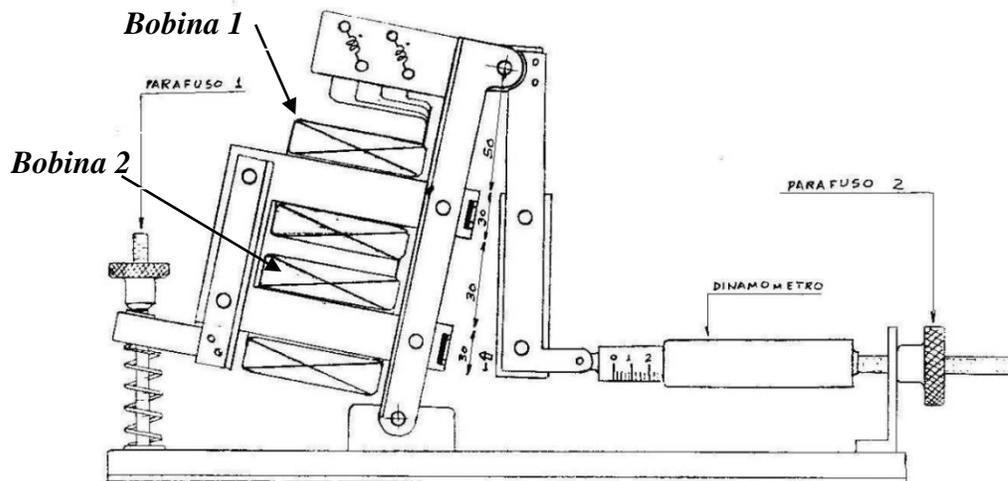


Figura 1 - Eletroímã.

### Valores Nominais e Máximos

- Bobinas em paralelo: **a máxima corrente é 5,0 A.**
- Bobinas em série: **a máxima corrente é 2,5 A.**

### PROBLEMA:

Forças em circuitos magnéticos são muito utilizadas, por exemplo, para o acionamento de válvulas ou interruptores. O projeto destes dispositivos exige o dimensionamento dos circuitos elétricos e magnéticos para que uma força desejada seja aplicada à parte móvel do circuito. O problema a ser resolvido nesta prática de laboratório é um problema um pouco mais simples que o problema de projeto.

Dado o circuito magnético da Figura 1, disponível no laboratório, estime, com base nas dimensões e dados do circuito magnético, o torque exercido no braço móvel do aparato quando uma corrente contínua circula em ambas as bobinas e o entreferro possui uma determinada distância. Vamos considerar as seguintes situações:



- 1)  $I = 0,5$  A e entreferro 1,6 mm (inferior)
- 2)  $I = 0,9$  A e entreferro 1,6 mm (inferior)
- 3)  $I = 1$  A e entreferro 3,2 mm (inferior)
- 4)  $I = 2$  A e entreferro 3,2 mm (inferior)

**Relatório 1: Determine experimentalmente e indique no espaço abaixo as dimensões do circuito magnético:**

**Dados Geométricos do Núcleo**

Comprimento do núcleo de ferro  $l_{fe} =$

Secção transversal do núcleo  $A =$

Número de espiras de cada bobina  $N =$

Além dos parâmetros geométricos do circuito ferromagnético, será necessário conhecer a curva de magnetização do material ferromagnético. Para obter esta curva experimentalmente, utilizaremos o circuito da Figura 2, sendo  $V_x$  a tensão do eixo horizontal do osciloscópio e  $V_y$  a tensão do eixo vertical.

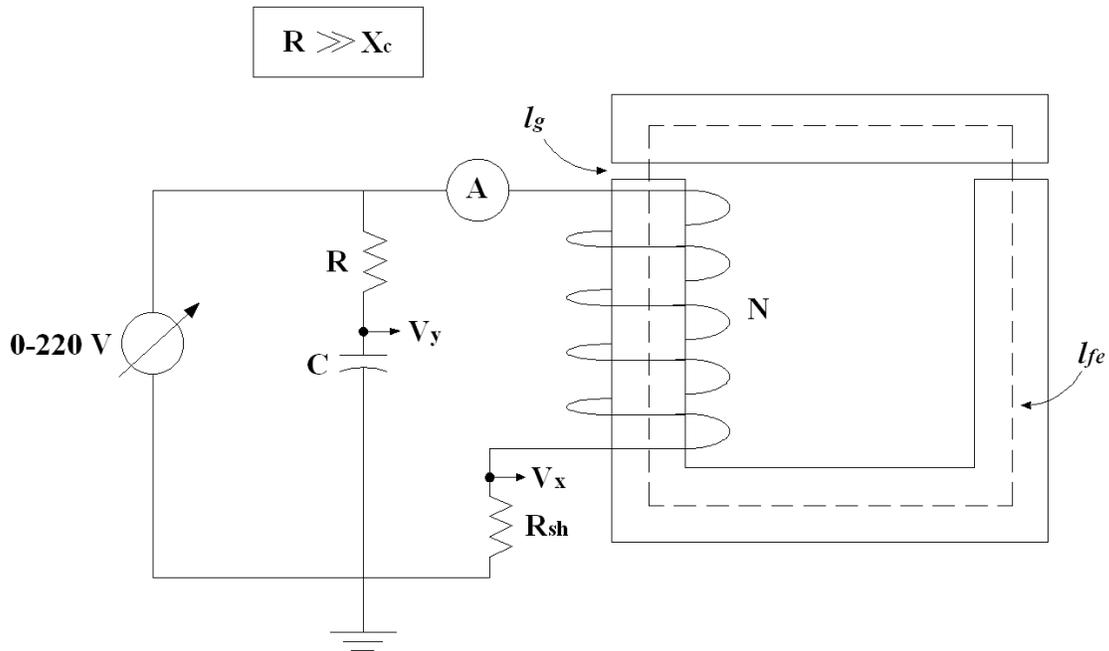


Figura 2 - Montagem para obter a curva de magnetização. (Valores:  $R_{sh} = 1\Omega$ ,  $R = 1M\Omega$ ,  $C = 10\mu F$ )

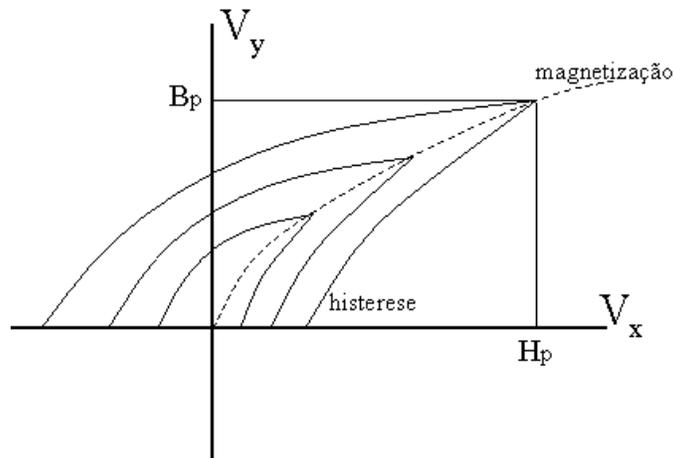


Figura 3 - Curva de magnetização.



**Relatório 2:** Analise o circuito e mostre que a tensão  $V_x$  é proporcional à intensidade de campo magnético  $H$  e que  $V_y$  é proporcional à densidade de fluxo magnético  $B$ . Determine as constantes de proporcionalidade. (**Sugestão:** Considere que  $R \gg X_c$  e admita que a corrente no ramo  $RC$  está em fase com a tensão aplicada);



**Relatório 3:** Monte o circuito e obtenha o laço de histerese do eletroímã sem e com entreferro variando a tensão de alimentação CA até um valor máximo de 220V. Atente-se e anote as diferenças. Trace uma curva  $B \times H$  e  $\mu_r \times H$  para o caso sem entreferro e indique se ocorre saturação do material ferromagnético.

*A curva de magnetização do núcleo pode ser aproximada pelos vértices dos laços de histerese, quando se varia gradualmente a amplitude da tensão aplicada (Figura 3). Com o auxílio do osciloscópio, obtenha a figura de Lissajous para diferentes valores de tensão  $V$  e, a partir destes, obtenha dados suficientes para traçar a curva de magnetização  $B \times H$  sem entreferro.*

Verifique a forma de onda da corrente no eletroímã em tensão nominal (220 V). A corrente é senoidal?

Visualize a forma de onda da corrente nas situações com e sem o entreferro. Atente-se e anote as diferenças.



Muitas vezes, não temos disponível aparato laboratorial para conferir as contas e estimativas. Este aparato, por ser dispositivo didático, possui um dinamômetro que permite a medição do torque produzida na haste.

**Proposta de Aparato Experimental:** Proponha um diagrama eletromecânico de aparato experimental para medir experimentalmente o torque produzido pelo dinamômetro nas 4 situações acima indicadas. (**Observação:** Desenhe o esquema de ligações e peça autorização para o professor para montar o circuito. Sugere-se conectar as bobinas em série no experimento em corrente contínua.)

Diagrama:

Descrição breve dos Procedimentos Experimentais:



**Relatório 4:** Utilize o aparato experimental proposto e determine experimentalmente o torque produzido pelo solenóide para as 4 situações anteriormente indicadas:

**Relatório 5:** Valide os cálculos e compare com os valores de torque obtidos experimentalmente. Discuta a causa das diferenças entre os valores medidos e os calculados.



## SUGESTÕES E PRECAUÇÕES

**Precaução 1)** O aparato possui duas bobinas ligadas no mesmo circuito magnético. É necessário observar a polaridade correta para que fluxos magnéticos sejam produzidos no mesmo sentido do circuito magnético. Proponha e discuta com o professor um teste para verificar a polaridade das bobinas (Determinação dos pontos em circuitos magnéticos acoplados).

**Precaução 2)** Não exceda as correntes máximas nominais das bobinas.

**Precaução 3)** Cuidado para não prender os dedos no entreferro quando a bobina é energizada.

**Precaução 4)** O ferro do núcleo da bobina esquenta em corrente alternada. Cuidado para não se queimar.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] P. C. Sen, *Principles of Electric Machine and Power Electronics*, Wiley, 2013
- [2] G. McPersonn and R. D. Laramore, *Electrical Machines and Transformers*, John Wiley & Sons, 1981
- [3] A. E. Fitzgerald, C. Kingsley Jr., S. D. Umans, *Electric Machinery*, McGraw-Hill, 2003.