

# Indução Magnética

Física II, 2025/2026

José Luís Argáin, Dário Passos

## 1 Resumo

Neste trabalho pretende-se estudar o fenómeno da indução magnética. Para isto, um campo magnético, de intensidade e frequência variáveis, é produzido num solenoide longo. Dentro deste último são introduzidas bobinas de indução mais pequenas, nas quais as tensões induzidas são medidas como função do número de espiras que possuem, do seu raio, da intensidade da corrente que origina o campo magnético e da frequência a ela associada.

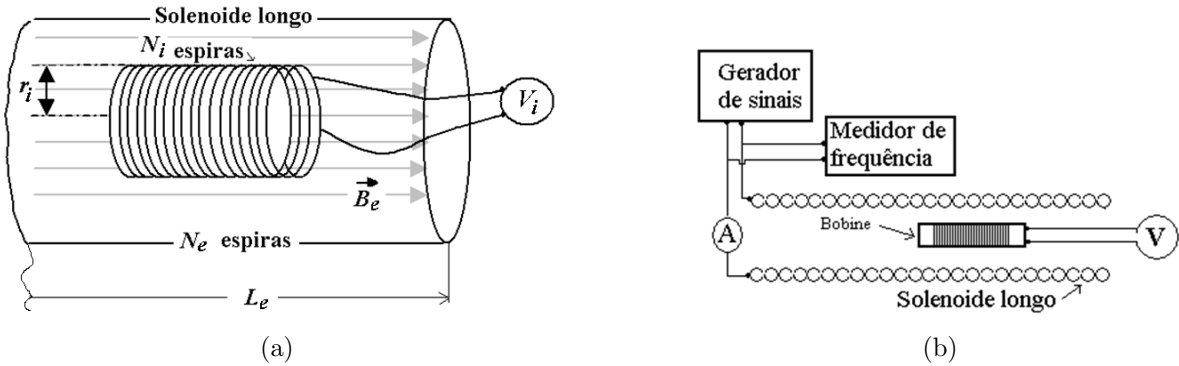


Figura 1: a) Indução magnética numa bobine de raio  $r_i$  e  $N_i$  espiras, por um campo magnético uniforme ( $\vec{B}_e$ ), produzido por um solenoide longo, de comprimento  $L_e$  e  $N_e$  espiras. b) Esquema da montagem experimental.

## 2 Fundamento teórico

Uma bobina (ou solenóide) longa (solenóide exterior), de comprimento  $L_e$  e número de espiras  $N_e$ , é percorrida por uma corrente alternada sinusoidal,  $I_e$  (ver Fig. 1a),

$$I_e = I_0 \cos(2\pi f_e t + \phi), \quad (1)$$

em que  $I_0$  é amplitude máxima da corrente,  $f_e$  a sua frequência e  $\phi$  representa a fase inicial. No interior desta bobina grande produz-se um campo magnético alternado uniforme,  $B_e$ . Neste caso, a Lei de Faraday prevê o aparecimento de uma tensão induzida  $V_i$ , aos terminais da bobina interior, dada por:

$$V_i = V_0 \cos(2\pi f_e t + \psi), \quad (2)$$

em que a amplitude máxima é dada por

$$V_0 = \frac{2\pi^2\mu_0 N_e I_e f_e N_i r_i^2}{L_e}, \quad (3)$$

e  $\psi$  é a fase inicial de  $V_i$ . Na expressão anterior  $\mu_0$  é uma constante universal denominada *permeabilidade magnética do vácuo*, a qual numa muito boa aproximação pode ser dada por  $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$  T/(m.A). Nesta configuração a bobine exterior é chamada bobine indutora e a interior bobine de indução.

Se numa determinada experiência se usar sempre a mesma bobina exterior e se variar apenas as características da corrente exterior e da bobina interior, a equação anterior pode ser escrita na forma

$$V_0 = A(I_e f_e N_i r_i^2), \quad (4)$$

com

$$A = \frac{2\pi^2\mu_0 N_e}{L_e}. \quad (5)$$

Se se variar, de cada vez, apenas um dos parâmetros entre parêntesis na equação anterior, é fácil verificar que  $V_0$  será uma função linear do parâmetro variado ( $I_e$ ,  $f_e$ ,  $N_i$  ou  $r_i^2$ ), isto é, o gráfico de  $V_0$  em função desse parâmetro será uma reta. Neste experiência, verificar-se-á a validade da (4)<sup>1</sup>.

Consideremos, por exemplo, o caso em que só variamos  $I_e$  e fixamos  $f_e$ ,  $N_i$  e  $r_i^2$ . Por conveniência, a equação (4) pode ser escrita como

$$V_0 = \underbrace{A(f_e N_i r_i^2)}_{a_t} \times \underbrace{I_e}_x + \underbrace{0}_{b_t}. \quad (6)$$

Medindo um conjunto de pontos ( $I_e$ ,  $V_0$ ) podemos determinar o declive da reta experimental e compará-lo com  $a_t$ . Um procedimento análogo é feito com as restantes 3 variáveis.

### 3 Materiais

Os materiais usados são (ver figura 2): Um solenoide longo, cinco bobines pequenas, um gerador de sinais, um medidor de frequência digital (para o caso de o gerador de sinais não ter um visor incorporado), um multímetro, um voltímetro e fios de ligação.

### 4 Procedimento experimental

Na Fig. 1b mostra-se como efetuar a montagem experimental. A corrente que passa pelo solenoide longo é medida com o amperímetro e o valor da sua frequência é medido no gerador de sinais ou com a ajuda de um medidor de frequências digital. O efeito da variação da frequência da corrente associada ao campo magnético na tensão induzida deve ser estudado no intervalo de frequências de 1 kHz a 8 kHz dado que, para valores de  $f < 0.5$  kHz, a ligação do solenoide longo é praticamente equivalente a fazer o curto-circuito da fonte de alimentação; por outro lado, para  $f > 10$  kHz a incerteza nas medições é muito elevada. A tensão induzida é medida com o multímetro digital. O seletor do tipo de sinal do gerador deverá apontar sempre para o sinal sinusoidal. As bobines pequenas deverão ser colocadas o mais ao centro possível do solenoide longo, por ser esta a região onde o campo magnético é completamente uniforme.

<sup>1</sup>Note-se que por tratar-se de grandezas elétricas variáveis no tempo, os instrumentos de medida usados nesta experiência (amperímetro e voltímetro) não têm a capacidade de ler os valores instantâneos das tensões e das correntes, mas apenas os seus valores eficazes. No entanto, é possível mostrar que a expressão (4) permanece válida, mesmo para valores eficazes de  $I$  e  $V$ .



Figura 2: Instalação experimental.

#### 4.1 Determinação da tensão induzida em função da intensidade da corrente geradora do campo magnético

1. Fixar  $f_e = 1$  kHz nos botões reguladores de frequência do gerador de sinais;
2. Escolher uma das bobines, ligá-la ao voltímetro e introduzi-la no solenóide. Desta forma já estão fixos os parâmetros  $f_e$ ,  $N_i$  e  $r_i$  ( $N_i$  e  $r_i$  são lidos na referência da bobine);
3. Variar a corrente a partir dos 10 mA, com intervalos de 10mA, até atingir os 80 mA;
4. Registrar numa tabela o valor de  $V_i$  para cada valor de  $I_e$ .

#### 4.2 Determinação da tensão induzida em função da frequência da corrente geradora do campo magnético

1. Manter a mesma bobine do ponto anterior e fixar uma corrente  $I_e = 30$  mA no botão regulador da amplitude do sinal. Desta forma já estão fixos os parâmetros  $I_e$ ,  $N_i$  e  $r_i$ ;
2. Variar  $f_e$  a partir de 1 kHz, com intervalos aproximados de 0.5 kHz, até atingir os 8 kHz. Note-se que a variação de  $f_e$  pode alterar  $I_e$ . Por esta razão, sempre que se variar  $f_e$ , o valor de  $I_e$  deve ser ajustado para o valor  $I_e = 30$  mA;
3. Registrar numa tabela o valor de  $V_i$  para cada valor de  $f_e$ .

#### 4.3 Determinação da tensão induzida em função do número de espiras da bobine de indução

1. Fixar  $I_e = 30$  mA e uma frequência  $f_e = 1$  kHz;
2. Escolher as bobines com o mesmo raio,  $r_i$ . Deste modo já estão fixos os parâmetros  $I_e$ ,  $f_e$  e  $r_i$ ;
3. Para cada uma das bobines escolhidas (i.e., para cada  $N_i$ ) medir  $V_i$  e anotar os valores numa tabela.

#### 4.4 Determinação da tensão induzida em função do raio das bobines de indução

1. Fixar  $I_e=30$  mA e uma frequência  $f_e=1$  kHz;
2. Escolher as bobines com o mesmo valor de  $N_i$  (tipicamente 3 bobines). Desta forma já estão fixos os parâmetros  $I_e$ ,  $f_e$  e  $N_i$ ;
3. Para cada uma das bobines escolhidas (i.e., para cada  $N_i$ ) medir  $V_i$  e anotar os valores de  $V_i$  e  $r_i$  numa tabela.

### 5 Análise dos resultados obtidos

Em todos os cálculos use as unidades no sistema SI.

#### 5.1 Intensidade de corrente variável

Construir um gráfico de  $V_i$  em função de  $I_e$ . Ajuste uma reta de regressão linear ( $y = ax + b$ ) ao gráfico, calculando o declive,  $a$ , a ordenada na origem,  $b$ , e os seus respetivos erros,  $\delta a$  e  $\delta b$ . Para isto, recomenda-se usar a função proj.lin do *software* Excel (ver seção 4.3 da sebenta "Fundamentos de Análise de Dados", na tutoria eletrónica). Note que o *software* Excel está acessível a todos os alunos da UAlg, no pacote Microsoft Office 365;

Calcule o declive teórica da reta,  $a_t$  como mostrado na equação (6) e verifique se o declive esperado  $a^t \in [a - \delta a, a + \delta a]$ . Determine também o erro relativo percentual, de  $a$  em relação a  $a^t$ .

Para os restantes três casos, proceda de modo similar.

Retires conclusões dos resultados obtidos.