

# Lei da Indução de Faraday

Universidade de Aveiro(*UA*)

Guilherme Duarte Alves  
João Afonso Pereira Ferreira,  
Rafael Luís Ferreira Curado



VERSAO 1

# TRABALHO 2.1: LEI DA INDUÇÃO DE FARADAY

*Mecânica e Campo Electromagnético*

Guilherme Duarte Alves  
João Afonso Pereira Ferreira,  
Rafael Luís Ferreira Curado

DETI - Departamento de Electrónica, Telecomunicações  
e Informática

Mestrado Integrado em Engenharia de Computadores e  
Telemática (MIECT) &

Licenciatura em Engenharia de Computadores e  
Informática (LECI)

(103185) guilherme.alves@ua.pt,  
(103037) ferreiraafonsojoao@ua.pt,  
(103199) rafael.curado@ua.pt

20/12/2021

# Índice

<b>1</b>	<b>Resumo</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Objetivos</b>	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>Introdução</b>	<b>3</b>
3.1	Magnete - Queda Livre . . . . .	5
<b>4</b>	<b>Procedimento Experimental &amp; resultados</b>	<b>6</b>
4.1	Procedimento Experimental . . . . .	7
4.2	Material . . . . .	7
4.3	Resultados . . . . .	7
<b>5</b>	<b>Análise e Tratamento de Dados</b>	<b>9</b>
5.1	Cálculos . . . . .	10
5.2	Estratégias de melhoramento do resultado obtido . . . . .	11
<b>6</b>	<b>Conclusões</b>	<b>12</b>
<b>7</b>	<b>Contribuições</b>	<b>13</b>

# Capítulo 1

## Resumo

Nesta atividade experimental (*Trabalho 2.1: Lei de Faraday*) tem como objetivo predominante compreender, de forma experimental, a lei de Faraday. Desta forma, recorreu-se ao laboratório para testar e observar, com precisão, a lei de Faraday e os fatores que afetam a sua mesma aplicação, bem como, procurar conhecer a relação entre as variações no fluxo magnético e a força eletromotriz e corrente elétrica e tensão. Esta atividade laboratorial resume-se na queda livre de um ímã(3.1) e realizou-se com o auxílio do programa de captação de dados: *PASCO® Capstone* fornecido pelo docente da prática de Mecânica e Campo Electromagnético (MCE).

## Capítulo 2

# Objetivos

- Compreender, de uma perspectiva experimental, a lei da indução de Faraday.
- Identificar os parâmetros que afetam a aplicação da lei de indução de Faraday.
- Investigar a relação entre as variações no fluxo magnético e a força eletromotriz induzida.
- Com esta temática pretende-se clarificar e observar na prática em que consiste a lei de Faraday

## Capítulo 3

# Introdução

A **Lei de Faraday**, formulada em 1831, é uma lei de eletromagnetismo que tem como mecanismo prever como é que um campo magnético interage com um campo elétrico produzindo aquilo que se chama de força eletromotriz induzida (f.e.m - indução eletromagnética). As aplicações desta lei são inúmeros, tais como:

- Geradores elétricos
- Transformadores elétricos
- Motores induzidos
- Placas de indução de cozinha
- Comboios de levitação, etc

A f.e.m é possível obter-se através da seguinte fórmula:

$$\epsilon = -N \frac{d\Phi}{dt}$$

- em que o  $N$  é o número de espiras da bobina e o  $\phi$  o fluxo magnético que passa através da espira.

Falando no fluxo magnético que passa através da espira, este depende da área da bobina ( $A$ ), do ângulo ( $\theta$ ) entre as linhas de campo e o vetor normal ( $90^\circ$ ) ao plano da bobina e da intensidade do campo magnético ( $B$ ):

$$\Phi = BA \cos(\theta),$$

Sendo assim, caso o Ângulo ( $\theta$ ) for  $90^\circ$  ou a intensidade do campo magnético ( $B$ ) for 0, o fluxo magnético será 0 ( $\Phi = 0$ ) - Fig.3.1. Qualquer alteração na intensidade do campo magnético, na área da bobina, ou no ângulo resulta numa f.e.m. induzida que pode ser medida com um galvanómetro e usado para demonstrar os princípios da indução (Fig.3.2).

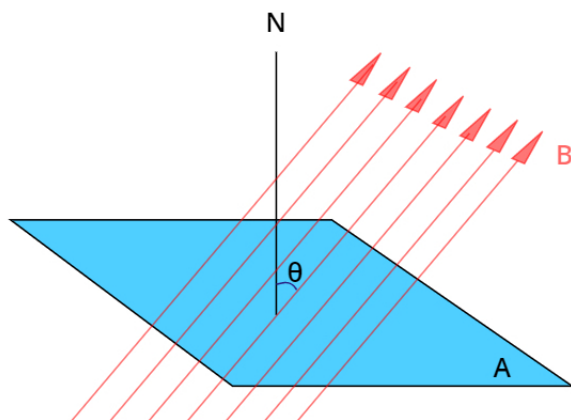


Figura 3.1: Fluxo magnético sob um campo magnético de área  $A$  com intensidade  $B$ .

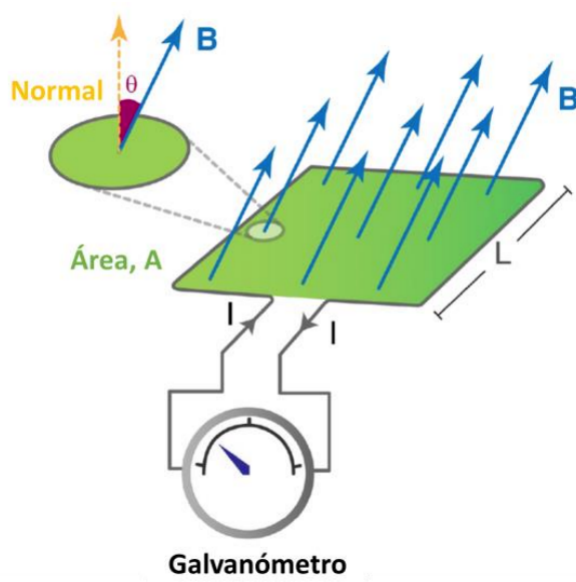


Figura 3.2: Circuito elétrico com um galvanómetro e uma bobina quadrada, sob um campo magnético com intensidade  $B$  e direção.

### 3.1 Magnete - Queda Livre

Queda livre de qualquer objeto é o movimento resultante da aceleração provocada pela gravidade. A existência de uma força eletromotriz induzida sob um circuito condutor fechado origina, desta maneira, uma corrente elétrica e, como existe uma resistência elétrica do solenóide, advém uma dissipação de energia. A partir da *Lei de Lenz*, esta que é uma consequência da conservação de energia, é possível prever que o íman sofrerá uma força magnética contrária ao seu movimento ou de afastamento do solenóide. Isto é, quando o magnete é movimentado junto do solenóide, devido à existência da corrente induzida, o íman sofre uma ligeira travagem, um campo magnético oposto ao do magnete em barra. Se o fluxo aumenta, a tensão cria uma corrente que gera um fluxo negativo, o que explica o sinal negativo na fórmula do cálculo da f.e.m apresentada anteriormente. Como a massa do magnete é muito maior do que as forças magnéticas atuadas no mesmo, aproxima-se então de um movimento de queda livre. A velocidade do centro do magnete, largada do repouso é calculada por:

$$v = \sqrt{2gh},$$

onde  $g$  é a força da gravidade e  $h$  a distância entre o centro do íman ao centro do solenóide(3.1) em que  $v_o = 0$ .

A utilização de um *LED* conectado ao solenóide (Figura 2) pode dar uma indicação de força eletromotriz induzida

$$\Phi(t) = B_{max} A e^{(-\frac{(y(t)-y_0)^2}{\sigma})},$$

onde  $y$  representa a coordenada do magnete,  $y_0$  é a coordenada do centro do solenóide,  $B_{max}$  é o valor máximo da intensidade do campo magnético, e  $\sigma$  é um parâmetro que descreve a diminuição da intensidade do campo magnético.



## Capítulo 4

# Procedimento Experimental & resultados

Com o auxílio da ferramenta *PASCO® Capstone*, já referida anteriormente(1), realizou-se a experiência de, a partir do íman em repouso, largar o corpo de forma a este passar pela bobina e ser possível a partir desta ferramenta visualizar a corrente elétrica, a tensão ao longo do tempo deste movimento. Na Fig. 4.1 é possível observar-se a composição do circuito desta atividade.

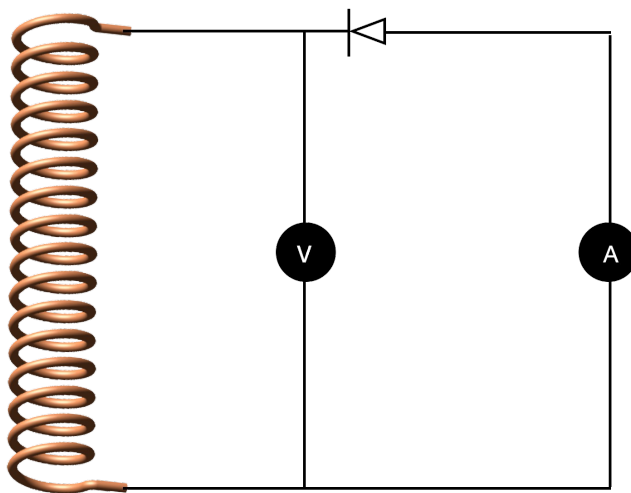


Figura 4.1: Circuito - Atividade Laboratorial

## 4.1 Procedimento Experimental

Começou-se por conectar os terminais da bobina aos terminais do LED, assim como um voltímetro. Primeiramente colocou-se o magnete a uma distância(referenciada anteriormente em 3.1) de 0.225 metros. De forma, a ser possível concluir algo com esta experiência, optou-se por libertar o íman de diferentes distâncias e observar as diferenças. Assim, largou-se o magnete a uma distância de 0.26 metros e, por fim, 0.163 metros. Para cada uma destas distâncias, foram repetidas 2 vezes(uma com magnete com o polo norte para baixo e outra com o sul para baixo), libertou-se o magnete de forma a passar junto da bobina. Foram realizadas várias medidas por parte da ferramenta(*PASCO® Capstone*) fornecida pelo docente, entre estas o tempo( $t$ ), corrente elétrica( $I$ ) e tensão( $U$ ) - ver secção 4.3.

## 4.2 Material

- Bobina com N espiras
- Magnetes
- LEDs
- Fita métrica

## 4.3 Resultados

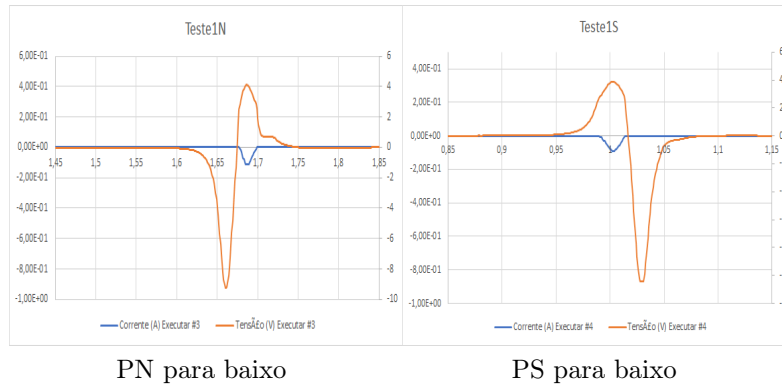
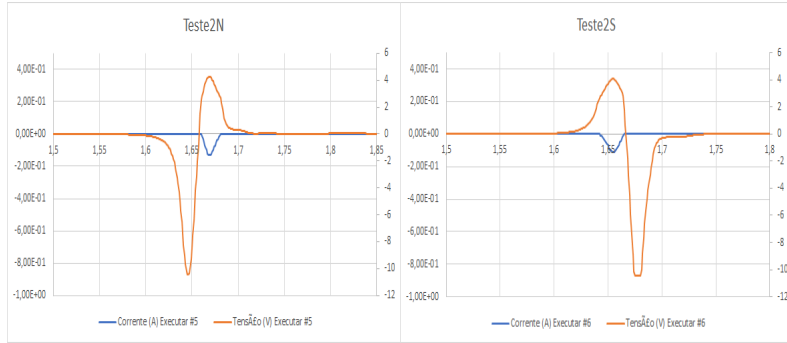


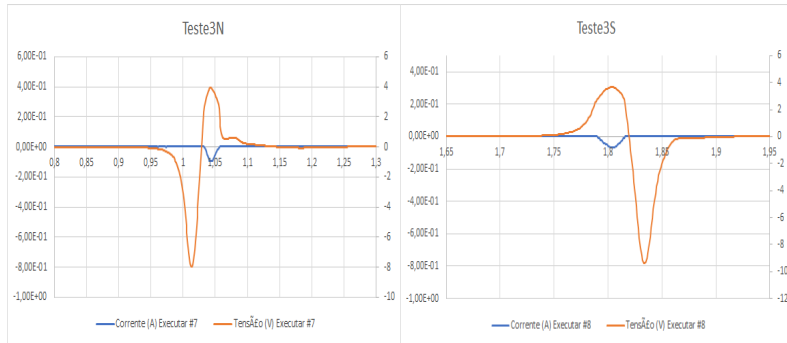
Figura 4.2:  $d = 0.163\text{m}$  ( $v \approx 1.79\text{ m/s}$ )



PN para baixo

PS para baixo

Figura 4.3:  $d = 0.225\text{m}$  ( $v \approx 2,1 \text{ m/s}$ )



PN para baixo

PS para baixo

Figura 4.4:  $d = 0.26\text{m}$  ( $v \approx 1,26 \text{ m/s}$ )

## Capítulo 5

# Análise e Tratamento de Dados

Analisando os resultados, se o magnete se aproxima da bobina, é induzida uma corrente elétrica contrária ao sentido dos ponteiros de relógio na bobina, com o pólo norte voltado para o magnete, repelam-se. Assim, quando o íman se afasta, a corrente, no sentido dos ponteiros do relógio, o pólo sul está apontado para a bobina, e a força é então de atração. O que explica então os gráficos apresentados na secção 4.3 em que o PN está virado para baixo, e claramente acontece exatamente o contrário, caso estivermos a falar do PS virado para baixo.

Falando dos parâmetros que afetam a aplicação da *Lei de Faraday*: caso queiramos mover o magnete muito lentamente através da bobina, para notar as diferenças, vai ser gerado uma pequena tensão uma vez que a mudança no tempo é muito grande.

A variação do fluxo magnético afeta o valor da f.e.m induzida? A resposta é sim, uma vez que observando a fórmula de cálculo da mesma(3), esta é dependente conforme a variação do fluxo magnético ao longo do tempo.

Ao analisar os dados podemos concluir que durante o procedimento experimental, que a maior fonte de erro seja, efetivamente, o ressalto do íman, bem como o ângulo de incidência do íman ao longo da bobina e a forma de introdução do magnete.

## 5.1 Cálculos

$$B = \frac{\mu_o i}{2R}$$

B =	1,76614E-06	T	d=0.163PN
B =	1,44503E-06	T	d=0.163PS
B =	2,08726E-06	T	d=0,225PN
B =	1,76614E-06	T	d=0,225PS
B =	1,44503E-06	T	d=0,26PN
B =	1,12391E-06	T	d=0,26PS

Figura 5.1: Intensidade de campo magnético

fluxo	2,82583E-07	Wb	d=0.163PN
fluxo	2,31204E-07	Wb	d=0.163PS
fluxo	3,33961E-07	Wb	d=0,225PN
fluxo	2,82583E-07	Wb	d=0,225PS
fluxo	2,31204E-07	Wb	d=0,26PN
fluxo	1,79825E-07	Wb	d=0,26PS

Figura 5.2: Fluxo Magnético

e=	-1,495E-06
e=	-1,651E-06
e=	-2,385E-06
e=	-2,355E-06
e=	-1,284E-06
e=	-1,499E-06

Figura 5.3: Força Eletromotriz

## 5.2 Estratégias de melhoramento do resultado obtido

1. adição de um material capaz de dissipar a energia mecânica do magnete quando ele cai na mesa para que a probabilidade de existirem ressaltos seja diminuída
2. alteração do design do mecanismo tornando-o cilíndrico para que funcione melhor com o íman usado(de forma cilíndrica) melhorando o encaixe do magnete no mecanismo e removendo assim a probabilidade de existir uma inclinação no magnete
3. Adição de um pino no topo do tubo de queda para que a altura de queda do magneto seja mais precisa eliminando o fator humano

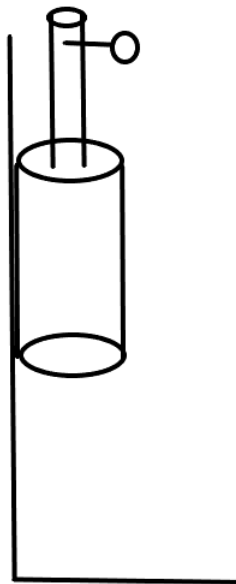


Figura 5.4: Exemplo Estratégia

## Capítulo 6

# Conclusões

Em suma, atingiram-se todos os objetivos propostos, como compreender a lei de Faraday, do lado experimental, identificou-se também os parâmetros que afetam a aplicação, bem como a maior fonte de erro. Para a realização deste relatório recorreu-se essencialmente à pesquisa nos seguintes livros: [1] & [2] & [3]

## Capítulo 7

# Contribuições

Todos os autores deste projeto contribuíram de igual forma na parte experimental e na parte do relatório, deste modo a contribuição de cada um é de 33 %.



# Acrónimos

**MIECT** Mestrado Integrado em Engenharia de Computadores e Telemática

**LECI** Licenciatura em Engenharia de Computadores e Informática

**MCE** Mecânica e Campo Electromagnético

# Bibliografia

- [1] R. A. S. J. W. J. R. J. Beichner, «Physics for scientists and engineers with modern physics», 2000.
- [2] Alonso;Finn, «Física - um curso universitário, vol. 1, 3<sup>a</sup> edição, editora Edgard Blucher: Cap.5 e 7.», 1981.
- [3] R. R. ; D. Halliday, «Física, vol 2, 4<sup>a</sup> ed., editora Livros Técnicos e Científicos», 1990.