

5

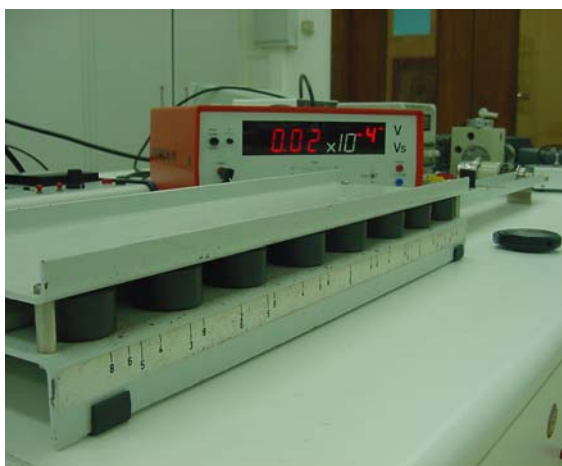
Produção de energia eléctrica A indução electromagnética

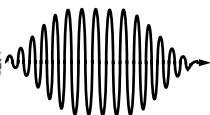
- *Exemplificar um método de transformação de energia mecânica em energia eléctrica*
- *Compreender a aplicação da Lei de Faraday a um circuito simples*
- *Identificar os parâmetros que afectam a indução eléctrica num circuito*
- *Compreender os princípios físicos subjacentes ao funcionamento dos geradores de energia eléctrica*

Introdução

A transformação de energia mecânica em energia eléctrica pode ser realizada através de dispositivos muito simples. A relativa complexidade dos geradores eléctricos comuns (dínamos e alternadores) é devida à sua optimização em termos de eficiência e não devida à dificuldade intrínseca do processo.

Na Fig. 1 está representado um processo muito simples de produzir uma corrente eléctrica (ou uma tensão induzida) numa espira (que é um circuito condutor fechado). A espira é colocada numa região onde existe um campo magnético, produzido por exemplo por um magneto permanente (íman). Se o fluxo do campo magnético na for nulo através da área definida pela espira, o movimento (relativo) da espira em qualquer direcção provocará o aparecimento de uma corrente induzida. Se intercalarmos um amperímetro no circuito, este irá medir a corrente que é induzida pelo movimento. Se em vez do amperímetro usarmos um voltímetro mediremos a tensão induzida na espira. Se o plano





da espira for colocado paralelamente ao campo magnético (com a orientação NS ou SN) o fluxo do campo na espira é nulo e deixa de haver corrente induzida. Sendo assim, a rotação da espira na mesma região, produz uma corrente que tem um sentido alternadamente para um lado ou para outro.

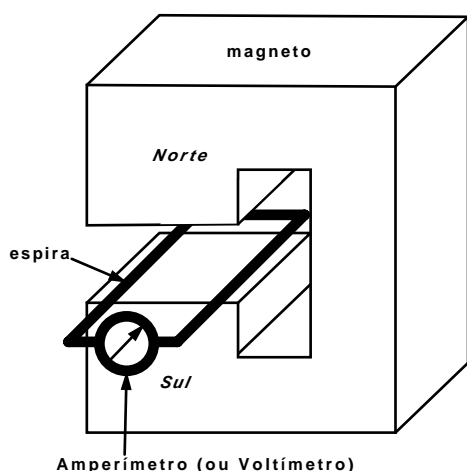


Figura 1. O movimento da espira numa região onde existe um campo magnético, induz uma corrente na espira.

Foi Faraday, no século XIX, quem descobriu que o movimento relativo de um magneto na proximidade de um circuito condutor (espira) induzia uma corrente no condutor. Este cientista britânico enunciou então a lei da indução (que tem o seu nome) e que é descrita pela seguinte relação:

$$V_{ind} = - \frac{d}{dt} \int_S (\vec{B} \cdot \vec{ds}) \quad (\text{Eq. 1})$$

onde V_{ind} é a tensão induzida na espira, \vec{B} é o campo magnético e \vec{ds} é um elemento infinitesimal da superfície S definida pelo perímetro da espira. O sentido de \vec{ds} é perpendicular à superfície S apontando para fora (numa superfície plana o sentido é arbitrário).

Da Eq. 1 pode-se perceber que só existe tensão induzida, se a derivada em ordem ao tempo do integral indicado (que é o fluxo de campo magné-

tico através da superfície da espira) não for nula. Isto conduz-nos aos três processos de produzir energia eléctrica por indução (ou melhor, transformar energia mecânica em eléctrica):

1. Variação da intensidade do campo \vec{B} . Neste caso o argumento do integral de superfície varia com o tempo, resultando numa derivada não nula.
2. Variação da superfície S sujeita ao campo \vec{B} . O efeito é equivalente ao descrito no ponto anterior.
3. Variação do ângulo entre \vec{B} e a superfície da espira, ou seja, entre \vec{B} e \vec{ds} . Neste caso, o produto interno varia com o tempo devido à variação de ângulo (rotação) o que produz uma derivada não nula. Esta situação acontece quando a espira roda dentro da mesma região.

Em qualquer destas três situações, surge uma tensão induzida nos extremos da espira. Se a espira estiver fechada, a espira é percorrida por uma corrente. Um modo simples de aumentar a indução em qualquer das situações indicadas é por se usar várias espiras sobrepostas (um enrolamento). Neste caso o resultado (tensão ou corrente induzida) é multiplicado pelo número de espiras do enrolamento (que com frequência são centenas ou milhares).

Tabela 1. Grandezas e unidades

Grandeza	Unidades (SI, outras)
Campo magnético, \vec{B}	tesla (T), gauss (1Gs=10 ⁻⁴ T)
Tensão induzida, V_{ind} (também designada de força electromotriz induzida, fem_{ind})	volt (V)

Verificação experimental

Considere-se o arranjo experimental descrito na Fig. 2. Uma espira rectangular com lados a e b é puxada a velocidade constante de uma região sujeita a um campo magnético \vec{B} . Este campo é produzido por um número variável de pares de magnetos N , montados entre duas peças polares

(ferromagnéticas) que estabelecem um campo razoavelmente uniforme numa região bem definida. O campo exterior pode ser considerado nulo.

Se ligarmos um voltímetro aos extremos da espira, podemos calcular qual a tensão que será induzida nos seus extremos através da Lei de Faraday (Eq. 1). Visto que, neste caso, \vec{B} é perpendicular a \vec{ds} , e \vec{B} é constante em toda a superfície interior à região com campo, a Eq. 1 fica reduzida à expressão:

$$V_{ind} = - \frac{d}{dt} (BS) \quad (\text{Eq. 2})$$

Como apenas a superfície S está a variar com o tempo, obtemos o resultado

$$V_{ind} = Bb \frac{dx}{dt} = Bbv \quad (\text{Eq. 3})$$

onde x é o comprimento variável da espira (cujo valor máximo é a) que está sujeito ao campo magnético e b é a sua largura (que é constante). A única variável com t é x , cuja derivada é a velocidade v com que a espira se desloca.

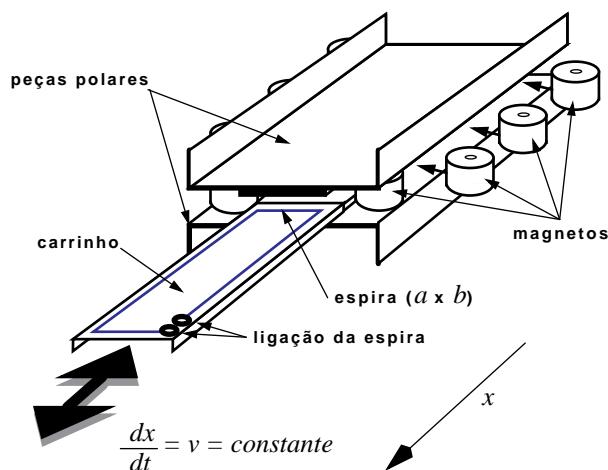


Figura 2. Montagem para verificação experimental da Lei de Faraday. Quando o carrinho se desloca a velocidade constante, é induzida uma tensão eléctrica nos extremos da espira.

A Eq. 3 demonstra que a tensão induzida depende directamente da velocidade com que a espira é puxada (ou empurrada), da sua largura e da inten-

sidade do campo magnético.

Tabela 2. Algumas relações importantes

Lei de Faraday	$V_{ind} = - \frac{d}{dt} \int_S (\vec{B} \cdot \vec{ds})$
Tensão induzida numa espira rectangular que se desloca com uma velocidade constante num campo magnético uniforme	$V_{ind} = Bb \frac{dx}{dt} = Bbv$

Equipamento

É necessário o seguinte equipamento para a realização da montagem experimental:

- 1 kit experimental para verificação da Lei de Faraday com espiras de 3 larguras diferentes ($b= 2, 2,8$ e 4 cm)
- 8 pares de magnetos
- 1 motor eléctrico com enrolador de fio de 3 diâmetros
- 1 comutador inversor de polaridade
- 1 fonte de alimentação regulada de 0-30V/2A
- 1 microvoltímetro
- 1 par de cabos para ligação ao microvoltímetro

A montagem está ilustrada na Fig. 3. Alguns dos equipamentos indicados podem ser substituídos por outros com especificações equivalentes.

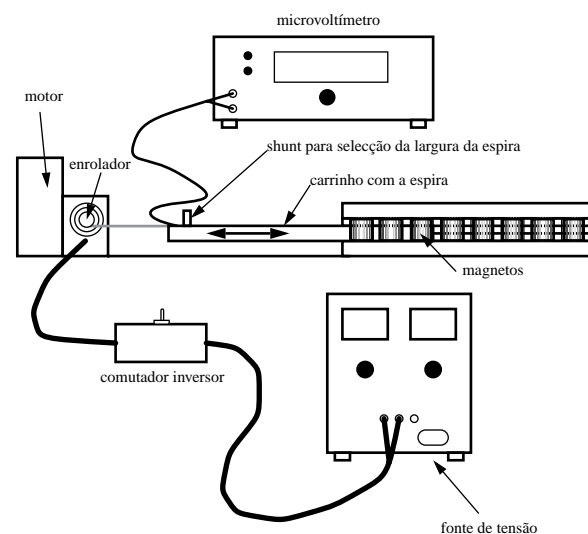
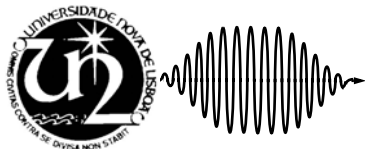


Figura 3. Montagem experimental.



Montagem experimental

1. Identifique as unidades necessárias e os pontos de ligação dos cabos.
2. Estabeleça as ligações conforme indicadas na Fig. 3. Ligue o shunt de modo a usar a espira com $b=4\text{cm}$. As ligações da espira devem ser ligadas à entrada relativa ao microvóltímetro. Ajuste o ganho do microvóltímetro para 10^4 .
3. Ajuste a tensão da fonte de alimentação para 20 V aproximadamente. Não altere nunca este valor após iniciar as medidas, porque deste valor depende a velocidade do motor (que não deve ser alterada ao longo do trabalho).
4. Coloque os 8 pares de magnetos no espaço indicado nas figuras. Certifique-se de que os coloca todos com a mesma orientação (todos com o Norte para cima ou todos com o Norte para baixo). Distribua os magnetos com intervalos iguais de modo a produzirem um campo o mais homogêneo possível (existem marcas que indicam a posição correcta para os magnetos).
5. Enrole a linha no enrolador do motor com o menor diâmetro. Este enrolador tem 3 diâmetros diferentes que duplicam e quadruplicam a velocidade relativa ao menor diâmetro. Considere as velocidades como v_0 , $2v_0$ e $4v_0$.
6. Ligue o motor e verifique o sentido de rotação relativo a cada posição do comutador. Certifique-se que o microvóltímetro está a medir correctamente. Se necessário troque as ligações à entrada deste.
7. Usando as marcas no carrinho e um cronómetro, meça a velocidade v_0 , com que o carrinho é puxado (no enrolador com o menor diâmetro).

Medidas a obter

Verificação da proporcionalidade entre V_{ind} e a velocidade v :

1. Recolha o carrinho. Use o enrolador com menor diâmetro e os 8 pares de magnetos. Accione o motor e registe o valor da tensão induzida. Se a tensão variar um pouco, registe o valor

mínimo e máximo obtido a velocidade constante (despreze o arranque e o fim do percurso). Use o valor médio e metade do intervalo obtido como sendo a incerteza da medida.

2. Repita o procedimento anterior para o enrolador com os diâmetros maiores. Registe a tensão induzida para cada velocidade.

Verificação da proporcionalidade entre V_{ind} e a largura da espira b :

3. Use como primeiro valor o obtido anteriormente para $v=4v_0$, 8 pares de magnetos e $b=4\text{ cm}$.
4. Repita o ponto 1 mudando o *shunt* de modo a obter $b=2,8\text{ cm}$ e $b=2\text{ cm}$. Registe a tensão induzida para cada largura da espira.

Verificação da proporcionalidade entre V_{ind} e a intensidade do campo magnético, dada pelo número de pares de magnetos N :

5. Use como primeiro valor o obtido anteriormente para $v=4v_0$, 8 pares de magnetos e $b=4\text{ cm}$.
6. Repita o ponto 1 mudando o número de pares de magnetos N . Use sucessivamente 6, 5, 4, 3 e 2 pares. Registe a tensão induzida para cada situação.

Exemplo de medida

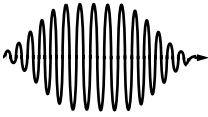
As Fig. 4 a 6 apresentam um conjunto de medidas efectuadas.

Na Fig. 4 pode-se observar a excelente dependência linear entre a tensão induzida e a velocidade. Uma dependência similar, directa e linear, também se observa para os resultados representados nas Fig. 5 e 6. As rectas indicadas foram obtidas a partir da Eq. 3.

A intensidade do campo magnético B , pode ser obtida a partir dos resultados representados na Fig. 6. A recta que foi traçado é descrita pela Eq. 3, que pode ser escrita na seguinte forma:

$$V_{ind} = NB_0bv_0 \quad (\text{Eq. 4})$$

onde B_0 é o campo produzido por um par de magne-



tos.

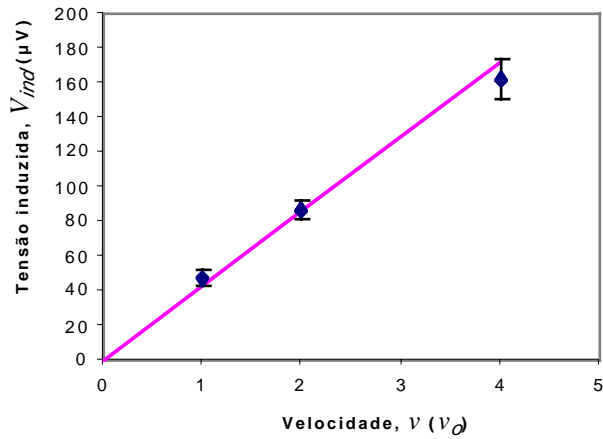


Figura 4. Valores experimentais que demonstram a proporcionalidade da tensão induzido com a velocidade.

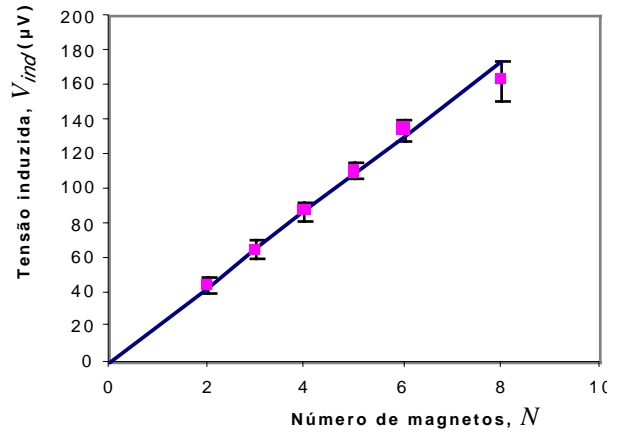


Figura 6. Dependência da tensão induzida com o número de pares de magnetos. O campo magnético é proporcional aos número de magnetos.

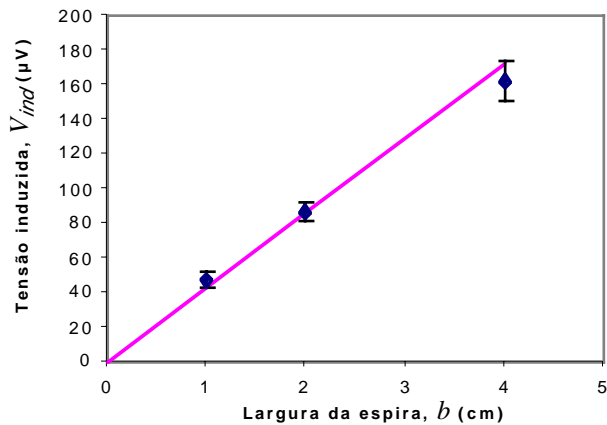


Figura 5. Dependência da tensão induzida da largura da espira.

O declive da recta pode ser medido geometricamente a partir do gráfico representado, o que torna possível calcular o campo magnético em função do número N de magnetos. No caso da Fig. 6 obteve-se o valor de 67 gauss ($6,7 \times 10^{-3}$ T) por cada par de magnetos.



5

*A indução
electromagnética—
Relatório*

Nomes:

1-

2-

3-

Data

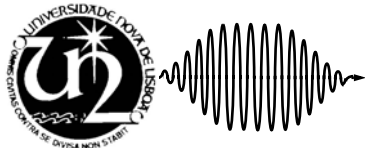
Licenciatura

Grupo

(Não use este relatório como rascunho)

Registo dos dados

Registe o que achar necessário para a correcta identificação da sua experiência (poderão, eventualmente, ser usadas condições diferentes das indicados). Indique o valor da velocidade que obteve.



Registe as medições efectuadas nas seguintes tabelas

Tabela 1. Valores medidos— Variação da velocidade

Velocidade	v_0	$2 v_0$	$4 v_0$
V_{ind}			

Tabela 2. Valores calculados— variação da largura da espira

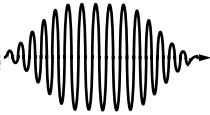
Largura, b	$b = 4,0 \text{ cm}$	$b = 2,8 \text{ cm}$	$b = 2,0 \text{ cm}$
V_{ind}			

Tabela 3. Valores calculados— variação do número de magnetos

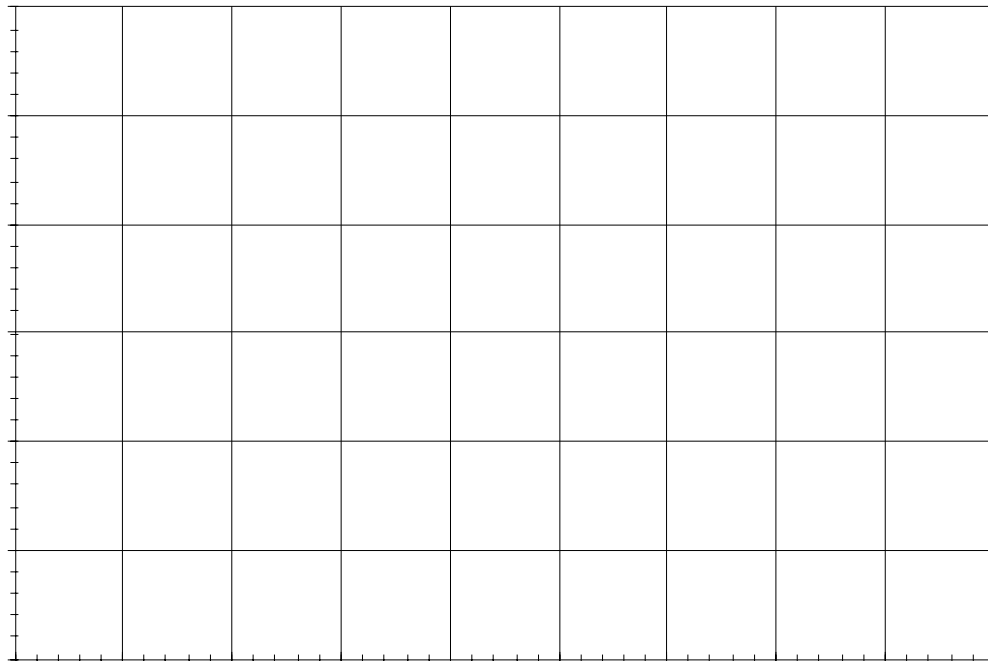
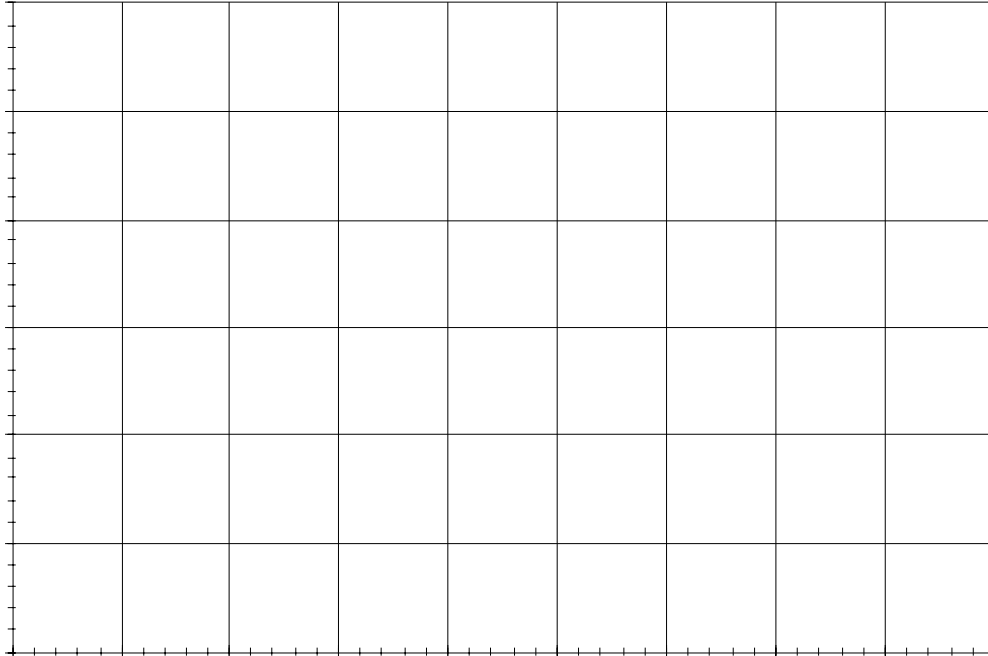
Número de magnetos, N	$N=8$	$N=6$	$N=5$	$N=4$	$N=3$	$N=2$
V_{ind}						

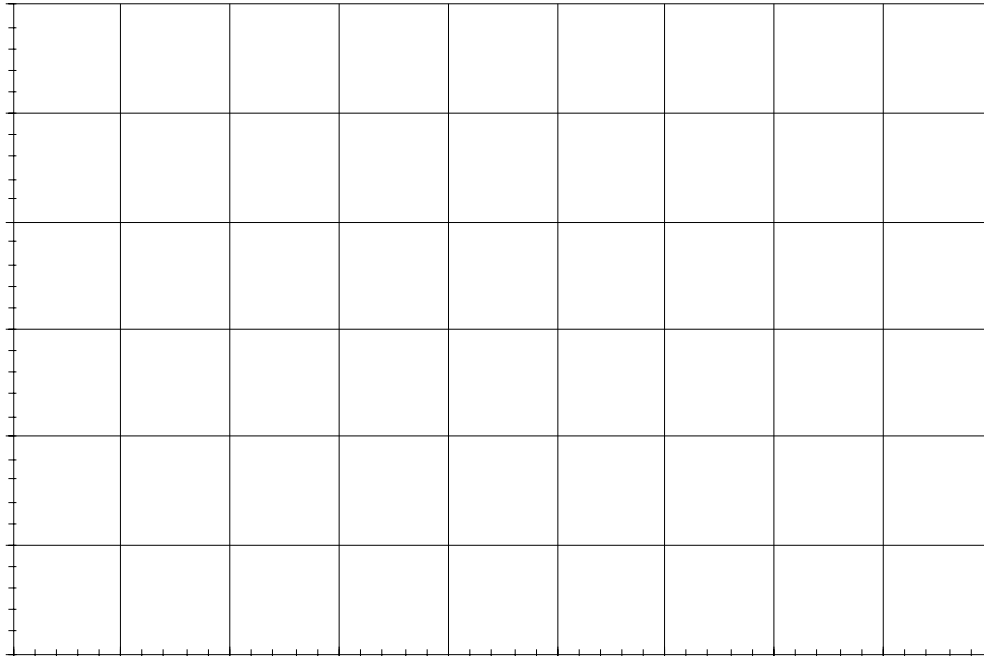
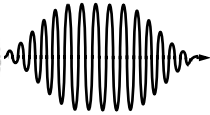
Representação gráfica

Faça os gráficos os gráficos semelhantes ao das Fig. 4. a 6. Identifique correctamente cada gráfico e os



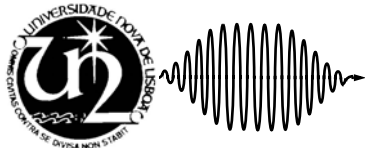
respectivos os eixos.





Cálculo do campo magnético

Meça o declive e calcule o valor do campo magnético produzido por cada par de magnetos.



Discussão

Comente os resultados que obteve. Satisfazem os valores obtidos a Eq. 3, ou seja, a proporcionalidade é evidente? É razoável traçar rectas dentro das barras de erro?

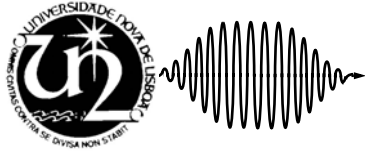
Qual dos 3 métodos de variação de fluxo magnético, descritos na introdução, foi usado neste trabalho.

Diga o que aconteceria se a espira pudesse rodar no espaço entre os magnetos. Que tipo de tensão induzida iria produzir.

Indique um ou mais modos de melhorar a montagem que usou se a pretendesse usar para produção de energia eléctrica.

Conclusão

Faça uma avaliação objectiva do trabalho. Refira quais dos objectivos propostos foram alcançados. Proponha eventuais alterações.



(Use se necessário apenas para relatório)