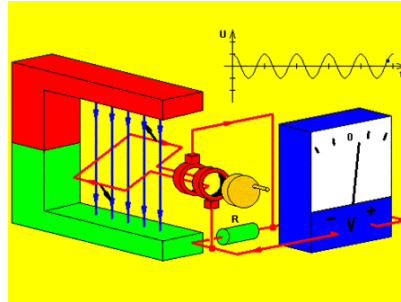
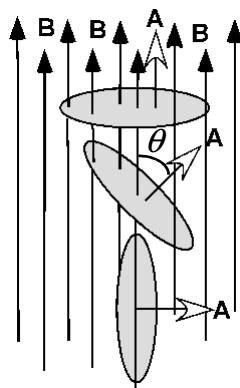


# Indução electromagnética



## Fluxo Magnético

$$\phi = \iint \vec{B} \cdot d\vec{A}$$



$$\phi = BA$$

$$\phi = BA \cos \theta$$

$$\phi = 0$$

## Lei de Faraday

$$\text{fem} = -\frac{d\phi}{dt} = -\frac{d\left(\iint \vec{B} \cdot d\vec{A}\right)}{dt}$$

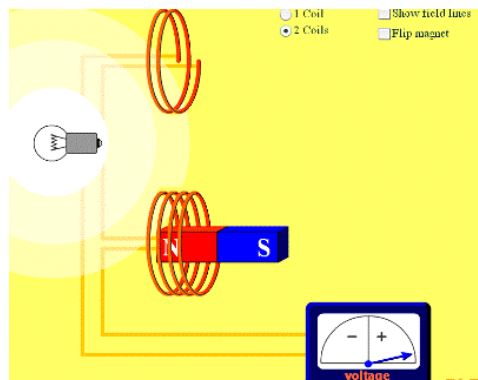
Como variar o fluxo magnético sobre uma espira?

- Variar intensidade do campo magnético
- Variar a direção entre o campo magnético e a espira
- Variar a área da espira

## Lei de Faraday

$$\text{fem} = -\frac{d\phi}{dt} = -\frac{d\left(\iint \vec{B} \cdot d\vec{A}\right)}{dt}$$

Variação do campo magnético - Exemplo:



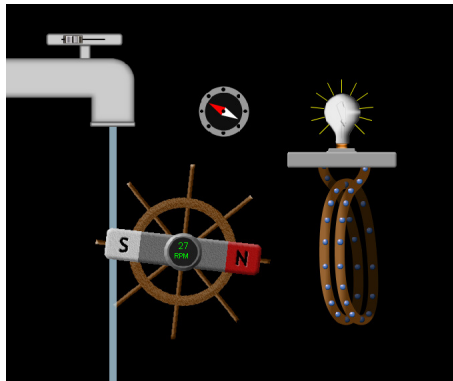
<http://www.livephysics.com/simulations/electricity-magnetism-sim/faradays-law-moving-magnet/>

## Lei de Faraday

$$fem = -\frac{d\phi}{dt} = -\frac{d\left(\iint \vec{B} \cdot d\vec{A}\right)}{dt}$$

Variação da direção entre o campo magnético e a espira

- Exemplo: Gerador de tensão sinusoidal



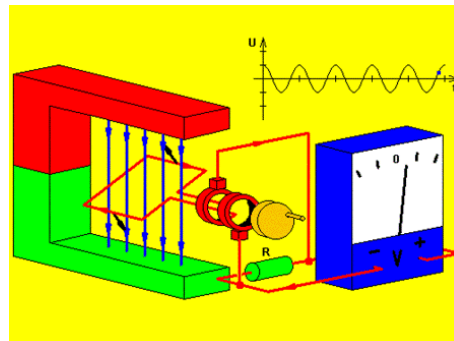
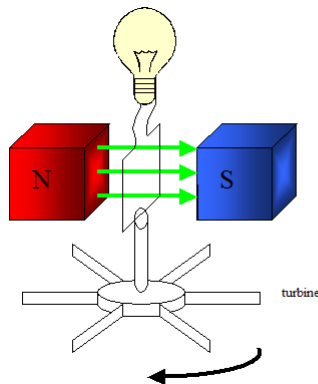
<http://phet.colorado.edu/en/simulation/faraday>

## Lei de Faraday

$$fem = -\frac{d\phi}{dt} = -\frac{d\left(\iint \vec{B} \cdot d\vec{A}\right)}{dt}$$

Variação da direção entre o campo magnético e a espira

- Exemplo: Gerador de tensão sinusoidal

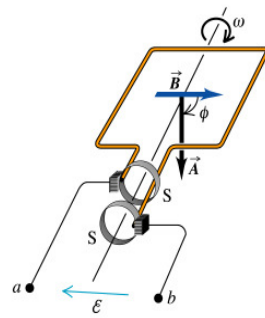


## Lei de Faraday

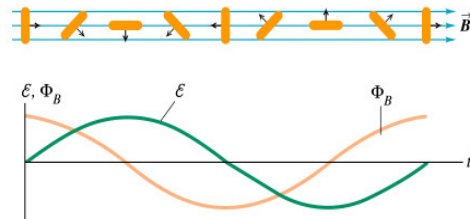
$$fem = -\frac{d\phi}{dt} = -\frac{d\left(\iint \vec{B} \cdot d\vec{A}\right)}{dt}$$

Variação da direção entre o campo magnético e a espira

- Exemplo: Gerador de tensão sinusoidal



(a)  
Copyright © Addison Wesley Longman, Inc.



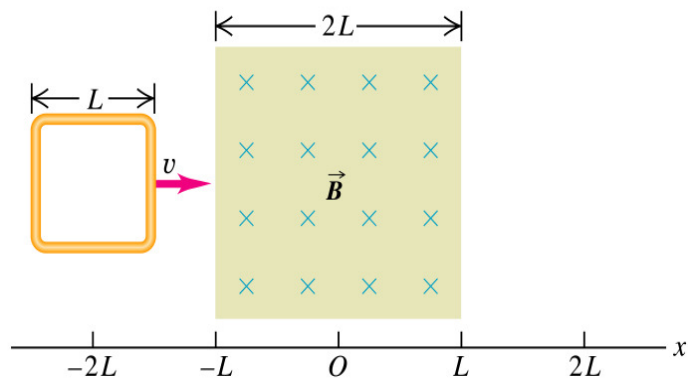
$$\phi = N B A \cos(\omega t + \phi)$$

$$fem = N B A \omega \sin(\omega t + \phi)$$

## Lei de Faraday

$$fem = -\frac{d\phi}{dt} = -\frac{d\left(\iint \vec{B} \cdot d\vec{A}\right)}{dt}$$

Variação da área

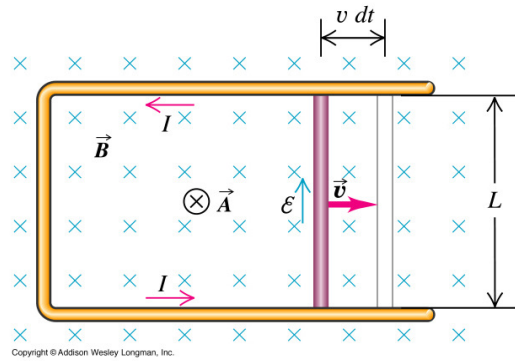


Copyright © Addison Wesley Longman, Inc.

## Lei de Faraday

$$fem = -\frac{d\phi}{dt} = -\frac{d\left(\iint \vec{B} \cdot d\vec{A}\right)}{dt}$$

Variação da área



## Lei de Lenz

$$fem = -\frac{d\phi}{dt}$$

### Lei de Lenz

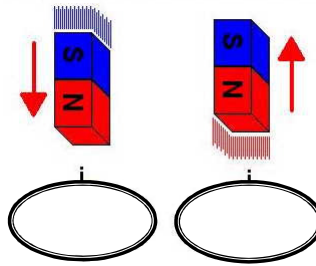
A força electromotriz induzida tende a contrariar a variação de fluxo que lhe deu origem.

## Lei de Lenz

$$\text{fem} = - \frac{d\phi}{dt}$$

### Sentido da Corrente Induzida

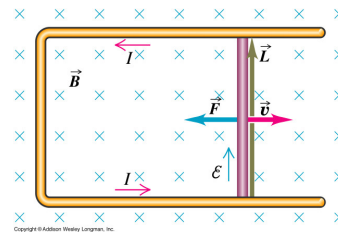
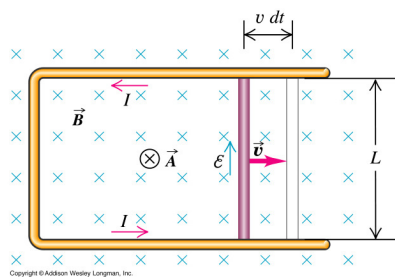
Se o fluxo aumenta, a fem induzida tenderá a reduzir o fluxo.



Se o fluxo diminui, a fem induzida tenderá a aumentar o fluxo.

## Lei de Lenz

$$\text{fem} = - \frac{d\phi}{dt}$$



## Auto-indução

A corrente que circula num circuito gera fluxo magnético sobre o próprio circuito.

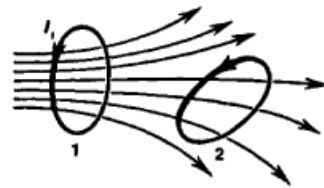
Coeficiente de auto-indução (L)  $\phi = L i$

Uma variação de corrente num circuito provoca uma variação de fluxo magnético sobre o próprio circuito.

$$fem = -\frac{d\phi}{dt} = -\frac{d(Li)}{dt} = -L \frac{di}{dt}$$

## Indução Mútua

A corrente que circula num circuito 1 gera fluxo magnético sobre outro circuito 2.



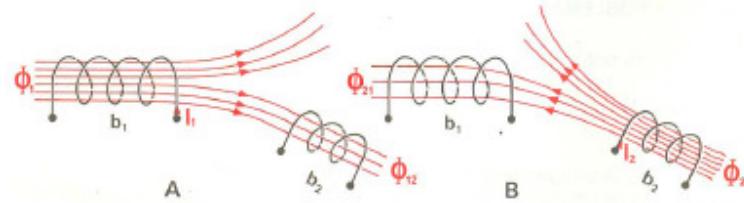
Coeficiente de indução mútua (M)  $\phi_2 = M i_1$

Uma variação de corrente no circuito 1 provoca uma variação de fluxo magnético sobre o circuito 2.

$$fem_2 = -\frac{d\phi_2}{dt} = -\frac{d(M i_1)}{dt} = -M \frac{di_1}{dt}$$

## Indução Mútua

A corrente que circula num circuito 2 gera fluxo magnético sobre outro circuito 1.

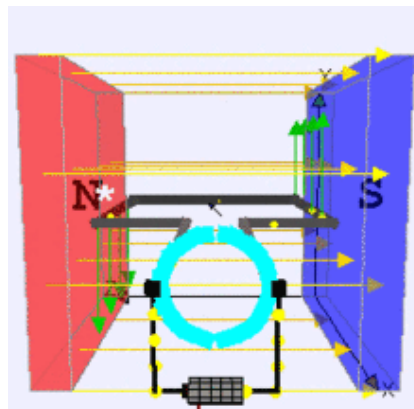


Coeficiente de indução mútua (M)  $\phi_1 = M i_2$

Uma variação de corrente no circuito 2 provoca uma variação de fluxo magnético sobre o circuito 1.

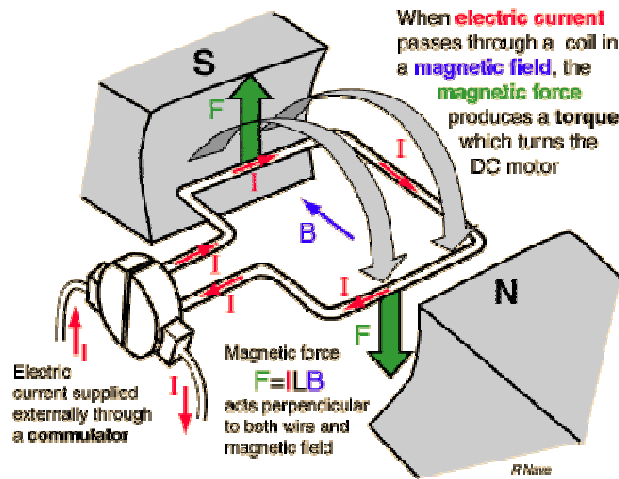
$$fem_1 = -\frac{d\phi_1}{dt} = -\frac{d(M i_2)}{dt} = -M \frac{di_2}{dt}$$

## Motor DC

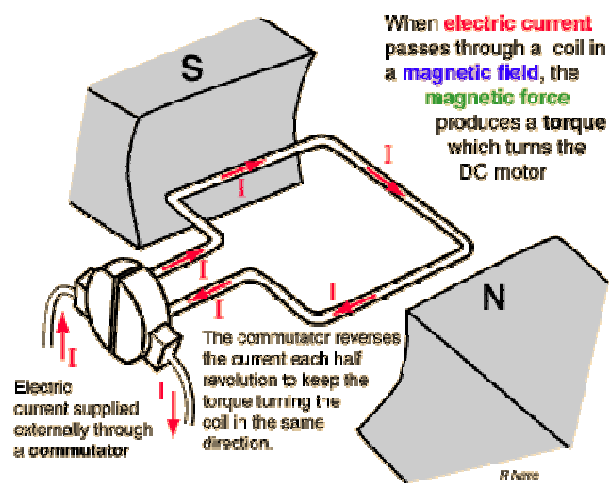




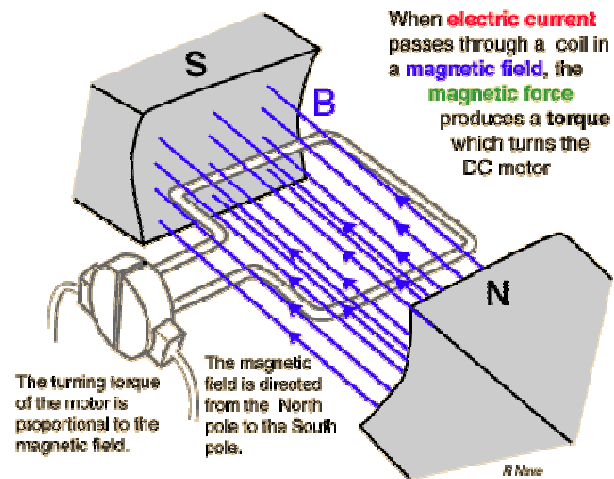
## Motor DC



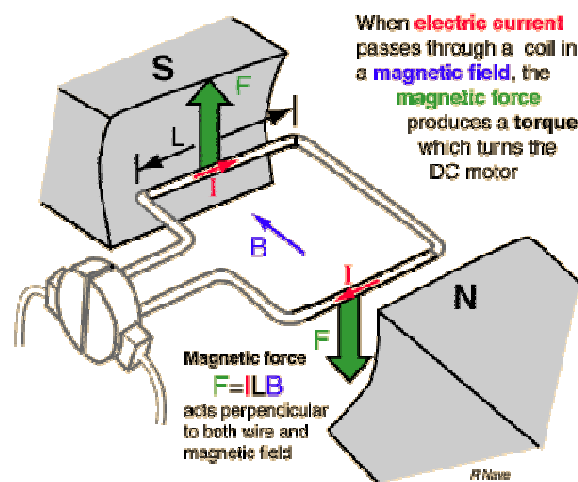
## Motor DC



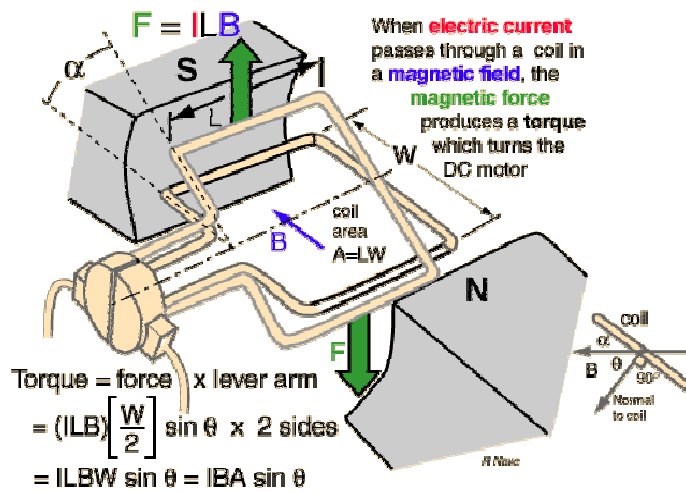
## Motor DC



## Motor DC



## Motor DC



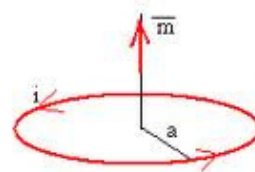
## Momento ou torque de uma bobine

Momento magnético de uma espira

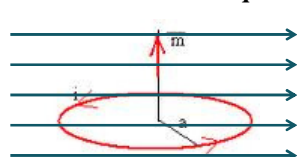
$$\vec{m} = i A \hat{A}$$

Momento magnético de uma bobine

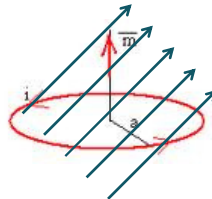
$$\vec{m} = N i A \hat{A}$$



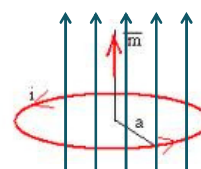
Momento ou torque de uma bobine  $\vec{\tau} = \vec{m} \wedge \vec{B}$



$$\tau = NIAB$$

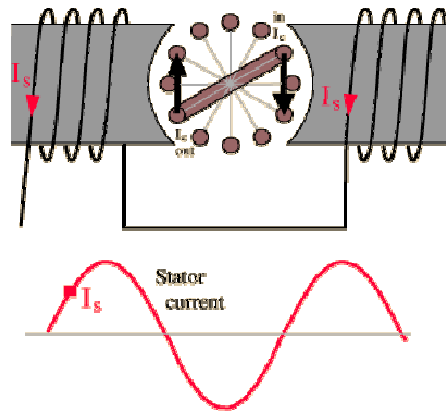


$$\tau = NIAB \sin(\theta)$$

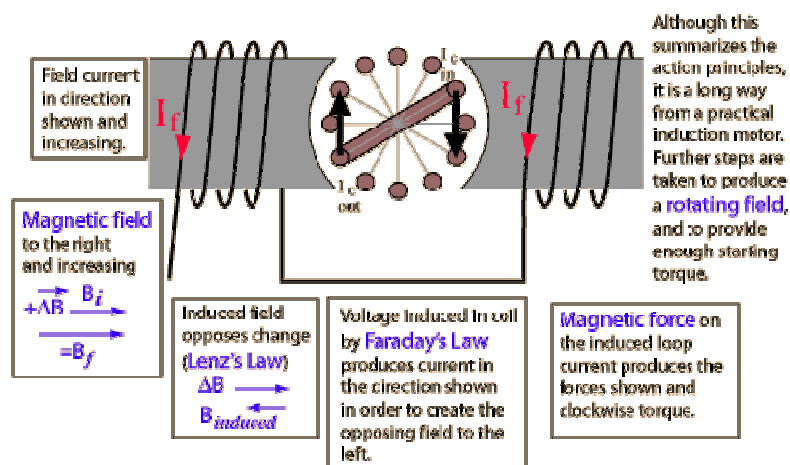


$$\tau = 0$$

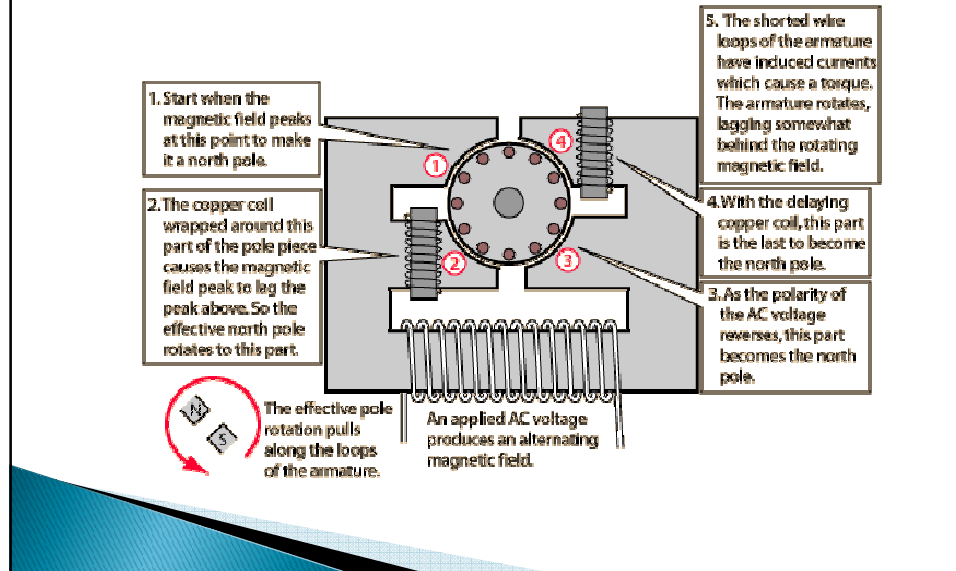
## Motor de indução



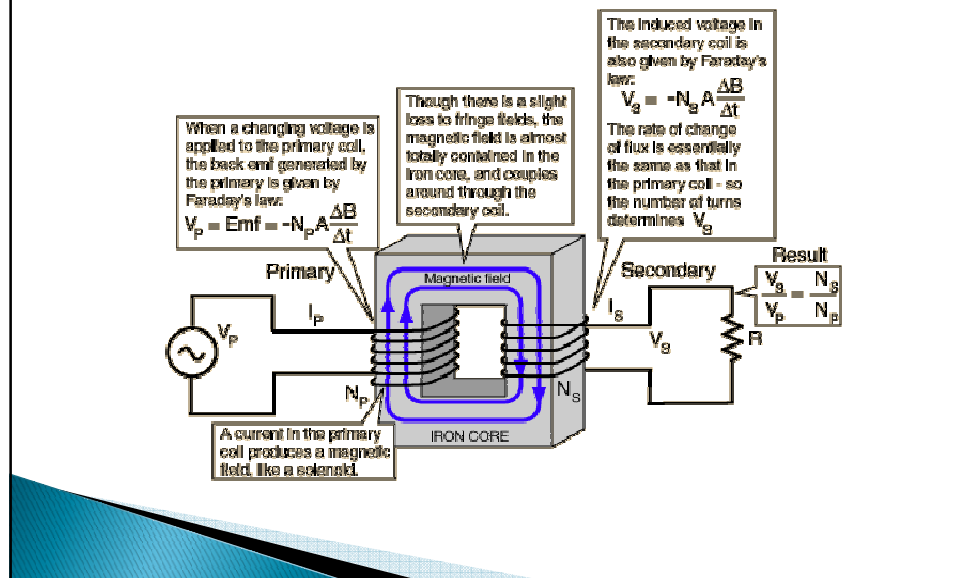
## Motor de indução



## Motor de indução



## Transformador



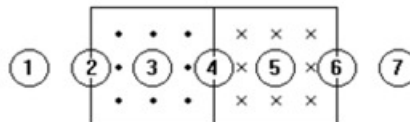
## Questões

1. Considere duas bobines,  $b_1$  e  $b_2$ , planas concêntricas e complanares, respectivamente, de raios  $r_1$  e  $r_2$ , e número de espiras  $N_1$  e  $N_2$ , percorridas pelas correntes  $I_1$  e  $I_2$  em sentidos contrários.

Se a corrente  $I_1$  for sinusoidal e a corrente  $I_2$  for contínua...

- |  |
|--|
| A: existe variação de fluxo magnético em ambas as bobines.     |
| B: existe variação de fluxo magnético apenas na bobine $b_1$ . |
| C: existe variação de fluxo magnético apenas na bobine $b_2$ . |
| D: não existe variação de fluxo magnético em nenhuma bobine.   |

2. Uma espira circular é movida da esquerda para a direita, com velocidade constante, através de regiões onde campos magnéticos uniformes de módulos iguais estão orientados para fora ou para dentro do plano da página, como se indica na figura.



2.1 O fluxo magnético

- |  |
|--|
| A: tem módulo máximo nas regiões 3 e 5.    |
| B: tem módulo máximo nas regiões 2, 4 e 6. |
| C: é nulo nas regiões 1, 3, 5 e 7.         |
| D: é nulo nas regiões 1, 2, 4, 6 e 7.      |

2.2 A força electromotriz induzida

- |  |
|--|
| A: tem módulo máximo nas regiões 3 e 5.    |
| B: tem módulo máximo nas regiões 2, 3 e 4. |
| C: é nula nas regiões 1, 3, 5 e 7.         |
| D: é nula nas regiões 1, 2, 4, 6 e 7.      |

2.3 É induzida na espira uma corrente no sentido horário

- |                          |
|--------------------------|
| A: na região 4.          |
| B: nas regiões 2 e 6.    |
| C: nas regiões 2, 4 e 6. |
| D: nas regiões 2, 3 e 4. |

## Questões

3. Duas bobinas próximas, A e B, têm 100 e 200 espiras, respectivamente. Uma corrente de 1,5 A na bobina A faz com que através de A passe um fluxo de 2,4 mWb e através de B passe um fluxo de 1,3 mWb.

3.1 O coeficiente de auto-indutância de A ( $L_A$ ) e o coeficiente de auto-indução entre A e B ( $M$ ) são respectivamente:

A: $L_A = 160 \text{ mH}$ ; $M = 173 \text{ mH}$	B: $L_A = 320 \text{ mH}$ ; $M = 160 \text{ mH}$
C: $L_A = 240 \text{ mH}$ ; $M = 180 \text{ mH}$	D: $L_A = 90 \text{ mH}$ ; $M = 240 \text{ mH}$

3.2 A força electromotriz média induzida em B quando a corrente em A decai para zero num intervalo de 50 ms é:

A: 5,2 V	B: 26 mV
C: 3,5 V	D: 10,0 mV