

**Centro Federal de Educação Tecnológica de Santa Catarina**  
**Departamento de Eletrônica**  
**Retificadores**



# **Lei de Faraday e Lenz**

## **Auto-indutância e Indutores**

**Prof. Clóvis Antônio Petry.**

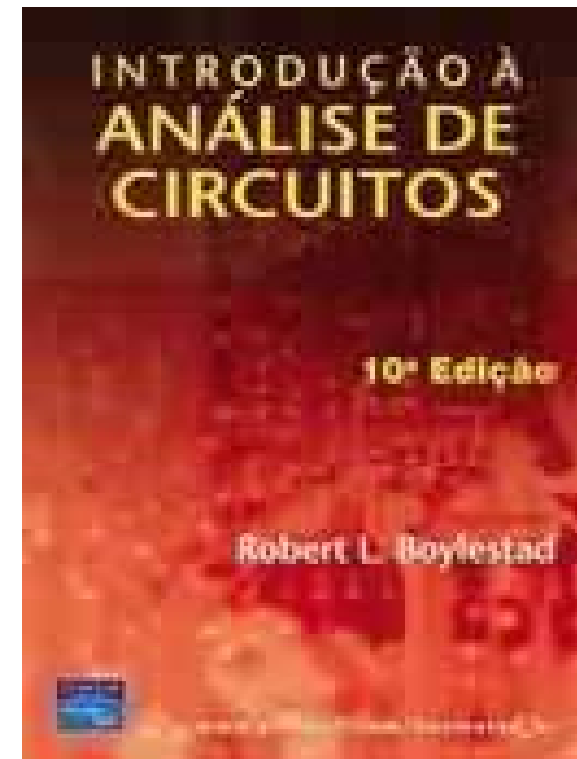
**Florianópolis, setembro de 2007.**

## Nesta aula

---

### Capítulo 12: Indutores

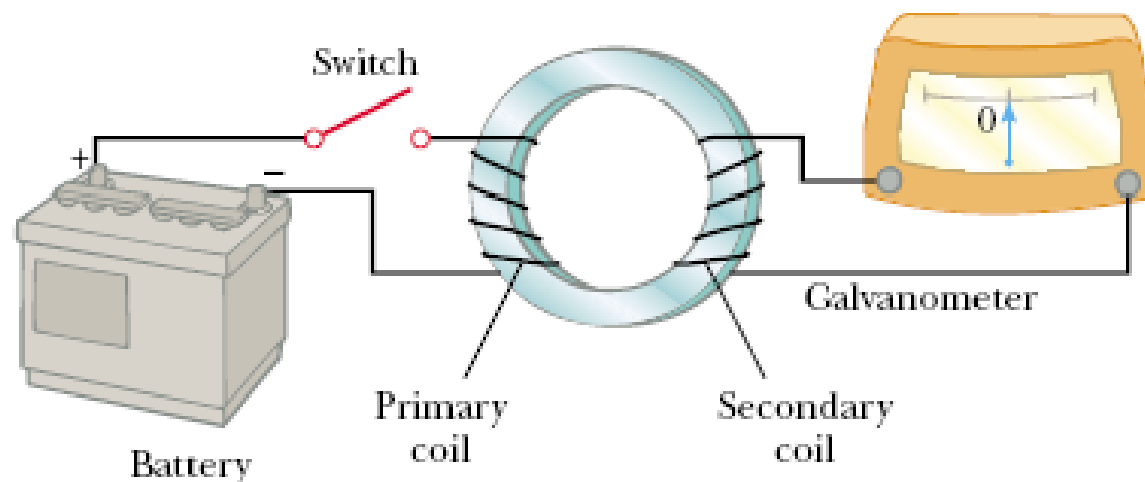
1. Lei de Faraday;
2. Lei de Lenz;
3. Auto-indutância;
4. Tipos de indutores.



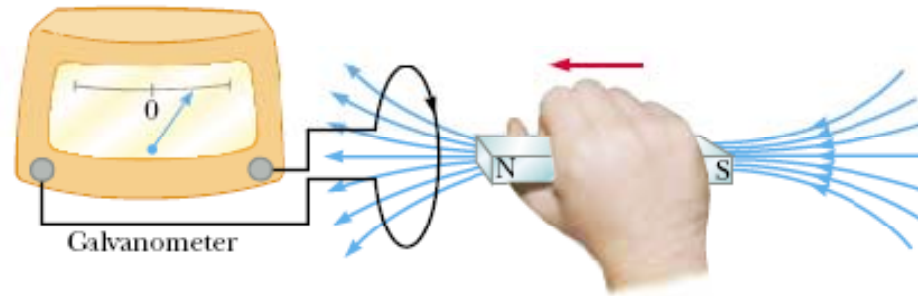
# Indução eletromagnética

## Experiência de Faraday:

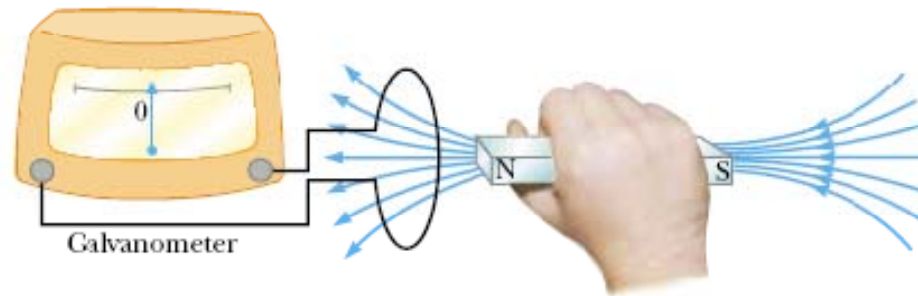
- No momento que a chave é fechada, o galvanômetro acusa uma pequena corrente de curta duração;
- Após a corrente cessar e durante tempo em que a chave permanecer fechada, o galvanômetro não mais acusa corrente;
- Ao abrir-se a chave, o galvanômetro volta a indicar uma corrente de curta duração, em sentido oposto ao observado no momento de fechamento da chave.



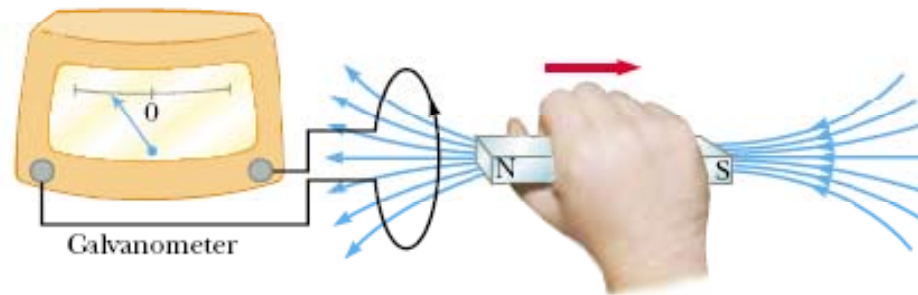
# Indução eletromagnética



(a)



(b)

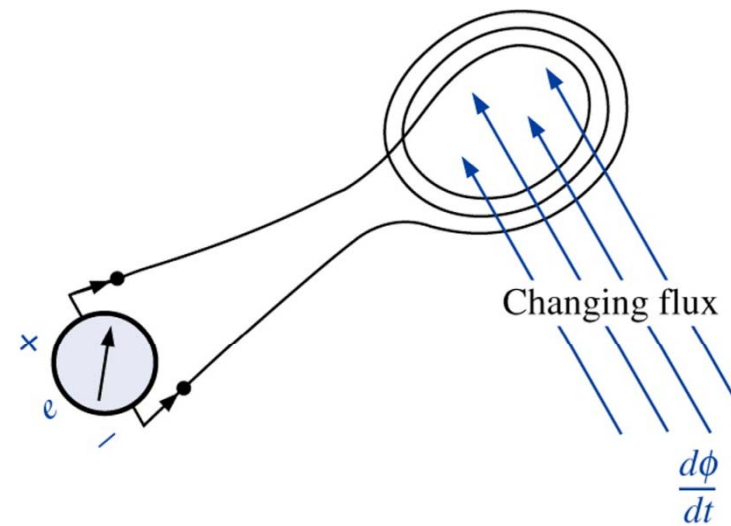
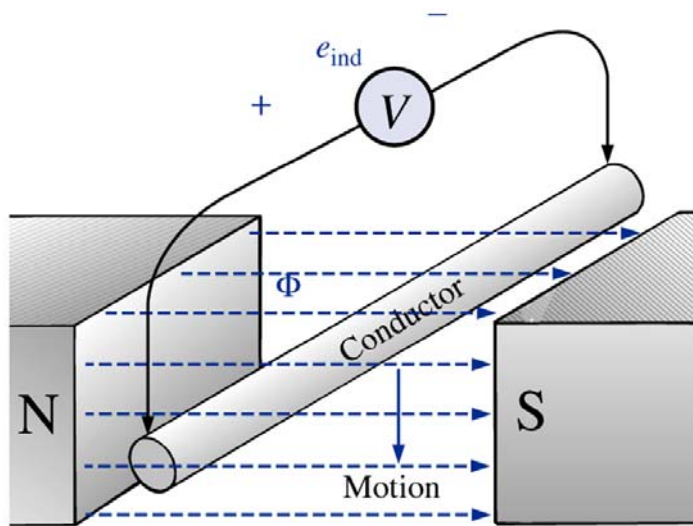


(c)

# Indução eletromagnética

A indução eletromagnética é regida por duas leis:

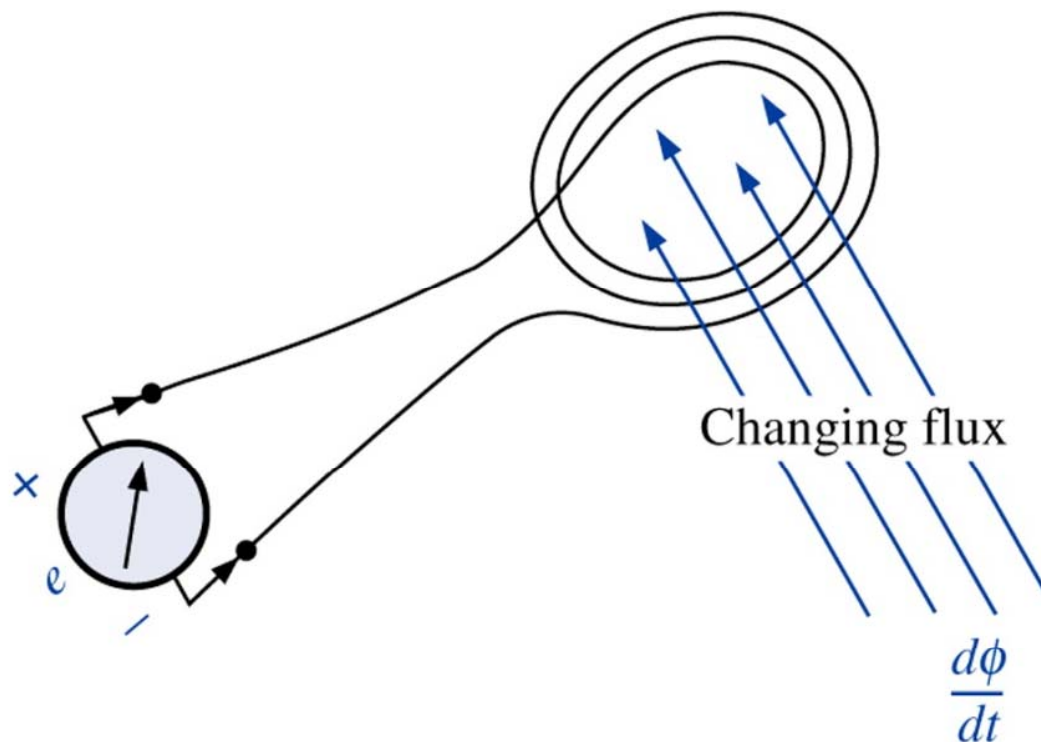
- Lei de Faraday;
- Lei de Lenz.



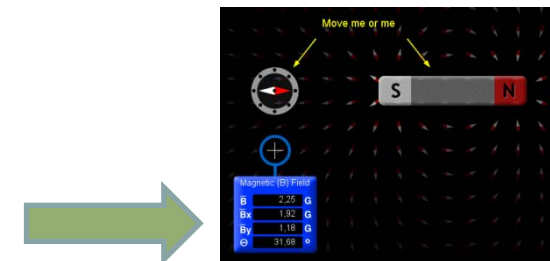
# Indução eletromagnética

## Lei da indução eletromagnética de Faraday:

Em todo condutor enquanto sujeito a uma variação de fluxo magnético é estabelecida uma força eletromotriz (tensão) induzida.



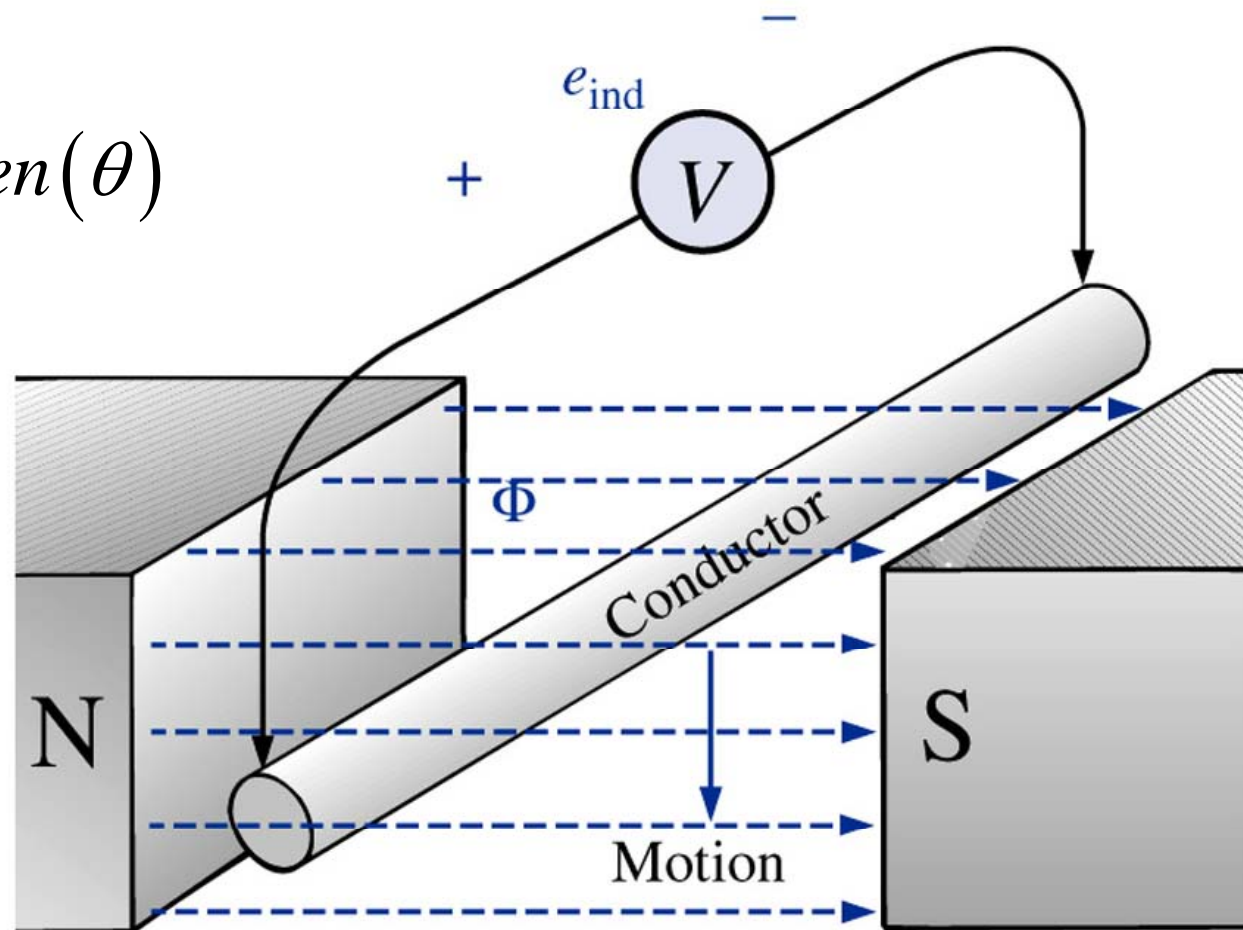
$$\varepsilon = N \frac{d\phi}{dt} \quad [\text{volts, V}]$$



## Tensão induzida em condutores num campo

$$\varepsilon = -N \frac{d\phi}{dt}$$

$$\phi = B \cdot A \cdot \text{sen}(\theta)$$

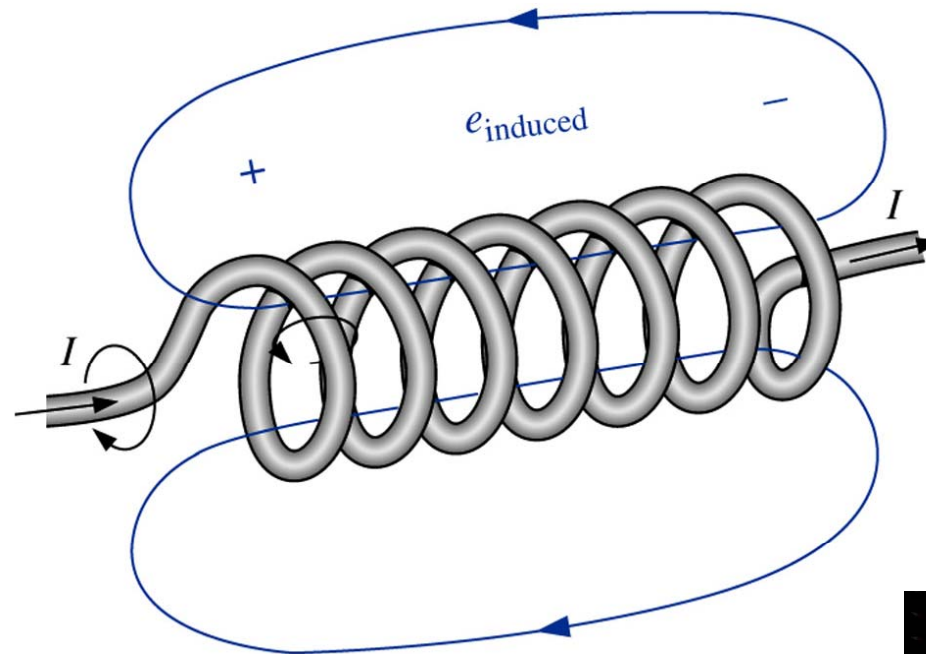


# Lei de Lenz

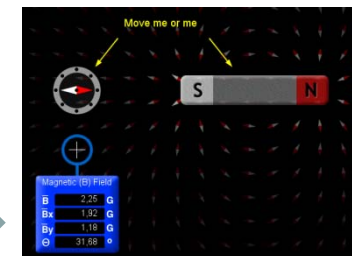
## Lei de Lenz:

O sentido da corrente induzida é tal que origina um fluxo magnético induzido, que se opõe à variação do fluxo magnético indutor.

$$\varepsilon = -N \frac{d\phi}{dt}$$

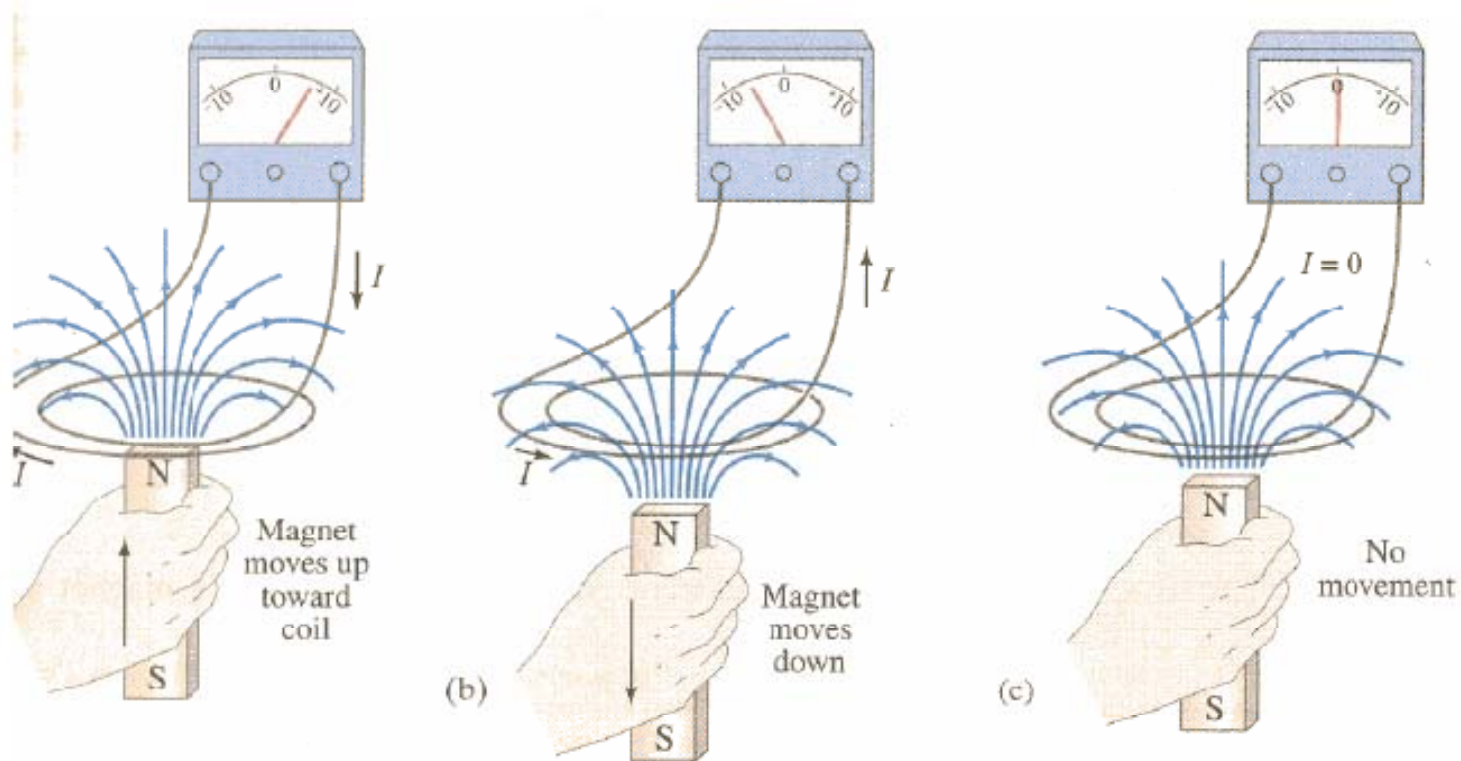


Um efeito induzido ocorre sempre de forma a se opor à causa que o produziu.

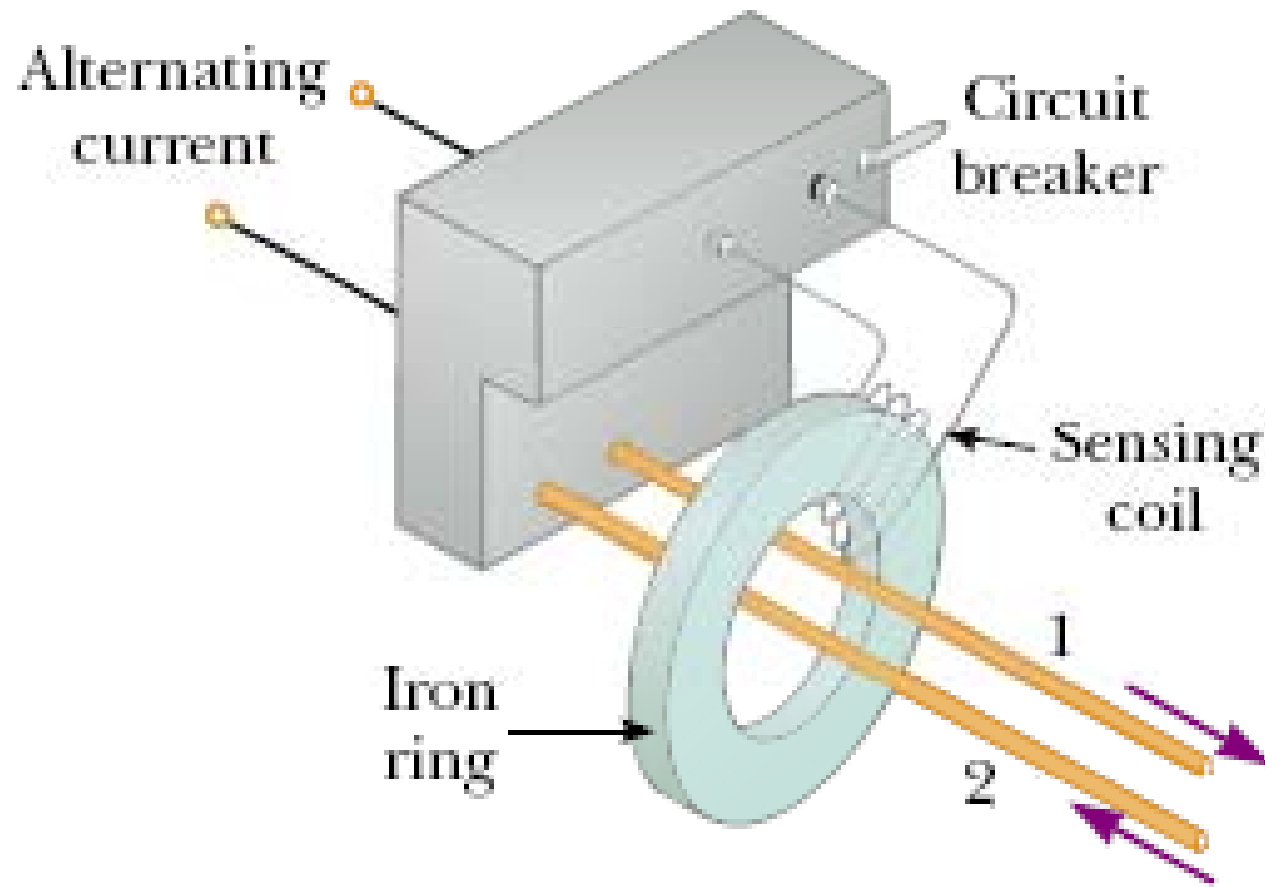


# Indução eletromagnética

Com base nas leis da indução, explicar o comportamento do amperímetro na figura abaixo:



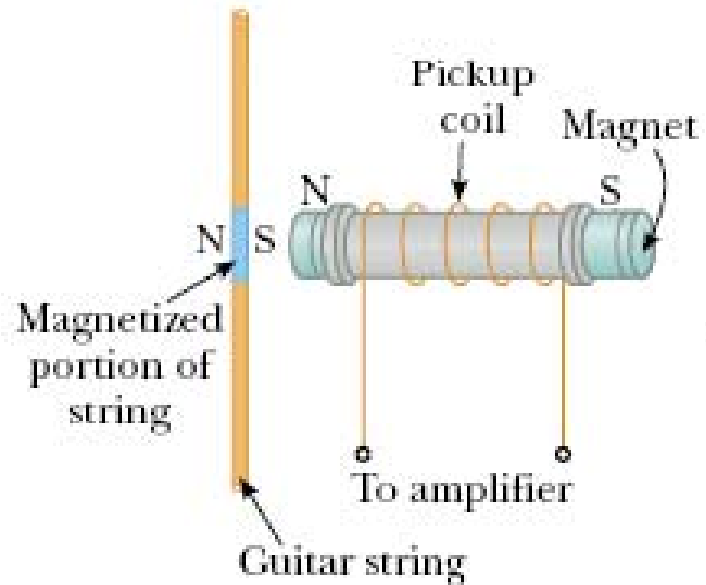
## Aplicações – Disjuntor diferencial



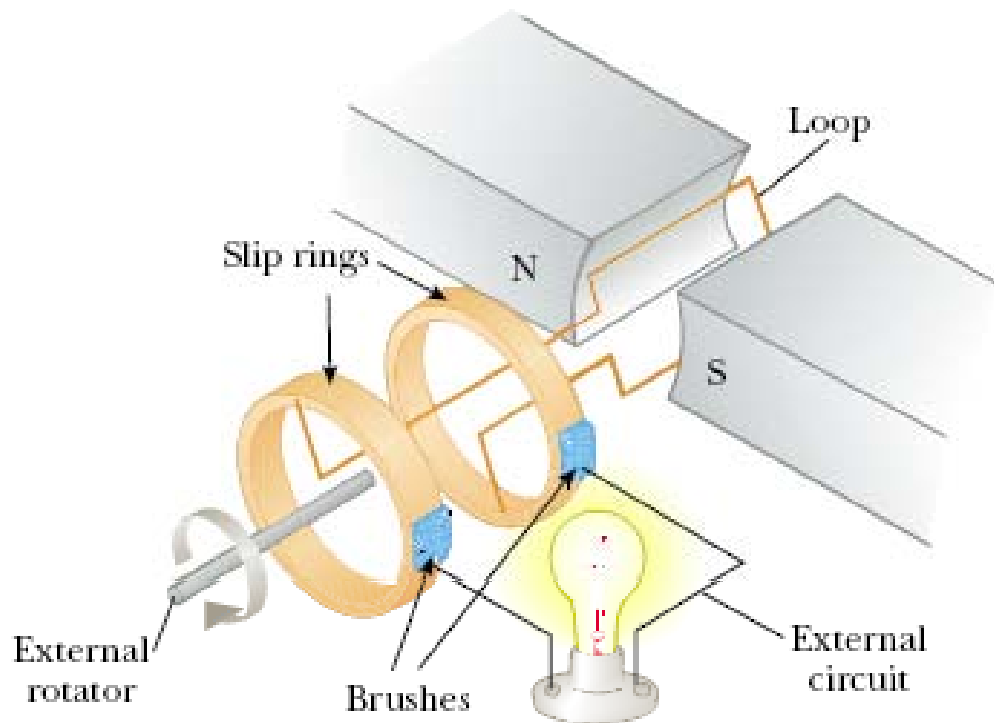
## Aplicações – Forno ou panela de indução



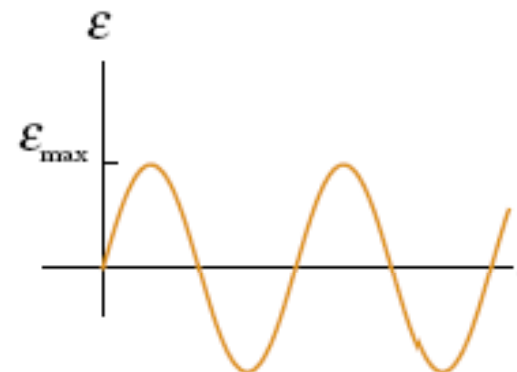
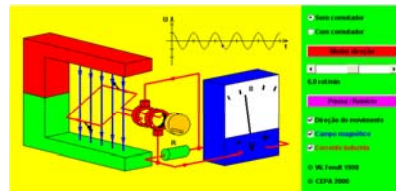
## Aplicações – Guitarra elétrica



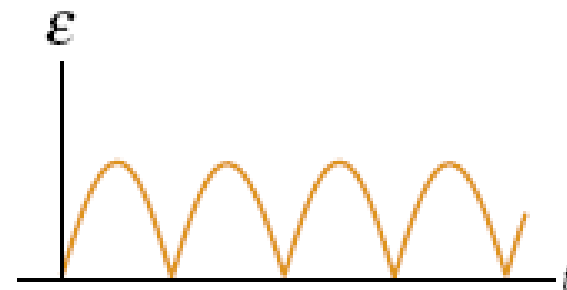
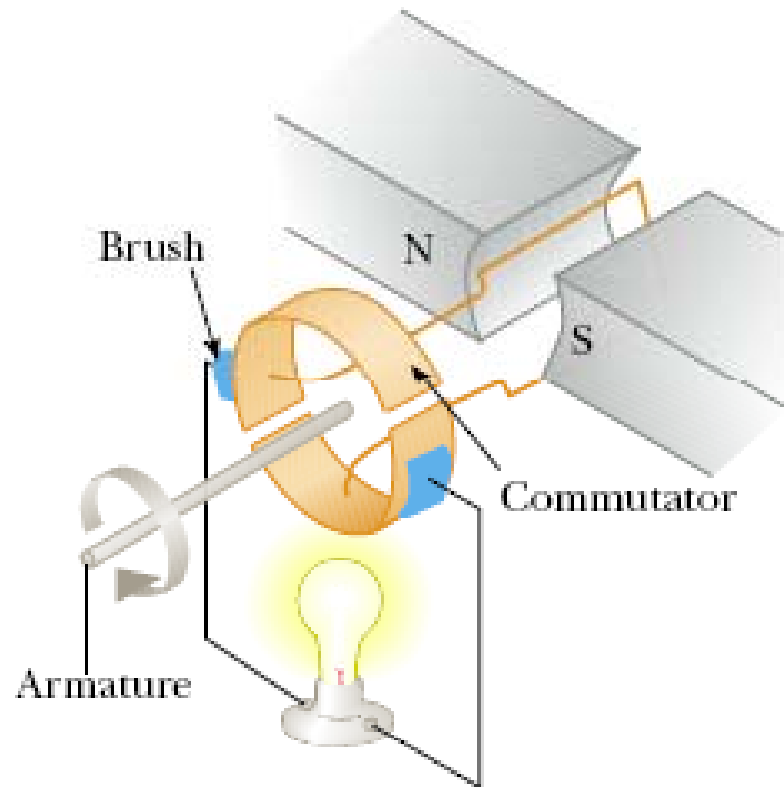
# Aplicações – Geração de CA



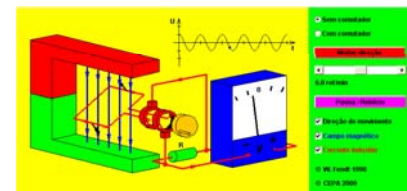
Applets em java →



# Aplicações – Gerador CC



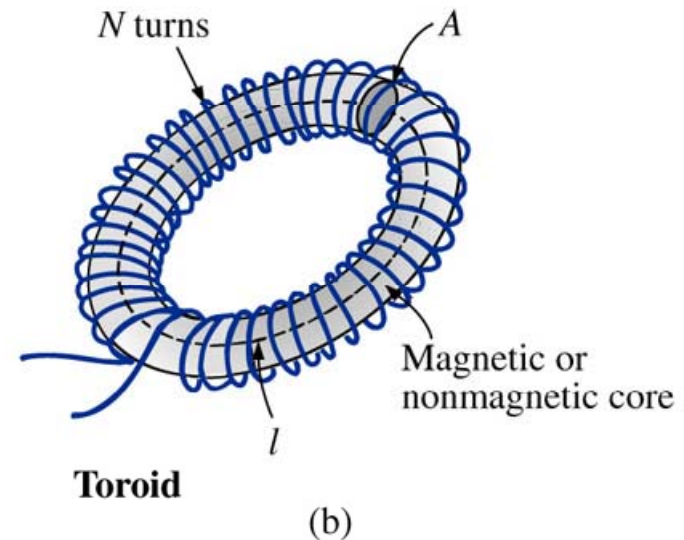
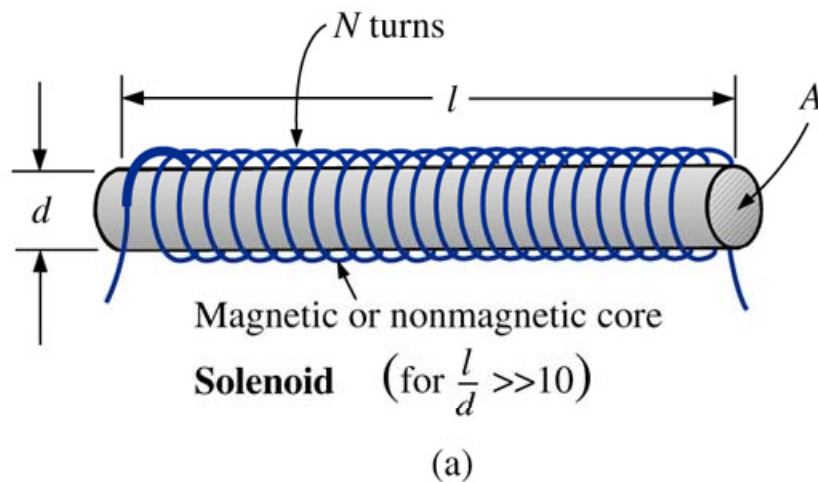
Applets em java →



# Auto-Indutância

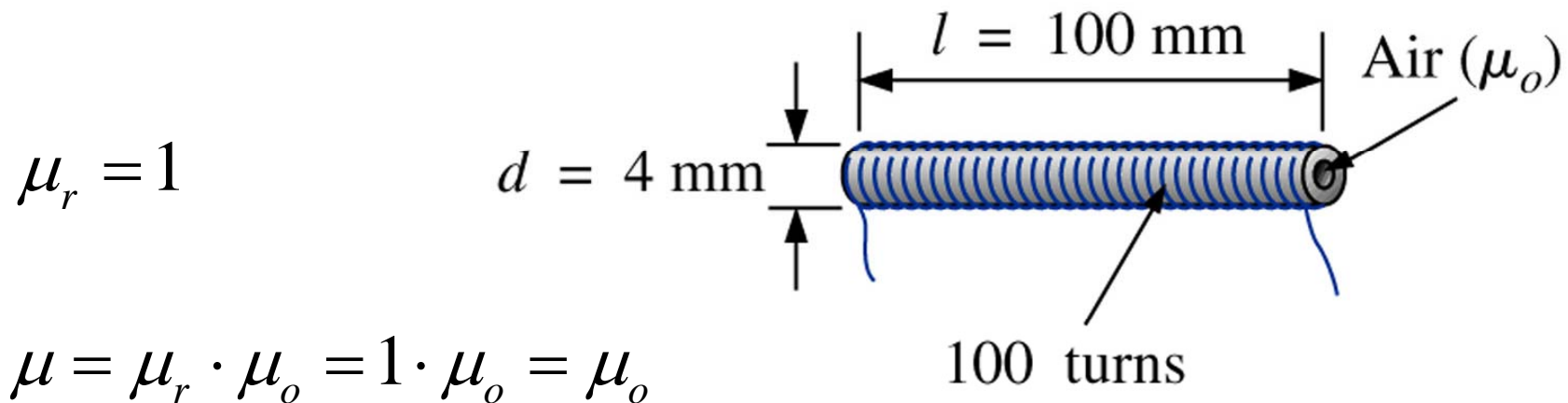
A propriedade de uma bobina de se opor a qualquer variação de corrente é medida pela sua auto-indutância ( $L$ ). A unidade de medida é o Henry (H).

$$L = \frac{N^2 \cdot \mu \cdot A}{l}$$



## Auto-Indutância

Exemplo 12.1: Determine a indutância da bobina de núcleo de ar da figura abaixo:



$$\mu_r = 1$$

$$d = 4 \text{ mm}$$

$$\mu = \mu_r \cdot \mu_o = 1 \cdot \mu_o = \mu_o$$

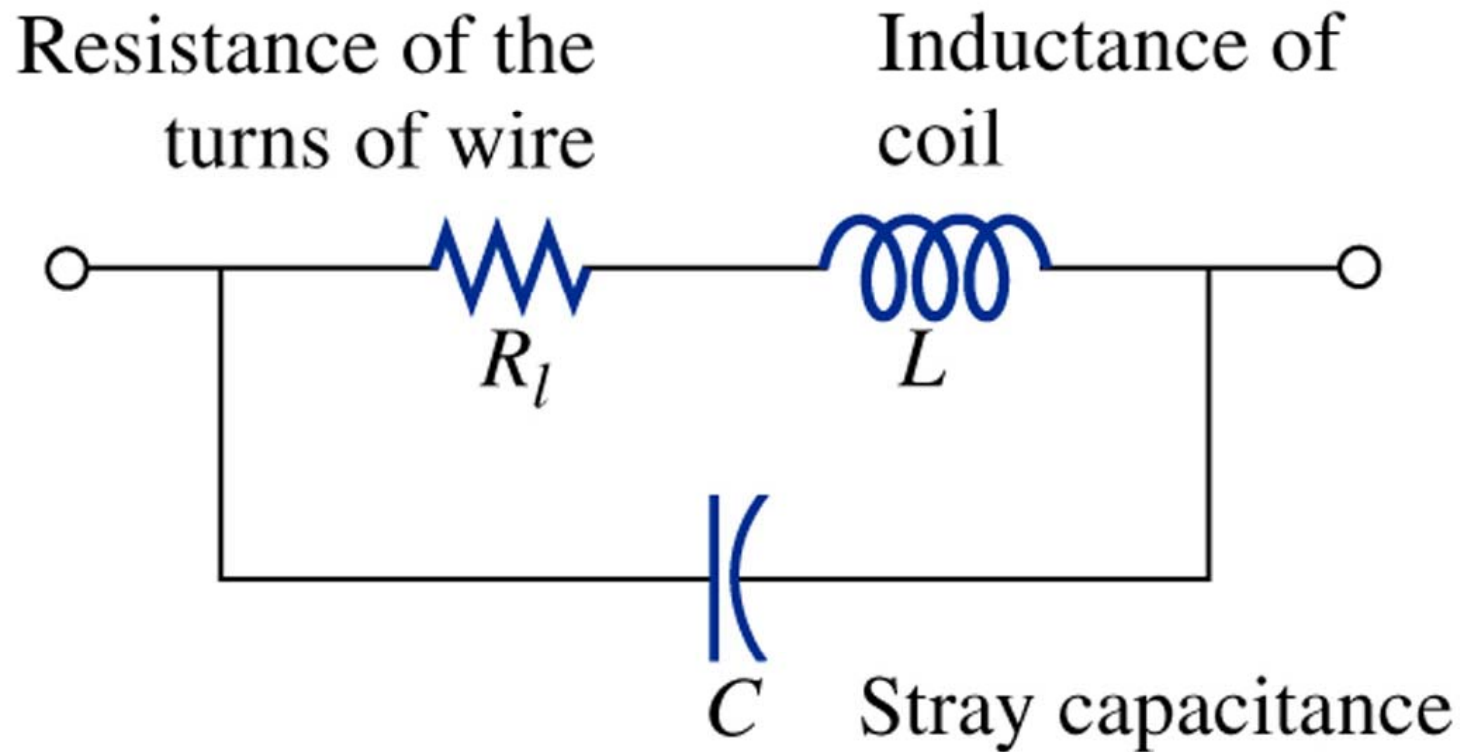
100 turns

$$A = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{\pi \cdot (4 \cdot 10^{-3})^2}{4}$$

$$L = \frac{N^2 \cdot \mu \cdot A}{l}$$

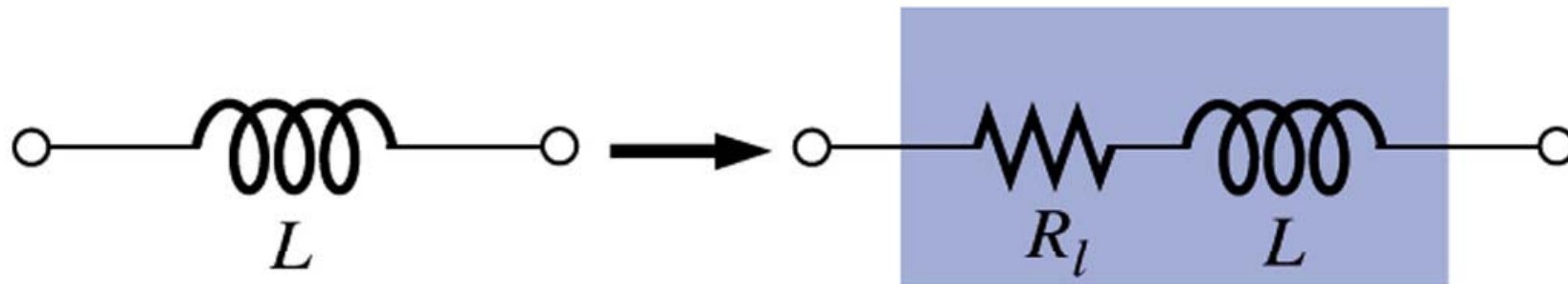
$$A = 12,57 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \quad L = \frac{100^2 \cdot 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 12,57 \cdot 10^{-6}}{0,1} = 1,58 \mu\text{H}$$

## Circuito equivalente de um indutor



Circuito equivalente completo de um indutor

## Circuito equivalente de um indutor



Circuito equivalente prático de um indutor

## Símbolos de inductores



Air-core



Iron-core

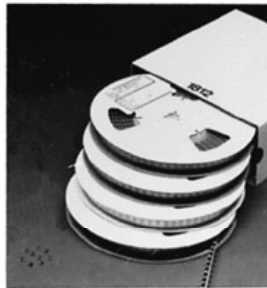


Variable  
(permeability-tuned)

# Indutores na prática



(a)



(b)



(c)



(d)



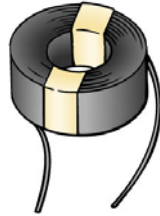
(e)



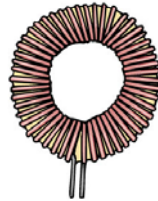
(f)

# Indutores na prática

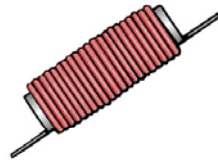
**Type:** Open Core Coil  
**Typical Values:** 3 mH to 40 mH  
**Applications:** Used in low-pass filter circuits. Found in speaker crossover networks.



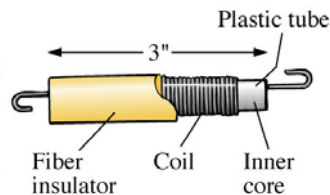
**Type:** Toroid Coil  
**Typical Values:** 1 mH to 30 mH  
**Applications:** Used as a choke in AC power lines circuits to filter transient and reduce EMI interference. This coil is found in many electronic appliances.



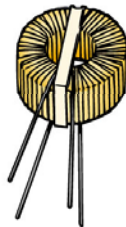
**Type:** Hash Choke Coil  
**Typical Values:** 3  $\mu$ H to 1 mH  
**Applications:** Used in AC supply lines that deliver high currents.



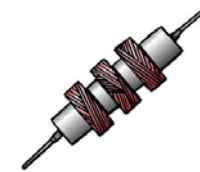
**Type:** Delay Line Coil  
**Typical Values:** 10  $\mu$ H to 50  $\mu$ H  
**Applications:** Used in color televisions to correct for timing differences between the color signal and black and white signal.



**Type:** Common Mode Choke Coil  
**Typical Values:** 0.6 mH to 50 mH  
**Applications:** Used in AC line filters, switching power supplies, battery charges and other electronic equipment.



**Type:** RF Chokes  
**Typical Values:** 10  $\mu$ H to 50  $\mu$ H  
**Applications:** Used in radio, television, and communication circuits. Found in AM, FM, and UHF circuits.



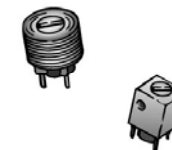
**Type:** Moiled Coils  
**Typical Values:** 0.1  $\mu$ H to 100  $\mu$ H  
**Applications:** Used in a wide variety of circuit such as oscillators, filters, pass-band filters, and others.



**Type:** Surface Mounted Inductors  
**Typical Values:** 0.01  $\mu$ H to 100  $\mu$ H  
**Applications:** Found in many electronic circuits that require miniature components on multilayered PCB.



**Type:** Adjustable RF Coil  
**Typical Values:** 1  $\mu$ H to 100  $\mu$ H  
**Applications:** Variable inductor used in oscillators and various RF circuits such as CB transceivers, televisions, and radios.



# Indutores na prática



# Projeto simplificado de indutores

**Bobinas longas:**

$$L = \frac{\mu \cdot N^2 \cdot A}{\ell} \longrightarrow \boxed{N = \sqrt{\frac{L \cdot \ell}{\mu \cdot A}}}$$

N - número de espiras da bobina indutora

L - Indutância da bobina indutora, [Henry, H];

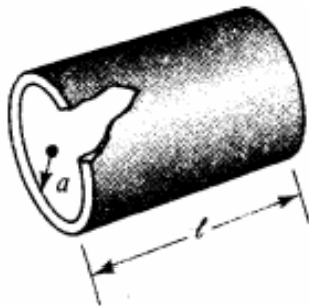
A - área das espiras da bobina (área do núcleo), [metro quadrado, m<sup>2</sup>];

ℓ - comprimento longitudinal da bobina, [metro, m];

μ - permeabilidade magnética do meio no núcleo da bobina [Henry por metro, H/m];

## Projeto simplificado de indutores

Bobina de camada única com núcleo de ar:



$$N = \sqrt{\frac{L \cdot (9 \cdot a + 10 \cdot \ell)}{39,5 \cdot a^2}}$$

N - número de espiras da bobina indutora;

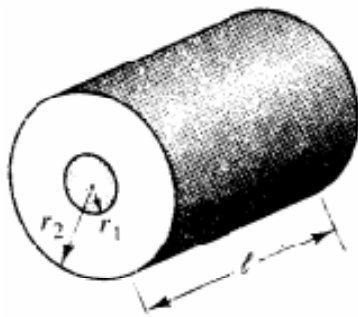
L - indutância desejada para o indutor, [Micro Henry,  $\mu\text{H}$ ];

$\ell$  - comprimento longitudinal da bobina [metro, m];

a - raio do núcleo (raio das espiras), [metro, m]

## Projeto simplificado de indutores

Bobina de diversas camadas com núcleo de ar:



$$N = \sqrt{\frac{L \cdot (6r_1 + 9l + 10(r_2 - r_1))}{31,6 \cdot r_1^2}}$$

N - número de espiras da bobina indutora;

L - indutância desejada para o indutor, [Micro Henry,  $\mu\text{H}$ ];

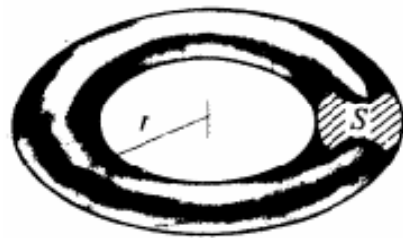
$l$  - comprimento longitudinal da bobina, [metro, m];

$r_1$  - raio interno da bobina (raio das espiras interiores), [metro, m];

$r_2$  - raio externo da bobina (raio das espiras exteriores), [metro, m].

# Projeto simplificado de indutores

## Núcleos toroidais:



$$N = \sqrt{\frac{2 \cdot \pi \cdot r \cdot L}{\mu \cdot A}}$$

N - número de espiras da bobina indutora;

L - indutância desejada para o indutor, [Henry, H];

r - raio médio do toroide<sup>14</sup>, [metro, m];

$\mu$  - permeabilidade magnética do material do núcleo, [Henry por metro, H/m];

A - área da seção transversal do núcleo toroide (área das espiras da bobina), [metro quadrado, m<sup>2</sup>]

# Projeto de um indutor

---

## Tarefa:

- Indutância:  $L = 100$  a  $500 \mu\text{H}$ ;
- Núcleo de ar;
- Diâmetro: livre, conforme o carretel ou molde;
- Comprimento: livre;
- Número de camadas: livre;
- Corrente:  $I = 1 \text{ A}$ ;
- Área do condutor: conforme tabela no Anexo B da apostila, para corrente especificada;
- Individual;
- Resposta deve conter todos os cálculos e considerações realizados.

## Na próxima aula

---

### Capítulo 11: Circuitos magnéticos

1. Tensão induzida;
2. Resposta transitória.

