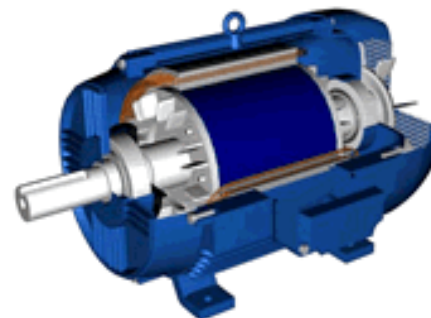
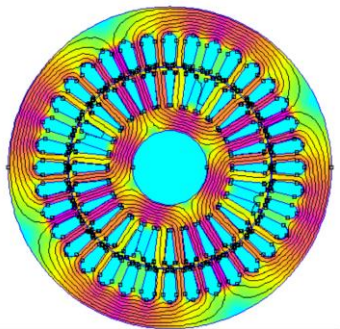


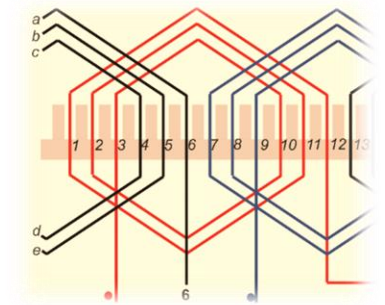
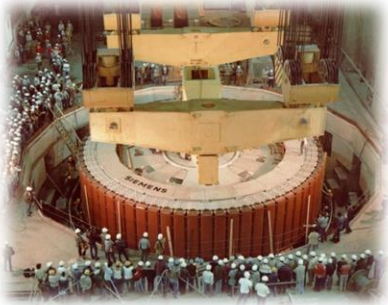
Aula 2: Propriedades magnéticas dos materiais

Prof. Allan Fagner Cupertino
afcupertino@ieee.org

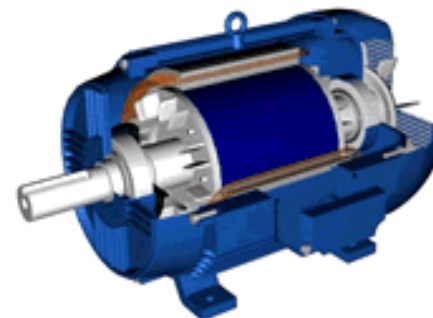
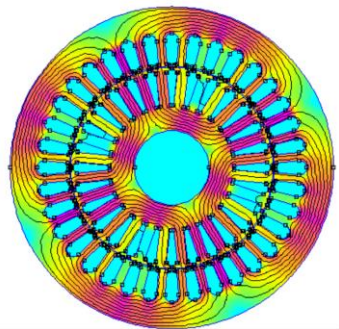


Sumário

- Campo magnético
- Propriedades magnéticas dos materiais
- Linhas de campo magnético
- Fluxo magnético
- Densidade de fluxo magnético



Campo magnético de algumas estruturas

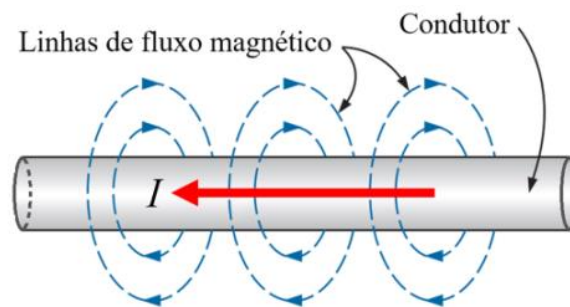


<http://www.semage.com.br/calternada.ph>



Exemplo 1: Fio Condutor

- ❑ Determinar a direção e sentido do campo magnético de fio condutor.

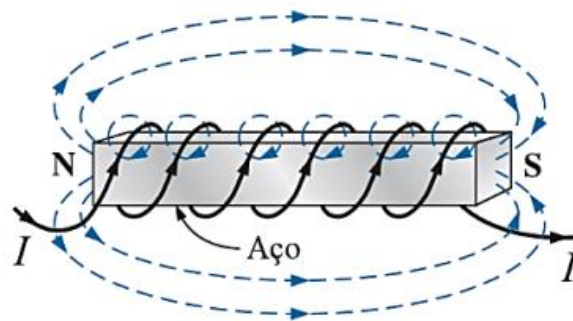


Boylestad, R. L. . “Introdução a análise de circuitos”.

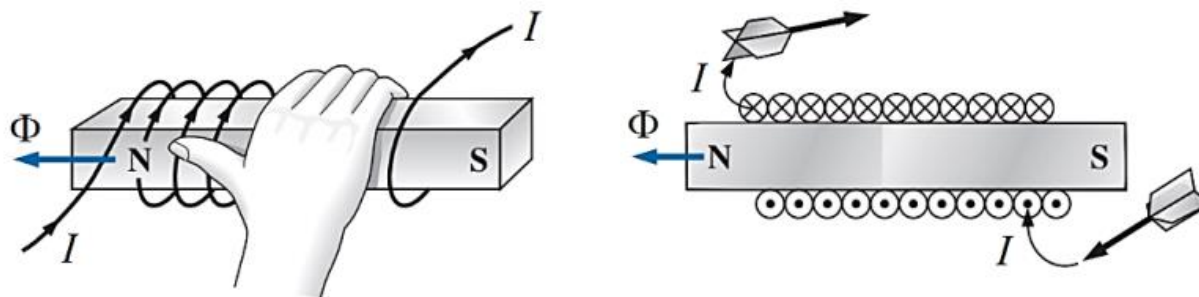
$$H = \frac{i}{2\pi r}$$

Exemplo 2: Solenóide

- ❑ Determinar a direção e sentido do campo magnético de um solenóide.



Boylestad, R. L. . “Introdução a análise de circuitos”.

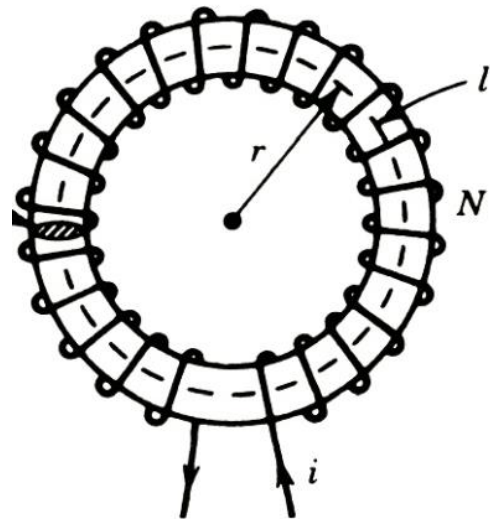


Boylestad, R. L. . “Introdução a análise de circuitos”.

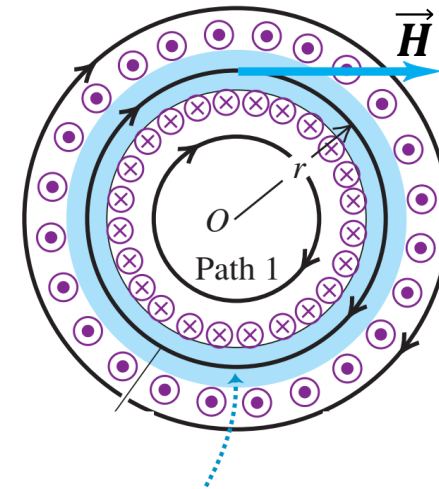
Exemplo 3: Toróide

- ❑ Determinar a direção do campo magnético de um toróide.

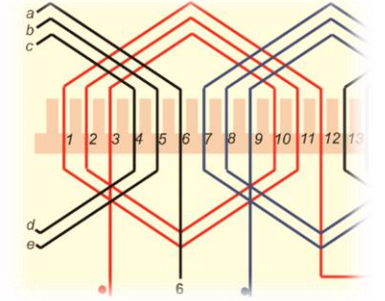
P. C. Sen. "Principles of Electrical Machines and Power Electronics"..



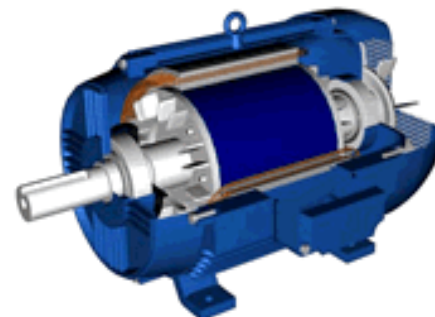
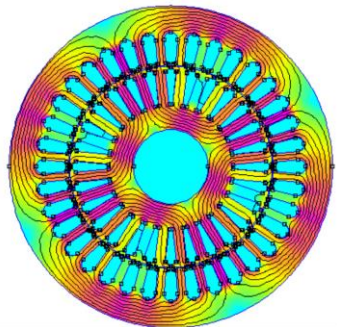
Young and Freedman. "Física III: Eletromagnetismo"..



<http://www.magmattec.com.br/indutores>



Propriedades magnéticas dos materiais

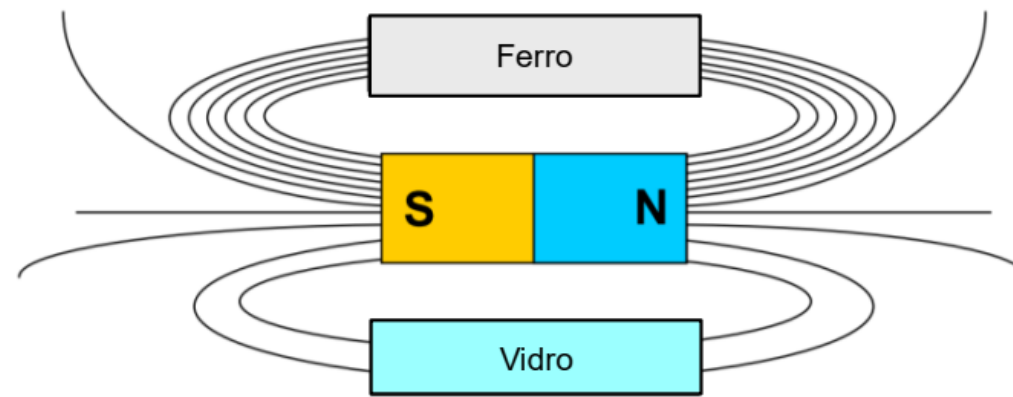


<http://www.semage.com.br/calternada.php>



Magnetização dos materiais

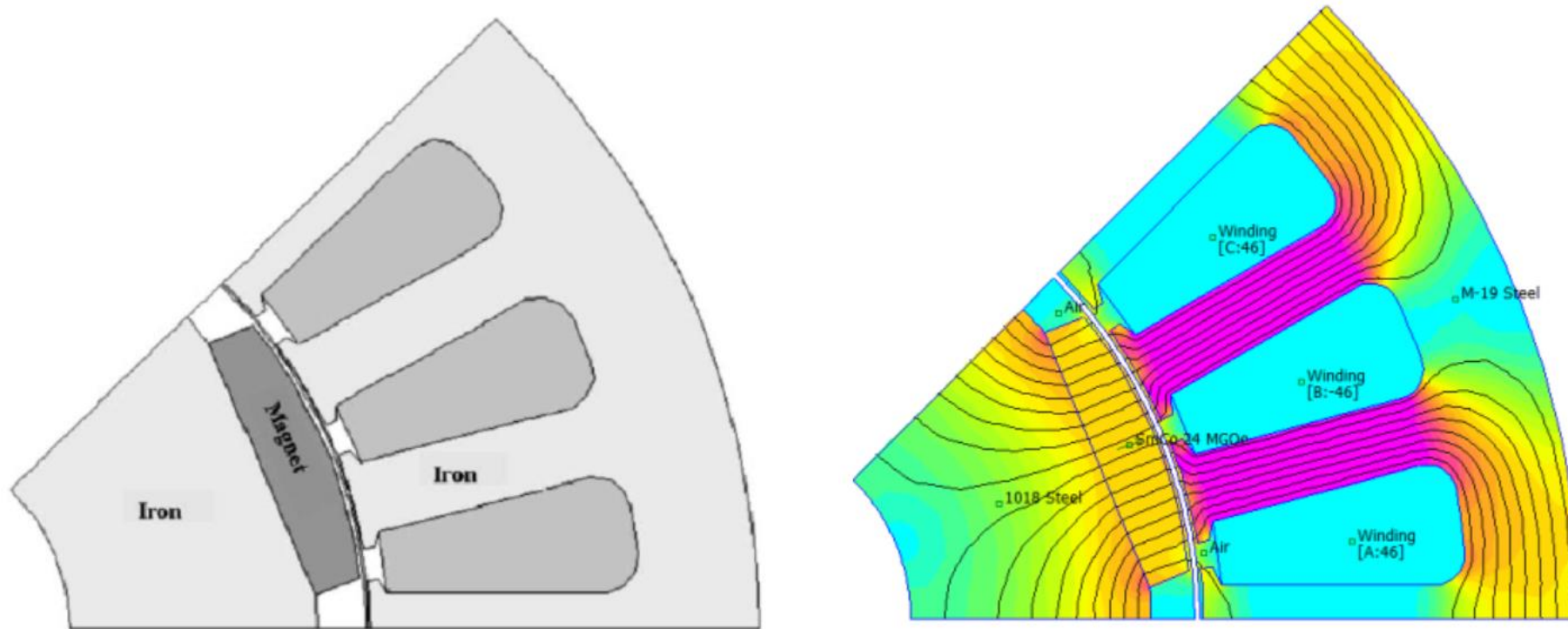
- ❑ Intensidade de campo magnético H : Depende da distribuição de corrente (valor da corrente e geometria do dispositivo);
- ❑ Desta forma, H não depende do meio (material);
- ❑ Contudo, quando um campo magnético externo entra em um determinado material, a densidade de linhas de campo pode mudar.



<https://docplayer.com.br/44890303-Cap-8-campo-magnetico.html>

Magnetização dos materiais

- ❑ Exemplo: Distribuição das linhas de campo em uma máquina Elétrica;
- ❑ Note que o cobre e o ferro tem propriedades bastante diferentes.



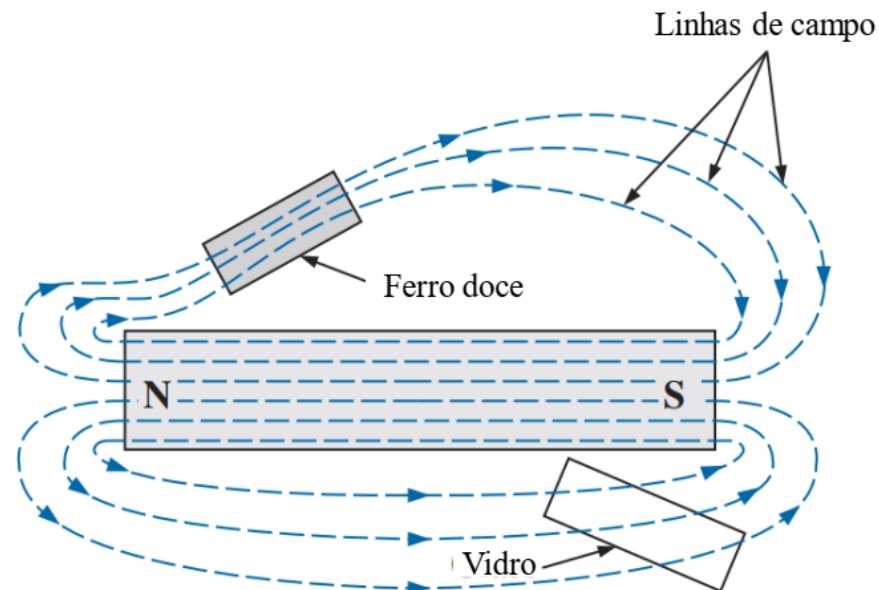
<http://www.femm.info/wiki/RotorMotion>

Permeabilidade magnética μ

- ❑ Propriedade que mede a capacidade de um material de concentrar as linhas de campo magnético geradas por uma fonte externa;
- ❑ Unidade: Henrys por metro (H/m);

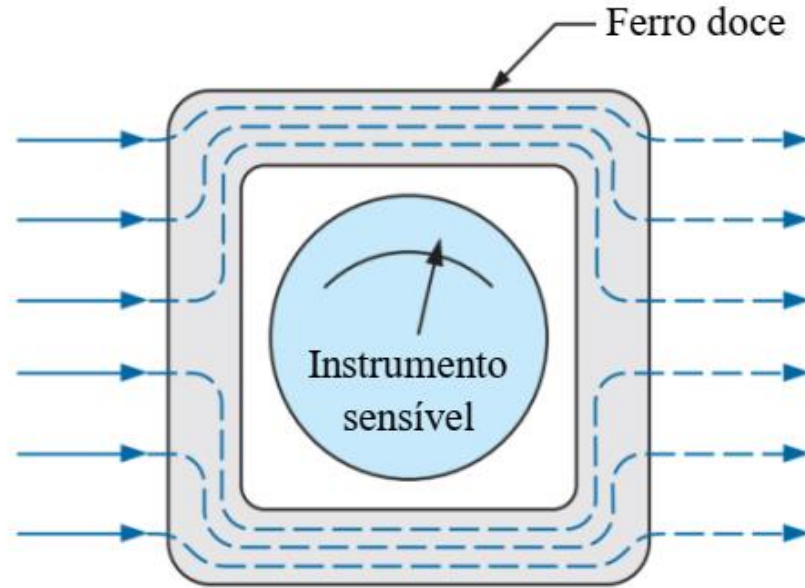


Cuidado para não confundir com intensidade de campo magnético H ;



Boylestad, R. L. . "Introdução a análise de circuitos".

Exemplo de aplicação: Blindagem



Boylestad, R. L. . "Introdução a análise de circuitos".



http://rmsshield.med.br/blindagem_rf/

Permeabilidade magnética relativa μ_r

- ❑ É usual apresentar valores de permeabilidade relativa, que é dada por:

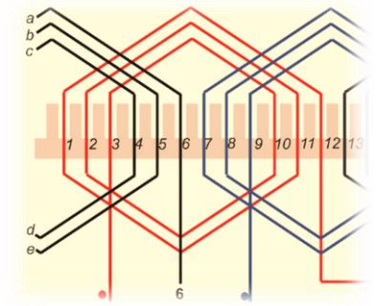
$$\mu_r = \frac{\mu}{\mu_0}$$

- ❑ μ é a permeabilidade magnética do material;
- ❑ $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ H/m é a permeabilidade magnética do vácuo.

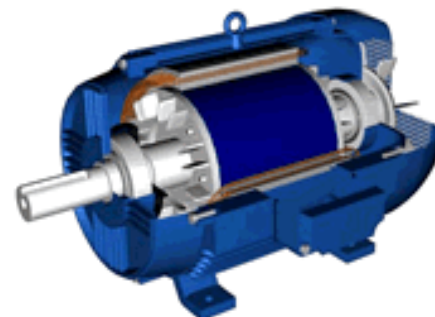
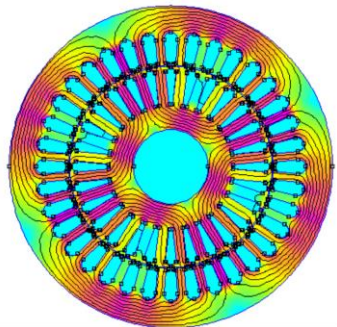
Classificação dos materiais quanto a permeabilidade

Tabela 1.1 – Tabela com descrição dos tipos de materiais magnéticos.

Tipo de material	Descrição e características
FERROMAGNÉTICO	<ul style="list-style-type: none">- Apresenta uma magnetização espontânea e totalmente independente de campos magnéticos externos.- a sua permeabilidade (μ) é muito maior a do vácuo.- a concentração das linhas de campo que o intercepta é forte (ver a Figura 1.19).- Exemplos: Cobalto ($\mu_r = 60$); Níquel ($\mu_r = 50$); Ferro fundido ($\mu_r = 60$); Aço ($\mu_r = 500$ a 5000) e ligas como o Alnico e o Permalloy.
PARAMAGNÉTICO	<ul style="list-style-type: none">- Este material concentra ligeiramente as linhas de fluxo que o intercepta.- Apresenta a permeabilidade ligeiramente maior que a do vácuo.- Exemplos: oxigênio, sódio, sais de ferro e de níquel.
DIAMAGNÉTICO	<ul style="list-style-type: none">- Possui a permeabilidade menor que a do vácuo, ou seja, a sua permeabilidade relativa é menor que 1.- Este tipo de material afasta ligeiramente as linhas de fluxo que o intercepta.- Exemplos: vidro, água, bismuto, antimônio, cobre, zinco, mercúrio, ouro e prata.



Processo de magnetização

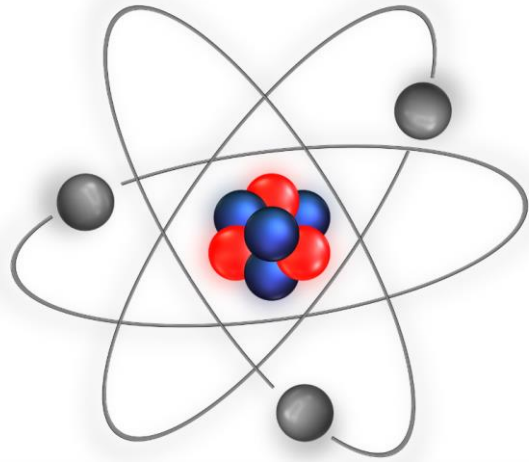


<http://www.semage.com.br/calternada.php>

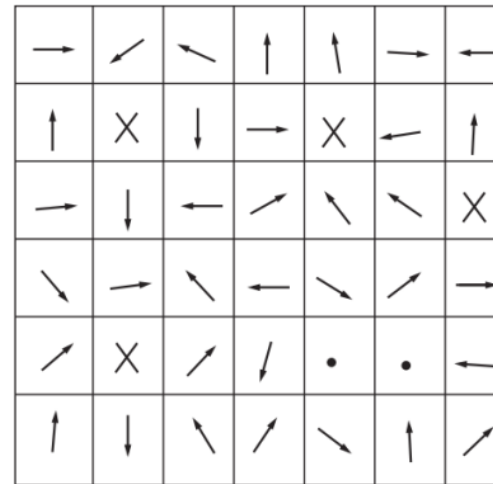


Magnetização dos materiais

- ❑ Um material é constituído de átomos;
- ❑ Cada átomo apresenta elétrons em movimento;
- ❑ Carga elétrica + velocidade → Campo Magnético;
- ❑ Usualmente denominado domínio.



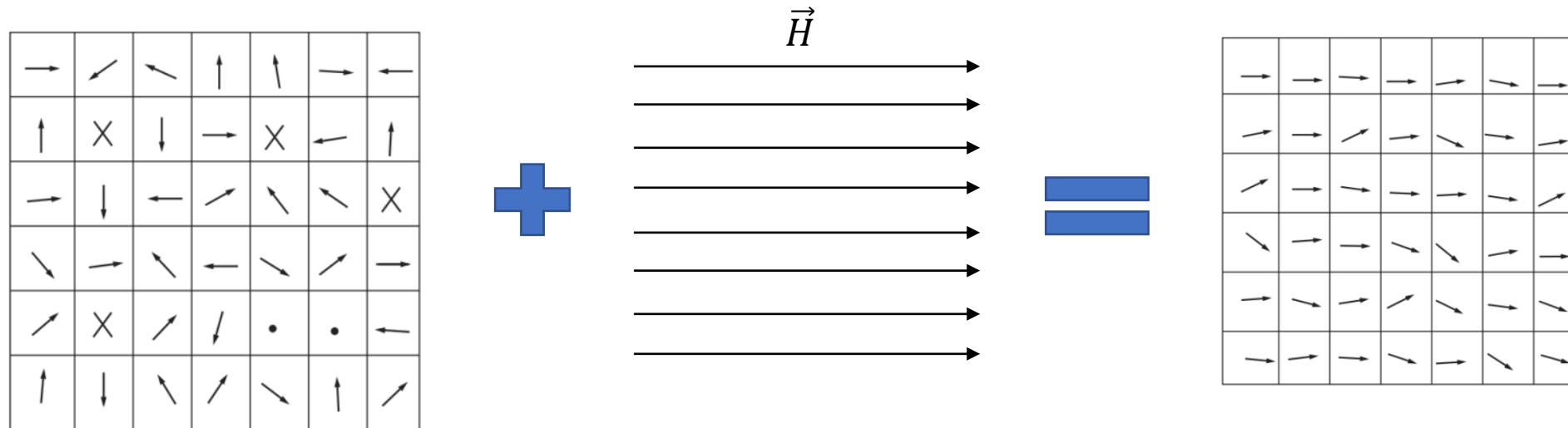
<https://conhecimentocientifico.r7.com/mod/elo-atomico-de-bohr-2/>



S. J. Chapman. "Fundamentos de Máquinas Elétricas"..

Magnetização

- ❑ Magnetização → Interação dos domínios com o campo magnético externo;
- ❑ Dependendo do tipo de material, os domínios podem se alinhar, manter-se na posição inicial ou se opor ao campo magnético externo;
- ❑ Exemplo de interação:



S. J. Chapman. "Fundamentos de Máquinas Elétricas".

Classificação dos materiais quanto ao alinhamento

- ❑ Material ferromagnético mole: A maioria dos domínios voltam a se desorientar se a fonte de campo externa é removida;

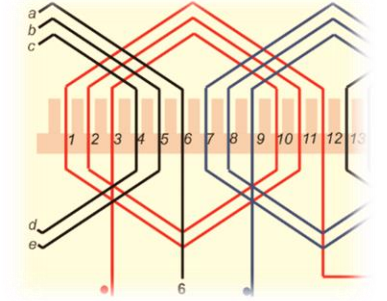


<https://www.magmattec.com.br/materiais-magneticos-e-aplicacoes/indutores-toroidais-qual-o-material-mais-indicado-para-cada-aplicacao>

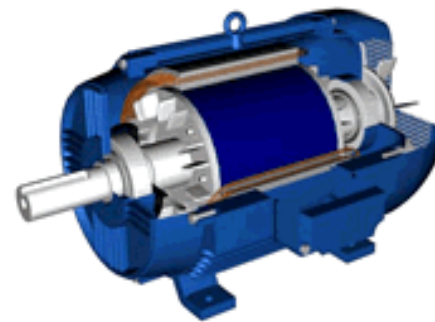
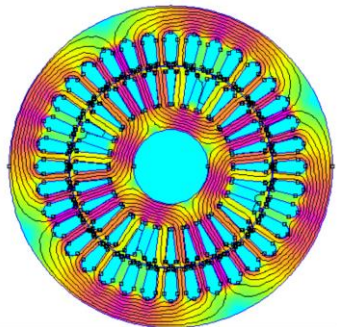
- ❑ Material ferromagnético duro: A maioria dos domínios mantêm-se orientados mesmo se a fonte de campo externa é removida;



<https://www.magtek.com.br/imas/neodimio-ferro-boro/>



Fluxo magnético e densidade de fluxo magnético

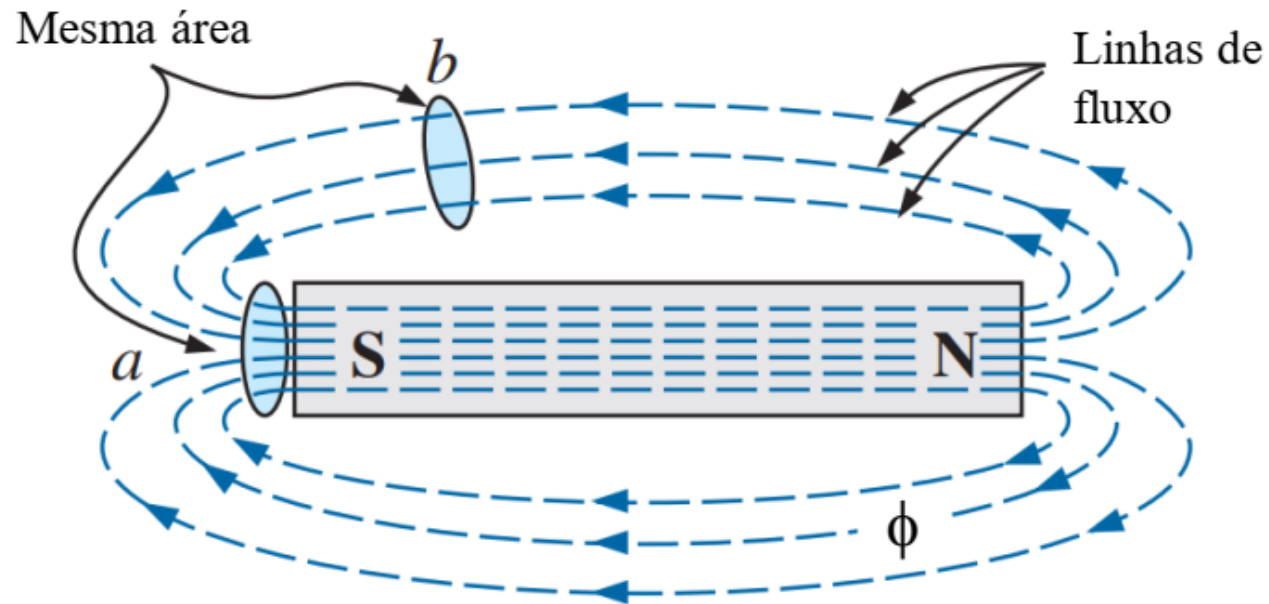


<http://www.semage.com.br/calternada.php>



Linhas de campo magnético

- ❑ Curvas fechadas que descrevem o comportamento espacial do campo magnético;
- ❑ Materiais ferromagnéticos concentram as linhas de campo magnético, visto que apresentam altas permeabilidades.



Boylestad, R. L. . “Introdução a análise de circuitos”.

Densidade de fluxo magnético

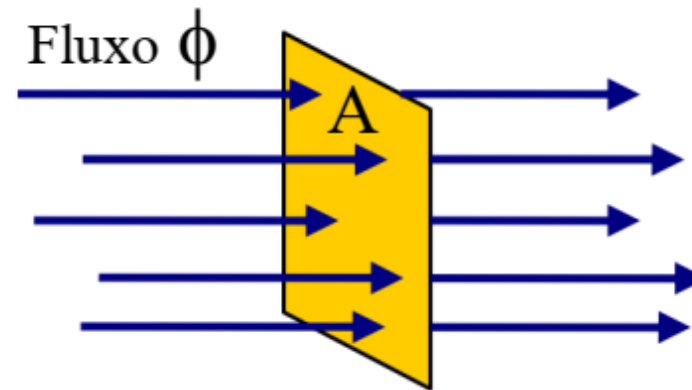
- ❑ O conjunto de todas as linhas de campo geradas por uma fonte de campo magnético é definido como fluxo magnético ϕ ;
- ❑ A unidade de fluxo magnético é o Weber (Wb)
- ❑ Defini-se a densidade de fluxo magnético B (ou indução magnética) como o fluxo magnético por unidade de área, isto é:

$$B = \frac{\phi}{A}$$

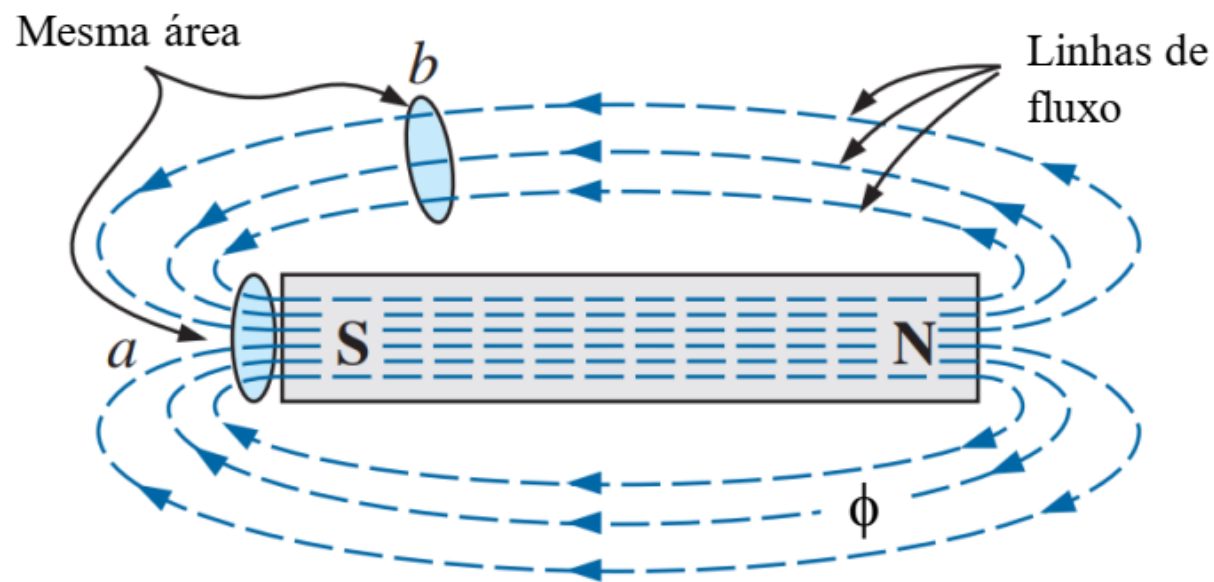
- ❑ A unidade de densidade de fluxo é o Tesla (T).

Densidade de fluxo magnético

☐ Interpretação física:



<https://docplayer.com.br/44890303-Cap-8-campo-magnetico.html>



Boylestad, R. L. . "Introdução a análise de circuitos".

Relação entre B e H

- ❑ Uma fonte de campo magnético gera um campo magnético H ;
- ❑ Desta forma, linhas de campo magnético distribuem-se no espaço;
- ❑ As linhas de campo podem se condensar dependendo do tipo de material;
- ❑ Portanto, existe uma relação entre B , H e o material;
- ❑ Esta relação é dada por:

Ou:

$$B = \mu H$$

$$B = \mu_r \mu_0 H$$

Obrigado pela Atenção



www.gesep.ufv.br



<https://www.facebook.com/gesep>



https://www.instagram.com/gesep_vicosa/



https://www.youtube.com/channel/UCe9KOSGORXh_hDBIcxMU2Nw



Estimate - Sistemas
Fotovoltaicos



<https://play.google.com/store/apps/details?id=br.developer.gesep.estimate>