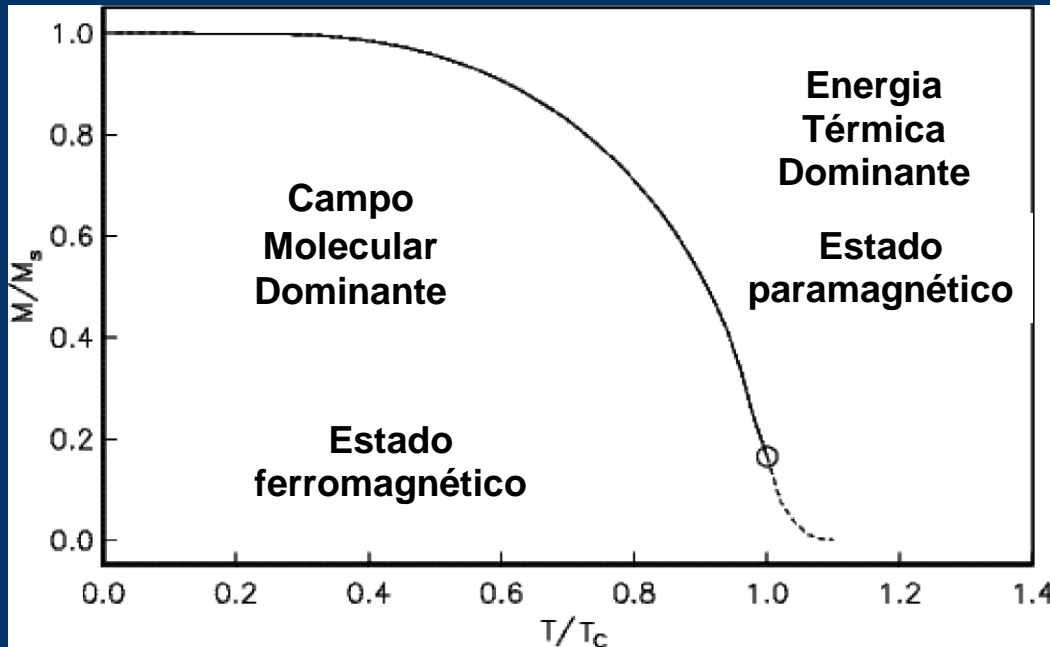


***Materiais
Magnéticos
Utilizáveis:***

***Ferromagnéticos
e
Ferrimagnéticos***

INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA NO COMPORTAMENTO MAGNÉTICO



$$T_c = \frac{N_m \mu_m \mu_0 \lambda}{3k}$$

N_m – no. de dipolos magn./unid.de vol.

μ_m – momento magnético

λ - constante de Weiss

k – constante de Boltzmann

μ_0 – permeabilidade magnética no vácuo

M_s – magnetização de saturação

T_c – Temperatura de Curie

$$T_c^{\text{Fe}} = 768 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_c^{\text{Co}} = 1120 \text{ } ^\circ\text{C}$$

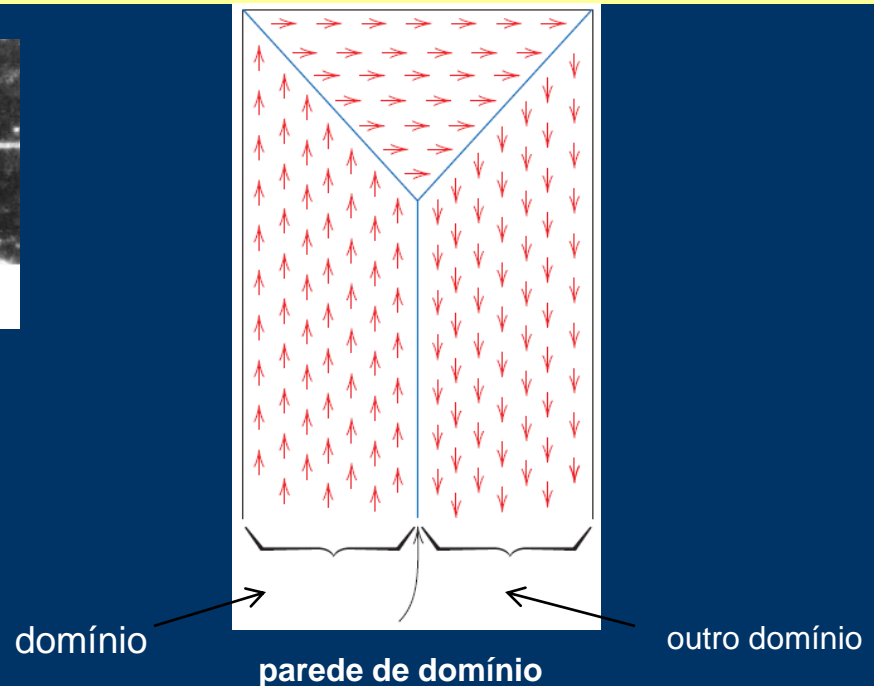
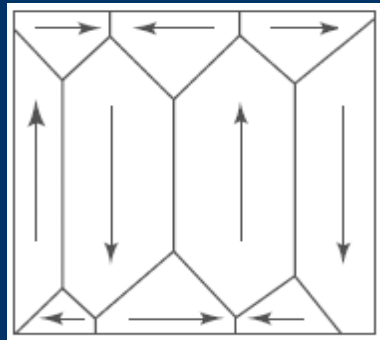
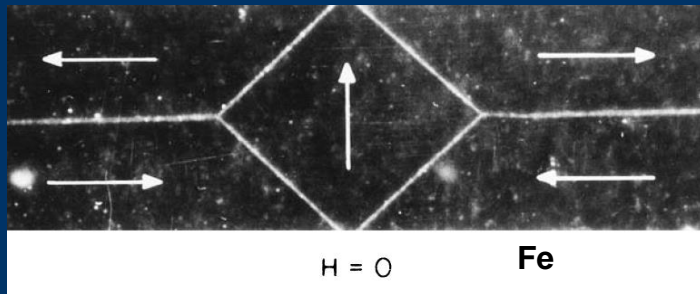
$$T_c^{\text{Ni}} = 335 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_c^{\text{Fe}_3\text{O}_4} = 585 \text{ } ^\circ\text{C}$$

DOMÍNIOS MAGNÉTICOS

Porque o ferro, antes de estar sujeito a um campo magnético, não apresenta magnetismo?

- Domínios: são regiões em que o material ferromagnético (ferri) se subdivide, de forma que dentro de cada domínio a magnetização de saturação é máxima.
- A somatória das magnetizações dos domínio é nula.



Porque há formação de domínios?

A formação de domínios se dá para que se atinja a situação de menor energia.

O alinhamento total dos momentos magnéticos produz altos campos magnéticos e portanto alta concentração de energia nas imediações do material. A subdivisão reduz esta energia.

Quando a divisão em domínios cessa?

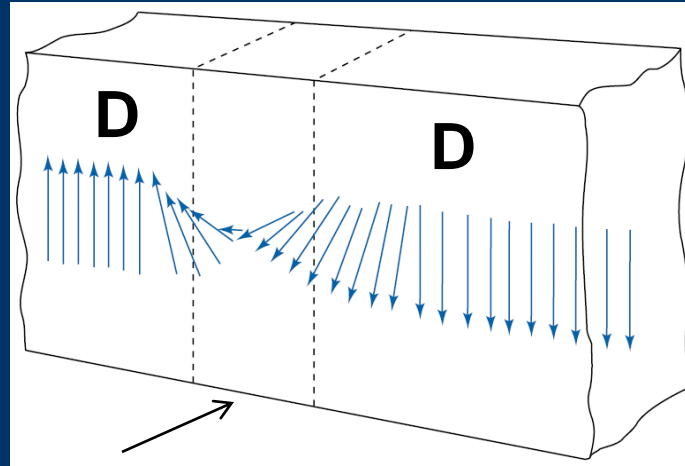
Energia para criar as **paredes** entre os **domínios**

=

Energia externa devido ao alinhamento do campo

Paredes de domínios

D = domínio



Parede de domínio

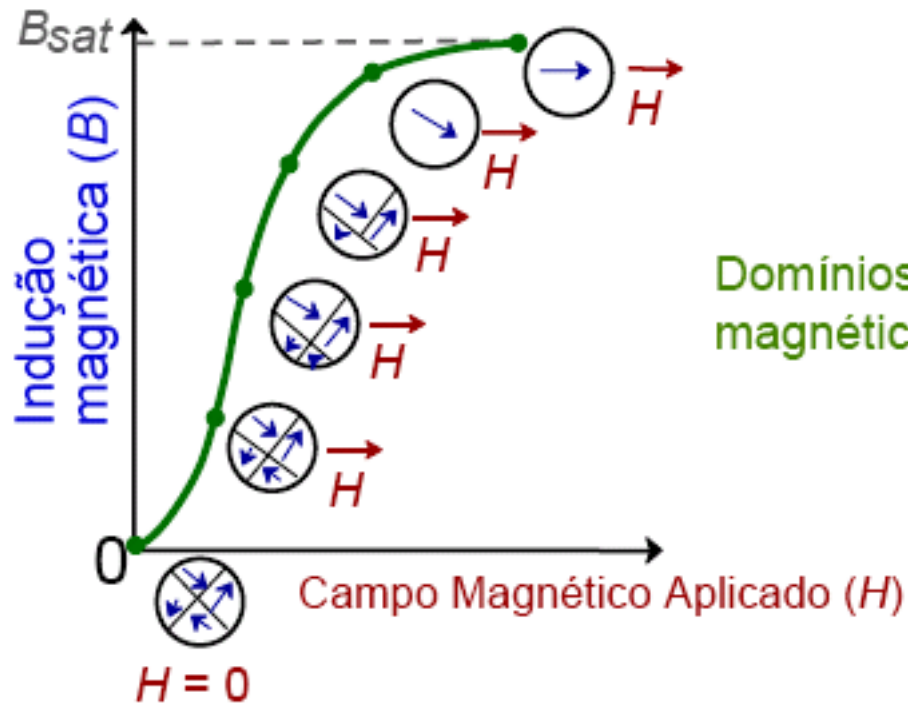
Momento magnético: módulo constante, muda a direção (rotação)

Desalinhamento é causado por uma competição entre a energia de troca (//) e a energia de anisotropia magnetocristalina

Baixa anisotropia: paredes largas $\sim 10 \mu\text{m}$

Alta anisotropia: parede estreita $\sim 0,3 \mu\text{m}$

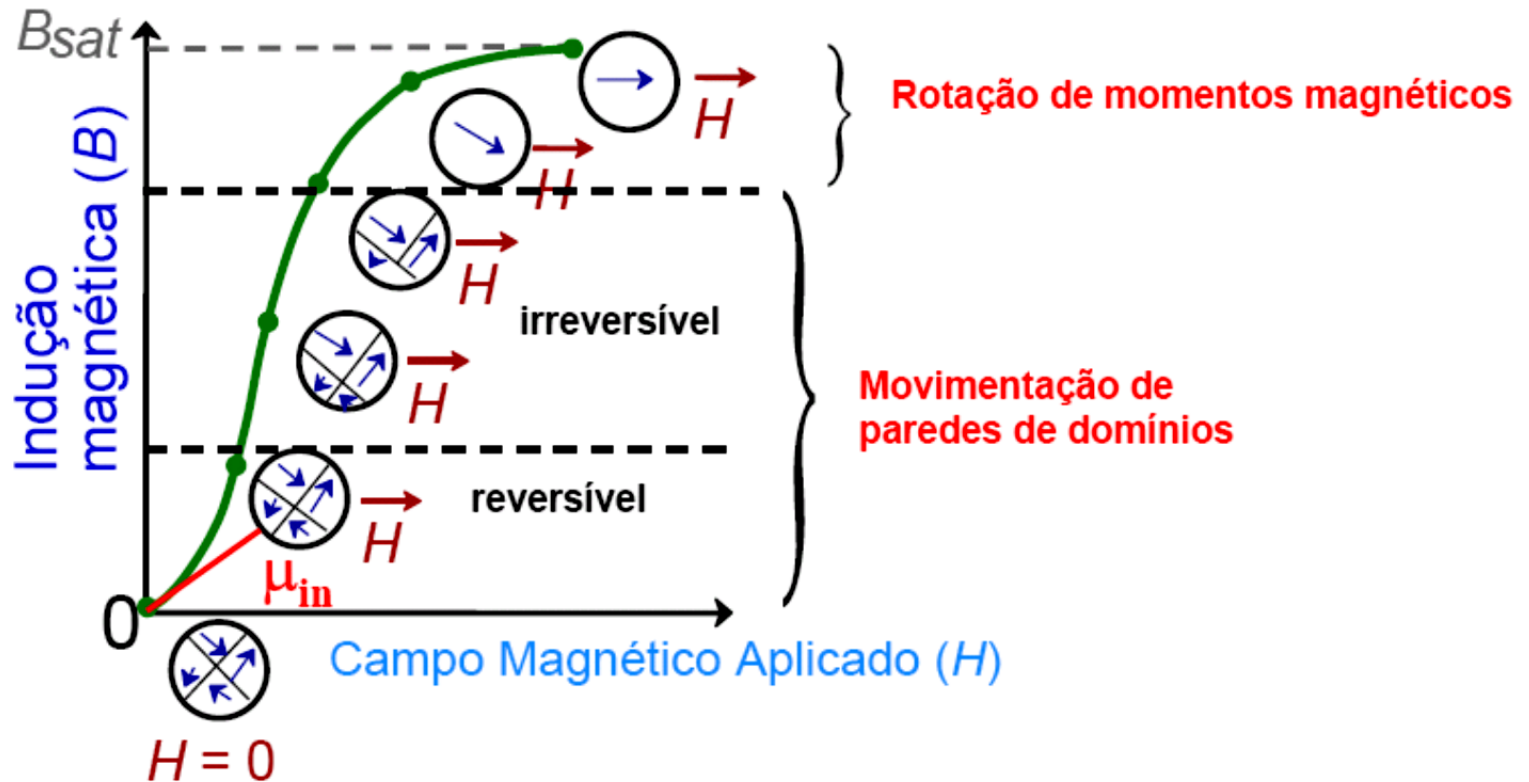
Magnetização Inicial



Domínios com momentos magnéticos || a $H \rightarrow$ crescem

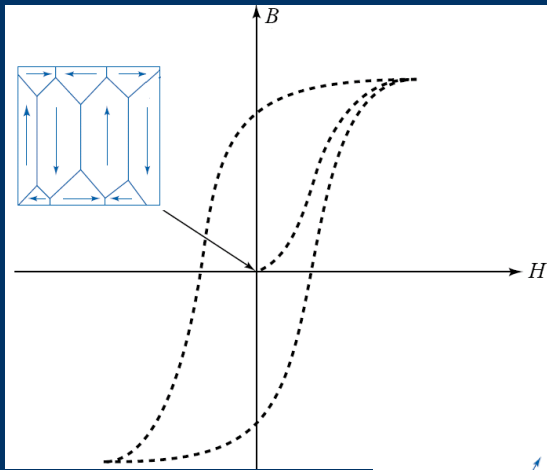
Domínios com momentos magnéticos desalinhados com $H \rightarrow$ diminuem.

Magnetização Inicial - continuação

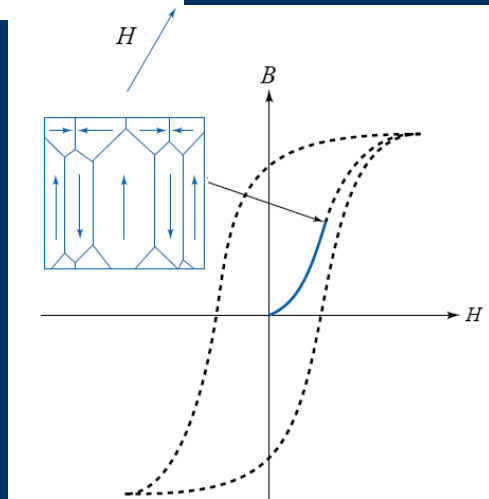


Permeabilidade inicial $\frac{dB}{dH}\Big|_{H=0} = \mu_{in} \longrightarrow$ Propriedade intrínseca do material

HISTERESE

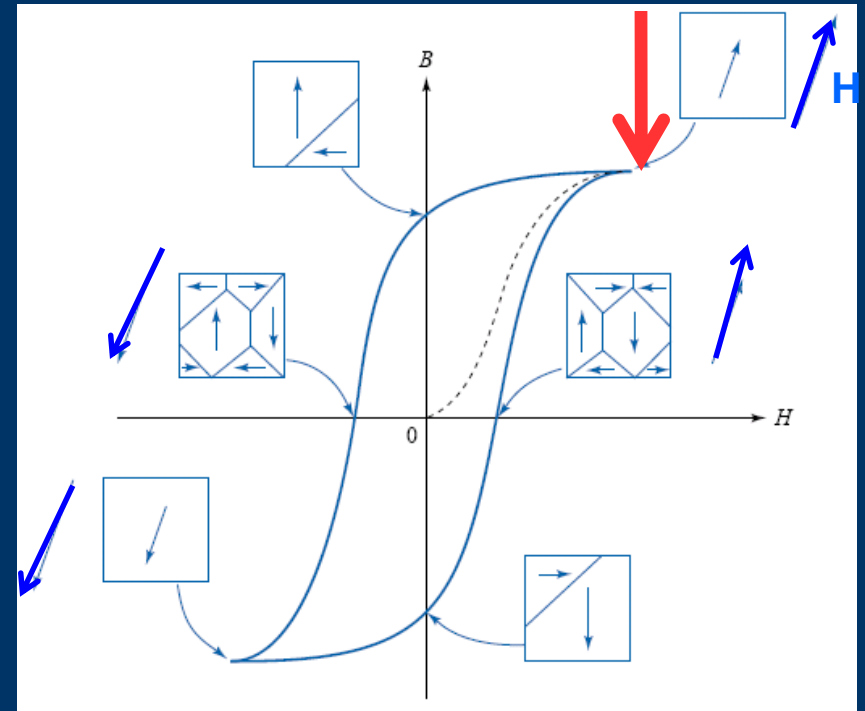


$M=0, H=0$



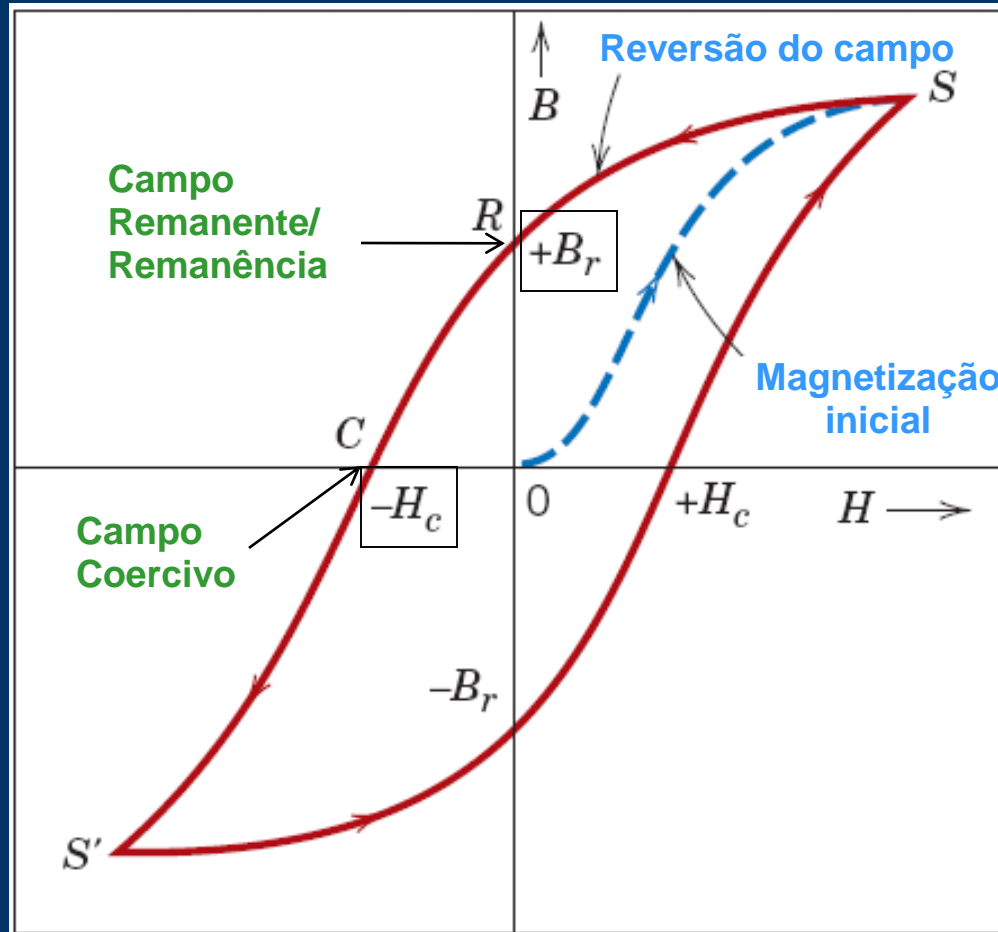
Magnetização inicial

Reversão do campo:
a partir da saturação



Histerese

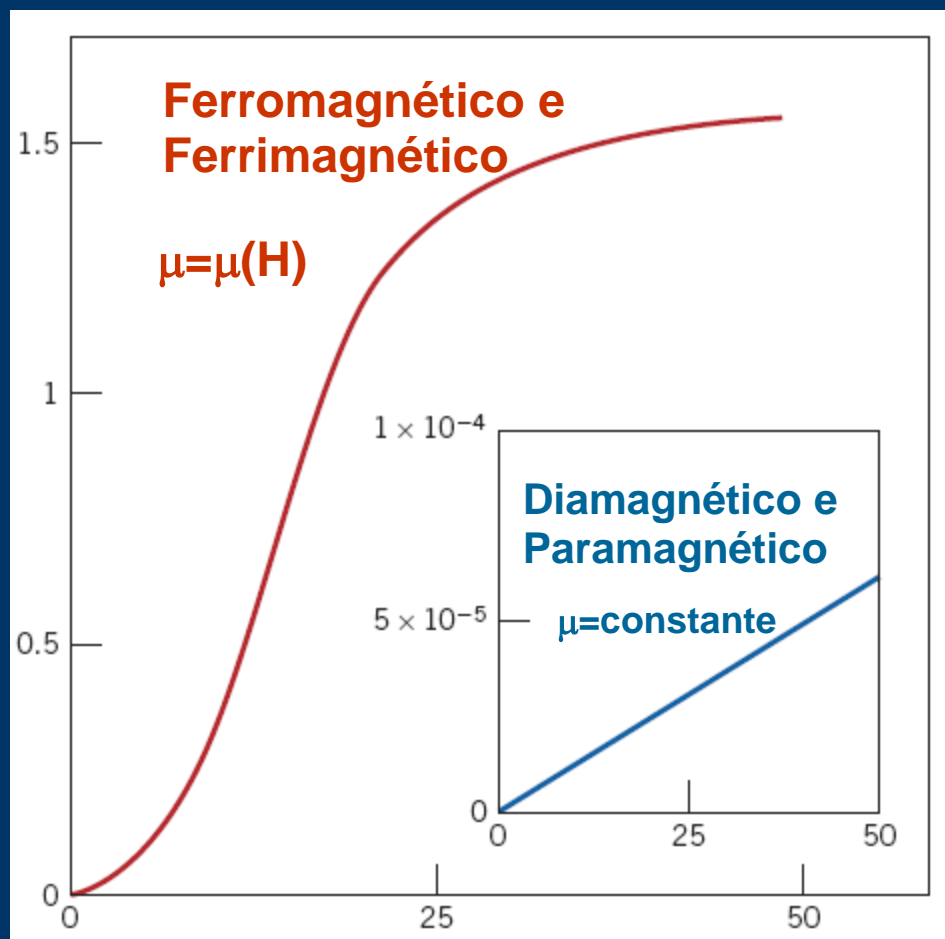
Características da histerese



Magnetização

Materiais magnéticos fortes e fracos

magnética (B)
Indução



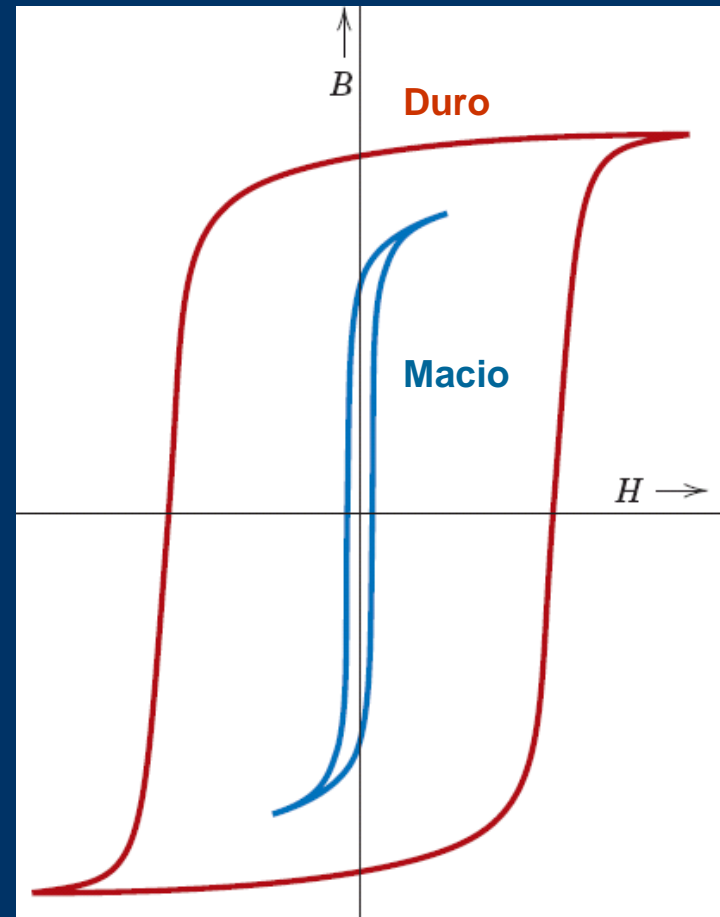
Campo Magnético Aplicado (H)

Dureza Magnética - Classificação de Materiais Magnéticos

A forma e o tamanho da curva de histerese são importantes em aplicações práticas de materiais.

A área interior ao laço de histerese representa a perda de energia magnética por unidade de volume do material no processo em cada ciclo de magnetização/desmagnetização.

Esta perda de energia se manifesta através do aquecimento do material e é capaz de aumentar a temperatura do mesmo.



Materiais Magnéticos Macios (Doces)

São usados em campos magnéticos alternados → perda de energia baixa (núcleos de transformadores)

- Saturação em campos baixos (facilmente magnetizado e desmagnetizado) com baixa perda de energia



- Área do laço de histerese pequena → laço estreito e alongado → alta permeabilidade (μ) e baixo coercividade (campo coercivo - H_c)

Baixos valores de H_c → fácil movimentação das paredes de domínios com mudança de intensidade e direção do campo magnético.

Defeitos estruturais (vazios e partículas não magnéticas) → aprisionam as paredes de domínio → aumentam H_c . **MATERIAL MAGNETICAMENTE MACIO DEVE SER LIVRE DESTE TIPO DE DEFEITOS.**

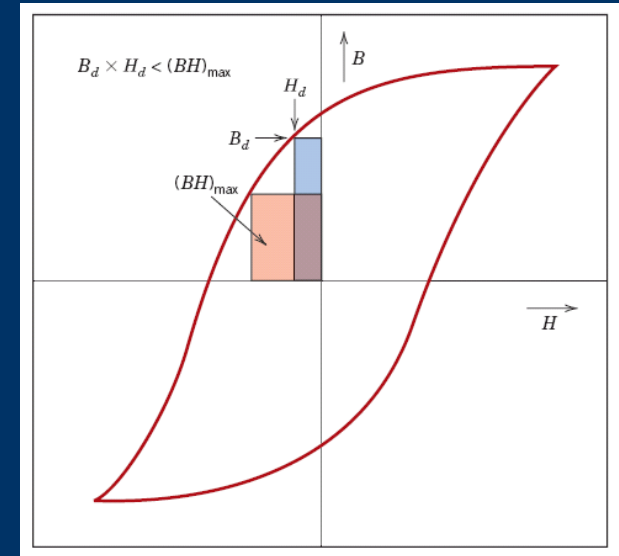
Materiais Macios - continuação

<i>Material</i>	<i>Composition (wt %)</i>	<i>Initial Relative Permeability μ_i</i>	<i>Saturation Flux Density B_s [tesla (gauss)]</i>	<i>Hysteresis Loss/Cycle [J/m³ (erg/cm³)]</i>	<i>Resistivity ρ (Ω-m)</i>
Commercial iron ingot	99.95Fe	150	2.14 (21,400)	270 (2700)	1.0×10^{-7}
Silicon-iron (oriented)	97Fe, 3Si	1400	2.01 (20,100)	40 (400)	4.7×10^{-7}
45 Permalloy	55Fe, 45Ni	2500	1.60 (16,000)	120 (1200)	4.5×10^{-7}
Supermalloy	79Ni, 15Fe, 5Mo, 0.5Mn	75,000	0.80 (8000)	—	6.0×10^{-7}
Ferroxcube A	48MnFe ₂ O ₄ , 52ZnFe ₂ O ₄	1400	0.33 (3300)	~40 (~400)	2000
Ferroxcube B	36NiFe ₂ O ₄ , 64ZnFe ₂ O ₄	650	0.36 (3600)	~35 (~350)	10^7

Materiais Magnéticos Duros

Usados em ímãs permanentes → alta resistência à desmagnetização.

- Alto valor de remanência (M_r , B_r),
- Alta coercividade (H_c),
- Alta magnetização de saturação (M_s)
- Baixa permeabilidade inicial (μ_i),
- Alta perda de energia histerética $(BH)_{\max}$ em kJ/m^3 .



O comportamento histerético está relacionado à facilidade de se movimentar as paredes de domínio.

Impedindo a movimentação das paredes → ↑ coercividade (H_c) e
↓ susceptibilidade (χ , μ)



Altos valores de campo para desmagnetizar o material

Materiais Magnéticos Duros

1930

1950

1970

1992

<i>Material</i>	<i>Composition (wt %)</i>	<i>Remanence B_r [tesla (gauss)]</i>	<i>Coercivity H_c [amp-turn/m (Oe)]</i>	<i>$(BH)_{max}$ [kJ/m³ (MGOe)]</i>	<i>Curie Temperature T_c [°C (°F)]</i>	<i>Resistivity ρ (Ω-m)</i>
Tungsten steel	92.8 Fe, 6 W, 0.5 Cr, 0.7 C	0.95 (9500)	5900 (74)	2.6 (0.33)	760 (1400)	3.0×10^{-7}
Cunife	20 Fe, 20 Ni, 60 Cu	0.54 (5400)	44,000 (550)	12 (1.5)	410 (770)	1.8×10^{-7}
Sintered alnico 8	34 Fe, 7 Al, 15 Ni, 35 Co, 4 Cu, 5 Ti	0.76 (7600)	125,000 (1550)	36 (4.5)	860 (1580)	—
Sintered ferrite 3	BaO-6Fe ₂ O ₃	0.32 (3200)	240,000 (3000)	20 (2.5)	450 (840)	$\sim 10^4$
Cobalt rare earth 1	SmCo ₅	0.92 (9200)	720,000 (9,000)	170 (21)	725 (1340)	5.0×10^{-7}
Sintered neodymium-iron-boron	Nd ₂ Fe ₁₄ B	1.16 (11,600)	848,000 (10,600)	255 (32)	310 (590)	1.6×10^{-6}

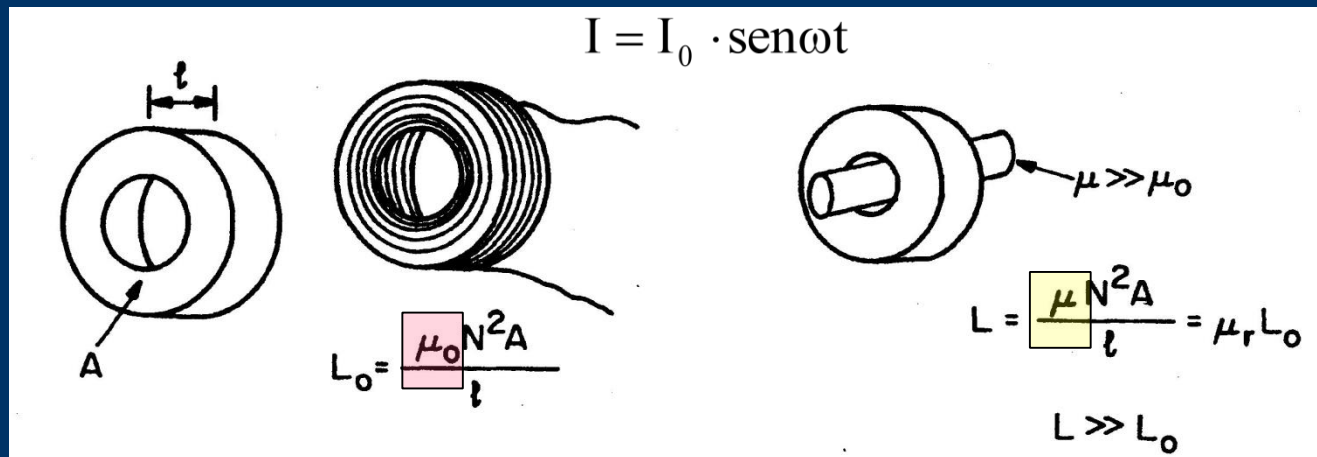
Materiais convencionais

Materiais de alta energia

Indutores

Indutores são elementos de circuito **que resistem a variações de corrente**. São normalmente na forma de enrolamento de fios .

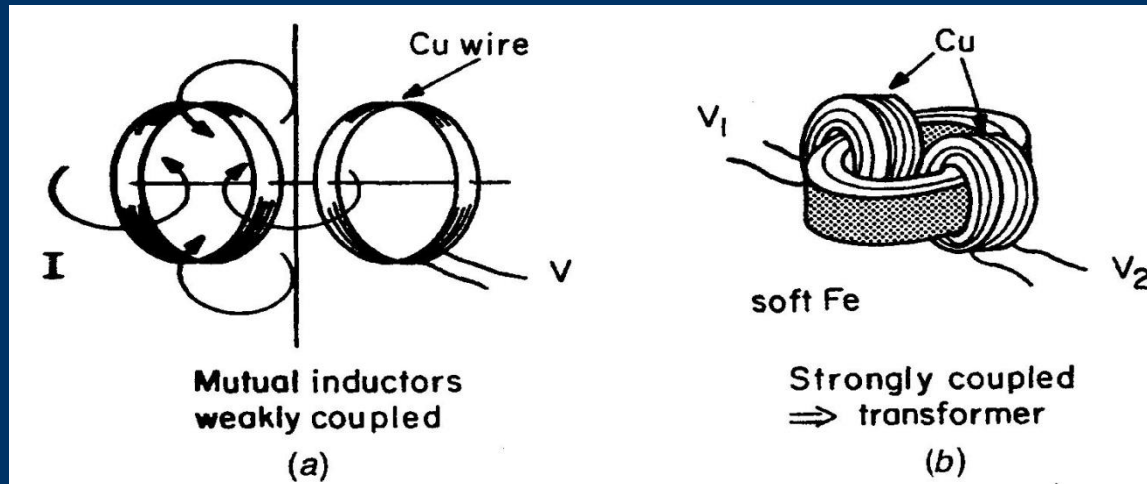
Num sistema onde há uma corrente alternada I , a voltagem no indutor também será alternada e pela Lei de Faraday a indutância no indutor preenchido com ar é dada por L_0



N é o no. de voltas, A é a área do enrolamento e l o comprimento

Transformadores

Um transformador consiste de um par de indutores acoplados um ao outro pelas variações de fluxo em cada um. A variação da corrente em uma bobina induz voltagem na outra. Se os materiais são ligados por um material de alta permeabilidade magnética (macio), o acoplamento, ou a indutância mútua aumenta significativamente. Assim, sinais elétricos podem ser transferidos pelo transformador.



Blindagem

Metais com boa condutividade elétrica (alto σ) podem blindar campos eletromagnéticos de alta frequência por efeito “skin” $\delta = [2/(\mu_0 \cdot \sigma \cdot \omega)]^{1/2}$. Se o material usado é magnético, $\mu_0 \rightarrow \mu_0 \cdot \mu_r$, sendo $\mu_r \gg 1$.



Blindagem mais efetiva
