

# EXPERIMENTO 5

**MAGNETOSTRICÇÃO VS CAMPO MAGNÉTICO APLICADO**

# MAGNETOSTRICÇÃO

Deformação do material por aplicação de campo magnético

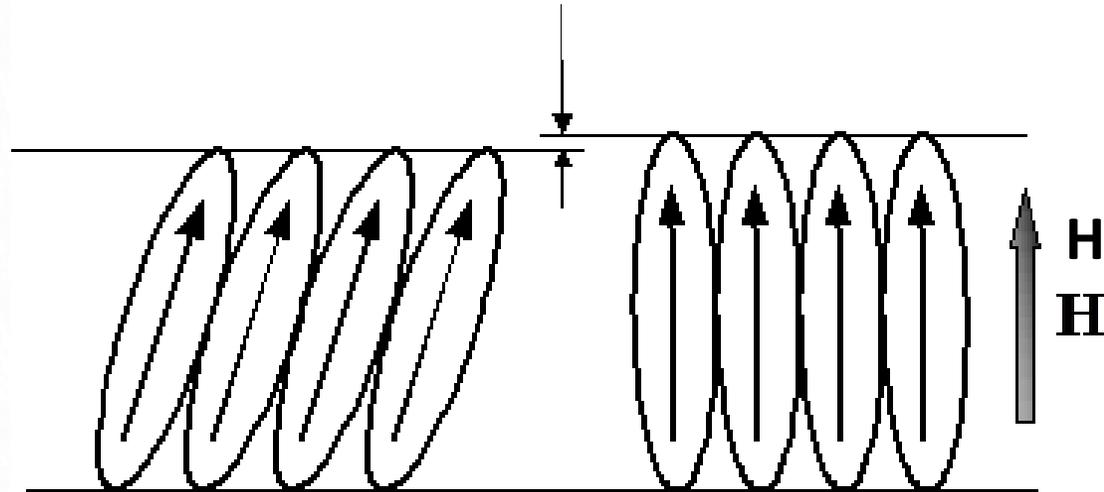
$$\varepsilon = \frac{\Delta \ell}{\ell}$$

Em temperatura constante.

# MAGNETOSTRICÇÃO

$$\varepsilon = \frac{\Delta \ell}{\ell}$$

Elipses representam os domínios magnéticos



Deformação do material por aplicação de campo magnético

São deformações pequenas, na região elástica.

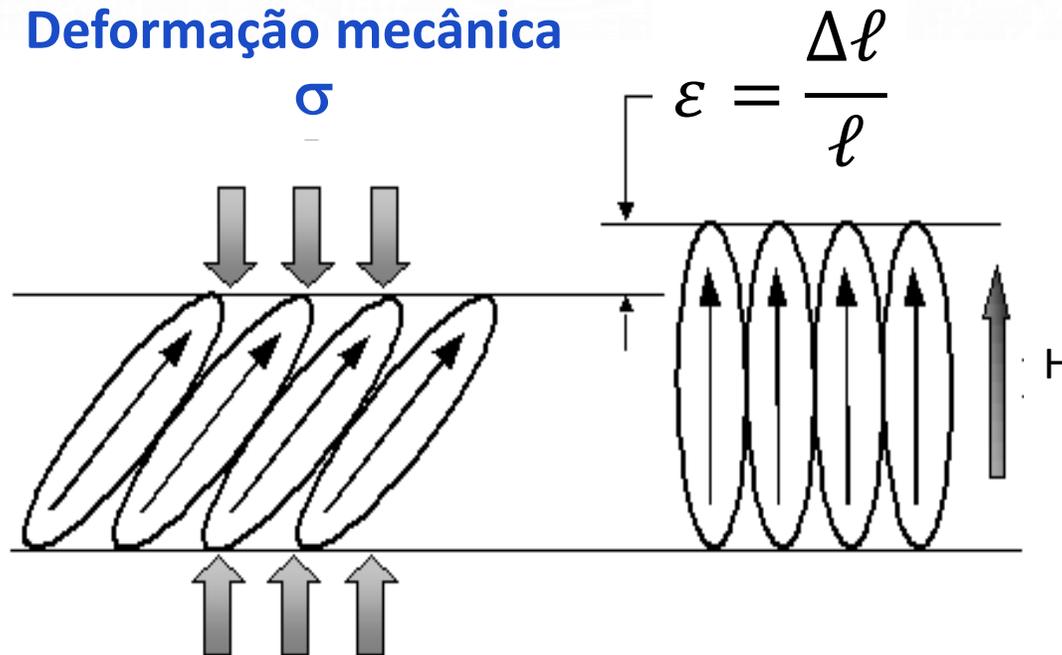
# A origem da magnetostricção

Acoplamento dos momentos magnéticos com a rede cristalina  
(anisotropia magnetocristalina)

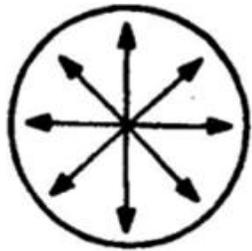
+

interação spin-órbita

Deformação mecânica



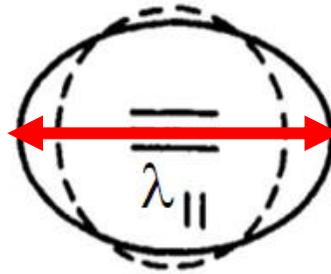
# SÃO DEFORMAÇÕES ANISOTRÓPICAS



$$\langle \mathbf{M} \rangle = 0$$

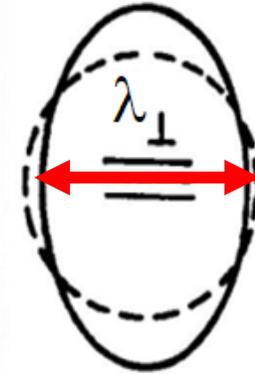
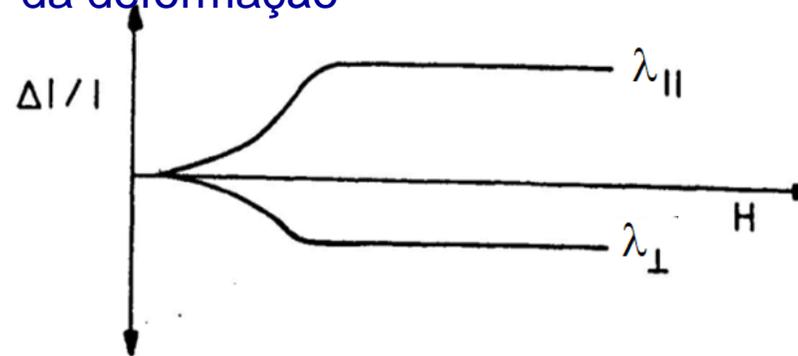
Material desmagnetizado

$$\varepsilon = \lambda = \frac{\Delta \ell}{\ell}$$



$$\mathbf{M} (\mathbf{H})$$

$\lambda_{||}$ , deformações para campo paralelo à direção da deformação



$$\mathbf{M} (\mathbf{H})$$

$\lambda_{\perp}$ , deformações para campo perpendicular à direção da deformação

Existe mais uma direção transversal a ser considerada

Neste exemplo  $\lambda_{\perp} < 0$  e  $\lambda_{||} > 0$ ; mas o inverso também ocorre, depende do material.

# DEPENDÊNCIA DA MAGNETOSTRICTIÇÃO DE JOULE DO CAMPO MAGNÉTICO

- A deformação magnetostrictiva, em um **material isotrópico**, em relação à direção da magnetização pode ser dada por:

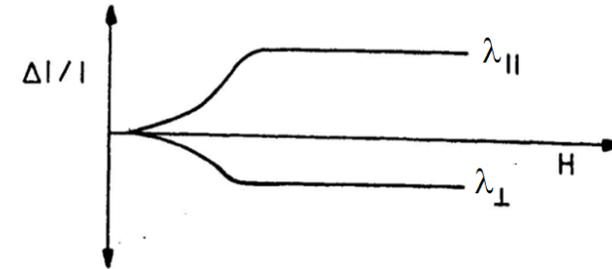
$$\varepsilon = \frac{\Delta \ell}{\ell} = \lambda = \frac{3}{2} \lambda_s \left( \cos^2 \theta - \frac{1}{3} \right)$$

$\varepsilon = \frac{\Delta \ell}{\ell}$  é a deformação medida;  $\theta$  é o ângulo relativo à direção do campo e  $\varepsilon$ ;

- a deformação  $\varepsilon$  é denominada de *magnetostrictão*  $\lambda$ .
- $\varepsilon$  é uma função de  $m = M/M_s = \cos\theta$  ou do campo aplicado, portanto não deve ser confundido com  $\lambda_s$  que é uma constante do material.

# Material isotrópico

$$e = \frac{\Delta \ell}{\ell} = \lambda = \frac{3}{2} \lambda_s \left( \cos^2 \theta - \frac{1}{3} \right)$$



- $\theta = 0 \rightarrow M$  é paralelo à deformação  $\rightarrow \lambda = \lambda_{\parallel} = \lambda_s$
- $\theta = \pi/2 \rightarrow M$  é perpendicular à deformação  $\rightarrow \lambda = \lambda_{\perp} = -1/2 \lambda_s$
- $\lambda_{\parallel}$  e  $\lambda_{\perp}$  são os valores de  $\lambda$  na saturação.

# Material isotrópico (conservação do volume)

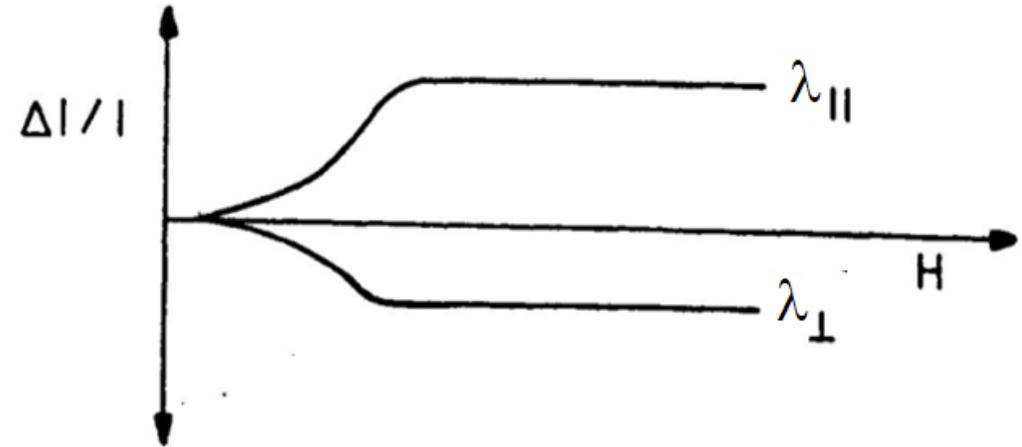
Conservação do volume:

$$\frac{\Delta V}{V} = \left(\frac{\Delta \ell}{\ell}\right)_{\parallel} + \left(\frac{\Delta \ell}{\ell}\right)_{\perp 1} + \left(\frac{\Delta \ell}{\ell}\right)_{\perp 2} = 0$$

$$\left(\frac{\Delta \ell}{\ell}\right)_{\perp 1} = \left(\frac{\Delta \ell}{\ell}\right)_{\perp 2} = \left(\frac{\Delta \ell}{\ell}\right)_{\perp}$$

$$\frac{\Delta V}{V} = \left(\frac{\Delta \ell}{\ell}\right)_{\parallel} + 2 \left(\frac{\Delta \ell}{\ell}\right)_{\perp} = 0$$

$$\left(\frac{\Delta \ell}{\ell}\right)_{\parallel} = -2 \left(\frac{\Delta \ell}{\ell}\right)_{\perp} \rightarrow \lambda_{\perp} = -1/2 \lambda_{\parallel}$$



Atente para a diferença entre deformação anisotrópica e material isotrópico.

# MATERIAIS NÃO SÃO IDEALMENTE ISOTRÓPICOS

- **Material não isotrópicos (possuem textura)** deve-se medir  $\lambda_{\parallel}$  e  $\lambda_{\perp}$  para obter  $\lambda_{\text{total}}$  e conseqüentemente  $\lambda_s$ ; Não posso afirmar que  $\lambda_{\parallel} = \lambda_s$  e nem que  $\lambda_{\perp} = -1/2 \lambda_{\parallel}$ .

A deformação total é dada por:

$$\lambda_{\text{total}} = \lambda_{\parallel} - 1/2\lambda_{\perp}^1 - 1/2\lambda_{\perp}^2 = \lambda_{\parallel} - \lambda_{\perp}, \text{ onde } \lambda_{\perp}^1 = \lambda_{\perp}^2 = \lambda_{\perp}$$

mas  $\lambda_{\perp} = -1/2 \lambda_{\parallel}$  e  $\lambda_{\parallel} = \lambda_s$

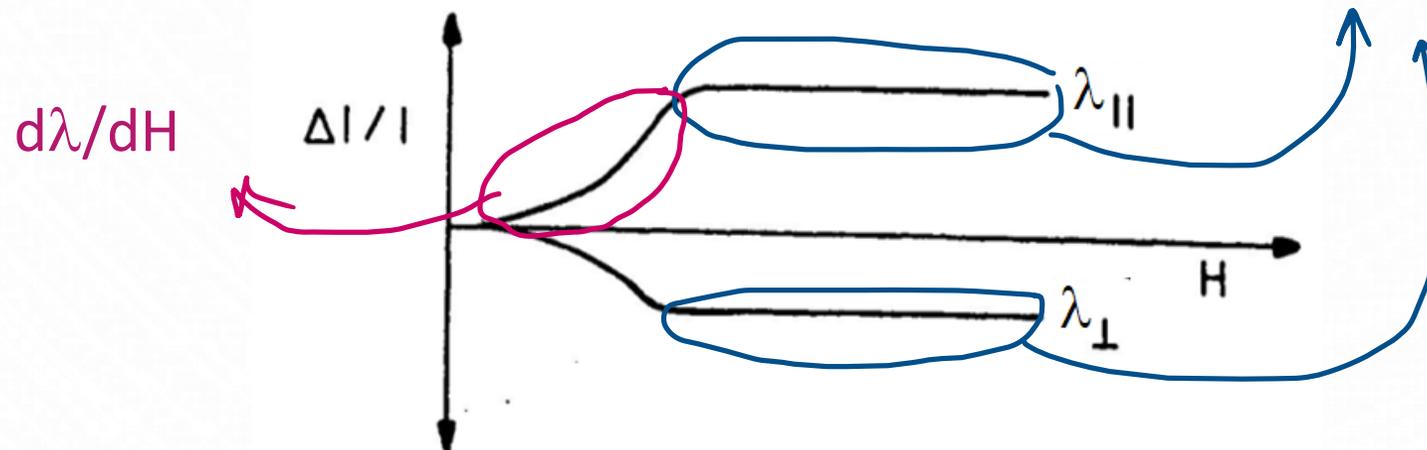
$$\lambda_{\text{total}} = \lambda_{\parallel} - (-1/2 \lambda_{\parallel}) = 3/2 \lambda_{\parallel} = 3/2 \lambda_s$$

# O QUE É IMPORTANTE NAS CURVAS DE MAGNETOSTRICÇÃO

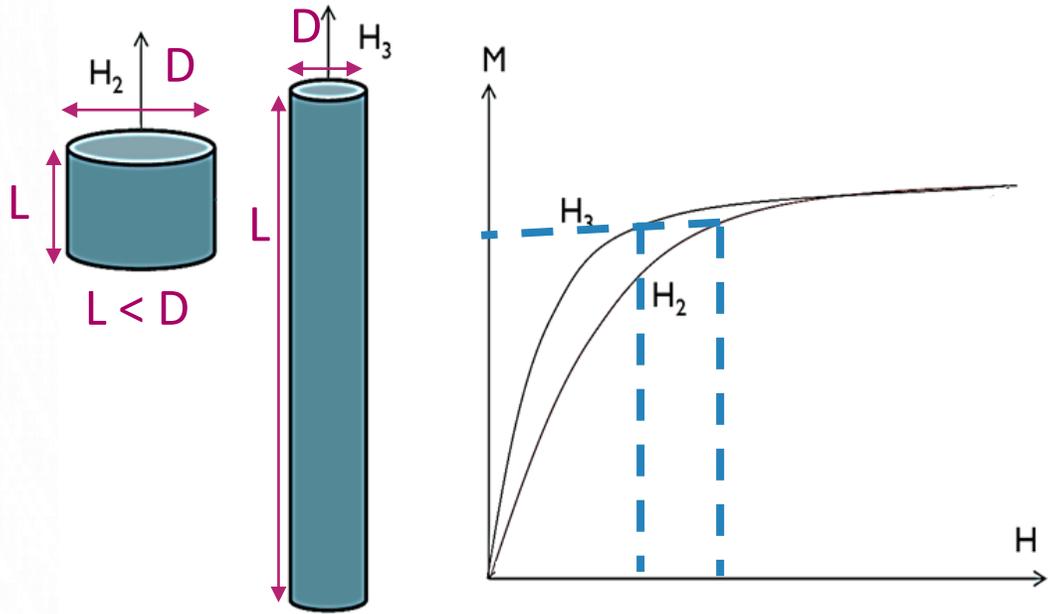
$$\lambda = \Delta l / l$$

- $\lambda_{\text{total}} = \lambda_{\parallel} - \lambda_{\perp}$
- $\lambda_{\text{total}} = 3/2 \lambda_s$ ;  $\lambda_s$  é uma propriedade intrínseca do material
- $d\lambda/dH =$  fator de atuação

Valores na saturação para calcular  $\lambda_s$

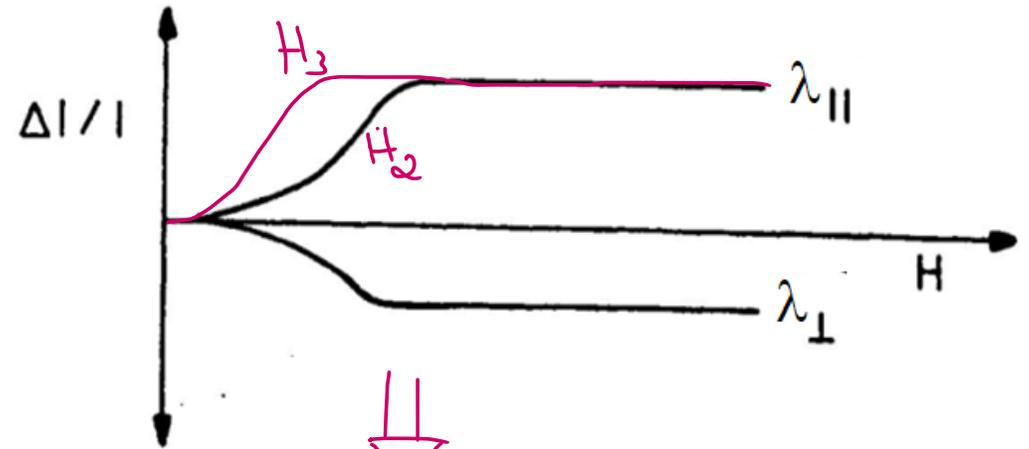


# ANISOTROPIA DE FORMA



$L \gg D$

$$\frac{dM}{dH}$$



$$\frac{d\lambda}{dH}$$

# INFLUÊNCIA DA FORMA DA AMOSTRA NO PROCESSO DE MAGNETIZAÇÃO

A razão de aspecto ( $L/D$ ) da amostra influencia na medida de magnetização;  $L$  é o comprimento e  $D$  é a largura ou diâmetro.

- ❑ O campo de desmagnetização provoca um efeito de deslocamento na curva de magnetização inicial e de magnetostricção inicial.
- ❑ Conseqüentemente tem efeito sobre o valor da permeabilidade inicial ou a susceptibilidade e do fator de atuação  $k = d\lambda/dH$ .

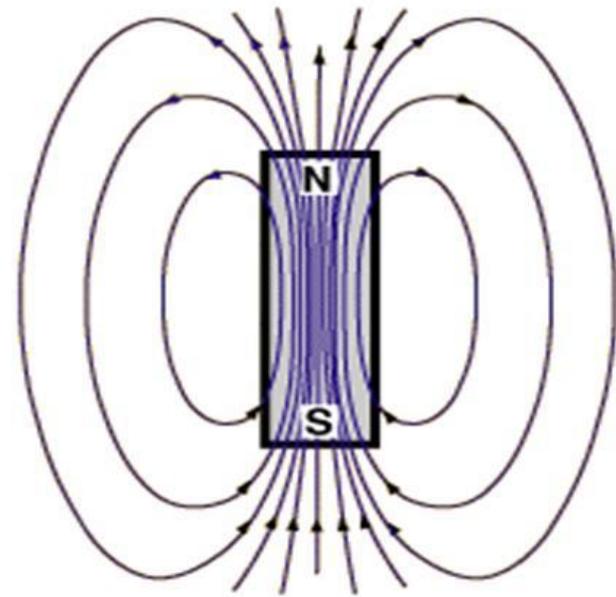
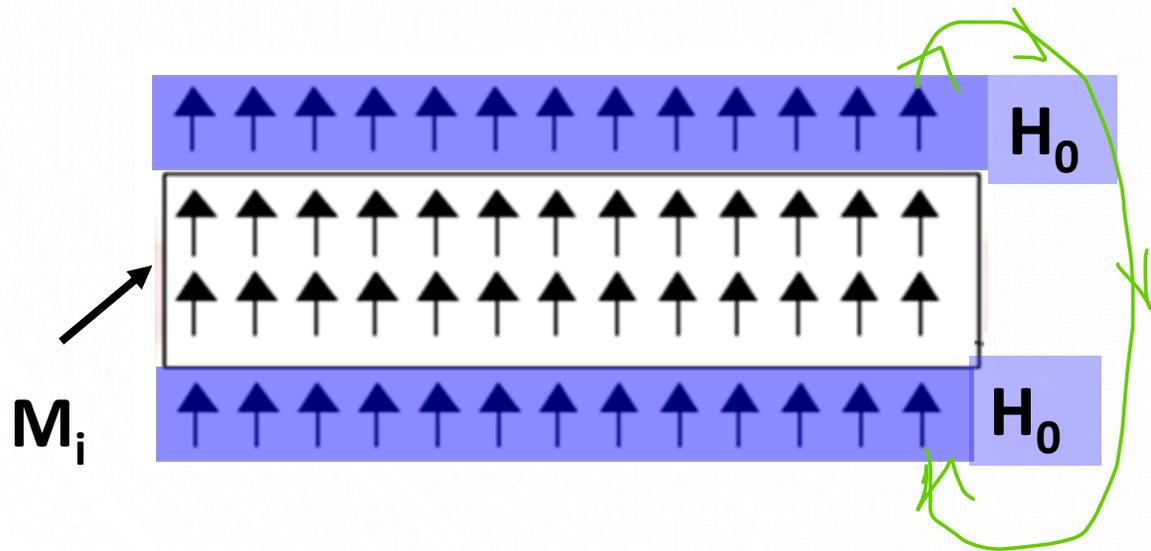
# ANISOTROPIA DE FORMA

- SOMENTE SE A AMOSTRA FOR ESFÉRICA, O CAMPO IRÁ MAGNETIZAR A AMOSTRA DA MESMA MANEIRA EM TODAS AS DIREÇÕES.

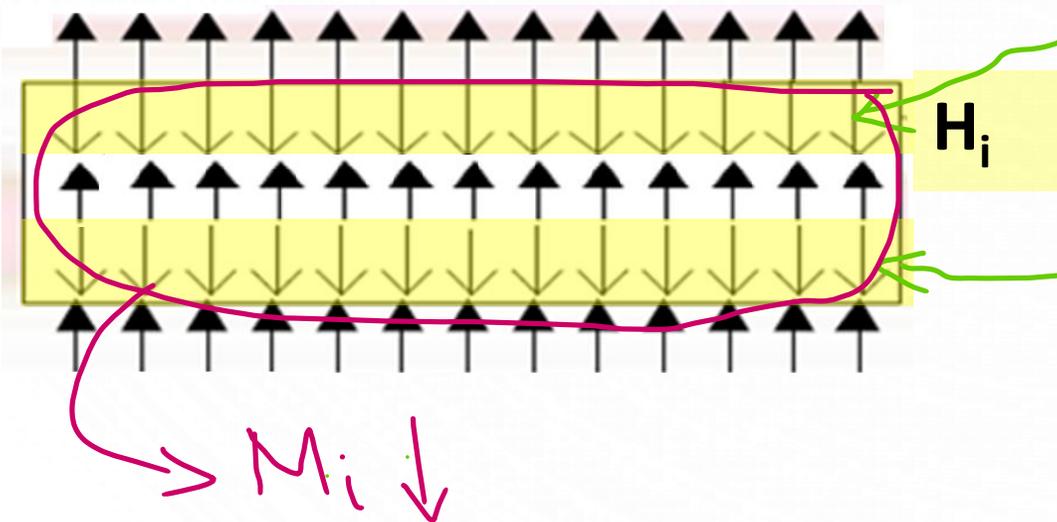
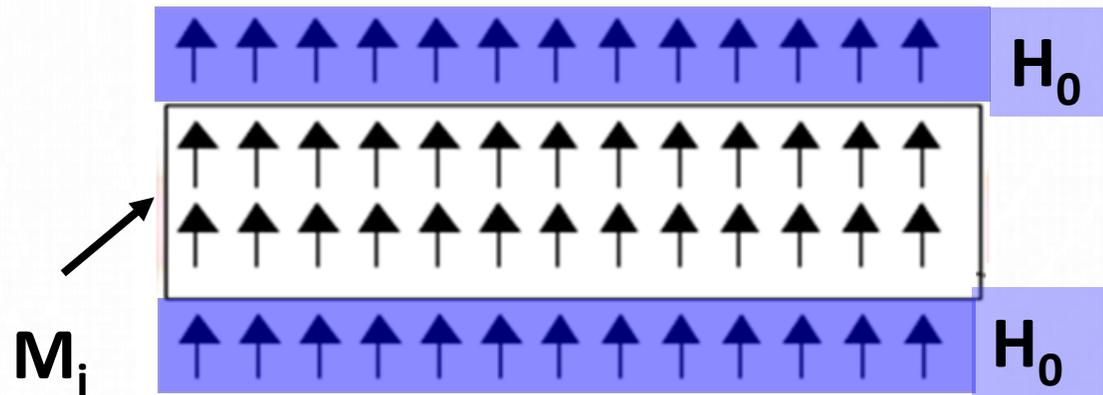
- SE NÃO FOR ESFÉRICA, SERÁ **MAIS FÁCIL (MENOR CAMPO H)** MAGNETIZAR (SATURAR) A AMOSTRA NA DIREÇÃO DO EIXO MAIS LONGO →
- ANISOTROPIA DE FORMA**

# O QUE É ESTE EFEITO DE DESMAGNETIZAÇÃO?

Considere um material magnetizado por um campo magnético  $H_0$



Mas o monopolo formado na superfície não pode existir ( $\nabla \cdot \mathbf{H} = 0$ )

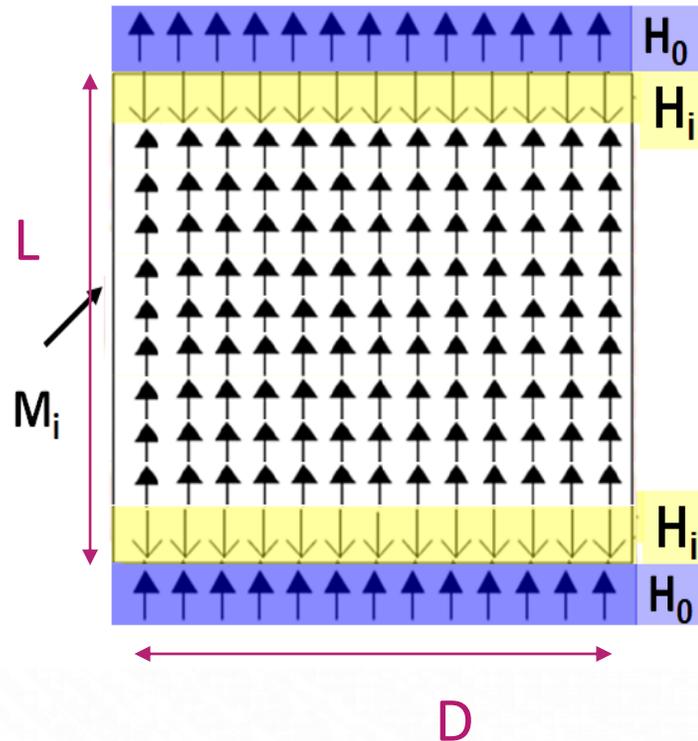


Forma-se  $H_i$ , contrário a  $H_0$  nas superfícies, de forma a anular o monopolo.

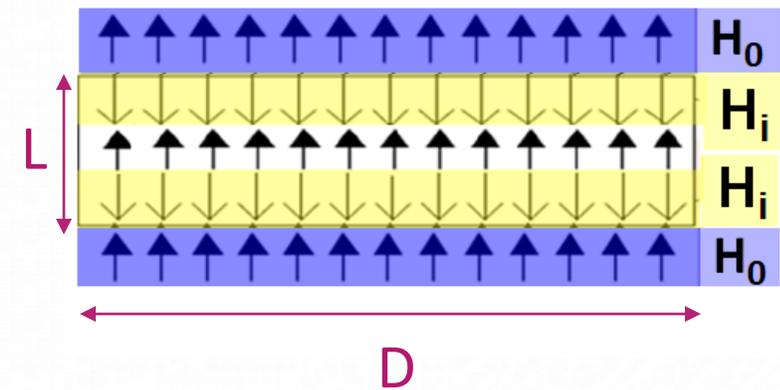
Consequentemente a magnetização interna  $M_i$  diminui.

razão de aspecto =  $L/D$

Para um objeto  $L > D$  (fino e longo), o campo de desmagnetização ao longo do eixo longo é fraco porque os polos são bem separados.  $M_i \gg 2H_i$

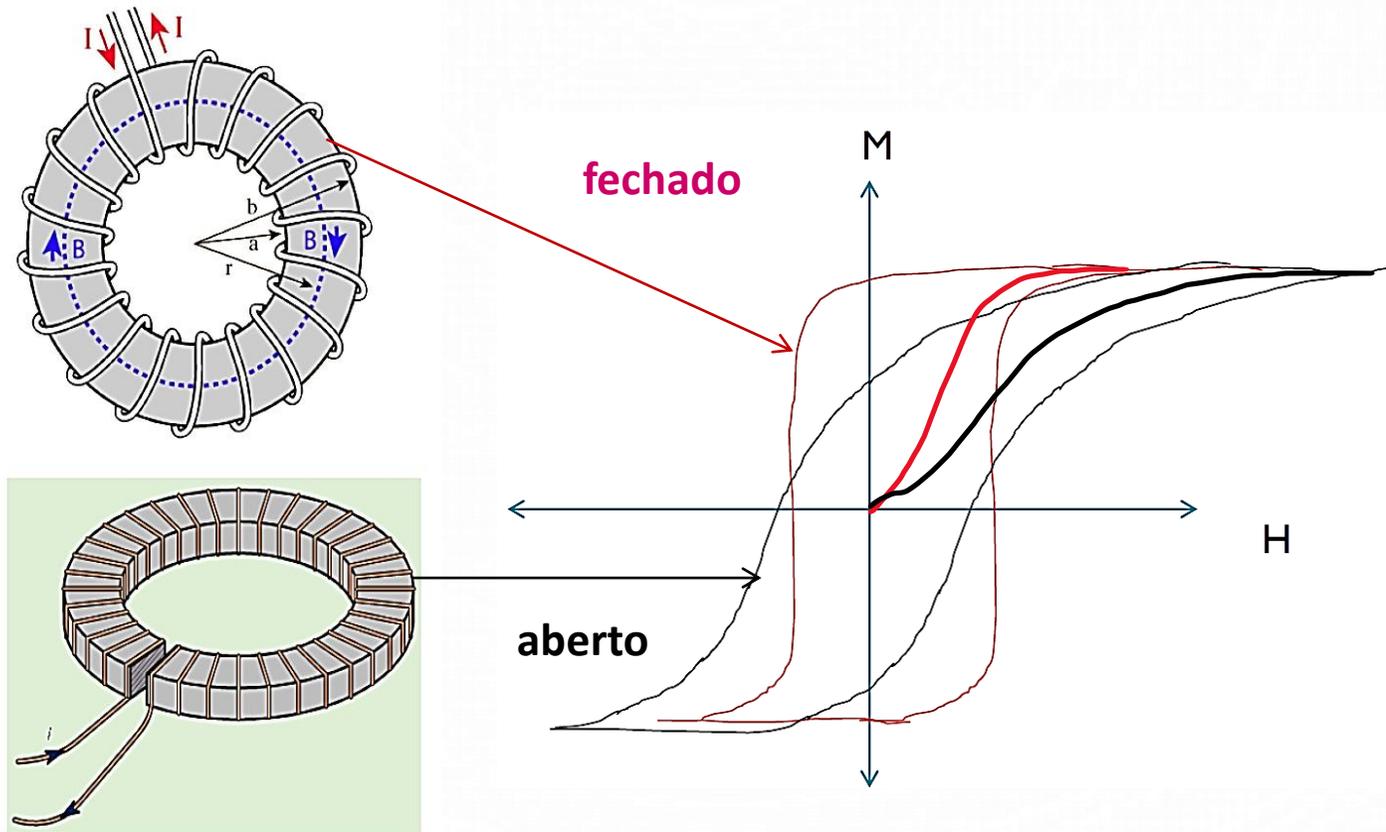


Para um objeto onde  $L < D$ , o campo de desmagnetização é grande porque os polos induzidos são próximos.  $M_i > \approx 2H_i$



# COMO EVITAR O EFEITO DE DESMAGNETIZAÇÃO?

## Circuito magnético fechado



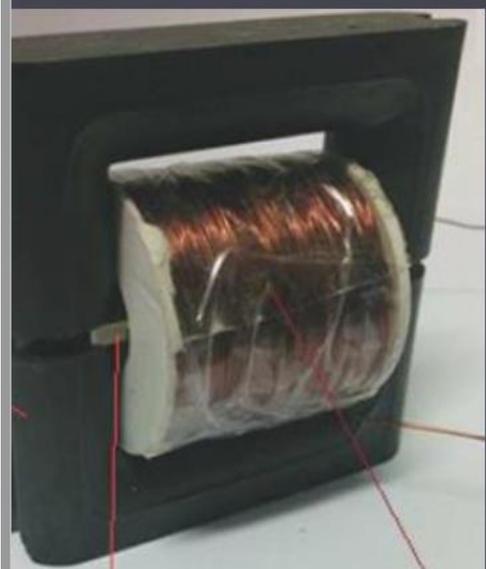
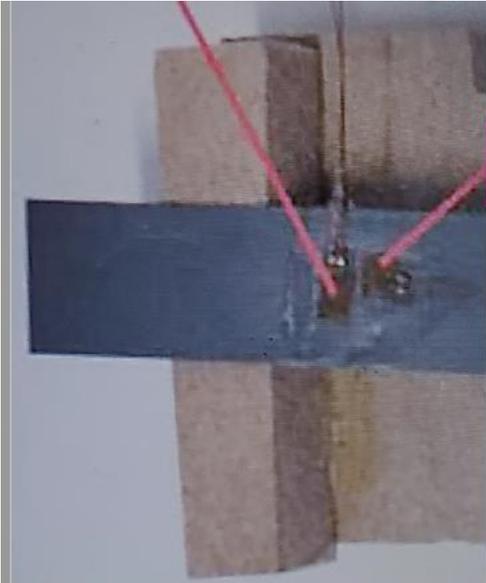


# EXPERIMENTO

## MEDIDA DE MAGNETOSTRICÇÃO



EXTENSÔMETROS E PONTE DE WHEATSTONE



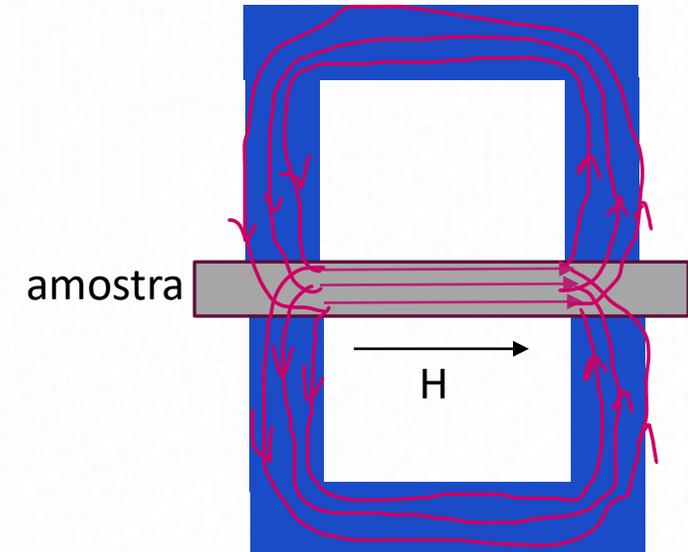
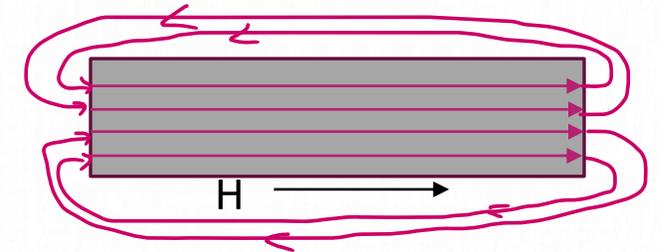
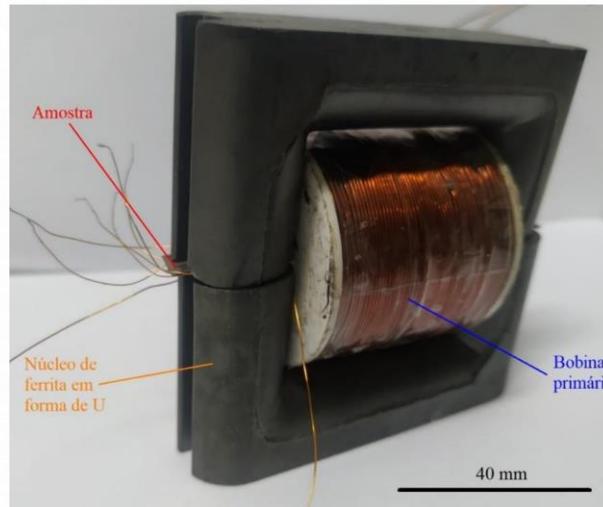
## Passos do Experimento

- ▶ Colagem dos extensômetros na amostra
- ▶ É montado o conjunto: Núcleo de aço elétrico (Fe-Si) + amostra com extensômetros + bobina primária.

# COMO TER UM CIRCUITO MAGNÉTICO FECHADO PARA EVITAR O EFEITO DE DESMAGNETIZAÇÃO?



Núcleos em U de ferrita ou Fe-Si.  
Bobina primária para aplicar o campo magnético



# De que depende a magnetostricção?

**1) Acoplamento dos momentos magnéticos com a rede cristalina (anisotropia magnetocristalina)**

**+**

**2) Interação spin-órbita**

**Explicar na parte teórica**