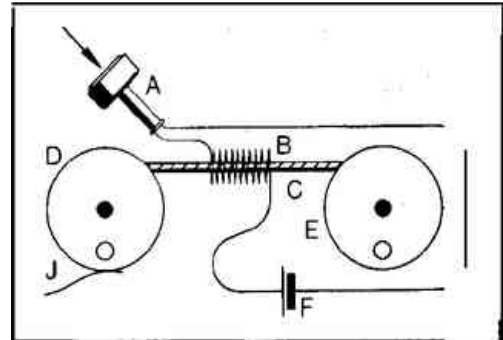


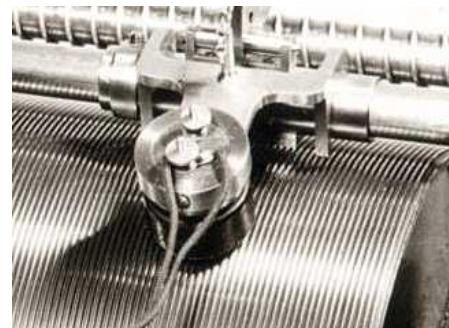
# Memórias baseadas em campo Magnético

- Dispositivos que usam a capacidade de armazenamento de ímãs permanentes em estruturas do tipo dipolos magnéticos.
- **Histórico**
  - **Oberlin Smith (1888):**
    - Gravação de voz
    - Fios coberto com partículas de ferro
    - Microfone de carvão + bobina



# Memórias baseadas em campo Magnético

- **Telegraphone (Valdemar Poulsen; 1898):**
  - Cilindro com fio magnético
  - Gravação analógica de voz
- **Fita magnética (BASF, 1930's):**
  - Base de papel ou polímero
  - Partículas magnéticas  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  em verniz
  - Baixo custo, pequena espessura, grandes comprimentos



# Memórias baseadas em campo Magnético

- Disco magnético fixo (IBM, 1956):
  - Disco rígido de alumínio com partículas de  $\text{Fe}_3\text{O}_4$
  - Gravação digital: 4,4 MBytes, disco de 60 cm
  - Acesso semi-aleatório aos dados
- Disco magnético removível (IBM, 1966):
  - Disco flexível de polímero com partículas de  $\text{Fe}_3\text{O}_4$
  - 100 kBytes, disco de 20 cm, 1 face
- Disquete de  $5\frac{1}{4}$  (Wang Laboratories, 1976):
  - Disco flexível de polímero com partículas de  $\text{Fe}_3\text{O}_4$
  - 110 kBytes, disco de 13 cm, 1 face

# Memórias baseadas em campo Magnético

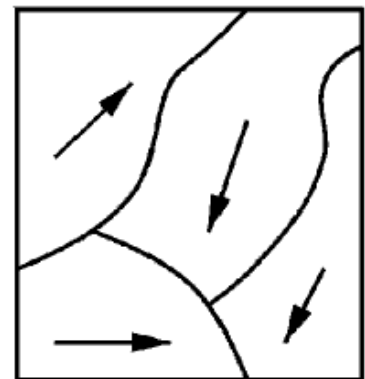
- Características principais
  - Não voláteis:
    - Dipolos magnéticos são estáveis por anos
  - Gravação através de bobina:
    - Corrente gera campo magnético localizado que alinha o dipolo magnético (N ou S)
  - Leitura através de bobina ou magnetoresistor (MR):
    - Bobina: Tensão induzida pelo campo alternado (AC)
    - MR: modulação da resistência pelo campo (DC)

# Materiais Magnéticos

- Magnetismo:
  - Resultado macroscópico do movimento dos elétrons em torno do núcleo
- Susceptibilidade magnética  $\chi$ :
  - resposta do material ao campo magnético externo
  - $10^{-5} < \chi < 10^6$
- Classificação dos materiais:
  - Diamagnético:  $\chi < 1$
  - Paramagnético:  $\chi > 1$
  - Ferromagnético:  $\chi \gg 1$

# Materiais Magnéticos

- Ferromagnéticos:
  - São compostos a base de Fe, Co, Ni e Mg
- Domínios magnéticos:
  - Agrupamentos microscópicos de dipolos magnéticos em materiais ferromagnéticos
  - Minimizam energia termodinâmica
  - Representam a menor dimensão para existência do ferromagnetismo
  - $10^{-5}$  a  $10^{-8}$  m



# Materiais Magnéticos

## ■ Grandezas Magnéticas:

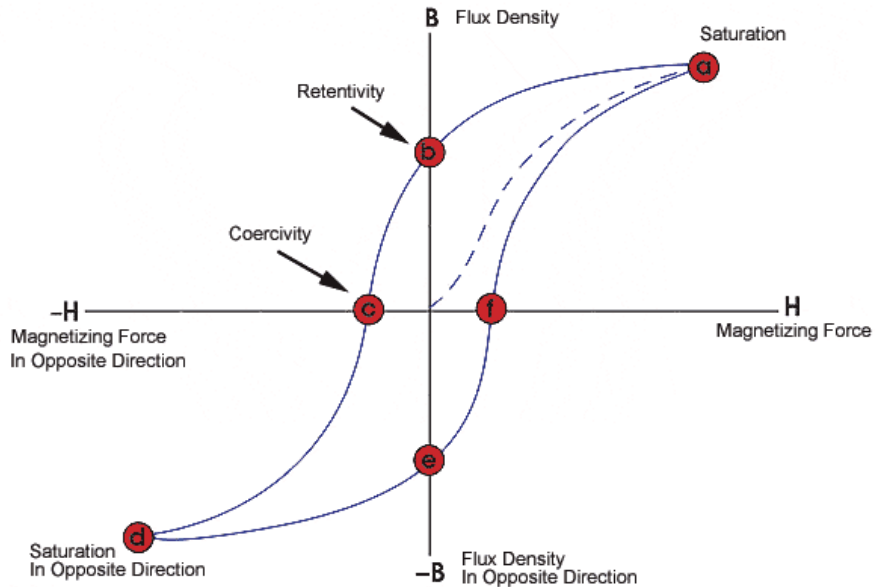
Grandeza		SI	CGS	
Campo	<b>H</b>	A/m	Oersteds	1Oe=80A/m
Densidade de Fluxo (Indução Magnética)	<b>B</b>	Tesla	Gauss	1Gauss=10 <sup>-4</sup> T
Fluxo	<b>Φ</b>	Weber	Maxwell	1 Weber = 10 <sup>8</sup> Maxwell
Magnetização	<b>M</b>	A/m	erg/Oe.cm <sup>3</sup>	1 erg/Oe.cm <sup>3</sup> = 10 <sup>3</sup> A/m

# Materiais Magnéticos

- Magnetização:
  - Campo interno do material
- Remanência:
  - Capacidade de retenção do campo interno na ausência de campo externo
- Coercividade:
  - Campo necessário para desmagnetizar o material
- Saturação:
  - Situação onde todos os domínios estão alinhados com o campo externo

# Materiais Magnéticos

- Curva de magnetização:  $M \times H$



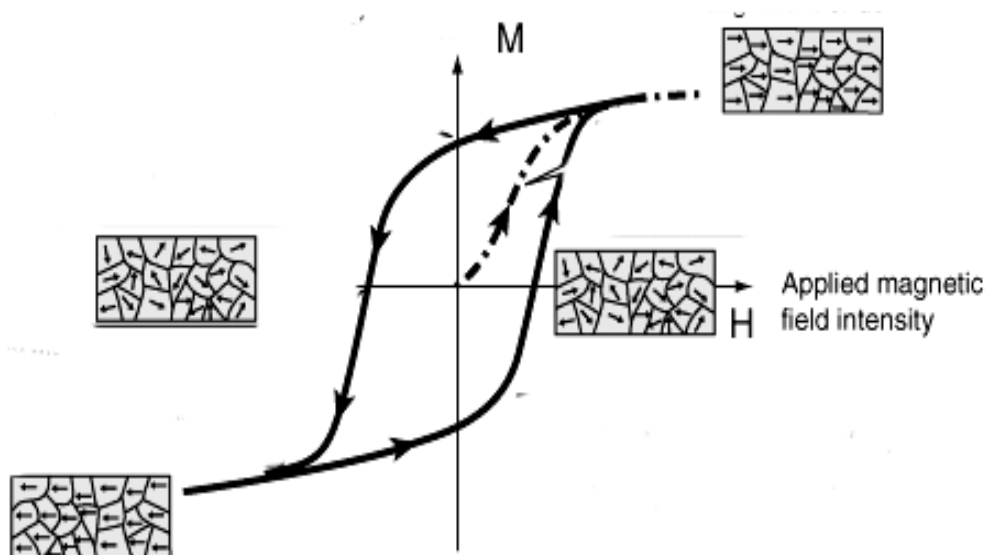
Prof. Marlio Bonfim

TE159 - Memórias

9

# Materiais Magnéticos

- Curva de magnetização:  $M \times H$



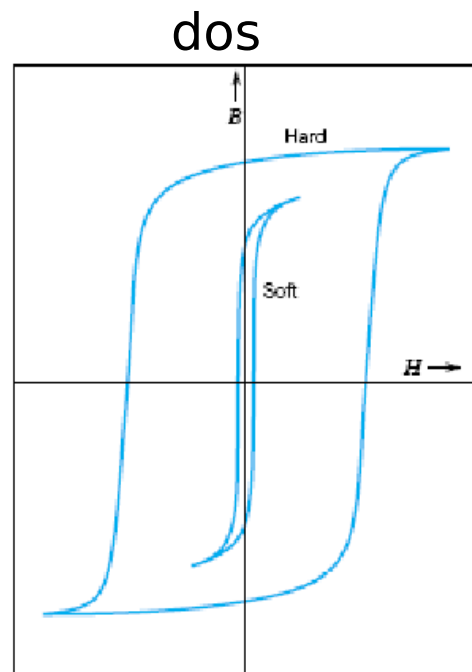
Prof. Marlio Bonfim

TE159 - Memórias

10

# Materiais Magnéticos

- Classificação  
Ferromagnéticos:
  - "Doce":
    - Baixa remanência
    - Baixa coercitividade
  - "Duro":
    - Alta remanência
    - Alta coercitividade



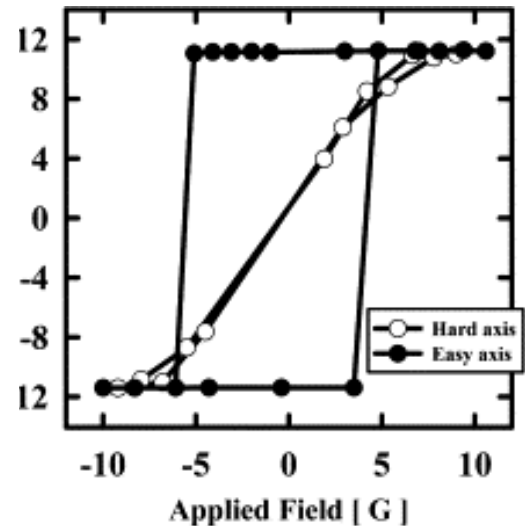
# Materiais Magnéticos

- Anisotropia:
  - Dependência da energia interna com a direção da magnetização
  - Facilidade de orientação dos domínios magnéticos em certas direções
  - Tipos:
    - Cristalina: assimetria na estrutura cristalina do material
    - Forma: assimetria na geometria do material
    - Estrutural: ligada ao *stress* mecânico (magnetoestrição)

# Materiais Magnéticos

## ■ Anisotropia:

- Eixo de fácil magnetização: campo externo alinhado com eixo de anisotropia
- Eixo de difícil magnetização: campo externo perpendicular ao eixo de anisotropia



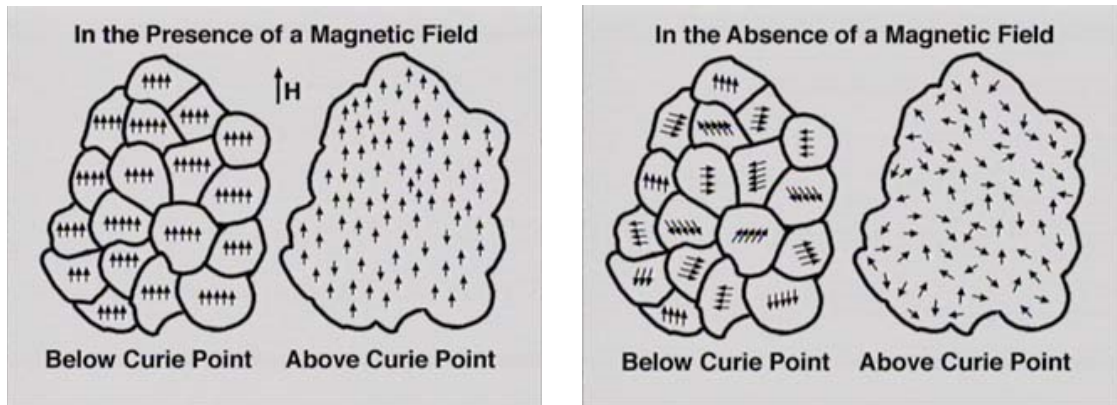
# Materiais Magnéticos

## ■ Temperatura:

- Agitação térmica dos elétrons de forma aleatória causa:
  - Redução da magnetização do material
  - Redução da coercitividade
  - Perda de remanência
- Temperatura de Curie ( $T_C$ ):
  - Limite para materiais ferromagnéticos
  - $T > T_C \Rightarrow$  paramagnético (ausência de domínios)

# Materiais Magnéticos

- Efeito da temperatura sobre os domínios:

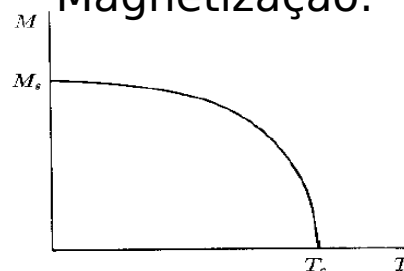


# Materiais Magnéticos

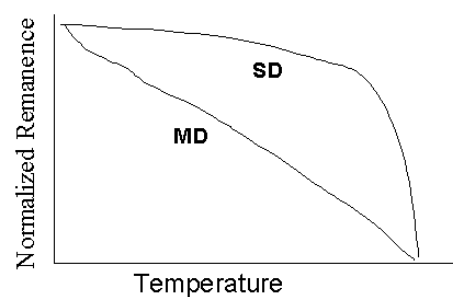
- $T_c$ :
  - Co: 1127 °C
  - Fe: 770 °C
  - Ni: 354 °C
- Susceptibilidade:
  - Lei Curie-Weiss

$$\chi = \frac{C}{T - T_c}$$

- Magnetização:



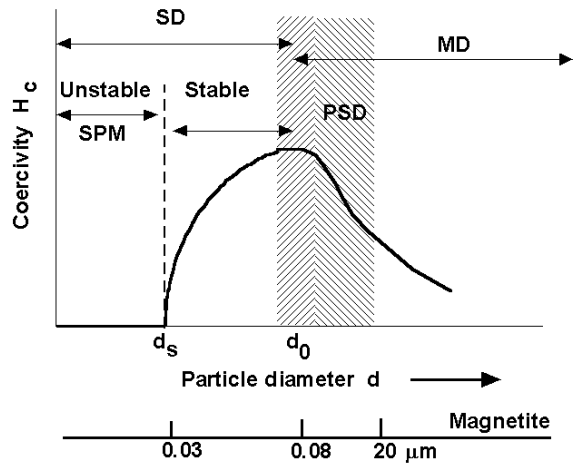
- Remanência:





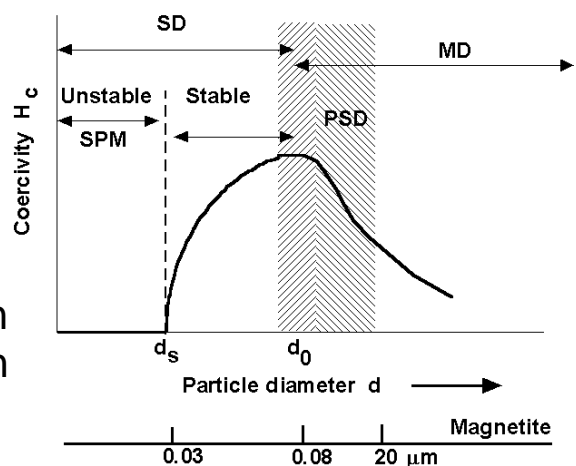
# Materiais Magnéticos

- Dimensões:
  - tem grande influência no comportamento magnético
- Para um grão com diâmetro médio  $D$ :
  - $D > d_0$ : multidomínio (MD)
  - $D \sim d_0$ : pseudo-monodomínio (PSD)
  - $d_s < D < d_0$ : monodomínio (SD)
  - $D < d_s$ : superparamagnético (SPM)



# Materiais Magnéticos

- Dimensões:
  - Para que dado possa ser mantido  $D > d_s$
  - $d_s$  depende:
    - Material
    - Anisotropia
    - Temperatura
- Mídias atuais usadas em discos rígidos:  $d_s \approx 40$  nm ( $T = 300$  K)



# Gravação Magnética

- Princípios da gravação:
  - Escrita:
    - Campo magnético aplicado por bobina
    - Saturação local do material
  - Leitura:
    - Campo remanente detectado por:
      - Bobina
      - Magnetoresistor (MR)
  - Retenção:
    - Remanência estável > 10 anos
    - Depende da temperatura, material, dimensões

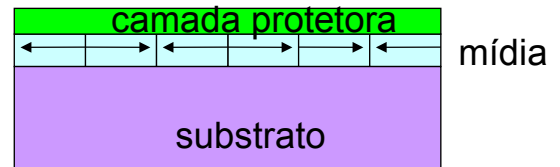
# Gravação Magnética

- Classificação:
  - Tipo de mídia:
    - Disco
    - Fita
  - Geometria de gravação:
    - Longitudinal
    - Perpendicular
  - Tipo de material magnético:
    - Partículas magnéticas em verniz
    - Filme fino metálico contínuo
    - Filme fino metálico litografado

# Gravação Magnética

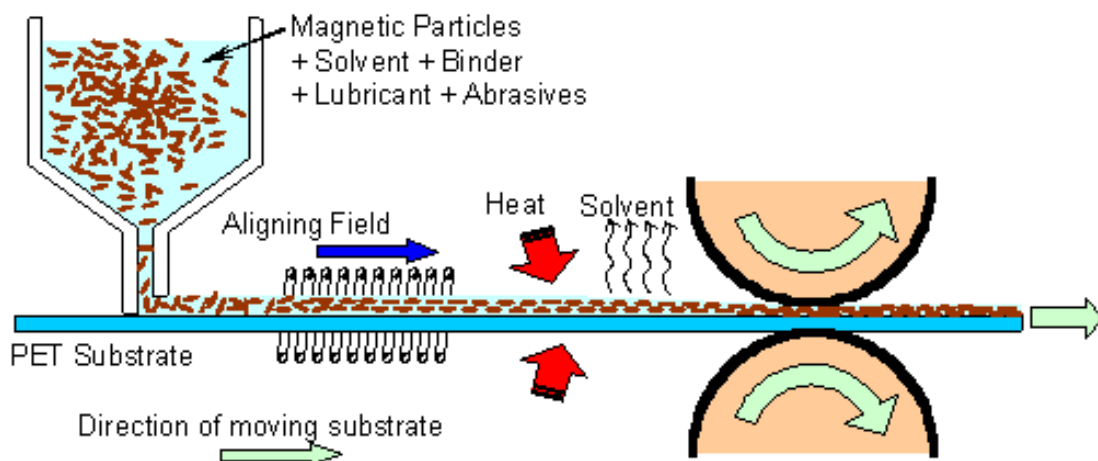
- Geometria longitudinal:

- Mídia magnética depositada sobre substrato não magnético
- Anisotropia planar
  - Uniaxial: fitas
  - Poliaxial: discos
- Dipolos magnéticos paralelos à superfície da mídia
- Ligas de Co ou Cr (CoCrTa, CrO<sub>2</sub>)



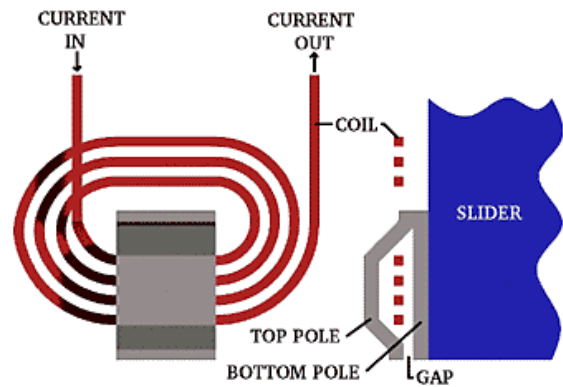
# Gravação Magnética

- Deposição de partículas magnéticas em fitas



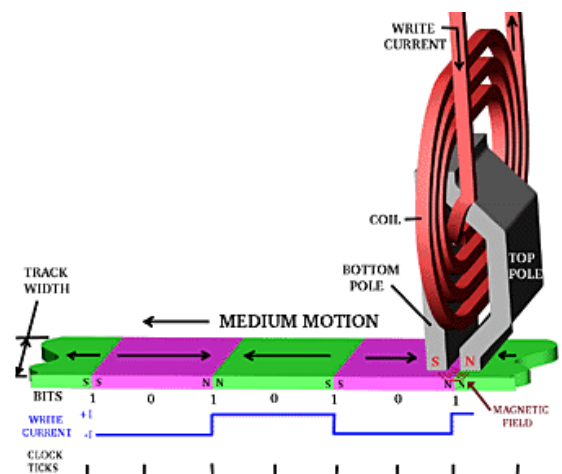
# Gravação Magnética

- Geometria longitudinal:
  - Mídia magnética depositada sobre substrato não magnético
  - Escrita:
    - bobina com núcleo de material ferromagnético "doce"
    - Dipolo magnético na região do "gap"
    - Concentra o fluxo magnético próximo à mídia
    - Reduz corrente necessária para gravação



# Gravação Magnética

- Geometria longitudinal:
  - Escrita:
    - Linhas de campo longitudinais na região do "gap"
    - Campo gerado penetra na mídia
    - Mídia saturada localmente segundo direção do campo/corrente

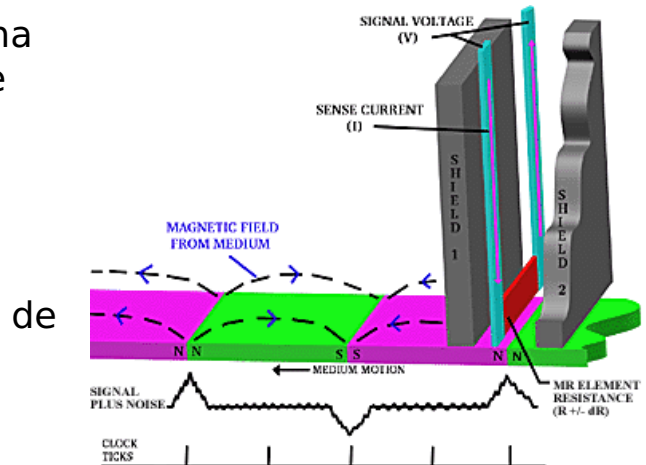


# Gravação Magnética

- Geometria longitudinal:

- Leitura:

- Campo remanente na mídia gera linhas de fluxo magnético na superfície
- Tensão induzida na bobina de leitura
- Variação resistência do MR



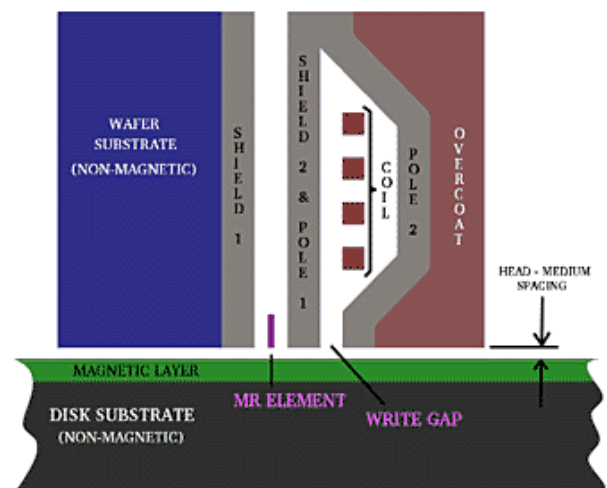
# Gravação Magnética

- Geometria longitudinal:

- Integração

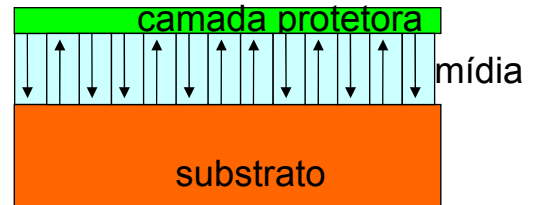
- Leitura/Escreita:

- Elementos montados juntos num mesmo suporte mecânico
- Conjunto forma a "cabeça" de escrita/leitura



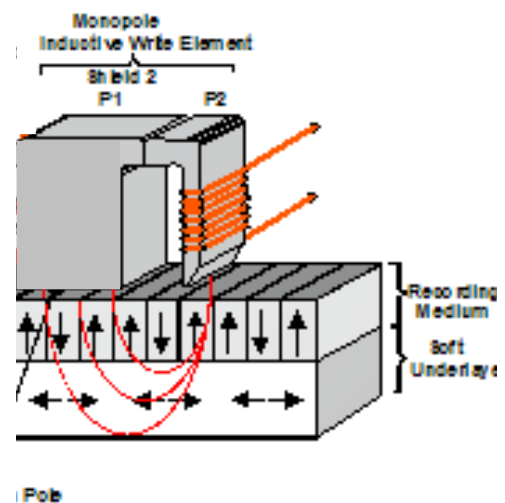
# Gravação Magnética

- Geometria perpendicular:
  - Mídia magnética depositada sobre substrato magnético "doce"
  - Anisotropia perpendicular estrutural uniaxial
  - Dipolos magnéticos perpendiculares à superfície da mídia
  - Multicamadas de FePt, FePd



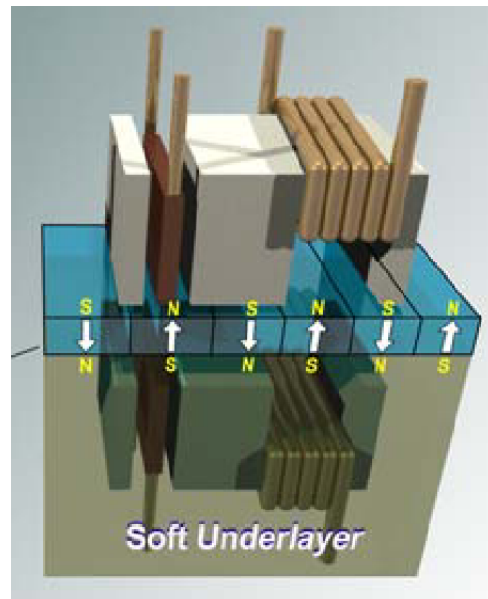
# Gravação Magnética

- Geometria Perpendicular:
  - Escrita:
    - bobina com núcleo de material ferromagnético "doce"
    - Monopolo magnético na região do "gap"
    - Concentra o fluxo magnético perpendicularmente à mídia
    - Linhas de fluxo se "fecham" pelo substrato magnético



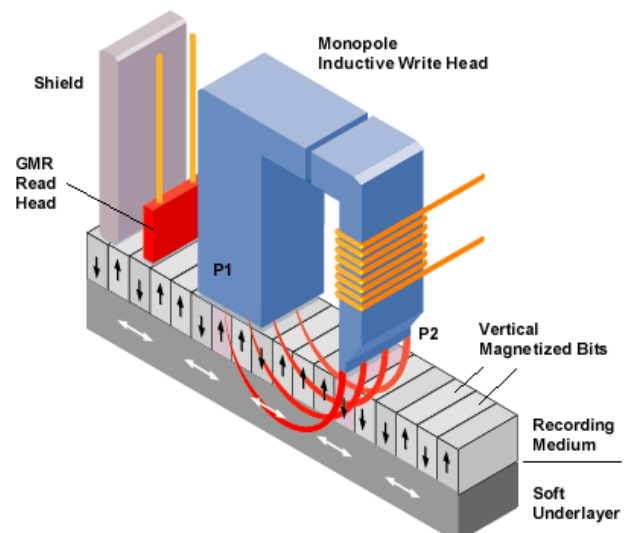
# Gravação Magnética

- Geometria Perpendicular:
  - Escrita:
    - substrato magnético "doce" atua como um "espelho" para o campo gerado pela bobina
    - Aumento do campo efetivo na mídia



# Gravação Magnética

- Geometria Perpendicular:
  - Leitura:
    - Mesmo princípio do longitudinal
    - Elemento sensor capta o campo perpendicular à superfície

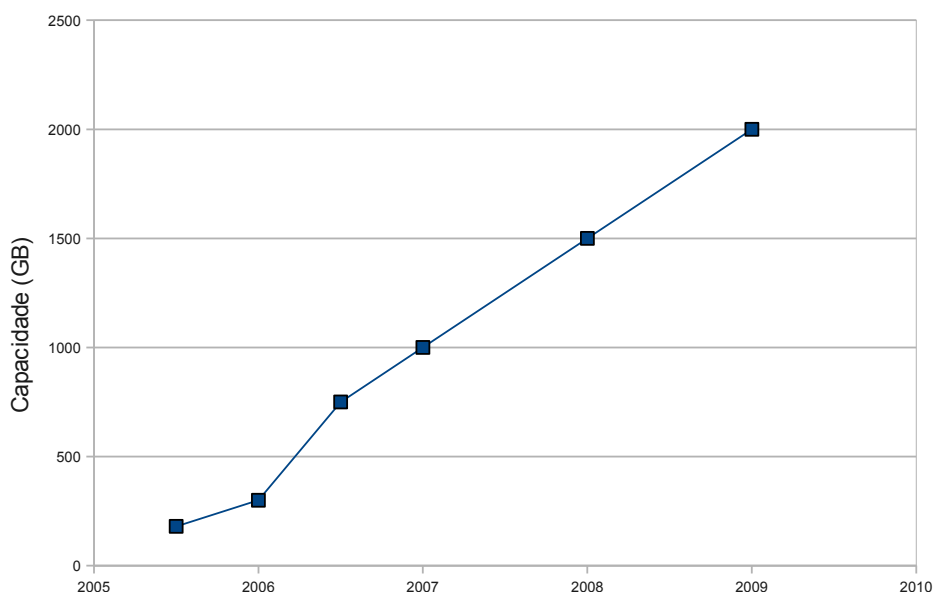


# Gravação Magnética

- Geometria Perpendicular:
  - Vantagens:
    - Mídia com maior coercividade: menores dimensões dos bits antes de atingir limite superparamagnético
    - Bit adjacente “atrai” vizinho: termicamente mais estável
    - Camada magnética “doce” dobra o campo de escrita efetivo visto pela mídia
    - Mídia mais espessa: melhor SNR

# Gravação Magnética

- Geometria Perpendicular: Evolução





# Gravação Magnética

## Perpendicular X longitudinal

	Perpendicular	Longitudinal
<b>Cabeça</b>	"Monopolo"	Dipolo
<b>Mídia</b>	Anisotropia Perpendicular (Uniaxial)	Anisotropia Longitudinal (2D aleatória)
	Alto $M_s$ , Alto $H_c$	Baixo $M_s$ , Médio $H_c$
	Substrato com camada magnética "doce"	Substrato não magnético
<b>Estabilidade térmica</b>	Boa para alta densidade	Boa para baixa densidade

# Gravação Magnética

## Perpendicular X longitudinal

Escrita	Mídia dentro do fluxo	Mídia fora do fluxo principal
	Alta eficiência	
	Alta frequência	
	Ampla faixa de temperatura	
	Transição abrupta	
<b>Leitura</b>	Alto sinal	Baixo sinal
	Alta SNR	
	"tracking" simplificado	

# Gravação Magnética



- Distância Média-cabeça:
  - Fitas Magnéticas:
    - Contato físico
    - Desgaste mecânico
  - Discos Magnéticos
    - Cabeça flutua sobre a superfície
    - Distância inversamente proporcional ao tamanho dos dipolos gravados (bits)
    - Atualmente  $d \approx 10$  nm