

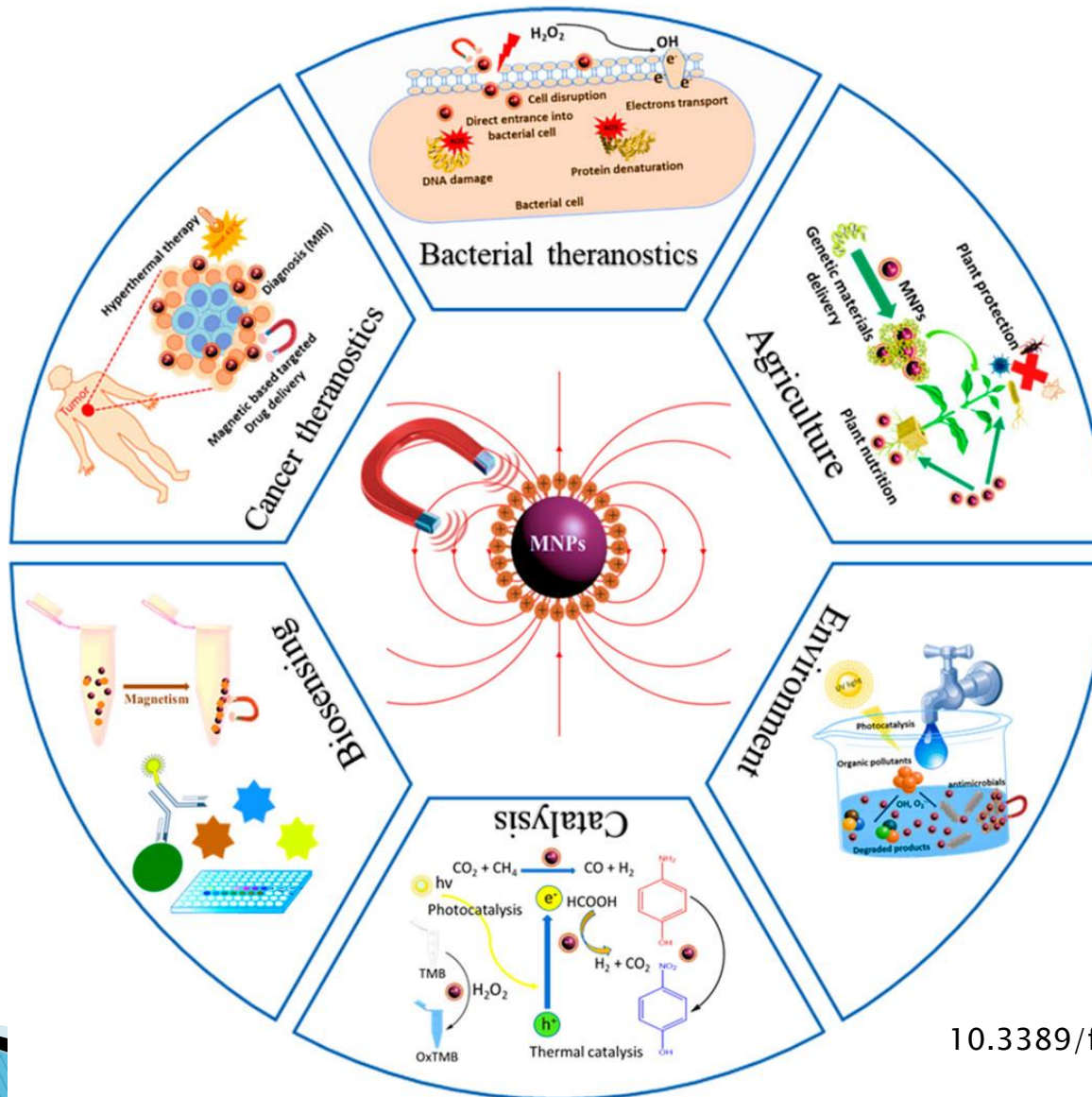
# Magnetismo e propriedades magnéticas de nanomateriais

Prof. José A. H. Coaquira

## Conteúdo

1. Breve história
2. Definições e diamagnetismo
3. Paramagnetismo
4. Materiais ordenados: ferromagnetismo, ferri e antiferromagnetismo
5. magnetismo em nanomateriais

# Aplicacoes tecnologicas



10.3389/fchem.2021.629054

# Referências

1. B. D. Cullity and C. D. Graham, Introduction to magnetic materials, second edition (John Wiley & Sons, Inc., New Jersey, 2009).
2. K. H. J. Buschow and F. R. de Boer, Physics of Magnetism and Magnetic Materials (Kluwer Academic Publishers, New York, 2004).
3. J. M. D. Coey, Magnetism and Magnetic Materials (CAMBRIDGE UNIVERSITY PRESS, Cambridge, 2010).
4. R. A. McCurrie, Ferromagnetic materials: Structure and properties (Academic press, London, 1994).

# Capítulo 1: Breve história

# Breve história

- ▶ Rocha Rica em magnetita ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ )
- ▶ Lodestone: "lead stone" indicar o caminho"
- ▶ Rocha magnetizada por relâmpagos (1.000.000 A)

## Lenda:

- ▶ Um pastor chamado Magnes que cuidava de suas ovelhas numa área no norte da Grecia chamada Magnesia (há 4000 anos). Pregos das botas ficaram presos a uma lodestone.

## Mito:

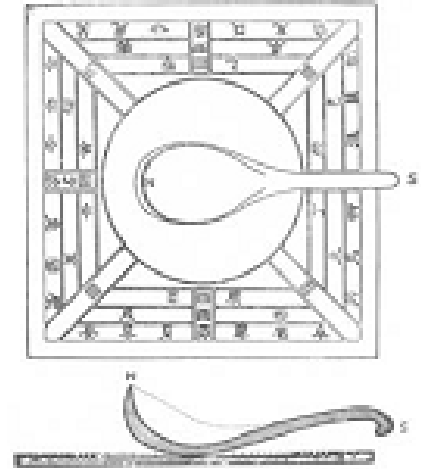
- ▶ Sob o travesseiro de uma "esposa infiel" levaria à confissão do crime durante o sono.
- ▶ Sobre a cabeça: ouvia-se a voz dos deuses!
- ▶ Poder de curar e anticoncepcional



**Efeito interrompido por alho ou cebola**

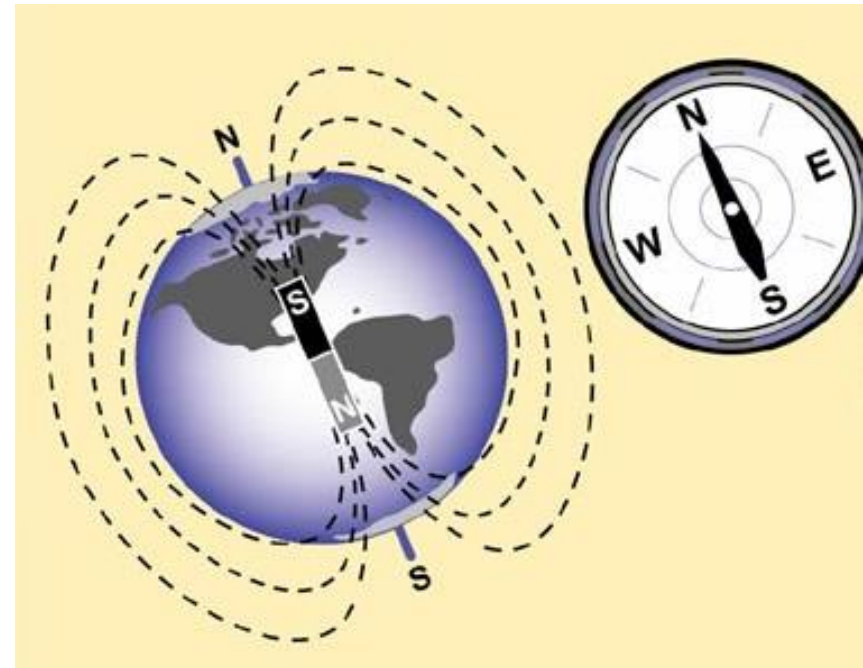
# Breve história

- ▶ Lodestone: chineses e europeus 800AC
- ▶ Um dos primeiros dispositivos magnéticos: Colher Chinês (South pointer, 100DC)
- ▶ O compasso usado na navegação (Shen Kua-1088). Reinventado na Europa, permitiu importantes descobrimentos: America por Cristovao Colombo (1492) e Africa por Cheng Ho (1433).



# Breve história

- ▶ Início da ciência.
- ▶ Imas são formados por dois polos opostos.
  - norte
  - Sul
- ▶ Em 1743, D. Bernoulli inventou a imã no formato de ferradura.
- ▶ A terra é um grande ímã.



# Breve história



Hans-Christian Oersted,  
1777-1851.

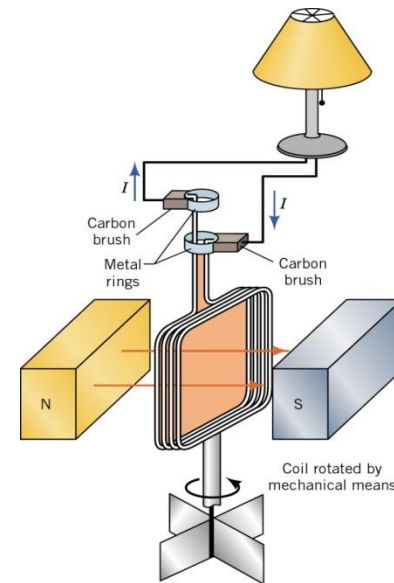
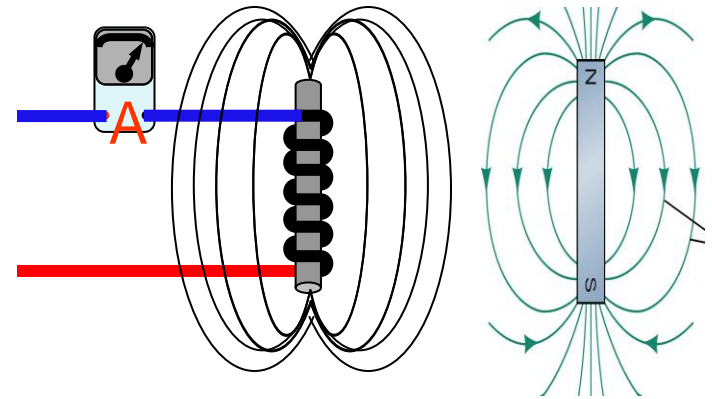


André Marie Ampère,  
1775-1836.



Michael Faraday,  
1791-1867.

- ▶ Em 1820 H. C. Oersted acidentalmente descobriu a conexão entre eletricidade e magnetismo. Na época, A. M. Ampère et al. demonstraram que uma bobina que conduz corrente é equivalente a um ímã (início do eletromagnetismo).
- ▶ Em 1821, M. Faraday descobriu a indução eletromagnética e demonstrou o princípio de funcionamento de um motor elétrico.
- ▶ No final do século XIX, a eletricidade era comum no planeta.





# Aplicações

- Os ímãs estão presentes em todos os dispositivos eletrônicos, de fato, todo que tem um motor usa um ímã.



São usados para desacelerar carrinhos rolantes.

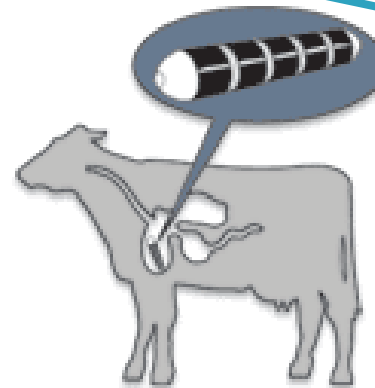


Televisores, computadores e fornos microondas operam com ímãs.

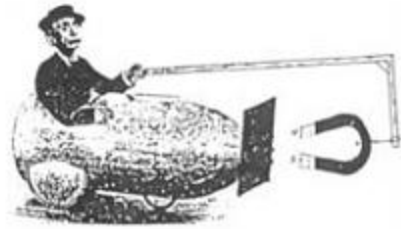


Ímãs são usados para manter a porta das geladeiras fechada.

Ímãs são usados no estômago de vacas para pegar metais!



Mais usos dos ímãs se descobrem todo dia!



Applied magnetism. A  
Berlin postcard ca 1920.

# Aplicações

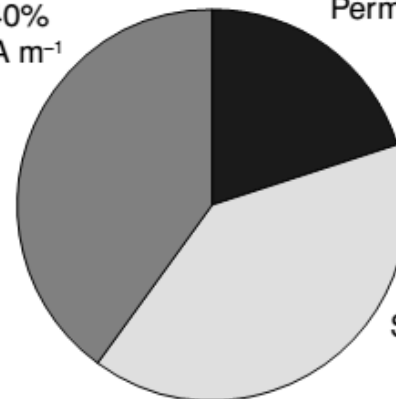
- ▶ Materiais magnéticos, mídia de gravação, cabeças e sensores constituem um mercado de \$ 30 bilhão por ano (\$5 / pessoa), presentes em todos os lares.

**Figure 1.7**

Breakdown of the market for magnetic materials, based on material type and coercivity. The total pie represents about \$30 billion per annum.

Magnetic recording 40%  
 $10 \text{ kA m}^{-1} < H_c < 400 \text{ kA m}^{-1}$

Permanent magnets 20%  
 $H_c > 400 \text{ kA m}^{-1}$



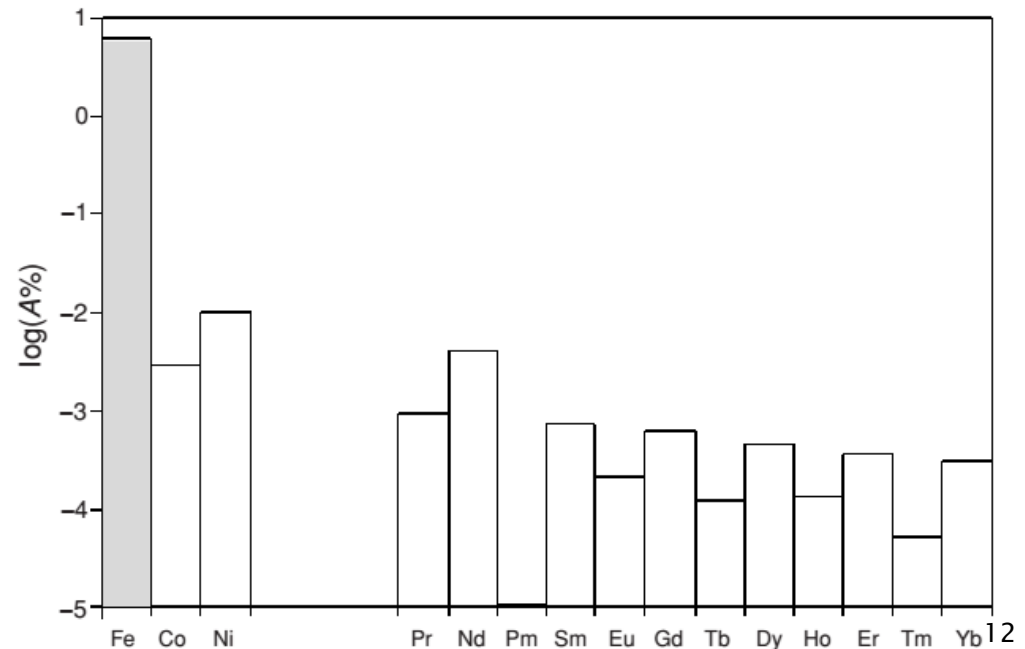
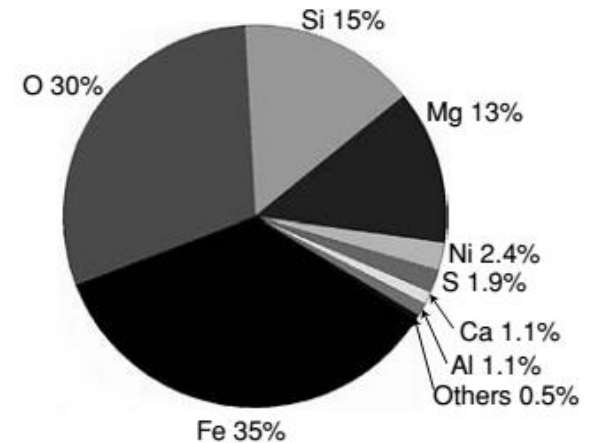
Soft magnets 40%  
 $H_c < 10 \text{ kA m}^{-1}$

# Aplicações

- ▶ Uma grande parte da produção mundial esta representada pelas ferritas duras ( $\text{Ba}_2\text{Fe}_{12}\text{O}_{19}$  e  $\text{Sr}_2\text{Fe}_{12}\text{O}_{19}$ ), usadas em motores, atuadores, sensores e suportes magnéticos.
- ▶ Discos rígidos usam geralmente ligas de co-Pt.
- ▶ Cabeças de gravação usam filmes finos de Fe-Ni ou Fe-Co.
- ▶ Para mídia de gravação flexível são usadas nanopartículas de Fe,  $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$  dopada com Co.

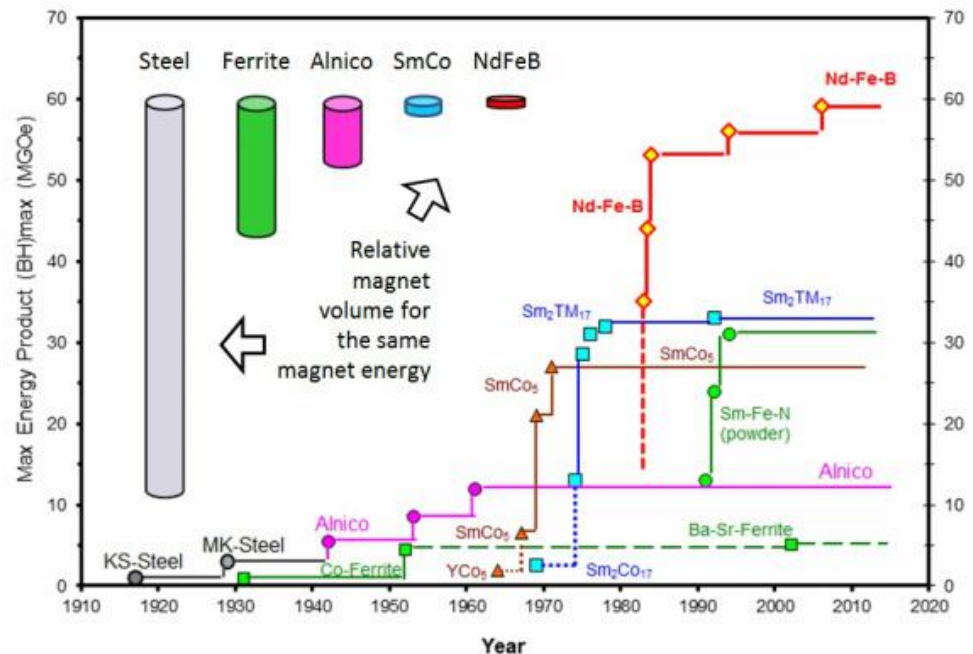
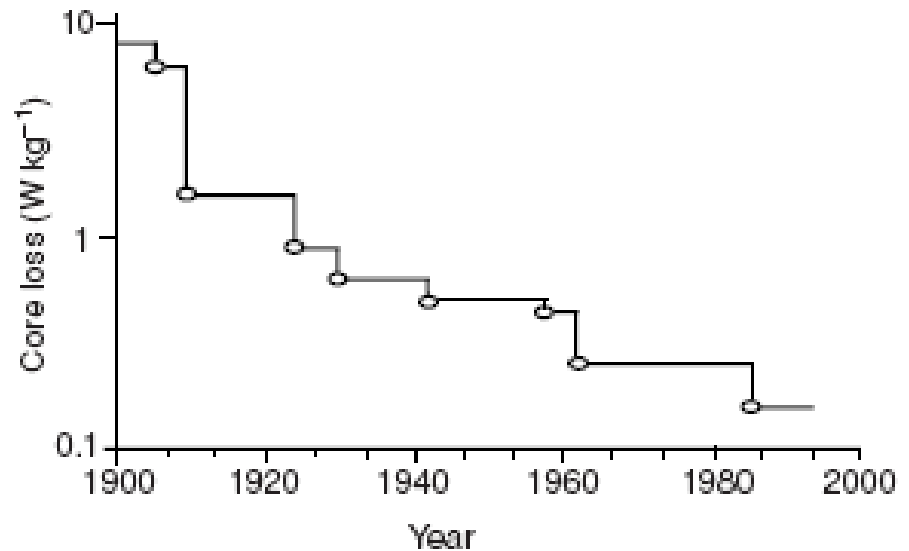
# Aplicações

- ▶ Composição elementar da terra em % peso.
- ▶ A abundancia de ferro e outros elementos magneticos.



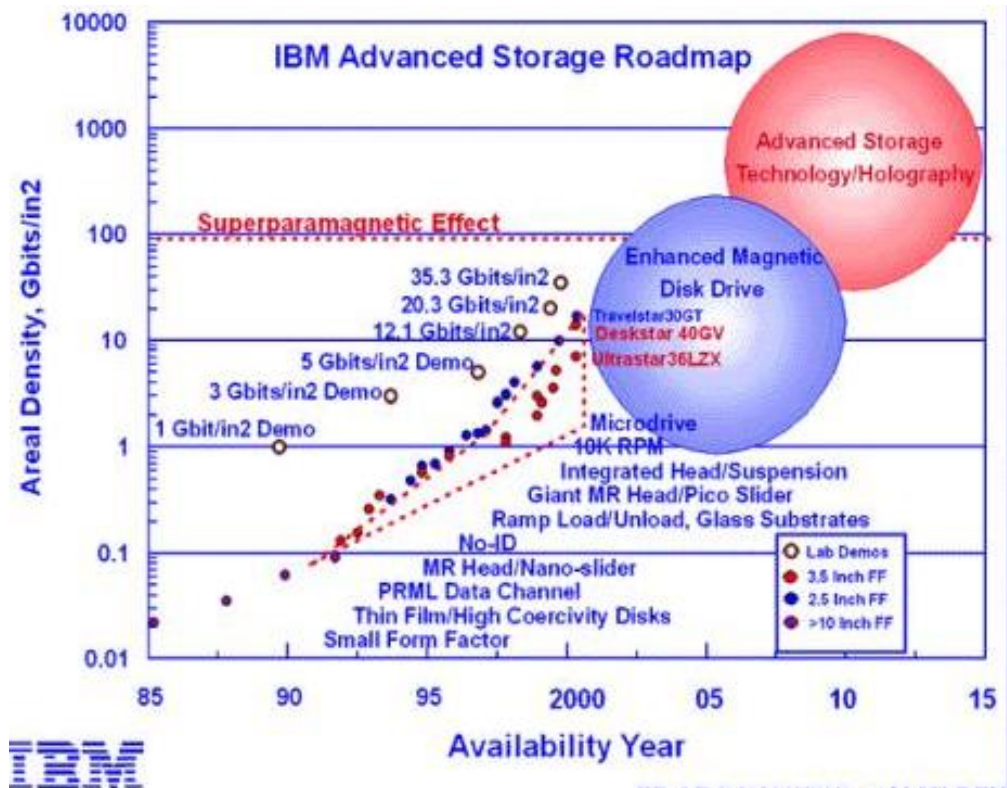
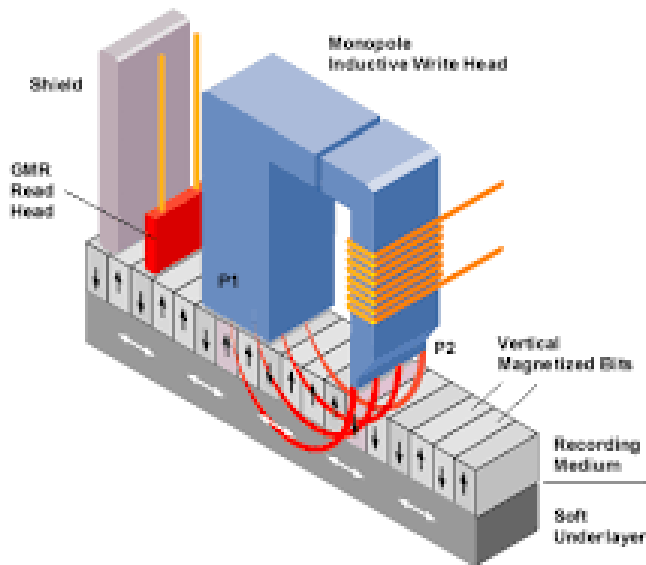
# Aplicações

- ▶ Redução das perdas de energia magnética de materiais magnéticos moles (soft magnets) no tempo.
- ▶ Aumento do produto de energia máxima de ímãs permanentes (hard magnets).



# Aplicações

- ▶ Na gravação magnética, a densidade por unidade de área cresceu rapidamente.



No entanto, o crescimento exponencial tem um limite.

- ▶ A densidades de gravacao magnetica encontram o seu limite em 1000 bits  $\mu\text{m}^{-2}$  devido a instabilidade magnetica associada as flutuacoes termicas.

# Aplicações

O futuro:

- ▶ combinação das propriedades ferromagnéticas com as propriedades ferroelectricos.
- ▶ Explorar mais ainda a integração da funcionalidade magnética com as propriedades ópticas e eletrônicas.