



**IFSC**

**UNIVERSIDADE  
DE SÃO PAULO**

**Instituto de Física de São Carlos**

## Aula 6

## *Campo magnético estático e magnetos*

O campo magnético estático é o item mais importante num experimento de ressonância magnética. Ele determina tanto a frequência central do experimento como a intensidade da magnetização macroscópica.

O campo magnético estático é produzido por magnetos que podem ter diferentes formas, tamanhos e princípios de funcionamento que dependerá da aplicação a qual o equipamento destina-se.

Magneto supercondutor vertical de 18.8 Tesla com acesso de 50 mm.

Magneto supercondutor horizontal 3 Tesla com acesso de 650mm.

Magneto permanente de 0.35 Tesla com peças horizontais e gap 500 mm.

Eletromagneto de 0.047 Tesla com peças verticais e acesso de 80mm.

Etc..

## *Campo magnético estático e magnetos*

### Lei de Gauss.

Se considerarmos uma região do espaço onde não há fonte de fluxo magnético, todo fluxo de campo que entra nesta região deverá deixá-la. A divergência do campo é nula.

$$\text{div } \vec{B} = 0$$

### Lei de Ampere.

Se considerarmos uma região do espaço onde não há corrente (fonte de fluxo) as linhas de fluxo não se fecham sobre elas próprias.

Rotacional do campo é nulo.

$$\text{rot } \vec{B} = 0$$

## *Campo magnético estático e magnetos*

Partindo da lei de ampere, assumindo uma região do espaço que não possui fontes de fluxo magnético e escolhendo um referencial ortogonal adequado, mostra-se que o Laplaciano das componentes de campo é nulo. (trabalhoso++)

$$\nabla^2 B_x = \nabla^2 B_y = \nabla^2 B_z = 0$$

O experimento de RMN exige que o campo magnético tenha variações de intensidade muito pequenas, tipicamente da ordem de 1 ppm, na região de interesse. Neste caso pode-se assumir que o campo magnético tenha predominantemente a direção Z (arbitrário), o que faz com que as componentes  $B_x$  e  $B_y$  tornem-se desprezíveis. Logo

$$\nabla^2 B_z = 0$$

## Campo magnético estático e magnetos

Uma solução para o Laplaciano de  $B_z$  é:

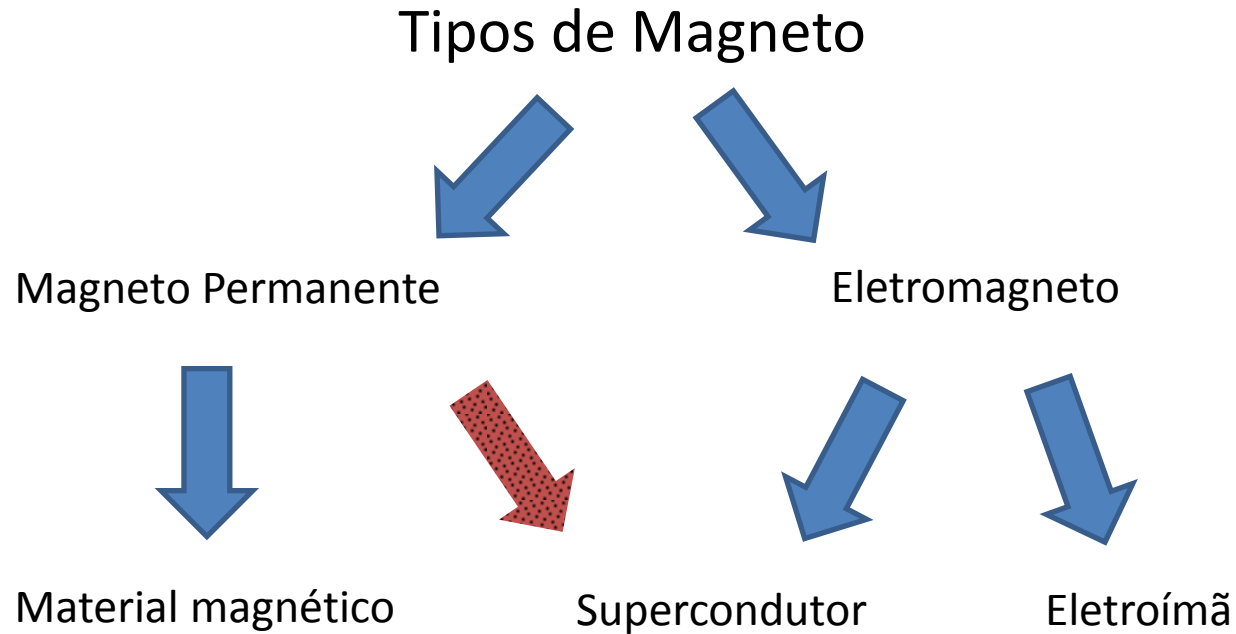
$$B_{z_{nm}}(r, \theta, \phi) = C_{nm} r^n \cdot P_{nm}(\cos \theta) \cos(m(\phi - \phi_{nm}))$$

Onde  $P_{nm}$  são os polinômios de Legendre:

Expandindo e transformando para coordenadas cartesianas  $\rho^2 = x^2 + y^2$

$$\begin{aligned}
 B_z(x, y, z) = & a_{0,0} + a_{0,1}z + a_{0,2}(z^2 - \rho^2/2) + a_{0,3}z(z^2 - 3\rho^2/2) + \dots \\
 & + b_{1,1}y + 3b_{1,2}yz + b_{1,3}y(6z^2 - 3\rho^2/2) + \dots \\
 & + 3a_{2,2}(x^2 - y^2) + 6b_{2,2}xy + 30b_{2,3}xyz + \dots \\
 & + 15a_{3,3}x(x^2 - 3y^2) + 15a_{2,3}z(x^2 - y^2) + 15b_{3,3}y(3x^2 - y^2) + \dots \\
 & + a_{1,1}x + 3a_{1,2}xz + a_{1,3}x(6z^2 - 3\rho^2/2) + \dots
 \end{aligned}$$

## *Campo magnético estático e magnetos*



## *Campo magnético estático e magnetos*

### Magneto Permanente

Principais vantagens.

Baixo custo de manutenção

Boa estabilidade temporal (necessita controle térmico)

Desvantagens.

Estabilidade do campo muito dependente da temperatura do material magnético.

A intensidade do campo é limitada a  $< 2$  Tesla em pequenos magnetos e  $< 0.7$  Tesla em grandes magnetos.

O preço dos materiais magnéticos tem aumentado muito últimos anos.

## *Campo magnético estático e magnetos*

Magneto permanente usado em um equipamento de imagens





## *Campo magnético estático e magnetos*

### Eletromagneto

Principais vantagens.

Baixo custo de construção

Pode ter campo variável com núcleo de ar ou de ferro

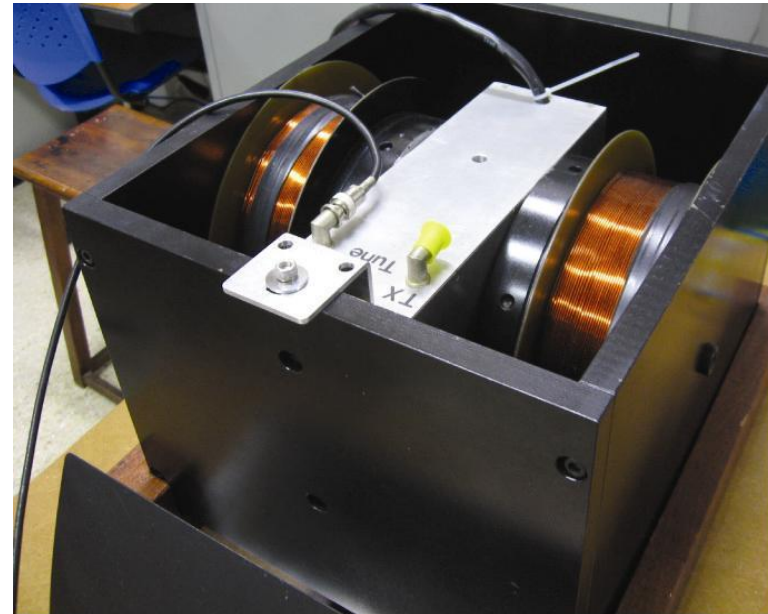
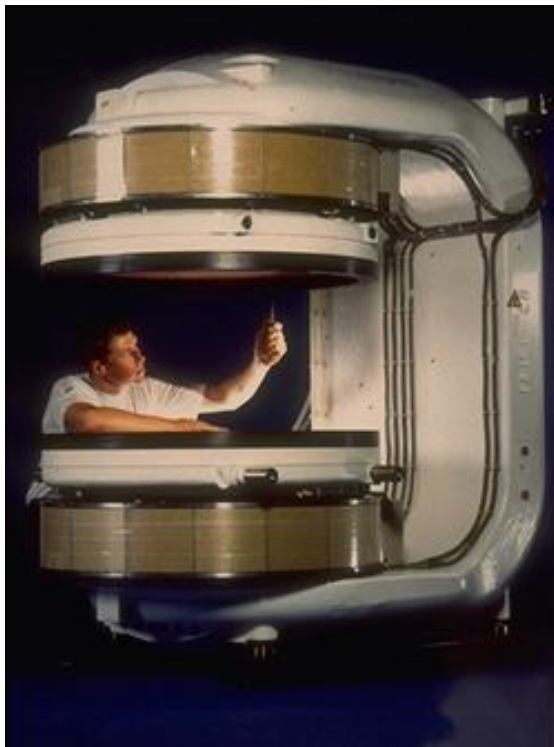
Desvantagens.

Grande consumo de energia limita a intensidade do campo a valores relativamente baixos. Menos de 2 Tesla para magnetos pequenos com núcleo de ferro e < de 0.1 Tesla para magnetos grandes com núcleo de ar.

Estabilidade do campo é limitada a curtos períodos para experimentos com RMN.

## *Campo magnético estático e magnetos*

Eletroímãs usados em um equipamento de imagens em laboratório



## *Campo magnético estático e magnetos*

### Supercondutores

Principais vantagens.

Grande estabilidade de campo

Pode ser usado em campos tão altos quanto 23 Tesla (1GHz 1H)  
em sistemas analíticos ou 8 tesla em imagens

Desvantagens.

Alto custo de construção e de manutenção

Uso de criogênicos aumenta o custo e exige pessoal especializado  
para manutenção

## *Campo magnético estático e magnetos*

Eletróimãs usados em um equipamento de imagens em laboratório



Questões?

Fim da Aula 06