

Sensores BioMagnéticos e Aplicações



Prof. Adilton

Departamento de Física e Matemática

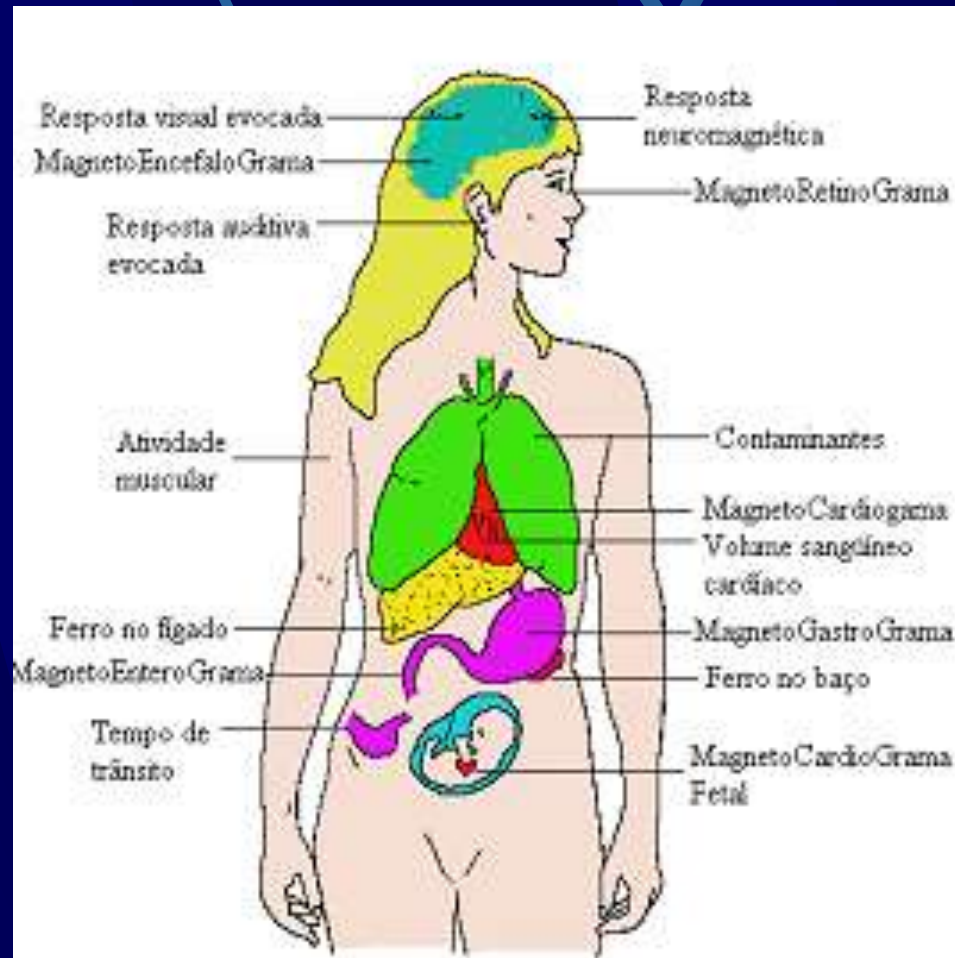
FFCLRP-USP-Ribeirão Preto

São Paulo-Brazil

e-mail: adilton@ffclrp.usp.br

sites.ffclrp.usp.br/giimus

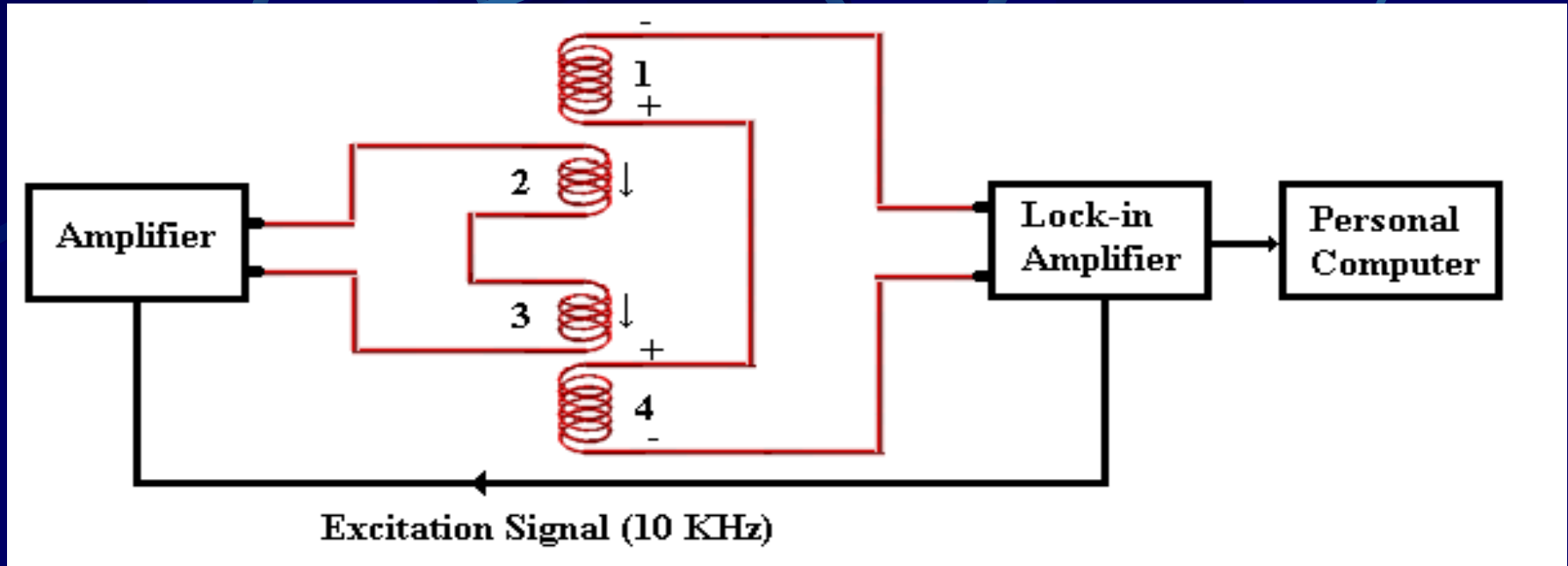
Principais Fontes de Campos Biomagnéticos



Intensidade Típica dos Campos Biomagnéticos e do Ruído



O Biosusceptômetro AC



- Um arranjo de bobinas produz um sinal de excitação que é detectado pelo amplificador lock-in. Quando balanceado nenhuma voltagem é detectada. A presença de substâncias ferromagnéticas próxima de uma das extremidades produz uma tensão.

Características Físicas

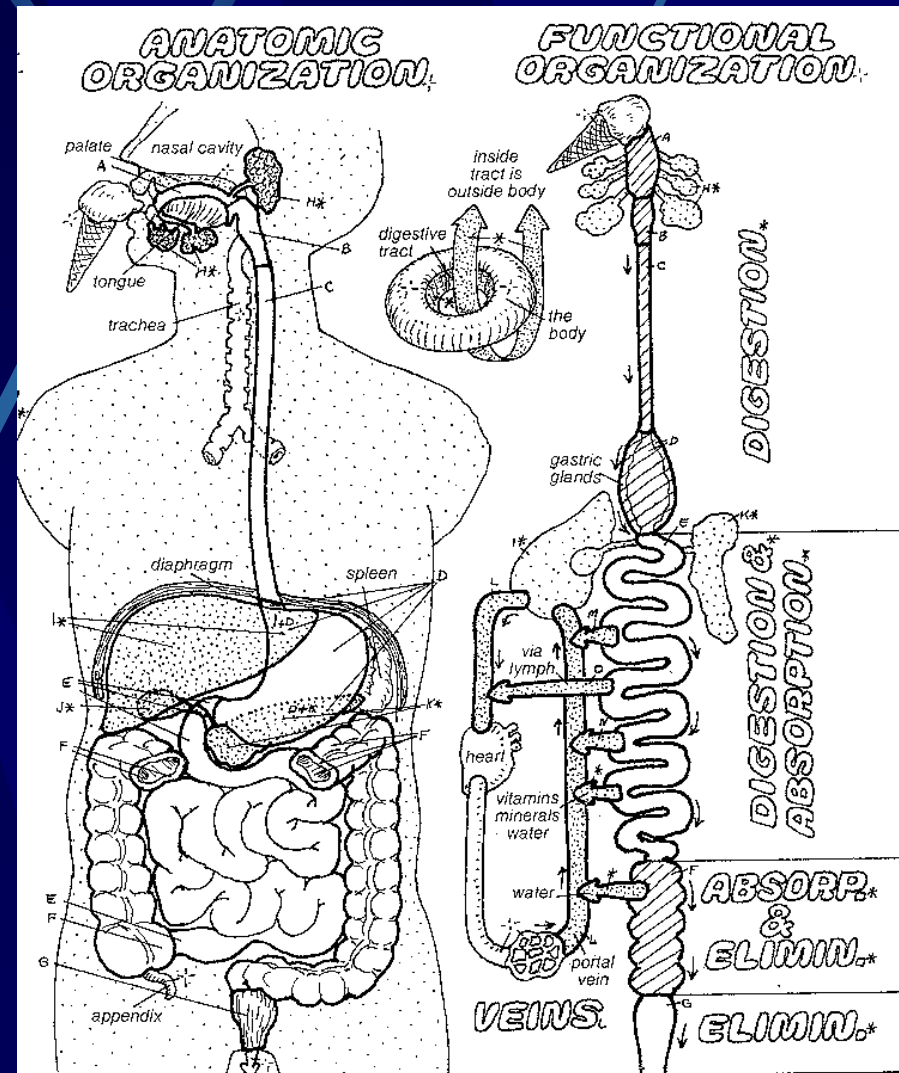
- Sistema gradiométrico de primeira ordem.
- Decaimento do sinal $\rightarrow \mathbf{r^{-6}}$

$$\Delta\Phi = \frac{N N' \chi \mu_0 \delta V A^2 I}{4\pi} \left[\frac{1}{r^3 (r+a)^3} - \frac{1}{(r+b)^3 (r+b-a)^3} \right]$$

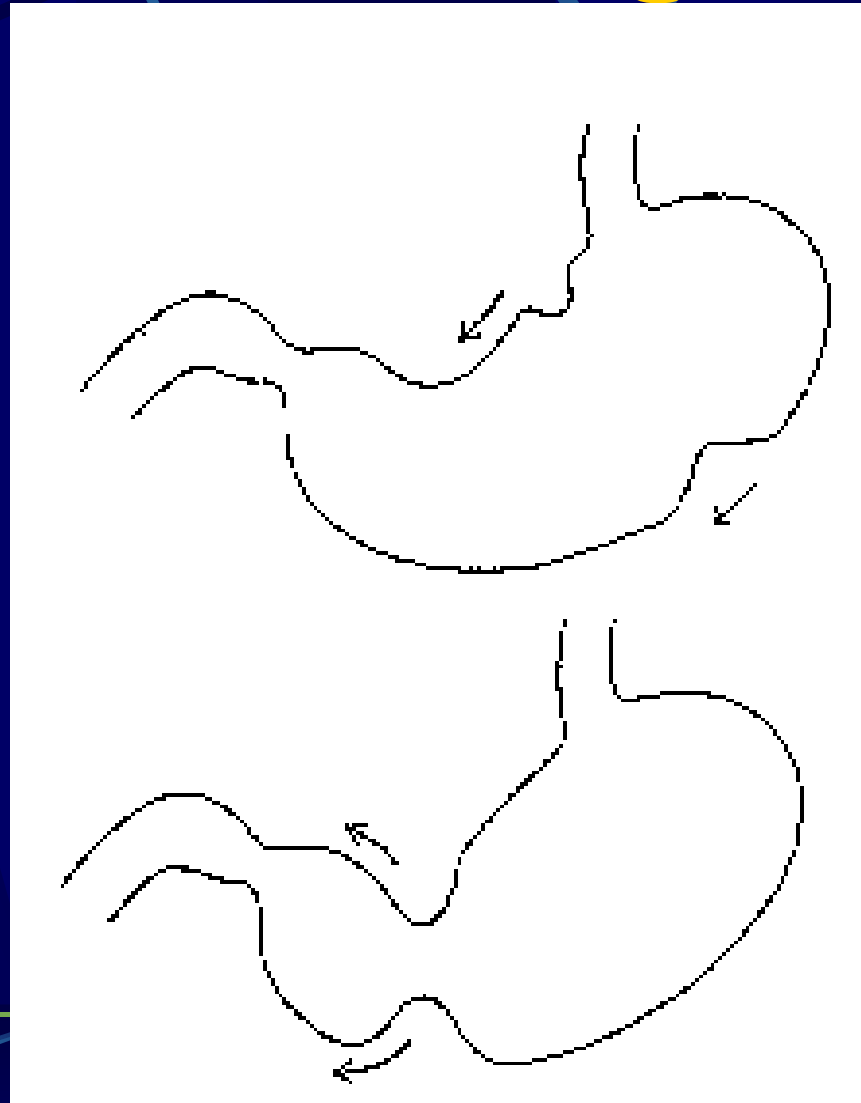
- Boa sensibilidade

Gastroenterologia- Motivação

- Para que o processo de digestão se realize o alimento tem que transitar por diferentes segmentos do tubo digestivo com uma velocidade apropriada.
- Enzimas
- Motilidade
- Irrigação
- Sinais elétricos



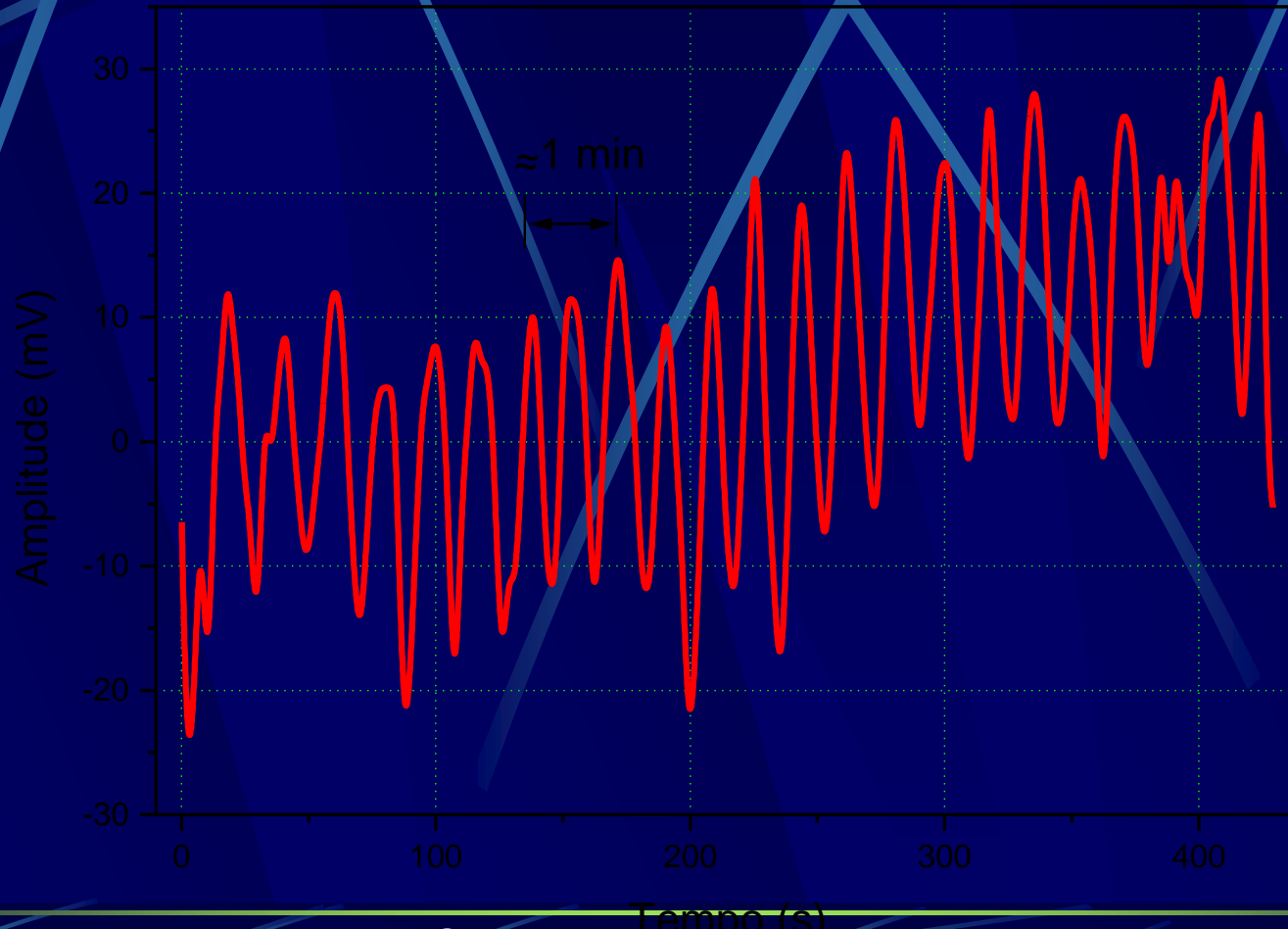
Atividade Mecânica do Estômago



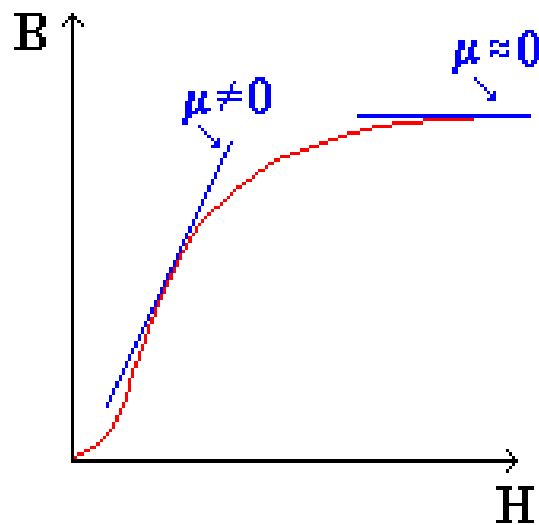
Alimento Teste

- As medidas com o biosusceptômetro AC (BAC) exigem a ingestão de uma refeição de prova contendo marcadores ou traçadores magnéticos inertes. A ferrita em pó e magnetita são utilizadas em concentrações de 1-4% em peso.

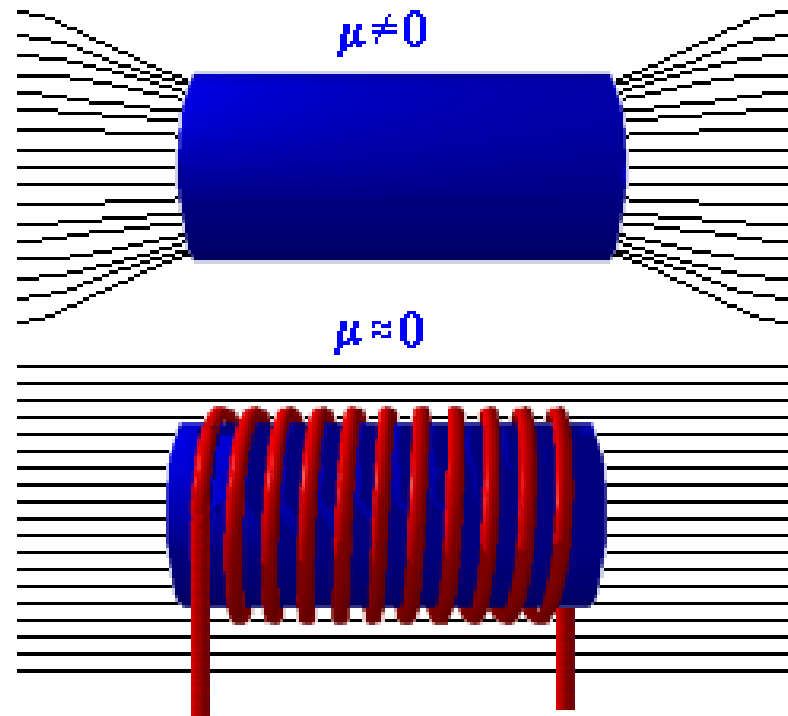
Contrações Gástricas



Funcionamento de Um Fluxgate



(a)

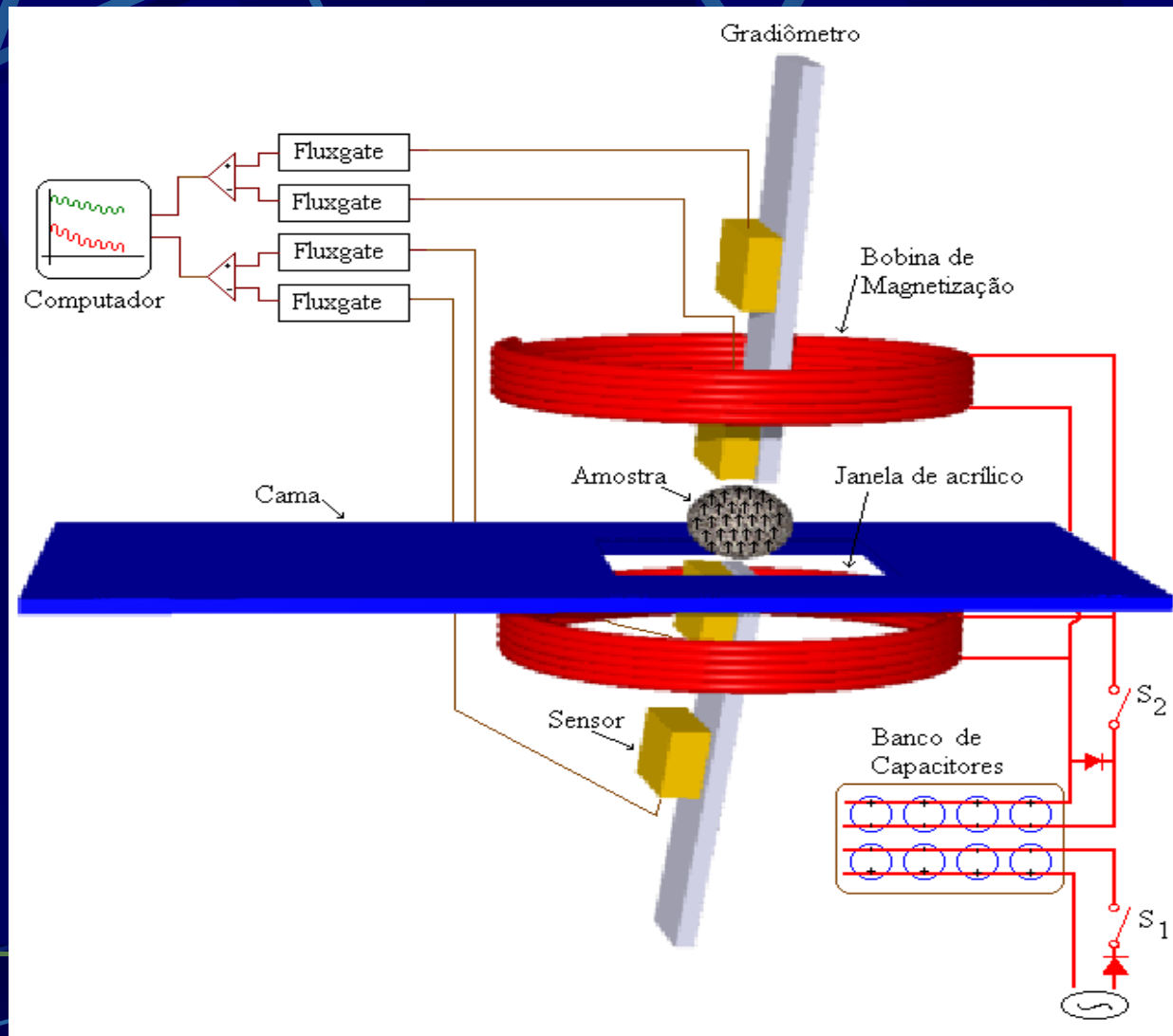


(b)

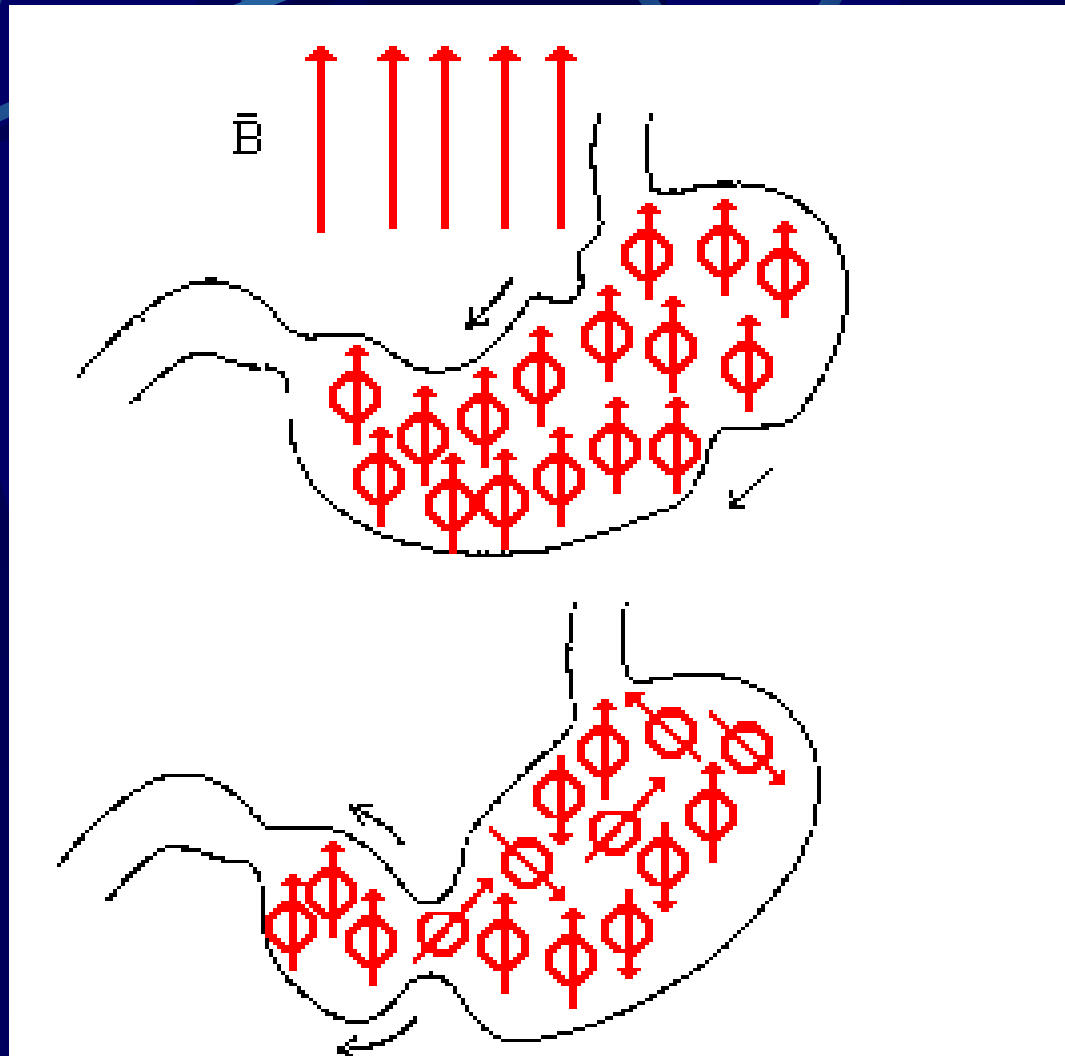
Fluxgate com Núcleo de Anel



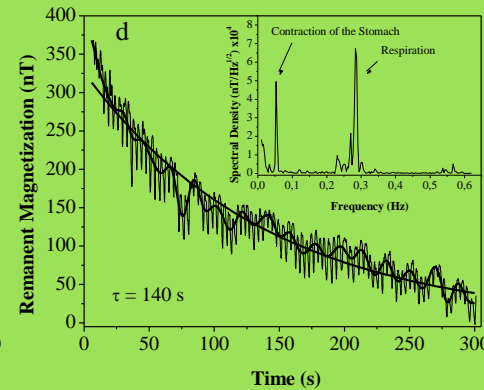
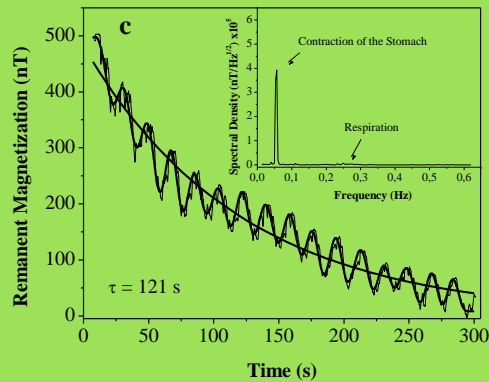
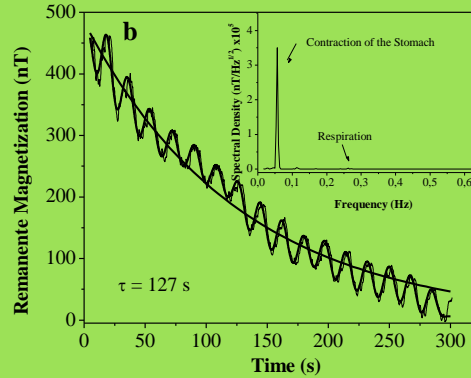
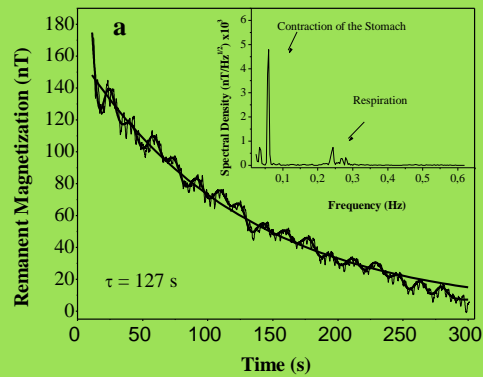
Arranjo Experimental para Medida da Magnetização



Processo de Relaxação

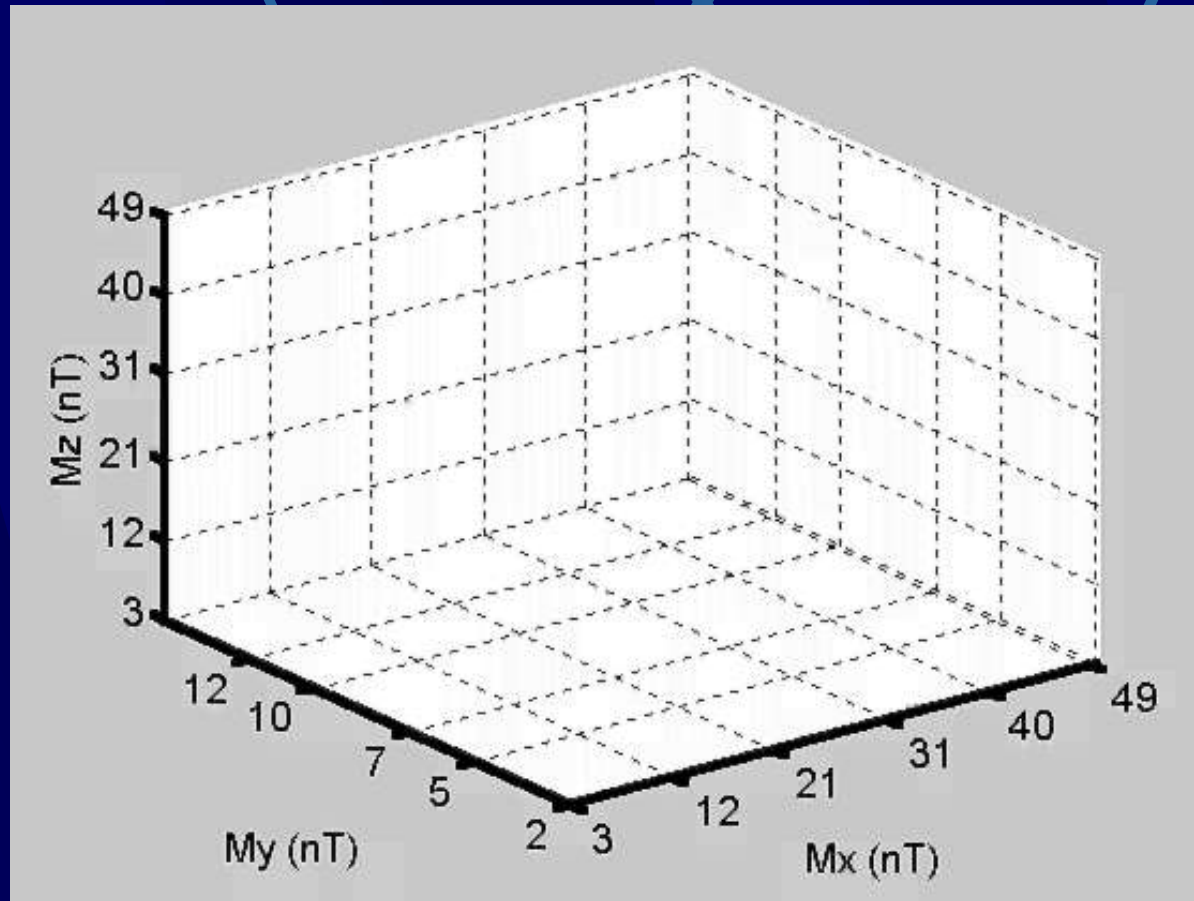


Decaimento da Magnetização Devido à Atividade Mecânica do Estômago

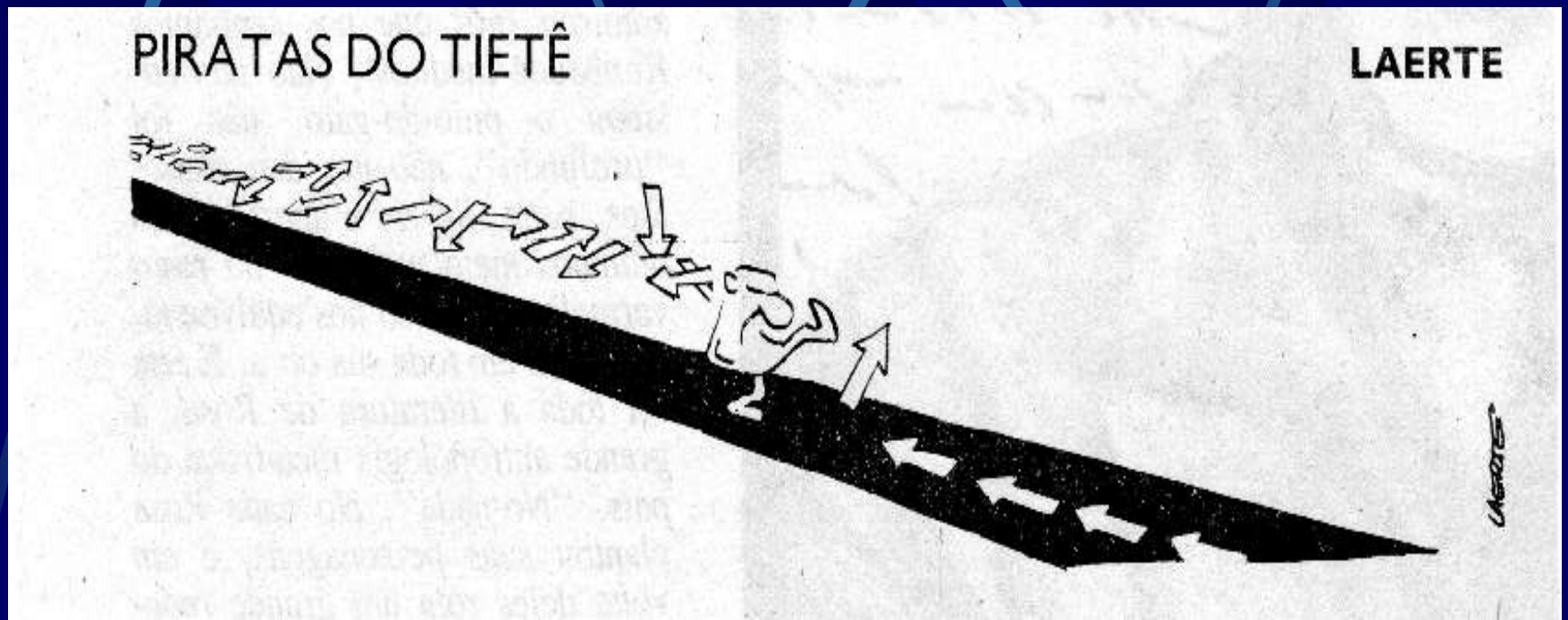


Medidas
realizadas em
um intervalo de
40 minutos

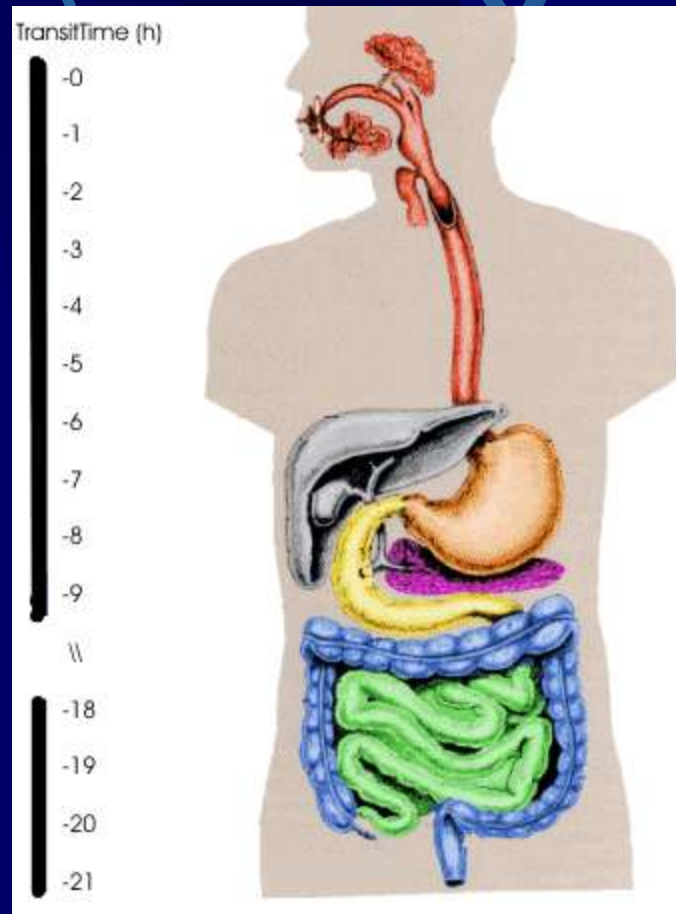
Magnetização Remanente



Um Possível Mecanismo Agitador do Estômago



Reflexo Gastrocólico



Alimento Teste

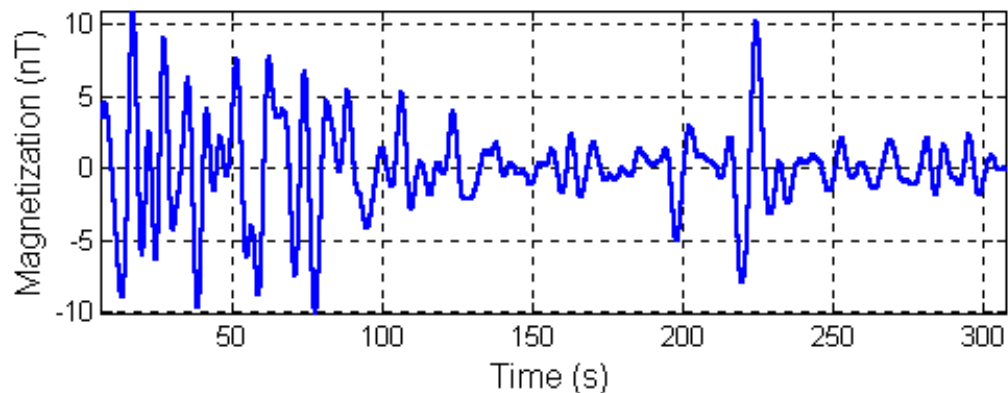
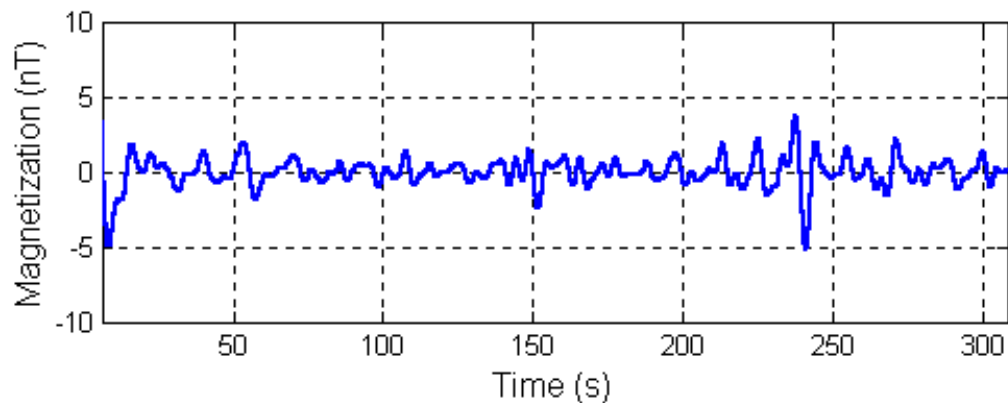


3 g magnetita (Fe_3O_4)

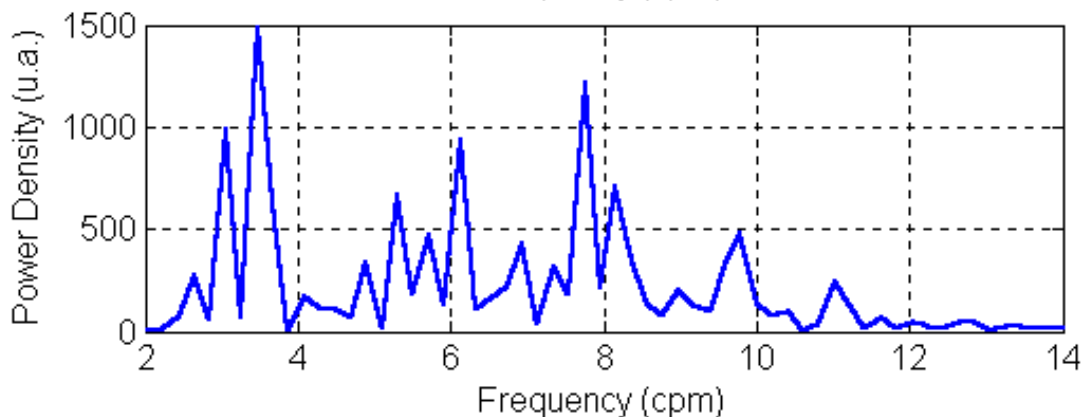
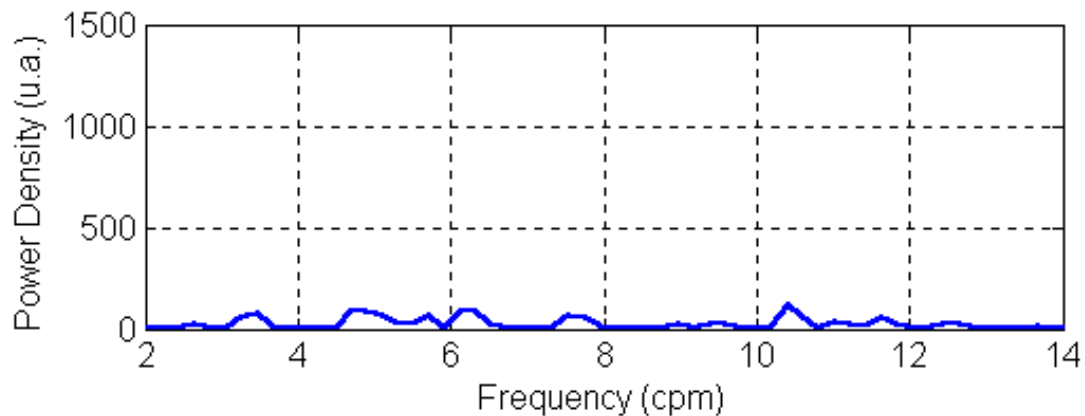
15 g aveia

Água

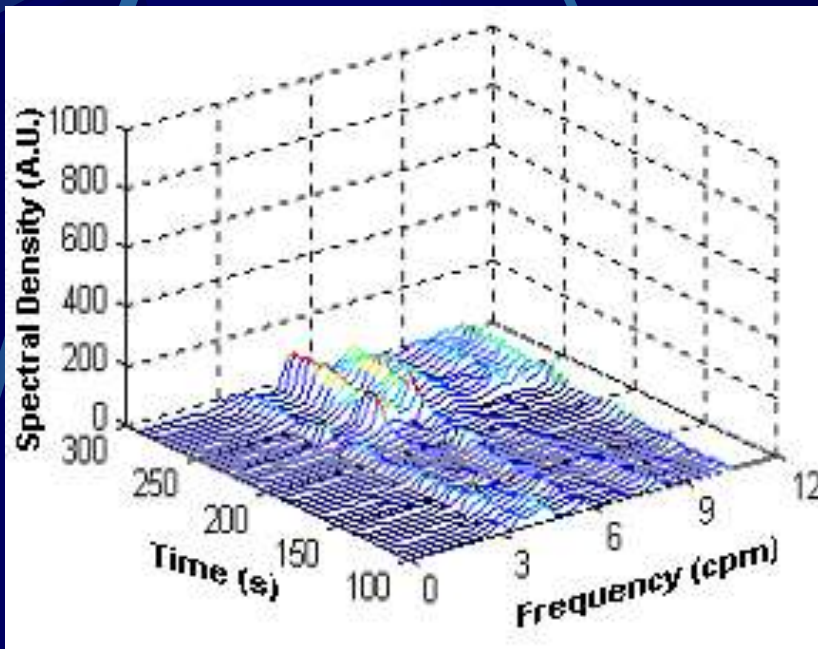
Sinal Magnético da Região do Ceco



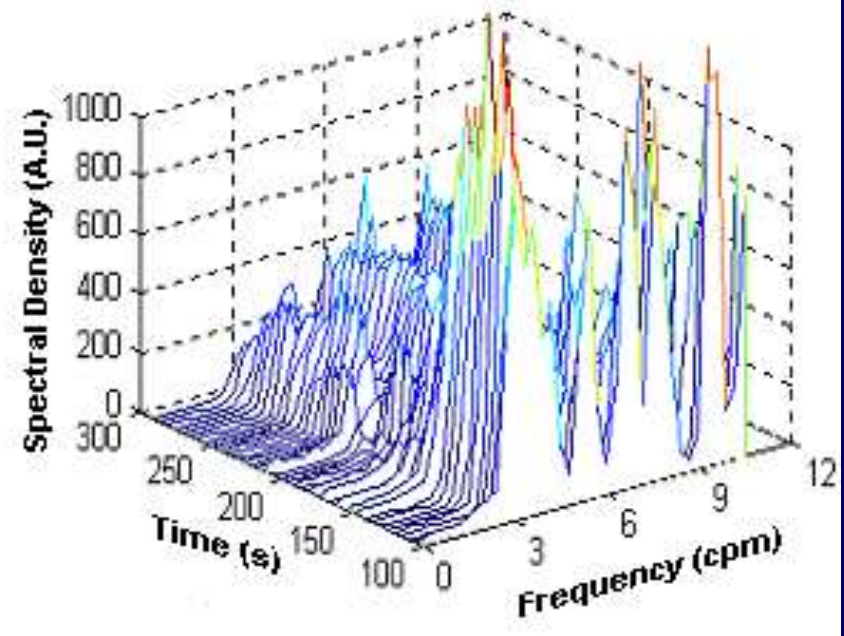
Transformada de Fourier do Sinal Magnético



Evolução da Componente Z do Campo magnético



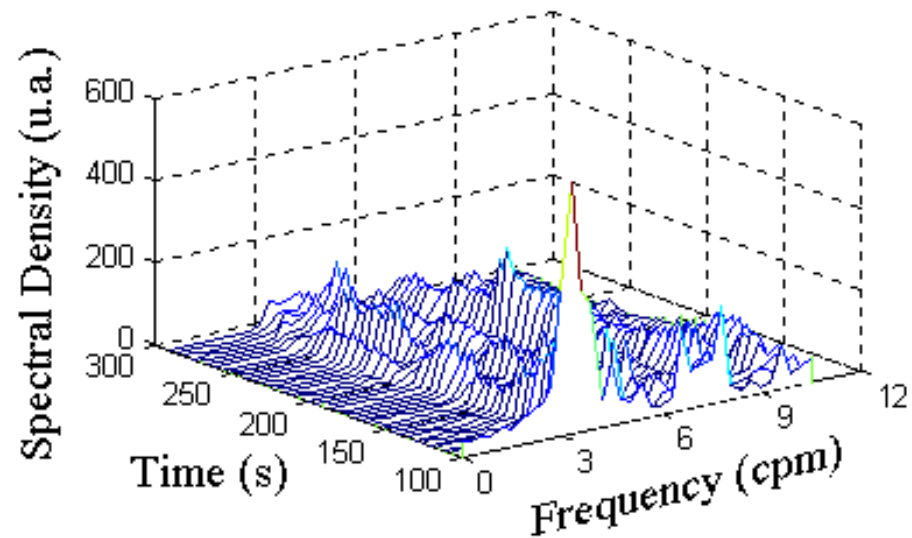
Antes da
Refeição



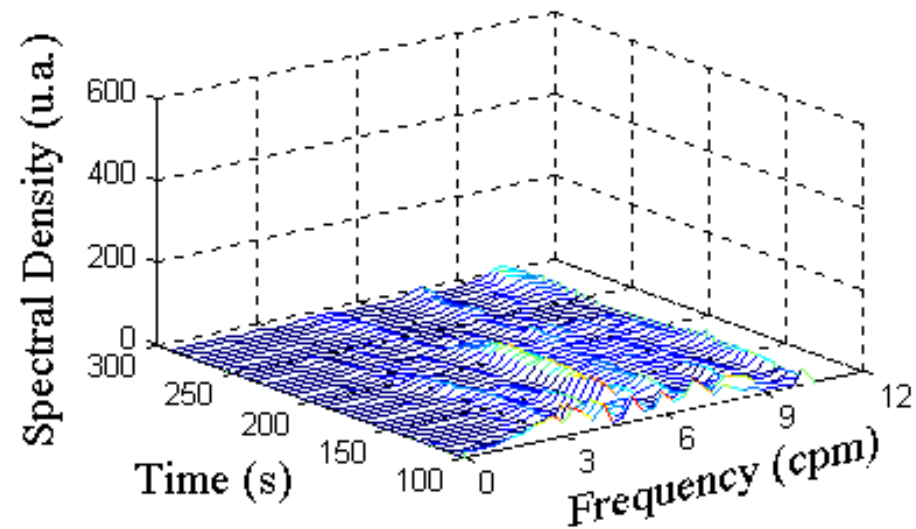
Depois da
Refeição

Efeito de uma droga sobre o reflexo gastrocólico

(Buscopan 40 mg)



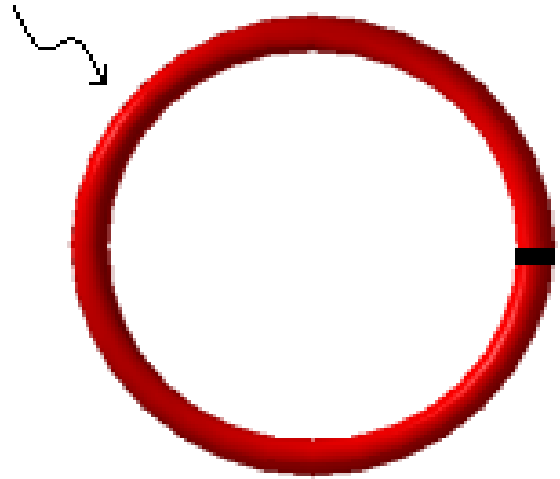
Antes



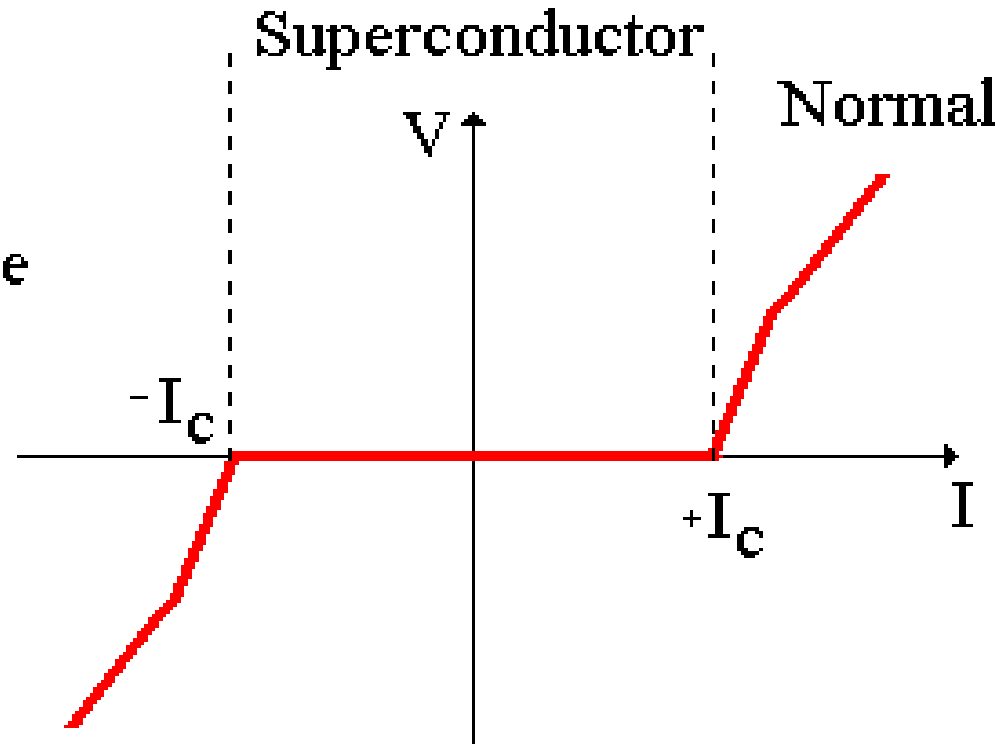
Depois

O Efeito Josephson

Superconductor
Ring

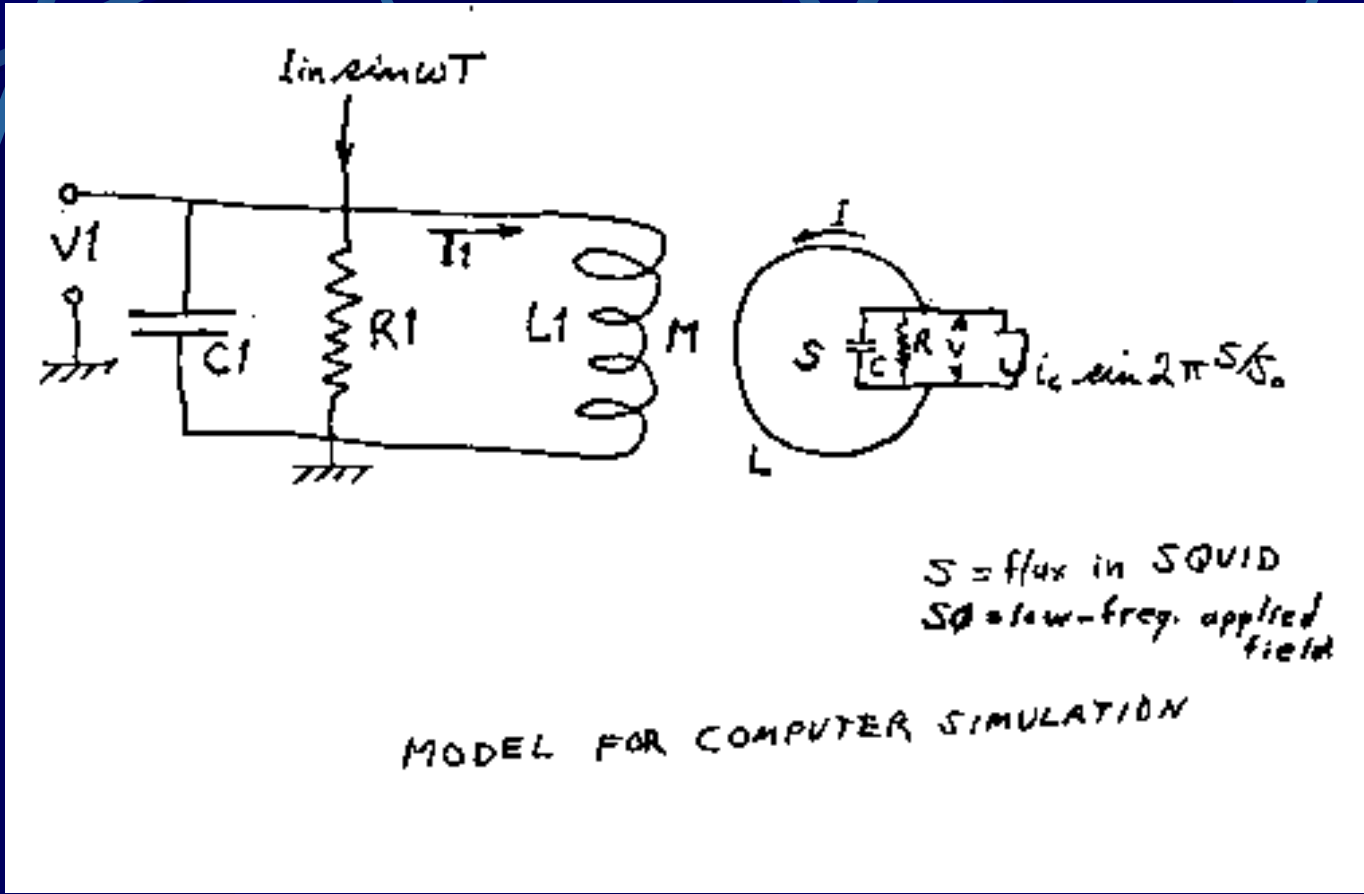


Resistive
Barrier



$$I_j = I_c \sin \phi \Rightarrow \phi = \theta_1 - \theta_2 = \frac{q}{\hbar} \int \vec{A} \cdot d\vec{s} = \frac{q}{\hbar} (\text{fluxo})$$

RF-SQUID

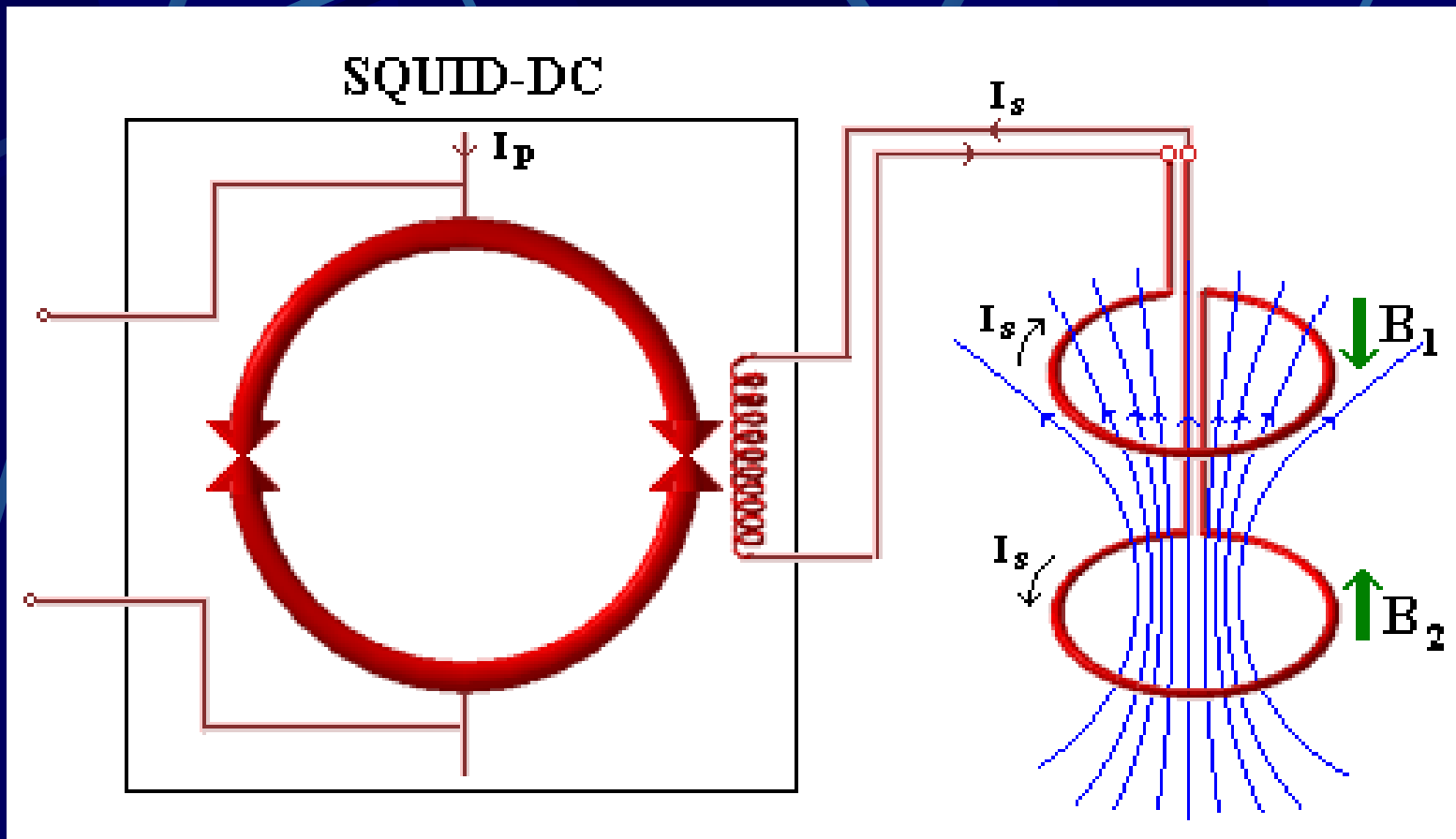


Desenho Original de James E. Zimmerman co-inventor desse dispositivo

Grupo de Biomagnetismo-DFM-
USP-Ribeirão Preto

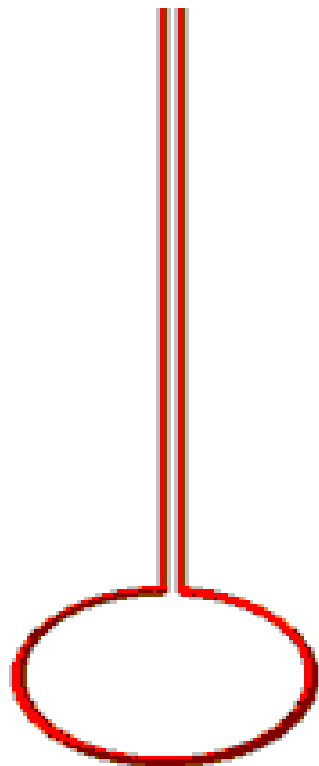
SQUID-DC

Transformador de Fluxo

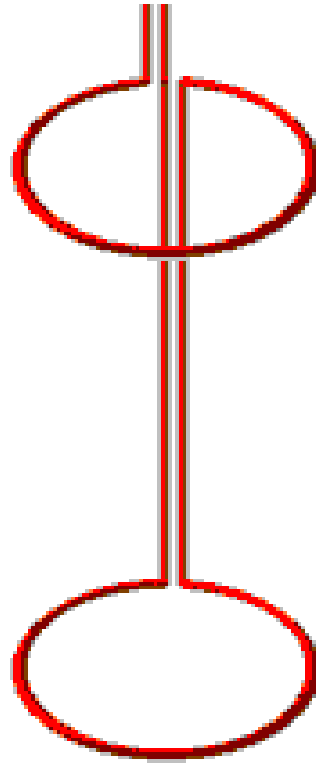


Sensibilidade $\approx 10^{-32}$ J e função de transferência $\approx 10^6$ V/A

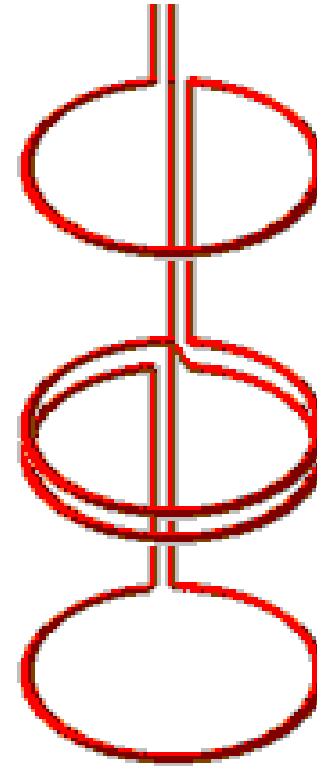
Gradiômetros



(a)



(b)

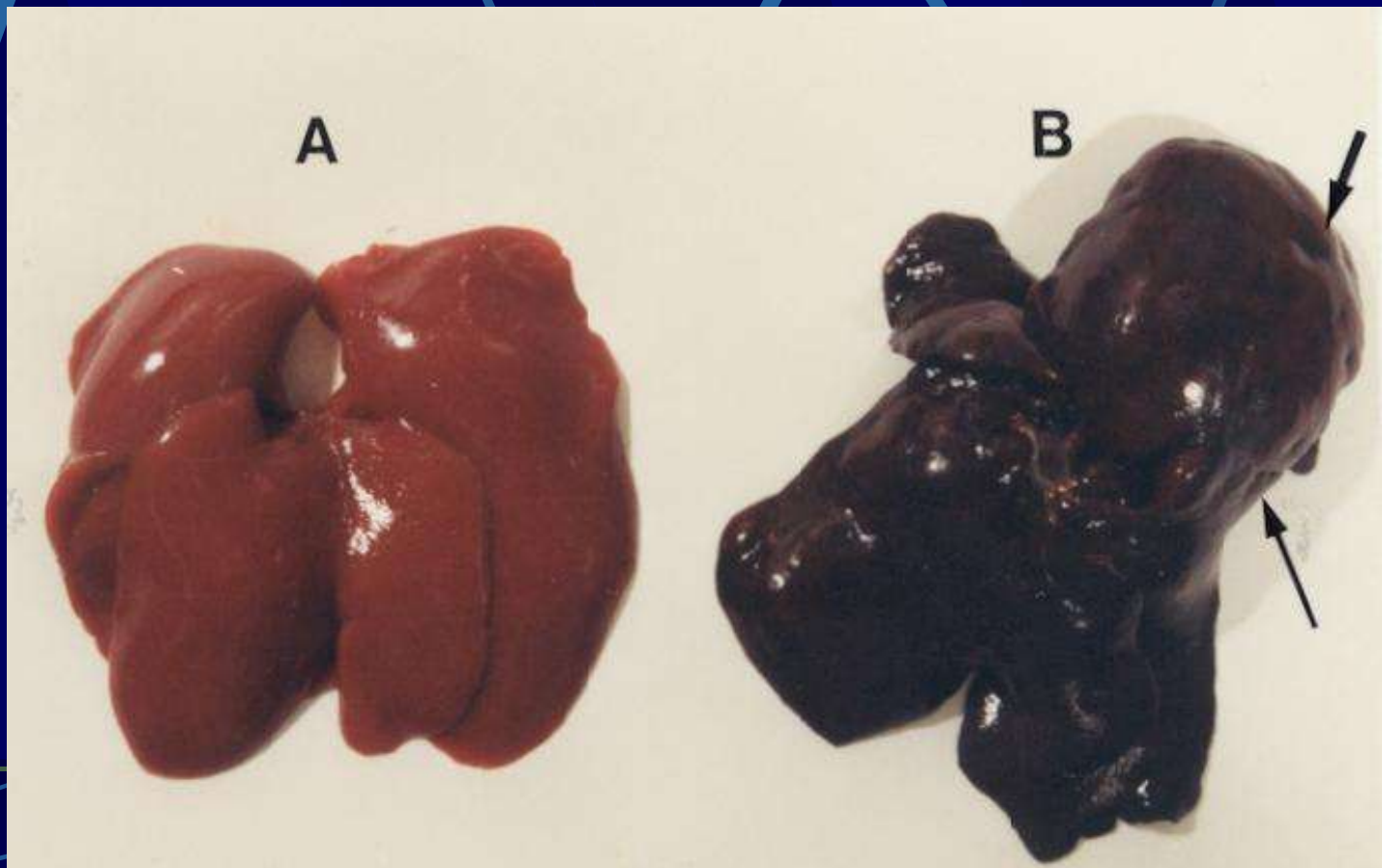


(c)

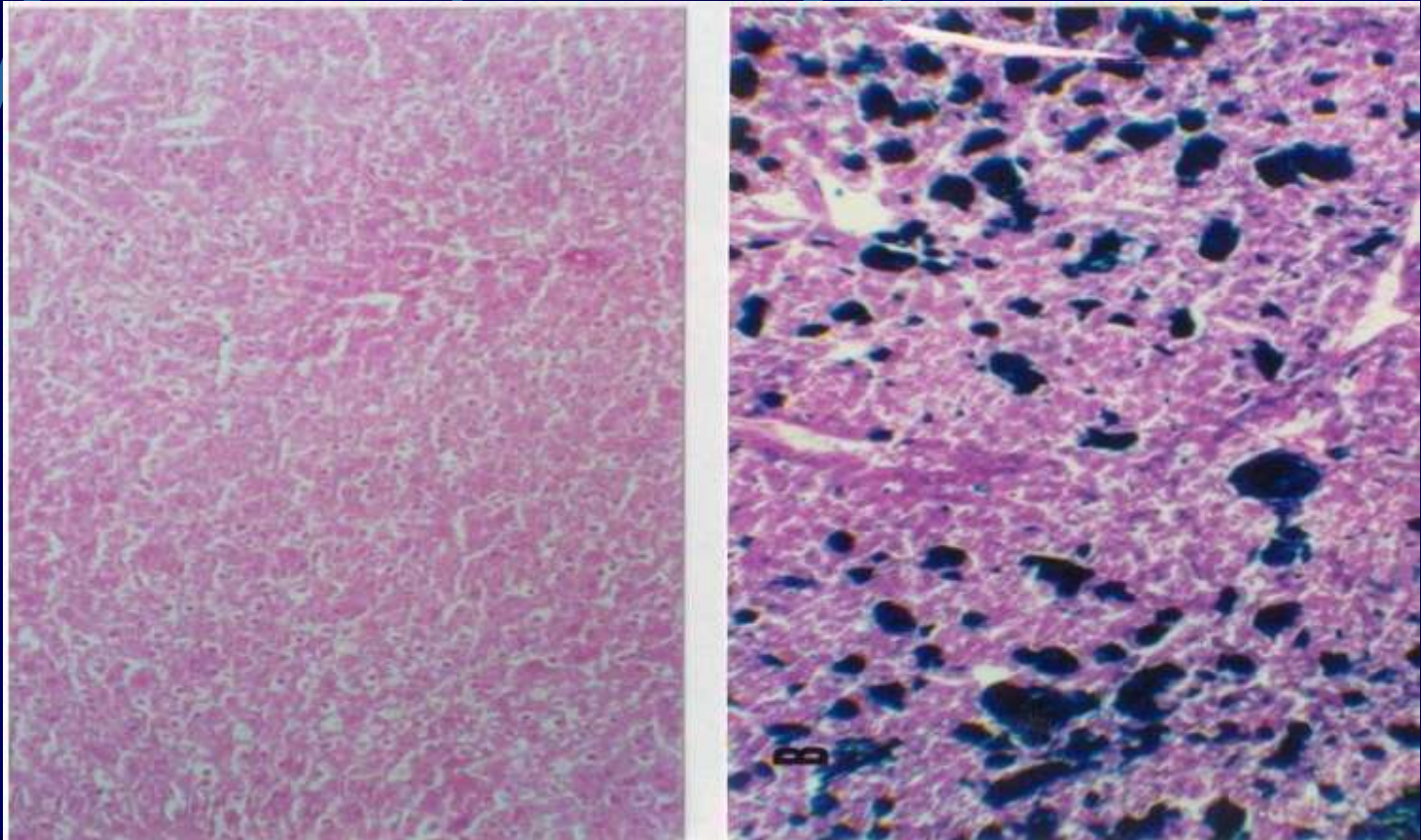
Métodos para a medida da sobrecarga de ferro no fígado

- Biopsia de agulha (*gold standard*)
- Concentração de ferritina no plasma
- Resonancia Magnética
- **Susceptibilidade Magnetica**

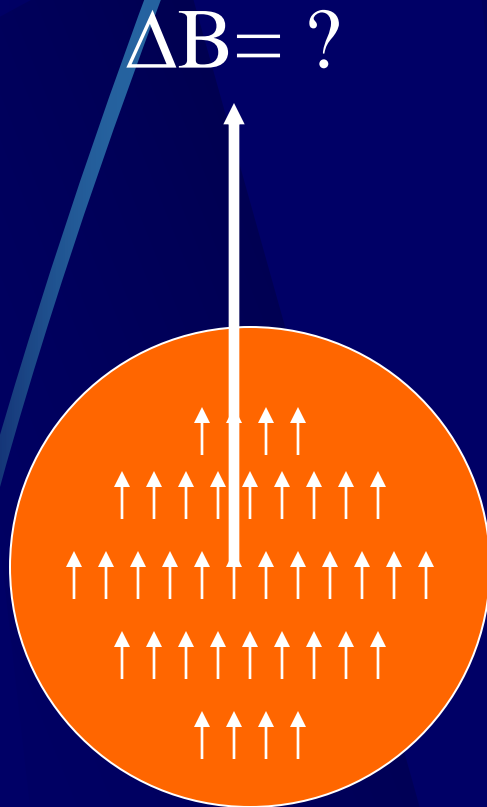
Aspecto macroscópico do fígado com sobrecarga de ferro



Aspecto microscópico do fígado com sobrecarga de ferro



Uma estimativa



The magnetic field produced by a sphere of radius r is given by:

$$\Delta B = \frac{\mu_0}{2\pi} \left(\frac{m_d}{r^3} \right)$$

But: $\chi = \frac{M}{H}$ and $M = \frac{m_d}{V}$

Thus: $m_d = MV = \chi HV$

But: $\chi \approx 10^{-5}$ $B = \mu_0(1 + \chi)H \approx \mu_0 H$

Thus: $m_d = \frac{\chi VB}{\mu_0}$

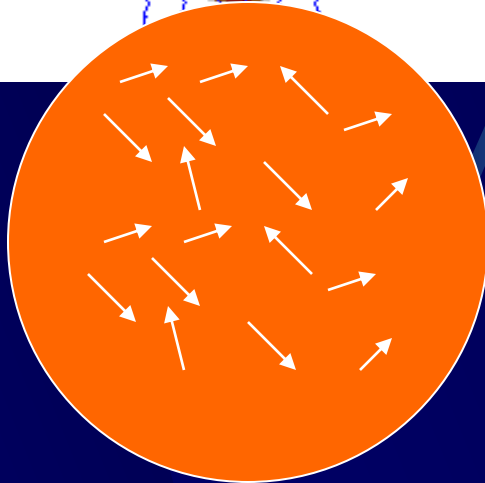
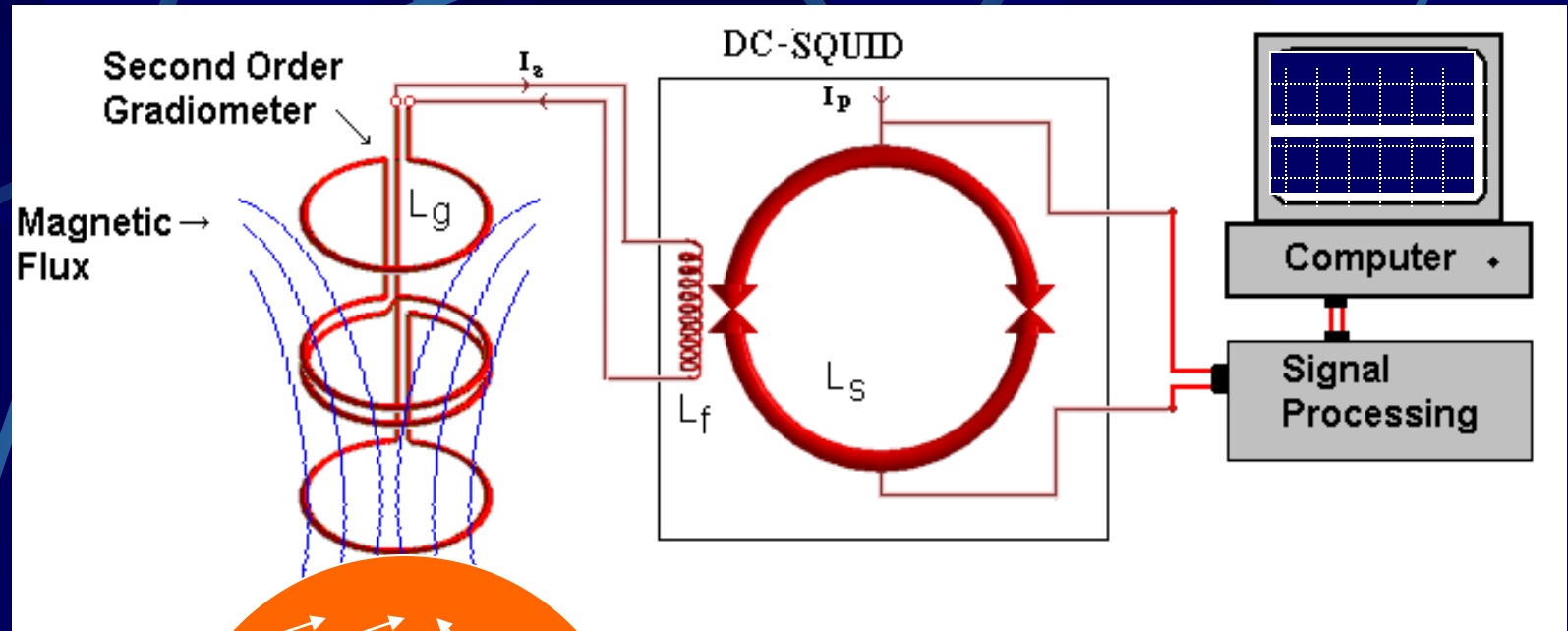
$$\Delta B = \frac{\mu_0}{2\pi} \left(\frac{\chi VB}{\mu_0 r^3} \right) = \frac{\mu_0}{2\pi} \left(\frac{4\pi r^3}{3\mu_0 r^3} VB \right) = \frac{2}{3} \chi B$$

Using a magnetic field of $60\mu\text{T}$ a variation of 100pT will be produced.

A técnica susceptométrica

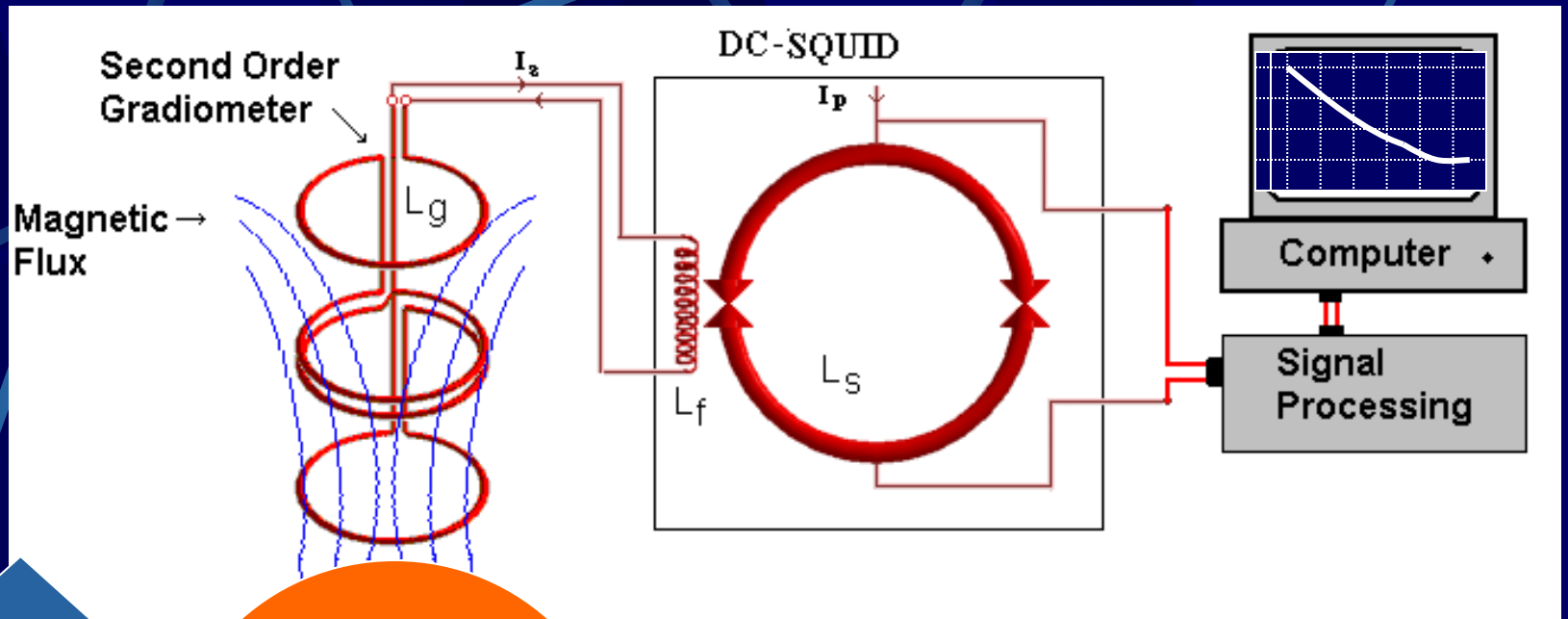
- Magnetização da amostra usando um campo magnético AC ou DC.
- Um detector gradiométrico acoplado a SQUID RF ou DC, com cancelamento ativo.
- Medida da variação do campo em presença da amostra é utilizado para quantificar a presença do ferro

Procedimento de medida

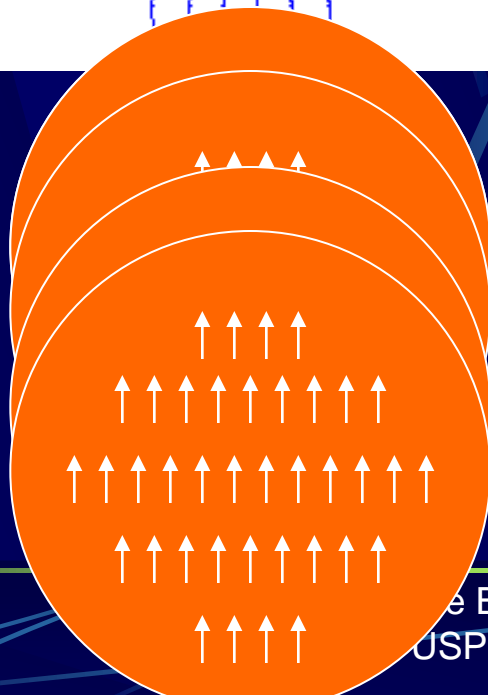
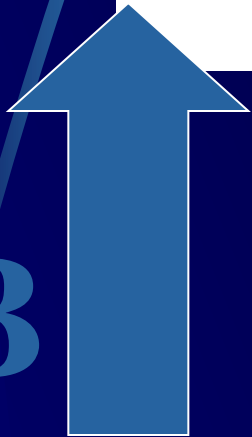


$$\mathbf{M}=\mathbf{0}$$

Procedimento de medida



B



$M \neq 0$

Modelo Físico

“leading field”

$$\Phi = \frac{C_{fe} \chi_{m,fe}}{\mu_0 I_d} \int_{Vol} \vec{B}_m(\vec{r}) \cdot \vec{B}_d(\vec{r}) d^3 r$$

C_{fe} = concentração de ferro

$\chi_{m,fe}$ = susceptibilidade mássica do ferro

B_m = Campo Magnetizaste

B_d = “Lead Field” no transformador de fluxo

Tripp, JH (1983). **Biomagnetism: an Interdisciplinary Approach**, Physical Concepts and Mathematical Models, pp. 101-139.

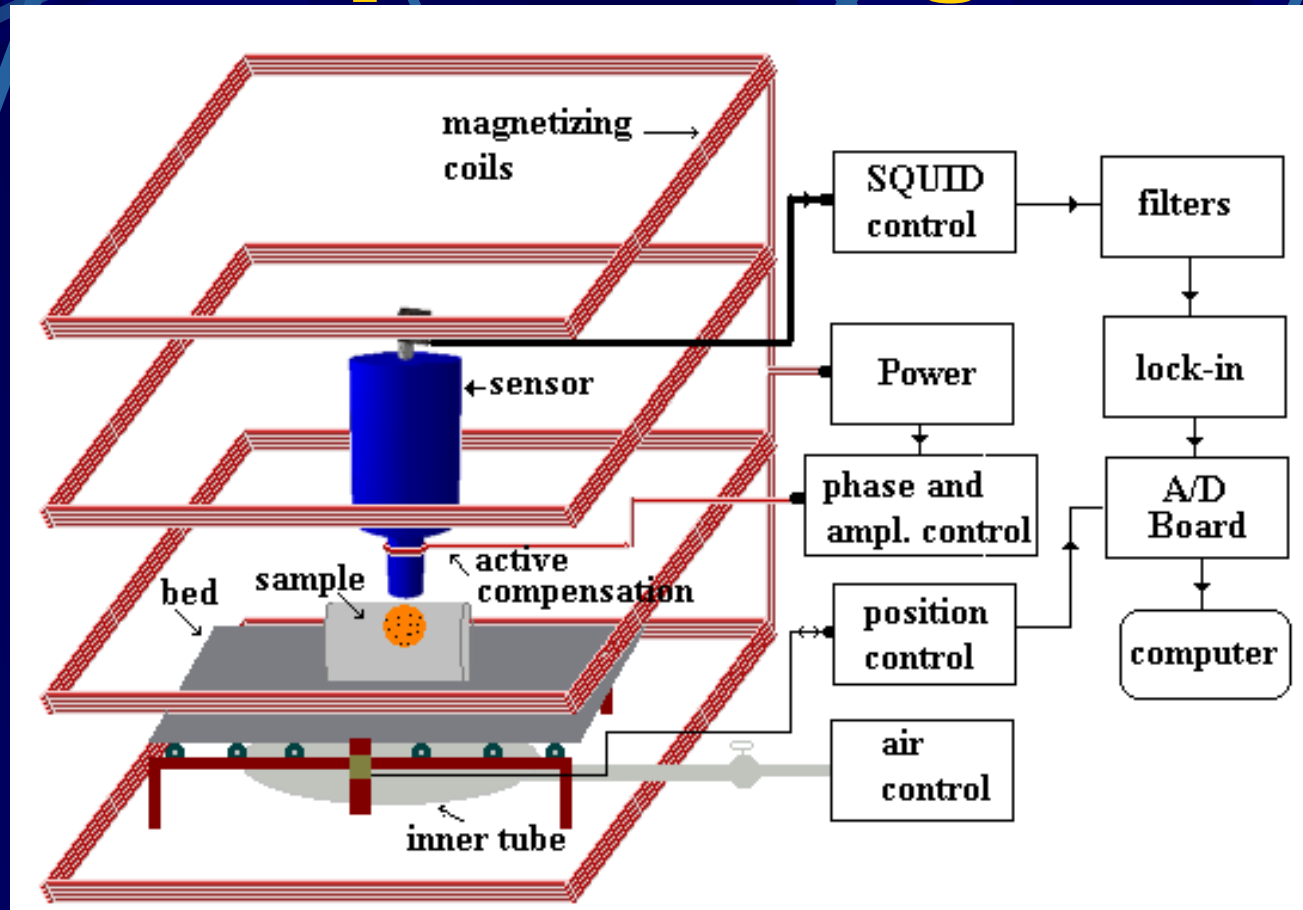
Simplificando

$$\Delta V = C\Delta\Phi + \delta$$

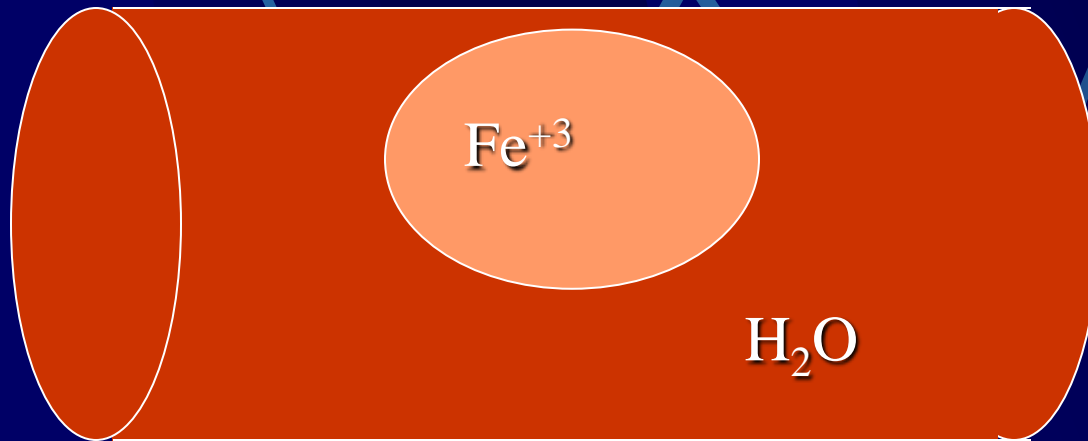
C = Fator de calibração do susceptometro

δ = Fator de correção (interferência do sistema, etc)

Susceptômetro com Campo Homogêneo



Calibração

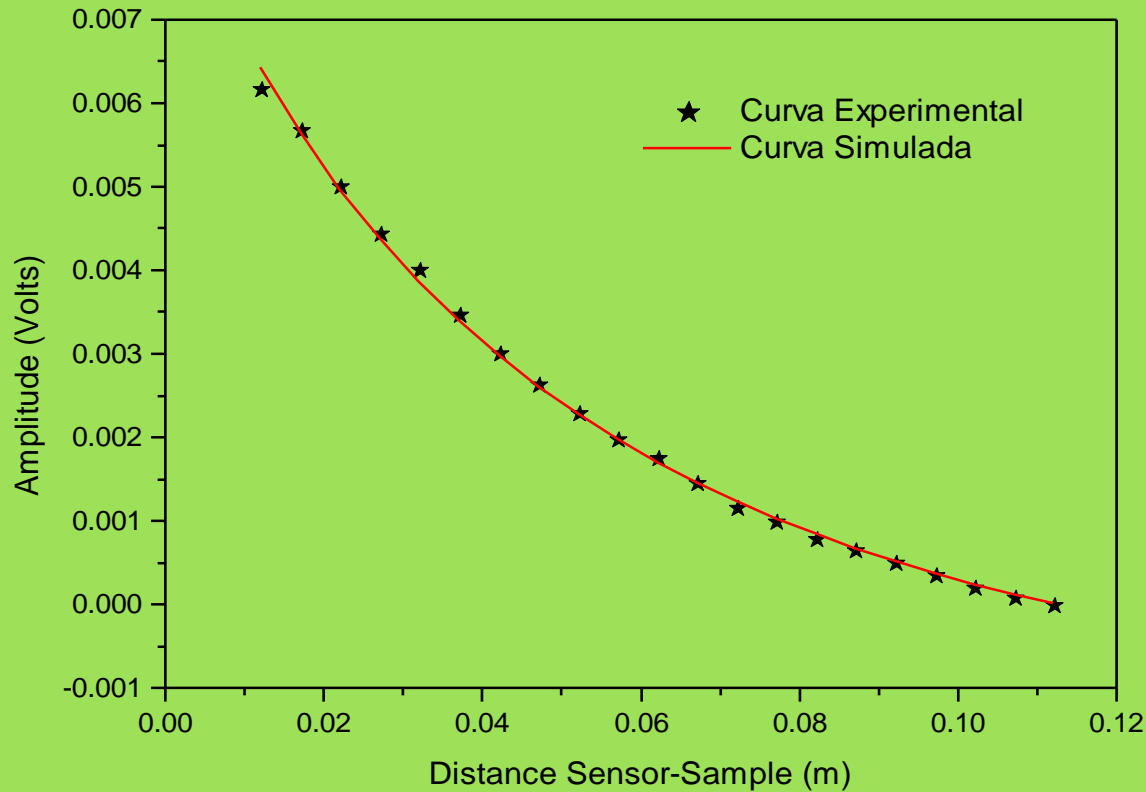


Raio da esfera = 0.056 m

Raio do cilindro = 0.221 m

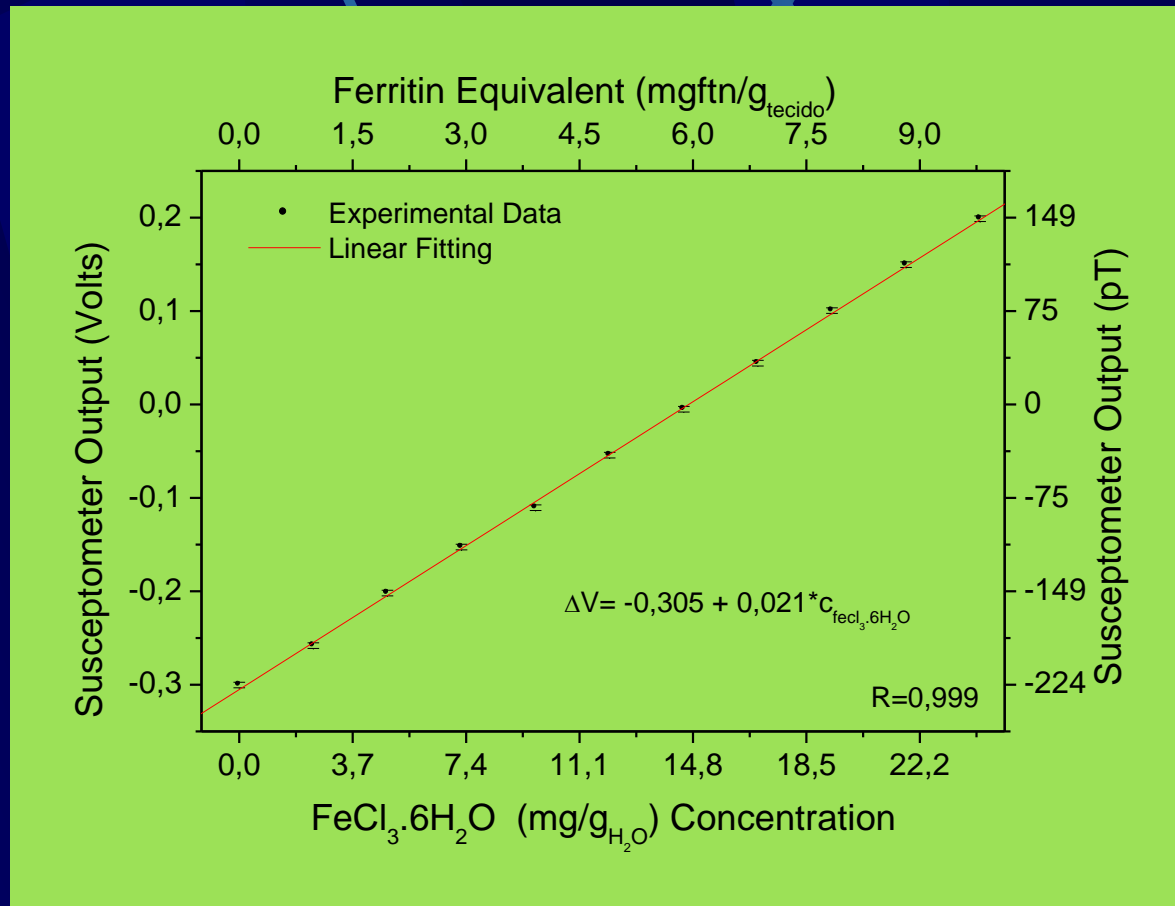
Comprimento do cilindro = 0.303 m

Sinal típico do SQUID versus distancia

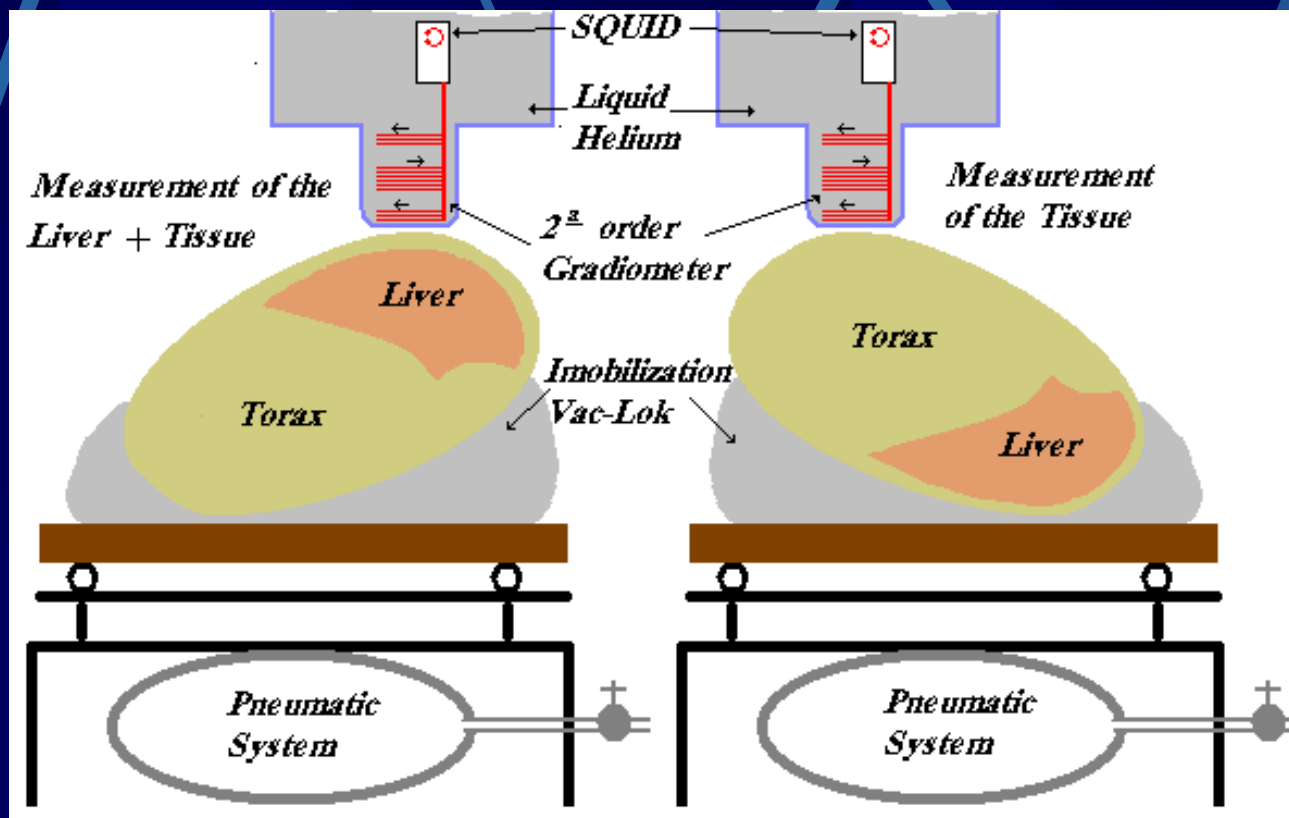


Medidas realizadas em um fantom preenchido com água

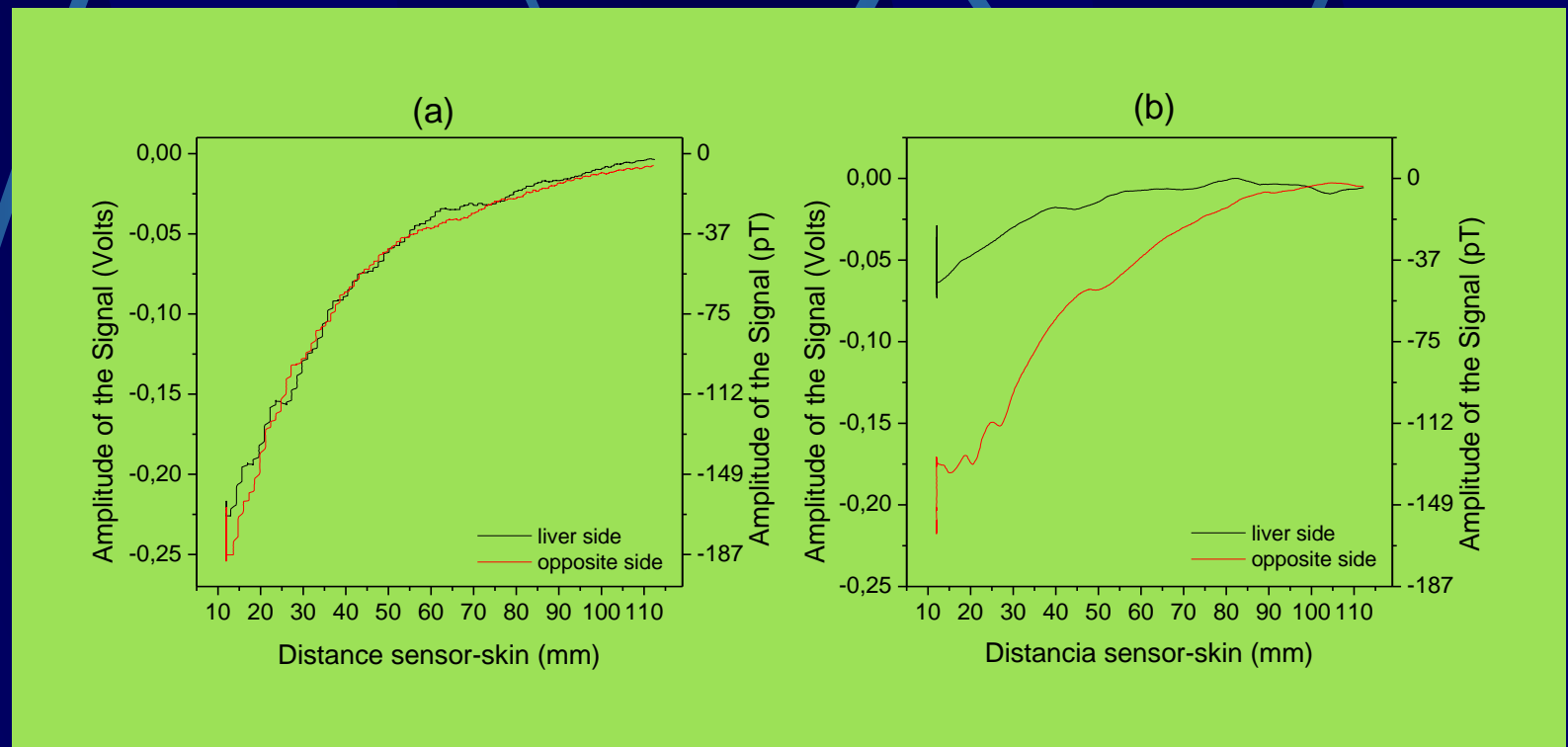
Sinal do SQUID versus concentração de ferro



Primeiras Medidas *in vivo*



Sinal típico em um sujeito normal sem bolsa de água



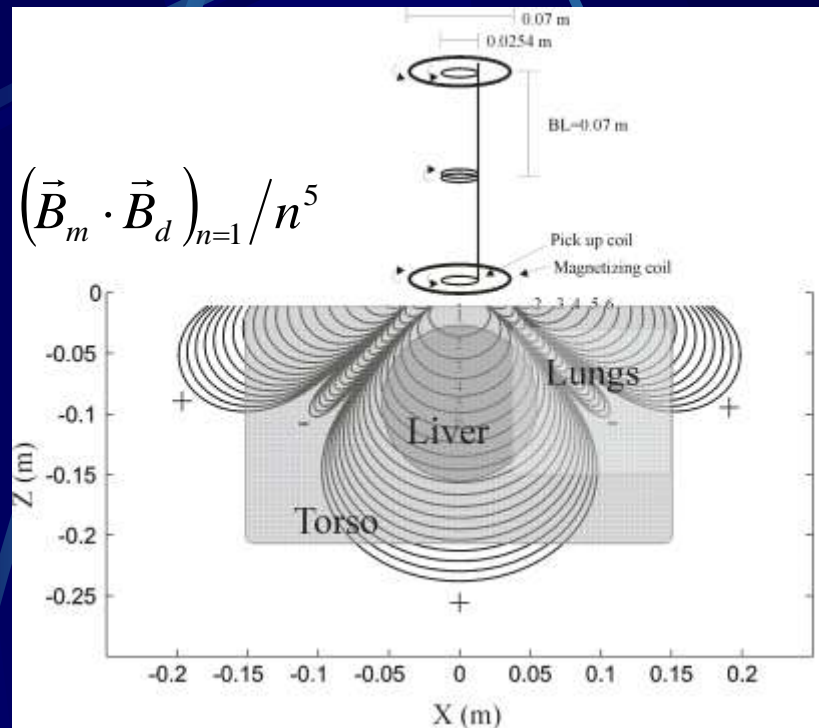
a) Normal

b) Talassemico

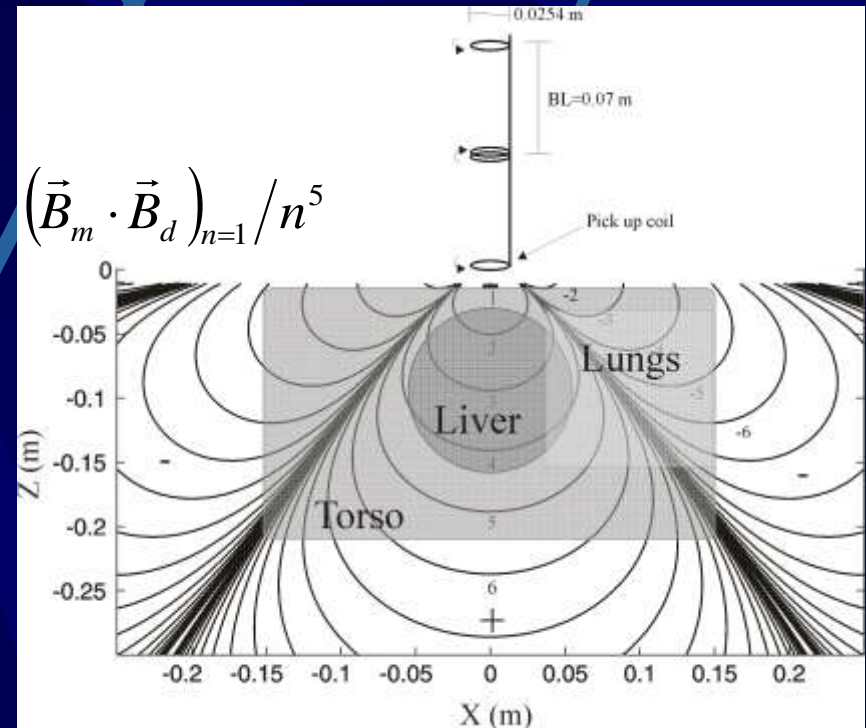
Problemas.....

- $\Delta B \propto r^{-3}$
- Incertezas no posicionamento
- Assimetria do Torso
- Interferência dos pulmões e baço
- Tempo de medida

Linhas de iso-sensibilidade

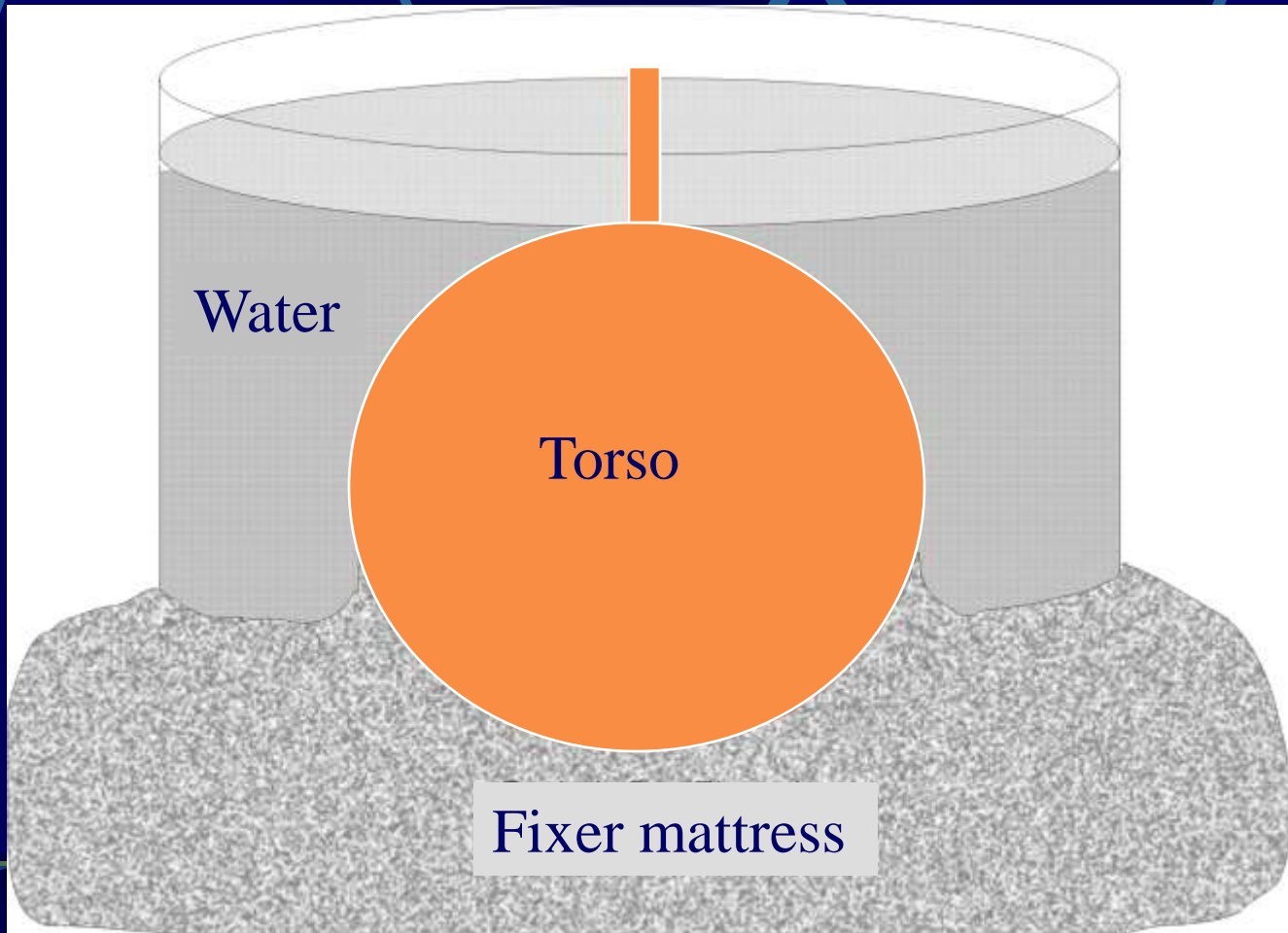


Campo não homogêneo

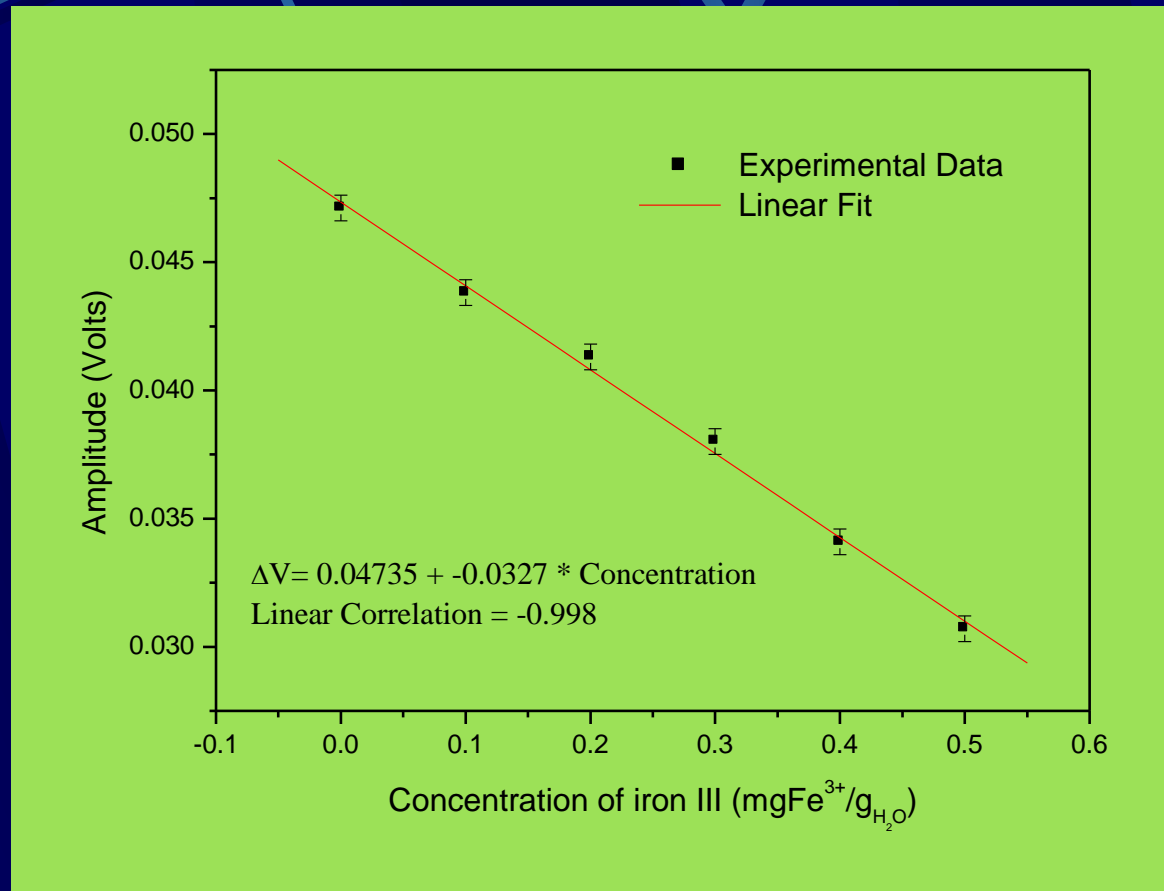


Campo homogêneo

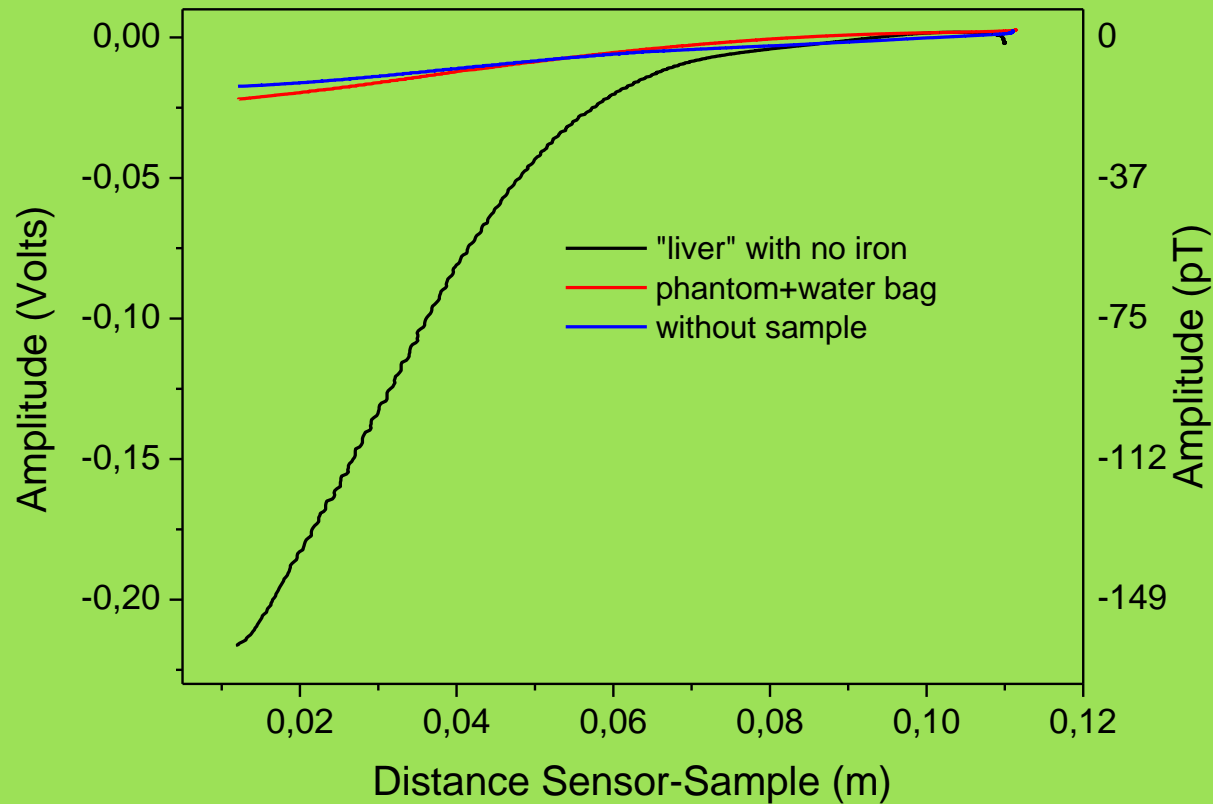
Bolsa com água sobre o torso meio homogêneo



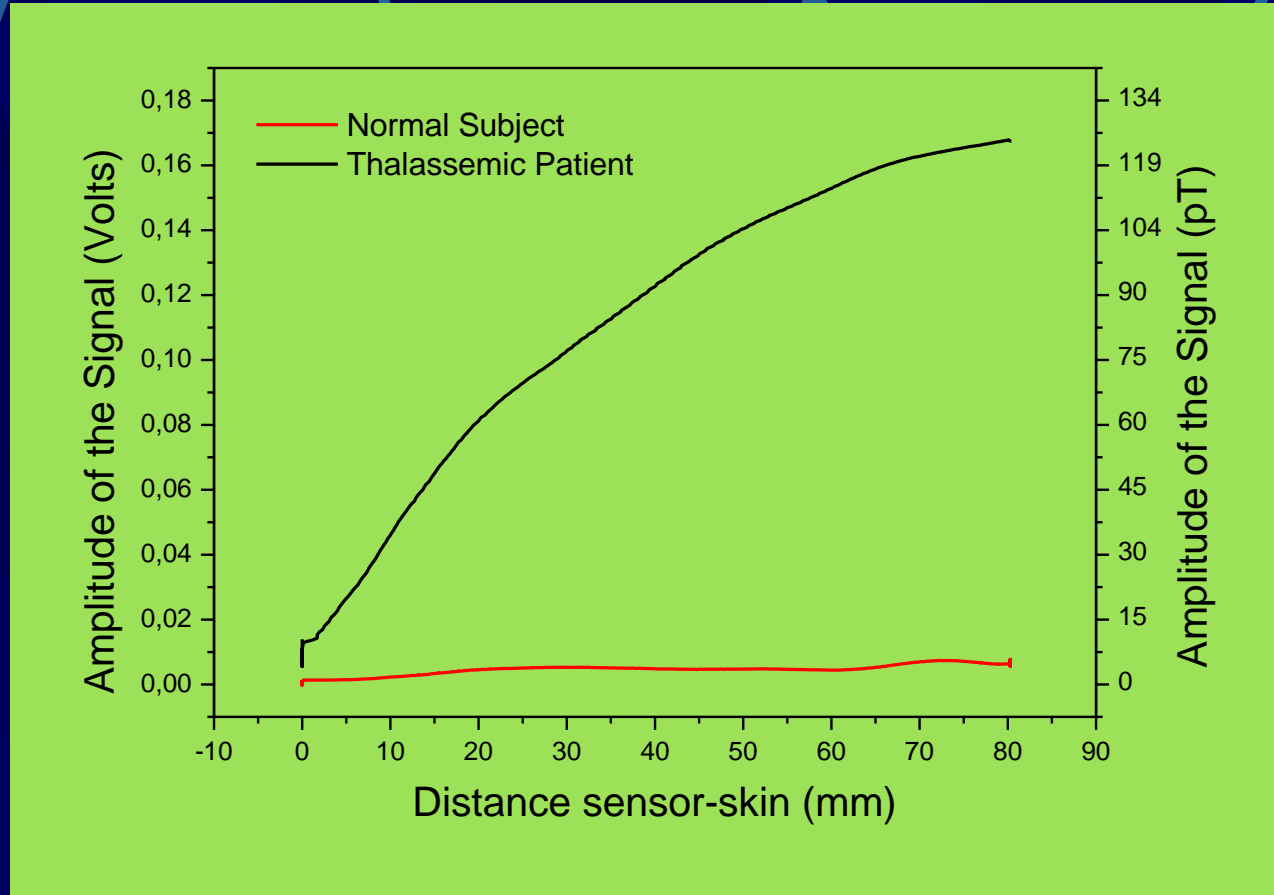
Avaliação do Sistema



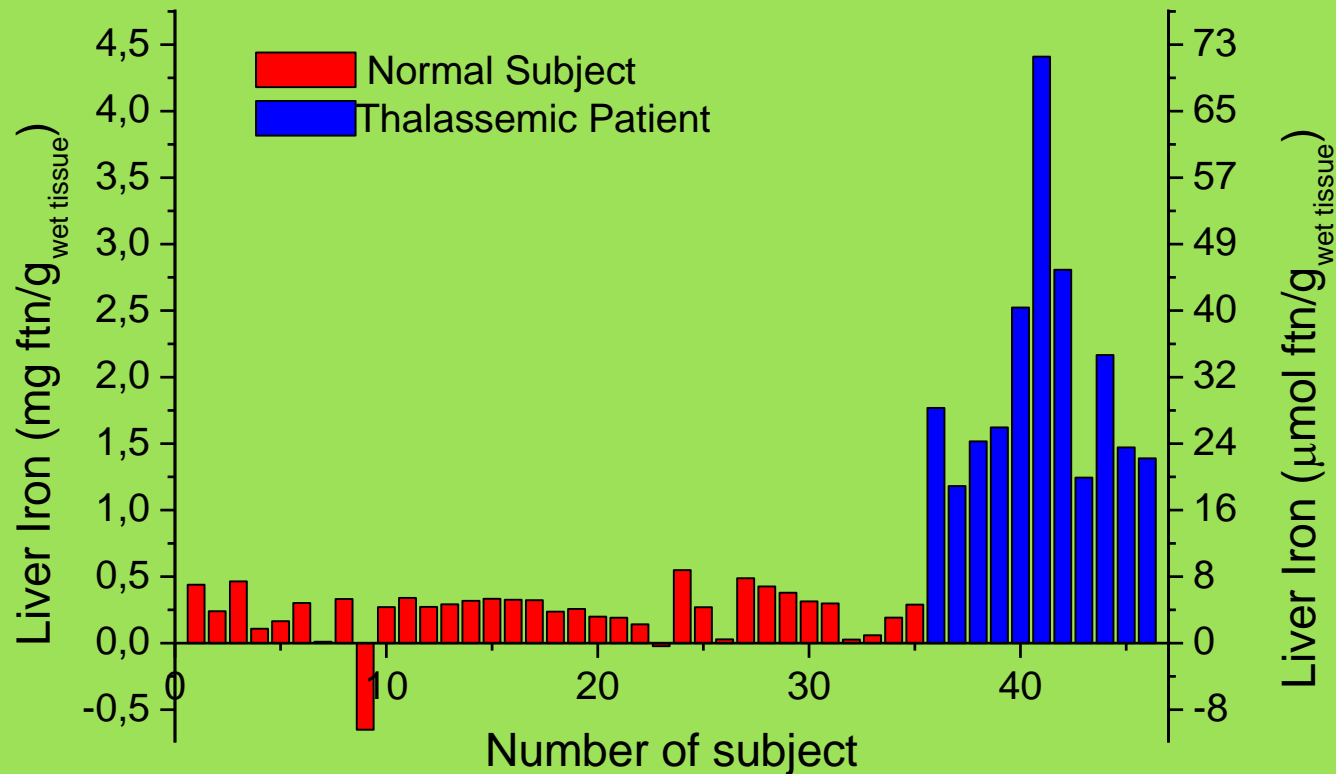
Medidas em um fantom contendo água pura usando a bolsa com água



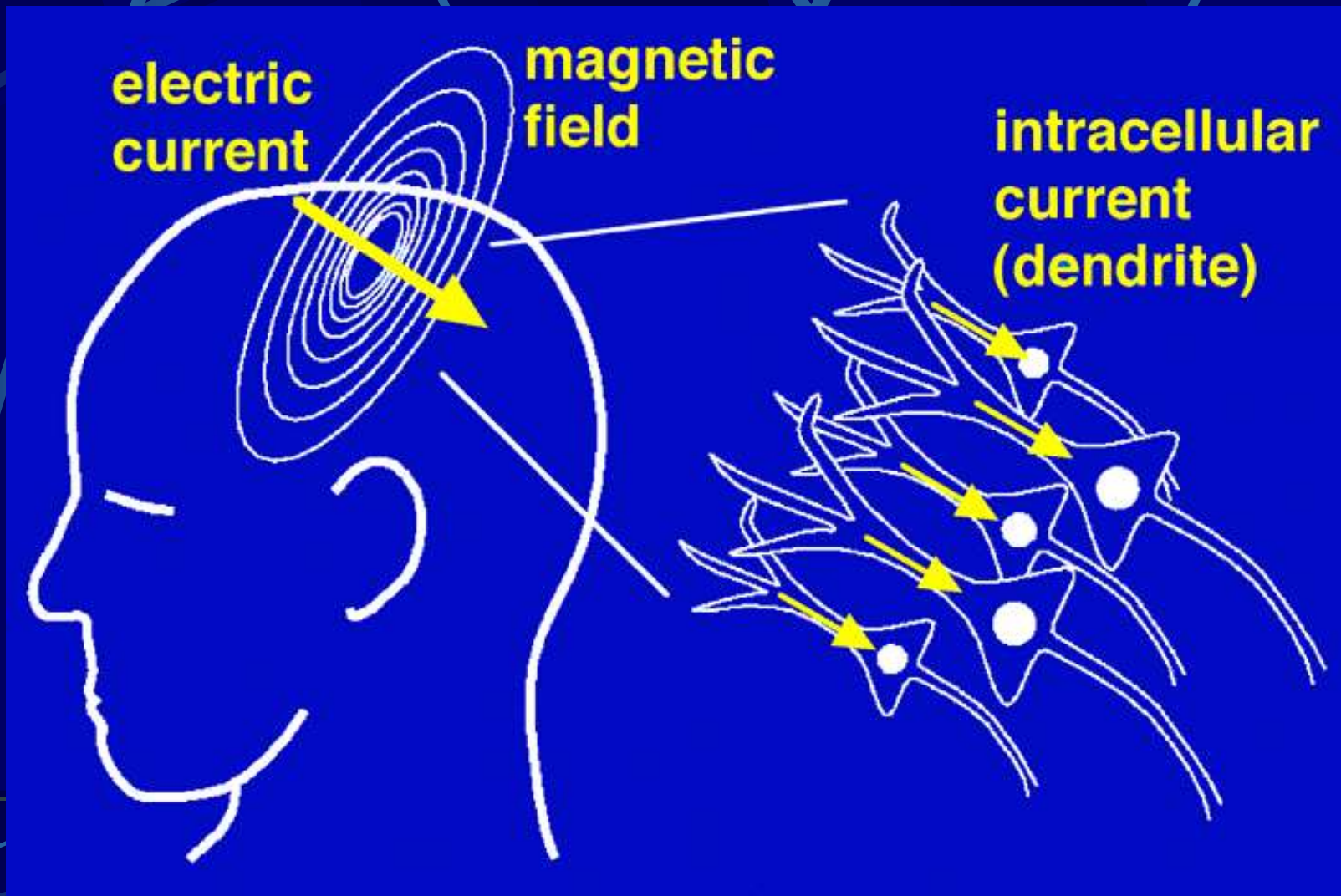
Medidas *in vivo* usando a bolsa com água



Resultados iniciais de medidas *in vivo*

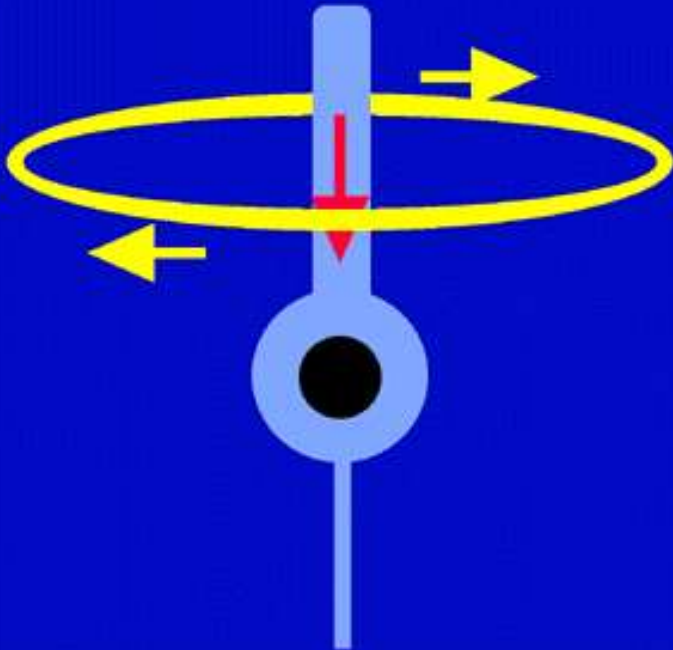


Magnetoencefalografia (MEG)

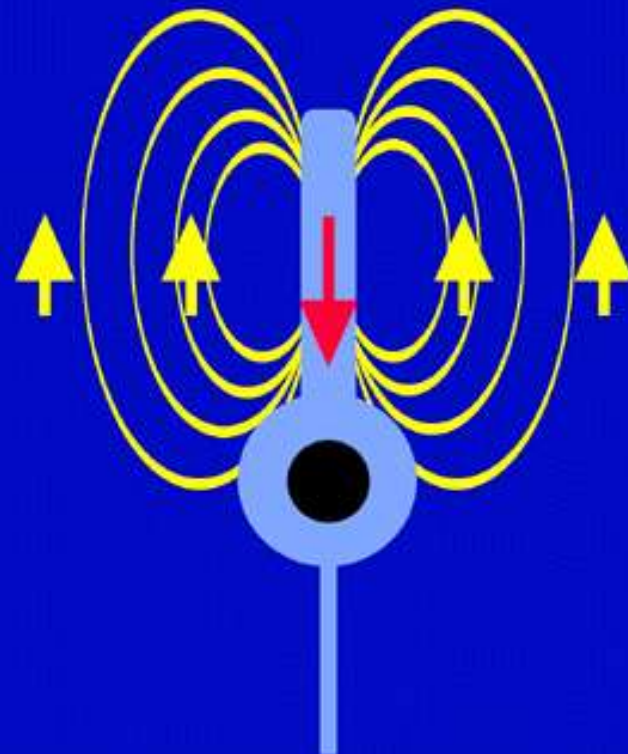


Fontes do MEG e EEG

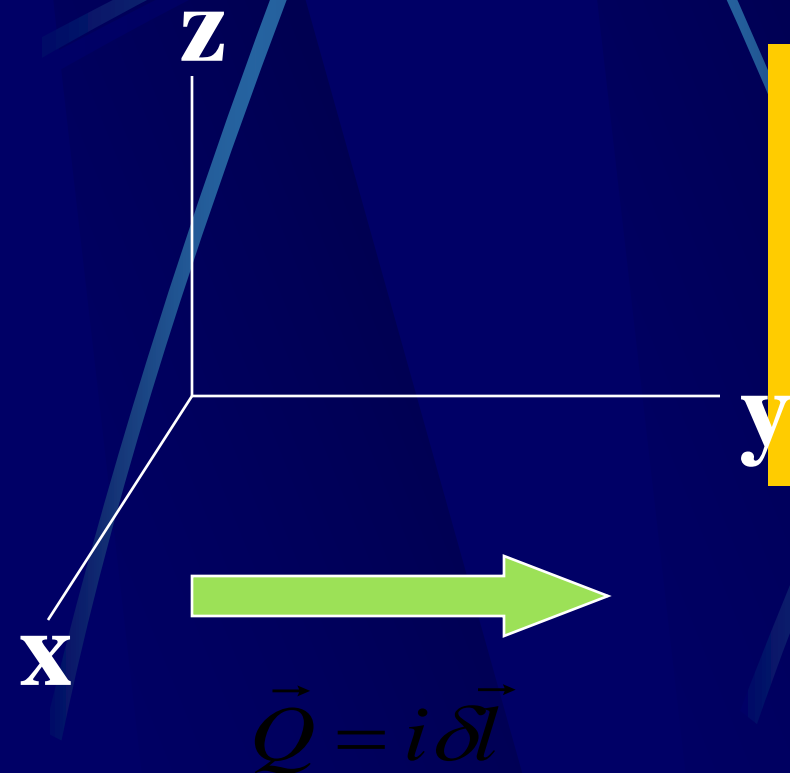
MEG:
intracellular
current



EEG:
extracellular
current



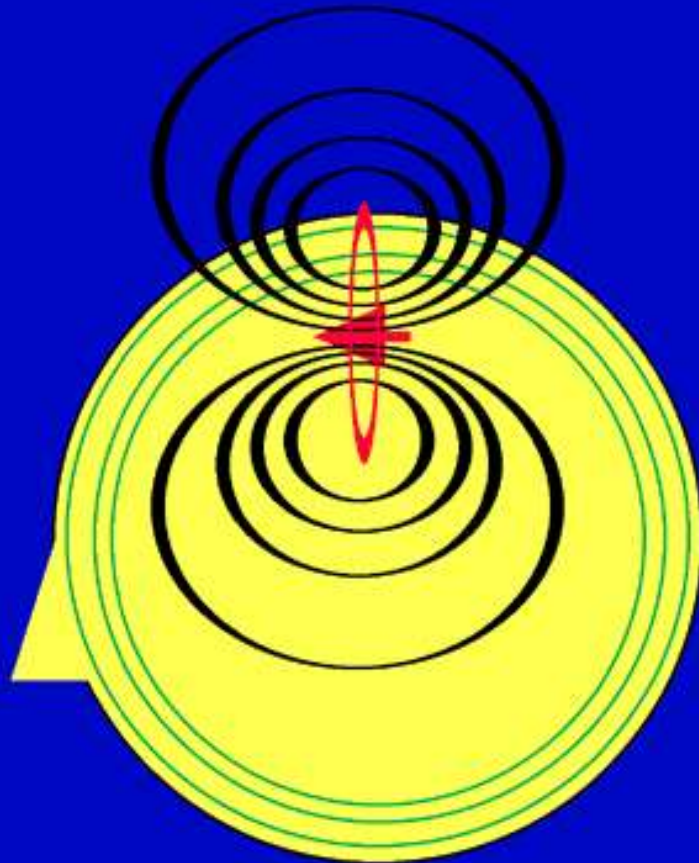
Campo Magnético de um Dipolo de Corrente



$$B_z = \frac{\mu_0 Q}{4\pi\pi^2} \frac{x}{(1 + x^2 + y^2)^{3/2}}$$

Distorção do EEG por Diferenças de Condutividade

MEG

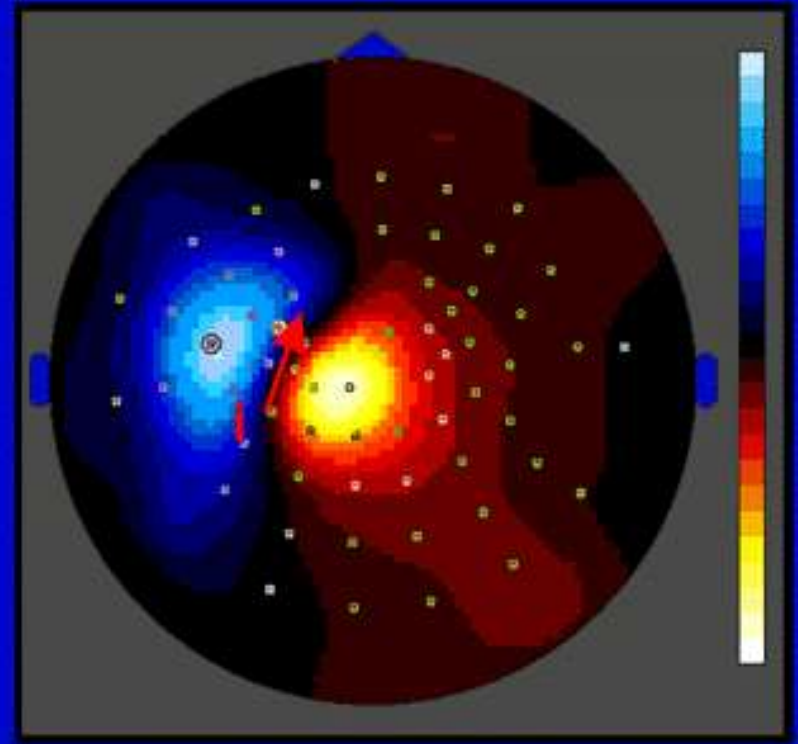
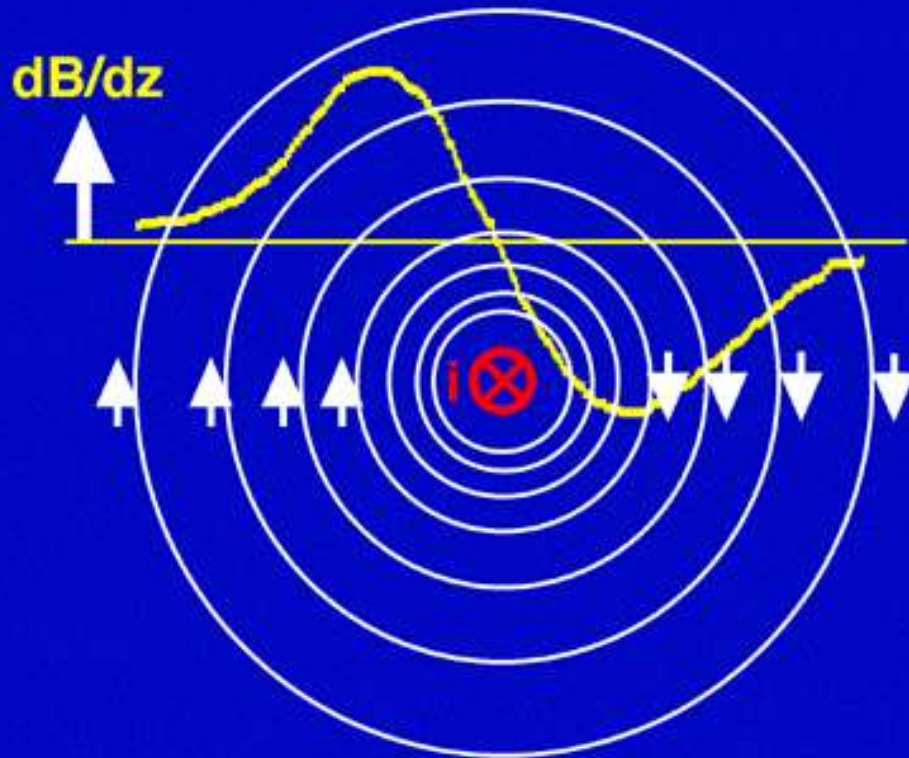


EEG

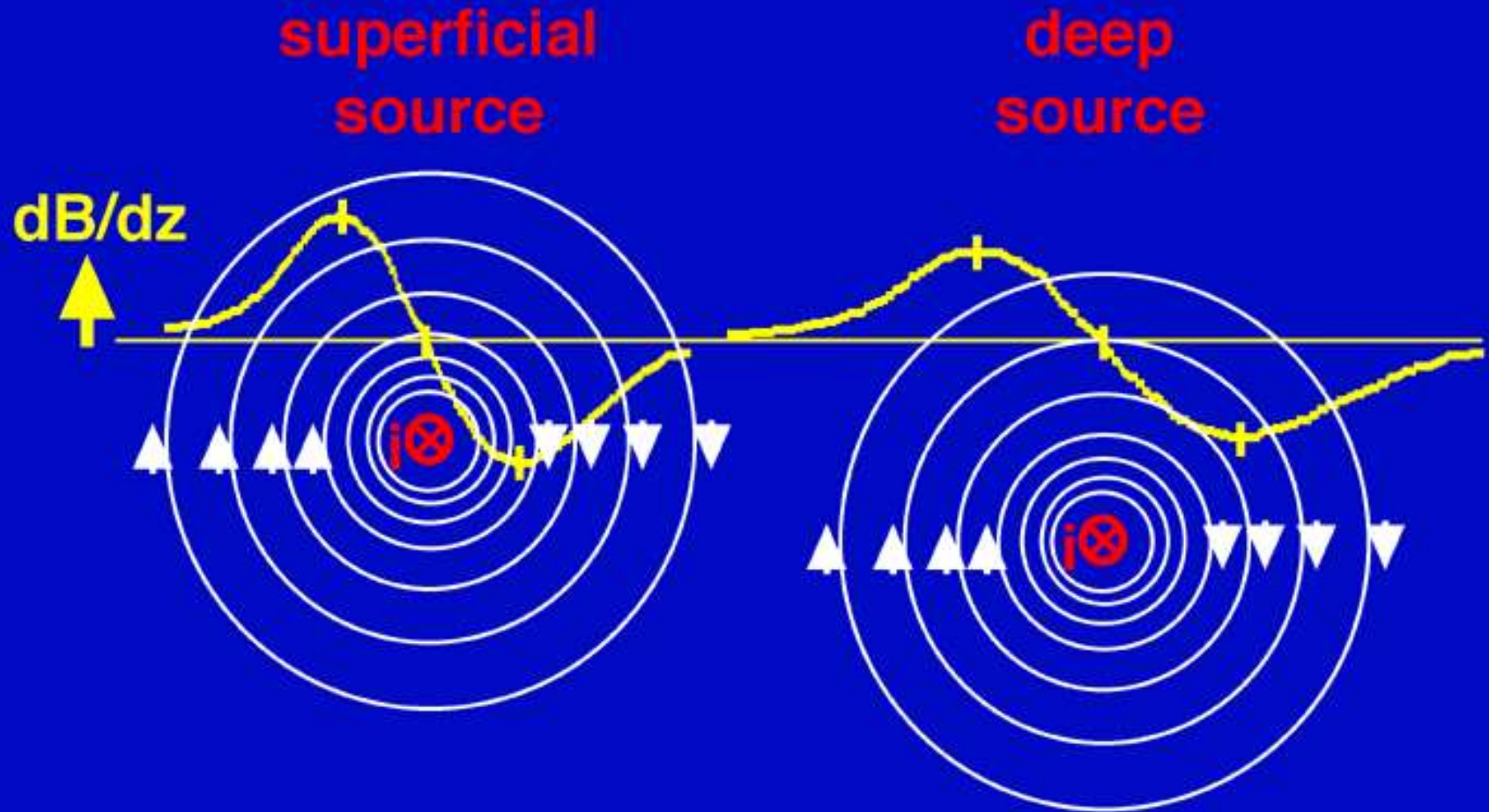


Detecção das Fontes de MEG

(<http://www.ctf.com/>)



Cálculo das Fontes de MEG



Biogradiometro Monocanal



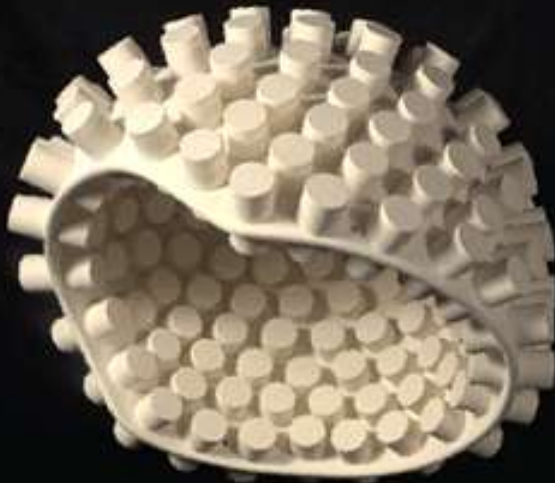
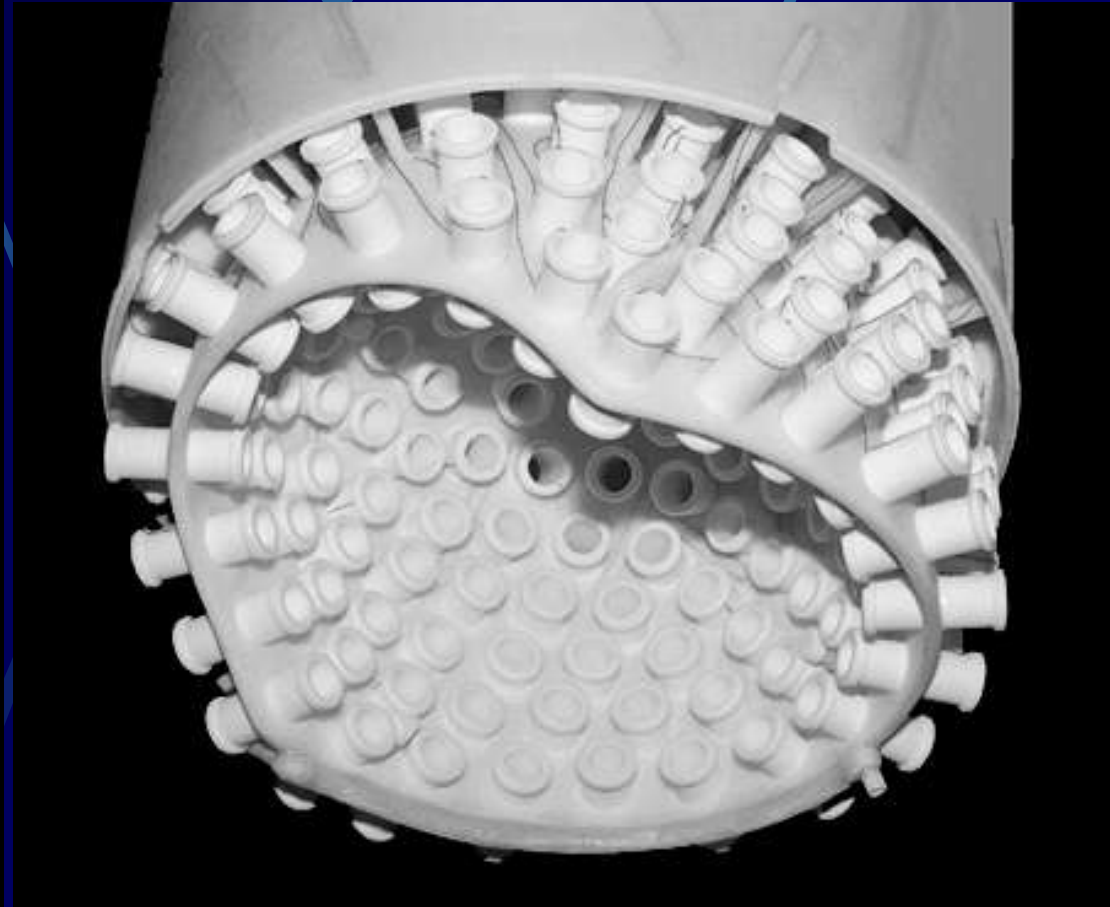
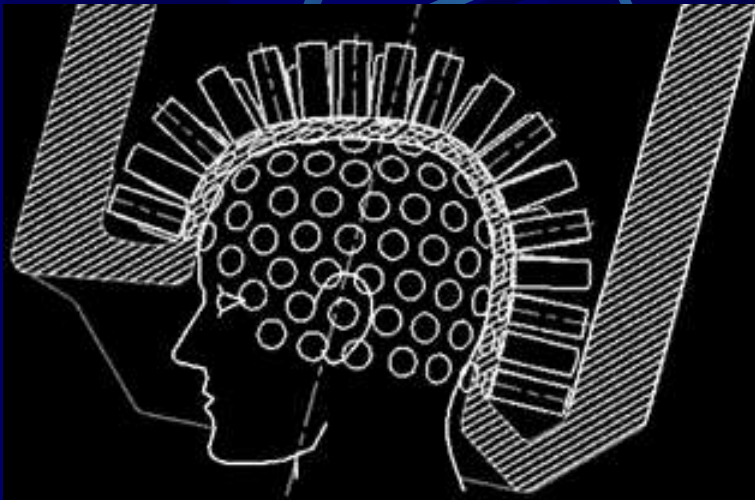
Vista de um biogradiometro monocanal, com um SQUID, gradiometro com 2.5 cm de diâmetro e 7 cm de linha de base, posicionado sobre o estomago para medidas de r MGG. A componente vertical vertical do campo é medida.

Omega 151 and Omega 275

<http://www.ctf.com/>



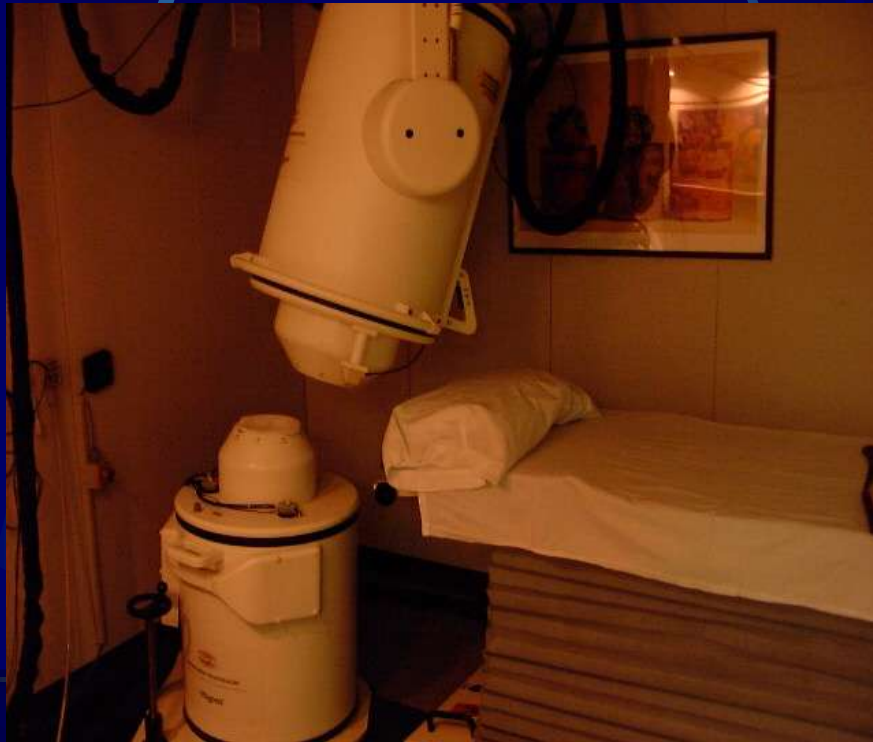
Arranjo dos Sensores



Magnes II – Sistema Bti

Sensor Dual Magnes II, Bti - 2 x 37 Canais

Montado no Interior de uma Câmara Magneticamente Blindada

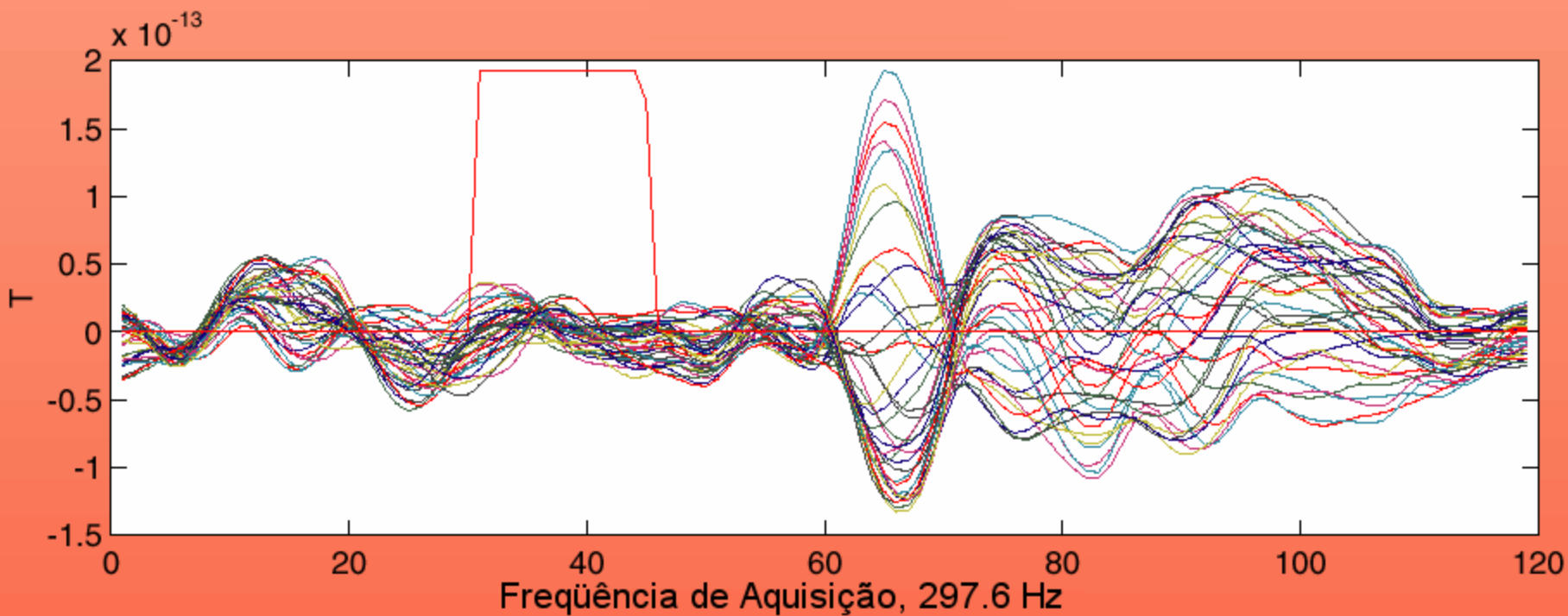
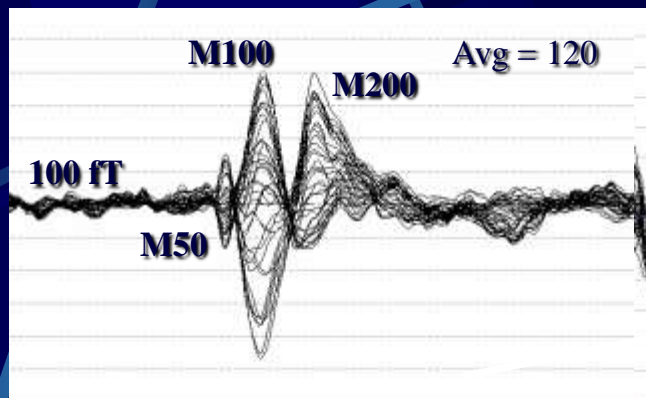


Sistema no interior de uma sala magneticamente blindada



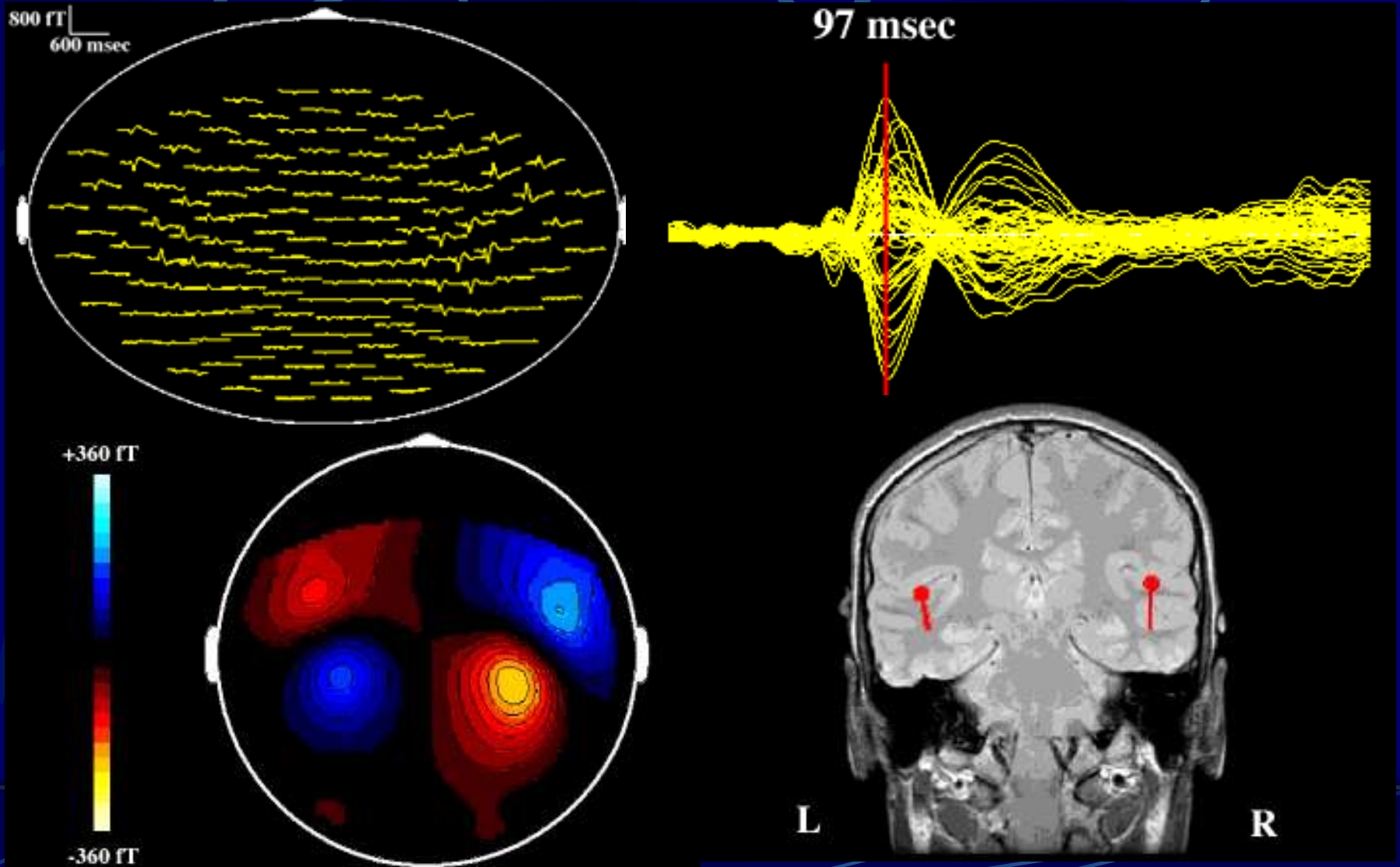
Grupo de Biomagnetismo-DFM-
USP-Ribeirão Preto

Campos Evocados



Interpretação dos Dados

resposta normal a um estímulo auditivo nos dois ouvidos



Localização - MSI

Modelo de um Único Dipolo

Densidade de Dipolos

Filtro Gaussiano

Kernel – Resolução de 2 mm

Principais Regiões

Giro Temporal Superior

Estruturas Temporais Mediais

