VALIDAÇÃO DO MÉTODO DE REGULARIZAÇÃO DUPLA ESPACIAL NA RECONSTRUÇÃO DE IMAGENS MAGNÉTICAS.

Elifá Miranda Masarenhas[1]; Juan Alberto Leyva Cruz[2]; Milton Souza Ribeiro[3]

1. Bolsista FAPESB, Graduando em FÍSICA, Universidade Estadual de Feira de Santana, e-mail: elifamiranda@outlook.com
2. Orientador Juan Alberto Leyva Cruz, Departamento de Física, Laboratório de Instrumentação em Física, Universidade Estadual de Feira de Santana, e-mail: juanalbertoleyva@yahoo.com.br
3. Participante Milton Souza Ribeiro, Departamento de Física, Laboratório de instrumentação em Física, Universidade Estadual de Feira de Santana, e-mail: codinome@provedor.br

PALAVRAS-CHAVE: Método de Regularização; Filtragem espacial; Processamento de imagem.

INTRODUÇÃO

Os princípios físicos relacionados à formações das imagens magnéticas estão associados a tópicos como eletromagnetismo, supercondutividade e processamento de sinais, que devem ser abordados em conjunto para o entendimento desse método. Este trabalho demonstra como a física está presente nas mais diferentes áreas do conhecimento e como se torna importante ferramenta no diagnóstico de muitas patologias clínicas.

Empenhamo-nos a todo o momento, nesta fase da pesquisa, para validar o novo método de reconstrução de imagens magnéticas, estudar métodos de regularizações, reconstrução de imagens magnéticas para resolver o *problema magnético direto e inverso*. Este último permitirá a reconstrução das imagens das fontes magnéticas no interior de objetos. Podemos citar alguns métodos mais utilizados, para reconstruções de imagens magnéticas; são os métodos de Filtragem Espacial de Fourier; Filtragem Pseudoinverso; Filtragem de Wiener; Paramétrica Generalizada; Métodos do Gradiente Conjugado; Método Bayesiano; Deconvolução usando Wavelests; em nosso plano de trabalho implementamos o método de Filtragem Espacial de Fourier, pois a transformada de Fourier pode ser usada para construir imagens de forma mais eficiente do que fazê-lo de pixel a pixel. A imagem é dividida em pedaços pequenos e a transformada de Fourier é aplicada a cada um dos blocos. Ela fornece uma descrição das frequências espaciais sobre como cor e brilho variam ao longo deste pequeno pedaço da imagem. Assim, a mesma faz isso jogando fora alguns componentes de alta freqüência, que, no caso de uma imagem, fornecem os detalhes nítidos. O método é largamente utilizado em princípios físicos relacionados à formação das imagens magnética, como citado em muitos artigos na Bibliografia.

Estudar métodos de solução e técnicas não destrutivas de imagens de grandezas físicas e propriedades de objetos é de grande satisfação pois abrange diversas áreas da atividade humana. Podemos citar na Geofísica, para o mapeamento do subsolo, e principalmente na Medicina para a obtenção de imagens de regiões do interior do corpo humano, na maioria das vezes para avaliar o estado de saúde do paciente. Cada domínio de aplicação tem seus métodos prediletos, por exemplo, no caso da Medicina temos dentre outros, as técnicas de Tomografia Computadorizada *Multislice* a qual utiliza os raios-X para seu princípio físico de funcionamento, a Ultrassonografia que são métodos de imagens que faz uso das ondas mecânicas ultrassônicas para a visualização da fisiologia e anatomia dos fetos dentro do ventre de uma mulher grávida, e mais recentemente a

Tomografia Magnética Nuclear, a qual utiliza o fenômeno da Ressonância Magnética Nuclear e Campos Eletromagnéticos para obter imagens de alta resolução do interior de uma seção transversal do organismo[1]. Entretanto, os equipamentos utilizados para implementar estas técnicas são extremamente caros, localizados em poucas unidades de saúde, de grandes dimensões, apresentam elevados pesos e são de difícil movimentação, além de serem na maioria, eventualmente delicados nos seus manuseios (em particular, os raios-X são nocivos para saúde). Por isso a procura de novas técnicas de obtenção e também de processamento de imagens médicas são alvos de estudos pela comunidade científica no Brasil e no mundo.

MATERIAL E MÉTODOS OU METODOLOGIA (ou equivalente)

- FORMA GERAL:

O método geral consistem em considerar um elemento de volume dv’ com magnetização **M(r´)** localizado em uma região **r´** dentro do objeto fonte (ou fantoma). Assim, o campo magnético em um ponto genético **r**, fora da amostra, é dado por

$$\boldsymbol{B}(\boldsymbol{r}) = \frac{\mu_0}{4\pi}\int_{v'} \left\{\frac{3\boldsymbol{M}(\boldsymbol{r}')\cdot(\boldsymbol{r}-\boldsymbol{r}')}{|\boldsymbol{r}-\boldsymbol{r}'|^5}(\boldsymbol{r}-\boldsymbol{r}') - \frac{\boldsymbol{M}(\boldsymbol{r}')}{|\boldsymbol{r}-\boldsymbol{r}'|^3}\right\}dv'. \qquad (1)$$

A partir da medida de **B(r)**, podemos idealmente determinar o vetor magnetização **M(r´)** através da fonte do objeto. Se o campo é uniforme e aplicado somente na direção z , então, o vetor magnetização fica **M(r´) =**$\boldsymbol{M_z}(\boldsymbol{r}')\hat{k}$, onde $\hat{k}$ é o versor unitário em uma direção z. Assim, a nova expressão para a integral da eq.(1) fica

$$\boldsymbol{B}(\boldsymbol{r}) = \int_{x'}\int_{y'}\int_{z'} \left\{\frac{3\boldsymbol{M_z}(\boldsymbol{r}')\cdot(z-z')}{|\boldsymbol{r}-\boldsymbol{r}'|^5}(\boldsymbol{r}-\boldsymbol{r}') - \frac{M_z(\boldsymbol{r}')\hat{k}}{|\boldsymbol{r}-\boldsymbol{r}'|^3}\right\}dx'dy'dz' \qquad (2)$$

A eq.(2) caracteriza uma expressão onde **B(r)** é o campo magnética em uma região com altura z - z´ acima da fonte do objeto. Em seguida, apresentamos um procedimento de filtragem espacial para análise da solução do problema inverso bidimensional na reconstrução de imagens das fontes magnéticas. Tais como magnetização, susceptibilidade, e concentração das partículas presentes nos matérias.

- O MÉTODO UTILIZADO:

A solução do problema inverso fica mais simplificada se considerarmos as fontes magnéticas em duas dimensões (2D). Essa simplificação é justamente o que estamos assumindo nesse plano de trabalho. Nestas condições uma amostra extensa de material magnético, centrada nas coordenadas (x´,y´) ou **r´**, produz um campo magnético perpendicular ao plano da amostra Bz(x,y) e mensurado em um ponto do espaço (x,y) ou **r**, segundo a lei de *Biot-Savart*, dado por

$$\boldsymbol{B_z}(\boldsymbol{r}) = \int_{-\infty}^{+\infty}\int_{-\infty}^{+\infty} \left\{\frac{3\boldsymbol{M_z}(\boldsymbol{r}')\cdot(z-z')^2}{|\boldsymbol{r}-\boldsymbol{r}'|^5} - \frac{M_z(\boldsymbol{r}')}{|\boldsymbol{r}-\boldsymbol{r}'|^3}\right\}dx'dy' \qquad (3)$$

Observa-se na expressão da equação (3) o problema biomagnético direto, ou seja, geração ou detecção dos campos magnéticos, representados por dB(r) produzido por uma amostra previamente magnetizada $\boldsymbol{M_z}(\boldsymbol{r}')$. Sendo assim, objetivamos resolver o problema biomagnético inverso, ou seja, reconstruir a imagem da distribuição espacial das fontes magnéticas que produz o campo magnético medido fora da amostra. Mas em geral, o problema inverso é mal condicionado e uma solução é a proposta para a reconstrução da mesma. Observe que na prática a integral não vai além das fronteiras do objeto fonte, ou seja, regiões onde $\boldsymbol{M_z}(\boldsymbol{r}')$=0. Para encontrar uma solução à equação anterior, definimos uma função de Green do sistema, segundo Roth, Sepúlveda e Wikswo 1989 está definida por

$$G(\vec{r}-\vec{r}') = \frac{\mu_0}{4\pi}\left\{\frac{3\boldsymbol{M_z}(\boldsymbol{r}')\cdot(z-z')^2}{|\boldsymbol{r}-\boldsymbol{r}'|^5} - \frac{M_z(\boldsymbol{r}')}{|\boldsymbol{r}-\boldsymbol{r}'|^3}\right\} \quad (4)$$

Portanto, sabemos que existe uma divergência no espaço de Fourier (espaço reciproco) consequentemente tal divergência já deve estar presente no espaço direto, ou seja, espaço real. Assim, lançamos mãos de um Novo Método de Regularização dupla Espacial para evitar tal divergência como solução do problema inverso ou para reconstruir imagens de distribuições espaciais das fontes magnéticas.

RESULTADOS E/OU DISCUSSÃO (ou Análise e discussão dos resultados)

Nesta fase da pesquisa, estamos com uma proposta de um Novo Método de Reconstrução de imagens magnéticas usando o corte no espaço real.
Dado o campo magnético em 2-dimensões aplicado sobre a amostra, temos;

$$B_z(\vec{r}) = \lim_{\sigma_x\sigma_y\to 0}\frac{\mu_0}{4\pi}\iint_{-\infty}^{+\infty} dx'dy' M_z(\vec{r})\left\{\frac{3(z-z')^2}{|\vec{r}-\vec{r}'|^5} - \frac{1}{|\vec{r}-\vec{r}'|^3}\right\} \quad (5)$$

onde $\vec{r}$ é o ponto que está sendo mensurado o campo magnético. Na prática, a integral não precisa estender além do limite da fonte do objeto, ou seja, fora dos quais $M \equiv 0$. Nessa ordem, para resolver a equação para $M_z(\vec{r})$, definimos uma função de Green dada por

$$G(\vec{r}-\vec{r}') = \frac{\mu_0}{4\pi}\left\{\frac{3(z-z')^2}{|\vec{r}-\vec{r}'|^5} - \frac{1}{|\vec{r}-\vec{r}'|^3}\right\} \quad (6)$$

Existe uma divergência no espaço de Fourier (Kx,Ky), espaço reciproco, consequentemente tal divergência já deve estar presente no espaço direto, ou seja, espaço real. Utilizamos uma técnica para evitar a divergência no espaço das frequências, para que surgem os zeros da função de Green G_z. Normalmente isso acontece para altas frequências espaciais, quando o ruído impede $B_z(\vec{r})$ de ser zero uniformemente, ou seja, em altas frequências o ruído impede a função do campo magnético, perpendicular a amostra $B_z(\vec{r})$, de assumir valor zero. Entretanto, temos que garantir em que lugar $B_z(\vec{r})$ diverge, assim temos que contorna-lo na região onde $\vec{r}$ tende a $\vec{r}\,'$, para que $B_z(\vec{r})$ tende a zero, de maneira que ele não exploda.
Diante disso, propomos uma função exponencial que quando $\vec{r}$ tende a $\overrightarrow{r'}$ garante que todo o integrando da função $B_z(\vec{r})$ vai a zero, já que o problema principal é a mesma ir ao infinito, obtermos a seguinte expressão

$$B_z(\vec{r}) = \lim_{\sigma_x\sigma_y\to 0}\frac{\mu_0}{4\pi}\iint_{-\infty}^{+\infty} dx'dy' M_z(\vec{r})\left\{\frac{3(z-z')^2}{|\vec{r}-\vec{r}'|^5} - \frac{1}{|\vec{r}-\vec{r}'|^3}\right\} EXP\left[-\sigma_x\left(\frac{2\pi}{x-x'}\right) - \sigma_y\left(\frac{2\pi}{y-y'}\right)\right] \quad (7)$$

Assim, obtemos uma nova expressão para a função de Green

$$G_z(\vec{r}-\vec{r}') = \frac{\mu_0}{4\pi}\left\{\frac{3(z-z')^2}{|\vec{r}-\vec{r}'|^5} - \frac{1}{|\vec{r}-\vec{r}'|^3}\right\} EXP\left[-\sigma_x\left(\frac{2\pi}{x-x'}\right) - \sigma_y\left(\frac{2\pi}{y-y'}\right)\right] \quad (8)$$

Para evitar esse problema das altas frequências, aplicamos como proposta a função exponencial que pondera o comportamento da função para a componente z do campo magnético $B_z(\vec{r})$, para quando (x –x´) $\rightarrow 0$ $K_x \rightarrow \infty$ $(altas\ frequências)$, fazendo com que $B_z(\vec{r})$ assuma valor zero.

Portanto, aplicamos a transformada de Fourier na função de Green, eq. (8), uma vez integrando no espaço das frequências aplicamos o limite que nos dá como resultado uma função que tem o papel de regularização.

CONSIDERAÇÕES FINAIS (ou Conclusão)

- ✓ Um estudo das técnicas de processamento de imagem, envolvendo reconstrução de imagens, principalmente das propriedades eletromagnéticas da matéria, foi realizado.
- ✓ Neste trabalho propomos uma nova abordagem teórica para resolver o problema da reconstrução de imagens mediante regularização.
- ✓ Em essência a proposta é baseada na proposta de corte da função de Green no plano real.
- ✓ Além disso uma análise preliminar mostrou que existe a transformada de Fourier da função de Green regularizada representativa do processo de imagens magnéticas, mostrando a viabilidade de nossa proposta.
- ✓ Nas próximas fases do trabalho validaremos o método aplicando-lhe em processos de reconstrução de imagens.
- ✓

REFERÊNCIAS

1.Cheng C-C, Chien C-C, Chen H-H, Hwu Y, Ching Y-T (2014). Image Alignment for Tomography Reconstruction from Synchrotron X-Ray Microscopic Images. PLoS ONE 9(1): e84675. http://doi:10.1371/journal.pone.0084675

2. Hui Hu. Multi-slice helical CT: Scan and reconstruction. Medical Physics, Vol. 26, No. 1, January 1999.

3. Kado, H., Higuchi, M., Shimogawara, M., Haruta, Y., Adachi, Y., Kawai, J., Ogata, H., & Uehara, G. (1999). Magnetoencephalogram systems developed at KIT. IEEE Transactions on Applied Superconductivity 9, 4057-62.

4. Malmivuo, J; Plonsey, R: Bioelectromagnetism - Principles and Applications of Bioelectric and Biomagnetic Fields, BemBook, Oxford University Press, New York, 1995.

5. Araújo, D. B. de; Carneiro, A. A. O.; Moraes, E. R.; Baffa, O. Biomagnetismo uma nova interface entre a física e a biologia. Ciência Hoje. Vol. 6. No. 153. Setembro de 1999.

6. Alexandre Gramfort et al. MNE software for processing MEG and EEG data. NeuroImage 86 (2014) 446–460.

7. Alessandro A Mazzola. Ressonância magnética: princípios de formação da imagem e aplicações em imagem funcional. Revista Brasileira de Física Médica. 2009;3(1):117-29.

8. Robert W. Brown et al. Magnetic Resonance Imaging: Physical Properties and Sequence Design. John Wiley & Sons, 2014

9. Leyva-Cruz, J. A; Ferreira, E. S; Miltão, M. S. R.; A. V. Andrade-Neto; Alves, Á. S and Cano, M. E. Reconstruction of magnetic source images using the Wiener filter and a multichannel magnetic imaging system. Reviews of Scientific Instruments. v. 854, p. 167-169, 2014. http://dx.doi.org/10.1063/1.4884641

SPIE PRESS. 2009.