

4 Montagem experimental

Neste capítulo apresentamos a montagem experimental. Mostramos também os resultados obtidos ao fazer uma simulação do ímã que gera o gradiente de campo variando sua geometria e sua posição.

4.1. Geração do gradiente de campo

Como nosso interesse está na medida de deslocamentos medidos através de deformações no material (GMM) fizemos simulações utilizando elementos finitos com o objetivo de analisar algumas configurações de gradientes espaciais de campos magnéticos gerados por ímãs permanentes. Para isto utilizamos o programa da Vector Fields, Opera-3D versão 8.7. Mantendo o volume do ímã utilizado nas medidas experimentais, simulamos cilindros de NdFeB de diversas geometrias. O centro do cilindro foi colocado na origem do sistema de coordenadas com seu eixo geométrico e o pólo norte magnético apontando na direção do eixo z positivo. Foi utilizada uma curva de magnetização padrão para ímãs de NdFeB disponível no programa. A Fig. 4.1 mostra a geometria do ímã simulado, feita com 437.503 elementos e 134.704 nós.

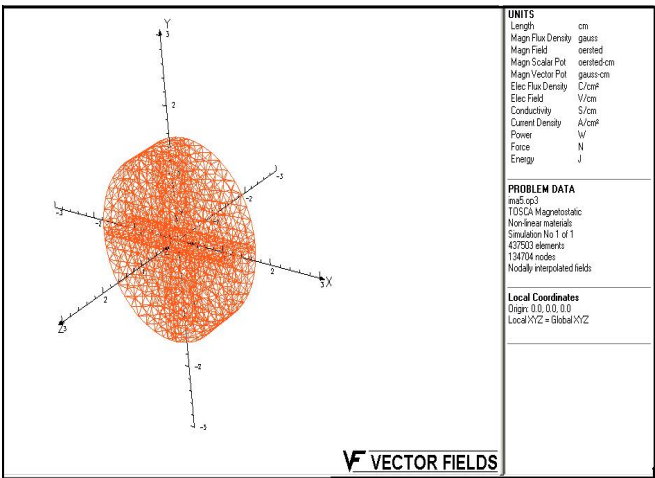


Figura 4.1: Modelo da simulação feita no programa Opera 8.7, para um ímã de dimensões 22.5 mm de comprimento e 9.6 mm de diâmetro.

A medição experimental foi feita utilizando um ímã permanente cilíndrico de NdFeB de 25.5 mm de diâmetro e 9.6 mm de comprimento, o eixo central da ponta de prova Gaussímetro (F. W. Bell 9550) foi colocado de forma a ser coincidente com o eixo N-S do ímã e medir o campo ao longo do eixo do ímã. A medida experimental (em azul) foi comparada com a simulação (em vermelho) e o resultado está na Fig. 4.2, onde foi constatada a validação do modelo.

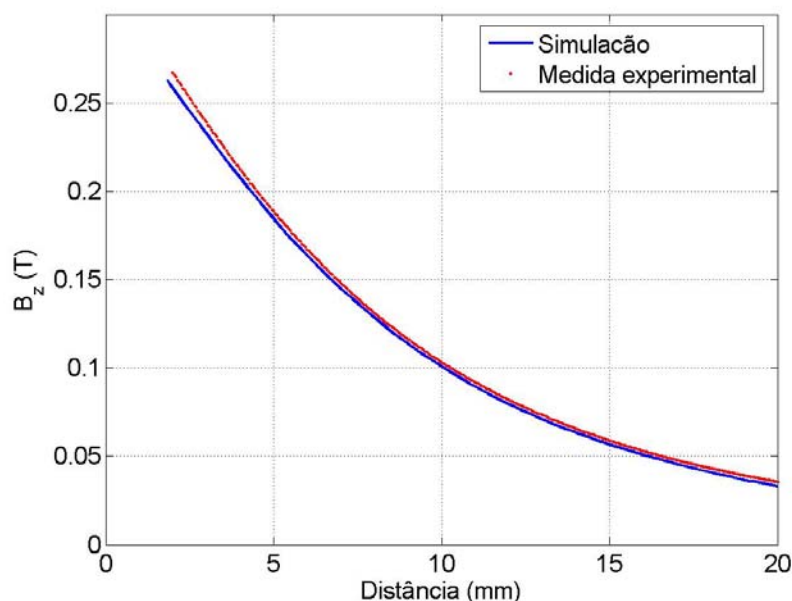


Figura 4.2: Em vermelho medida experimental, em azul campo magnético obtido pela simulação.

Na Fig. 4.3 pode-se verificar que com pequenas variações de geometria o gradiente de campo muda, aumentando quando o diâmetro é menor e o comprimento é maior, diminuindo quando o diâmetro é maior e o comprimento menor. Nas distâncias dentro da faixa de 12-20 mm pode-se notar que o campo é o mesmo para as três configurações simuladas. De acordo com a simulação para o ímã usado nas experiências de diâmetro de 25.5 mm tem-se que a 5 mm de distância, o gradiente na direção do eixo do ímã é de 21 mT/mm, a 10 mm de distância é de 12 mT/mm. Para o menor diâmetro de 23.5 mm o gradiente a 5 mm aumenta para 25 mT/mm e a 10 mm de distância é de 13 mT/mm. Para o diâmetro maior de 27.5 mm teremos 17 mT/mm a 5 mm e 11 mT/mm a 10 mm. Já na distância de 15 mm o gradiente cai para 6 mT/mm para todos. Portanto um ímã com diâmetro somente 2 mm menor e com mesmo volume geraria um gradiente de campo magnético a 5 mm de distância cerca de 20% maior.

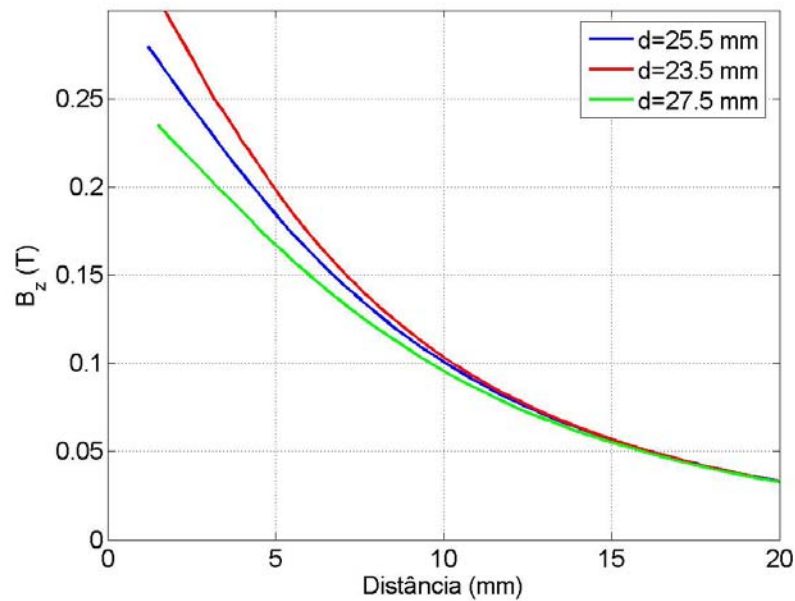


Figura 4.3: Simulação variando a geometria do ímã.

Observa-se que deve se ter cuidado no posicionamento do ímã com relação ao cubóide, já que como se vê no gráfico a seguir, uma pequena variação a uma distância de 5mm, na posição vertical (1mm) gera uma variação de 40mT no campo, o valor do gradiente neste caso cai para 14 mT/mm, isto é, 35% menor que quando o ímã está na origem do sistema de coordenadas. O valor do gradiente maior se obtém quando o cubóide e o ímã estão centrados sobre o mesmo eixo.

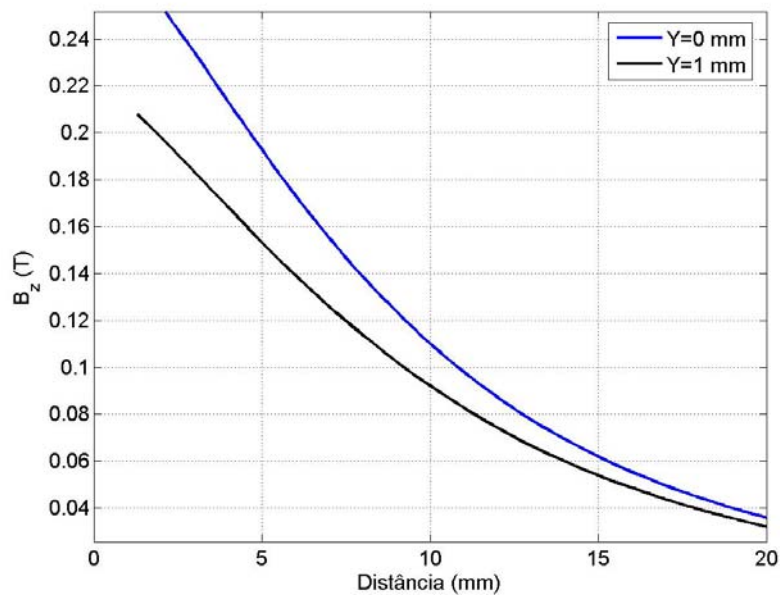
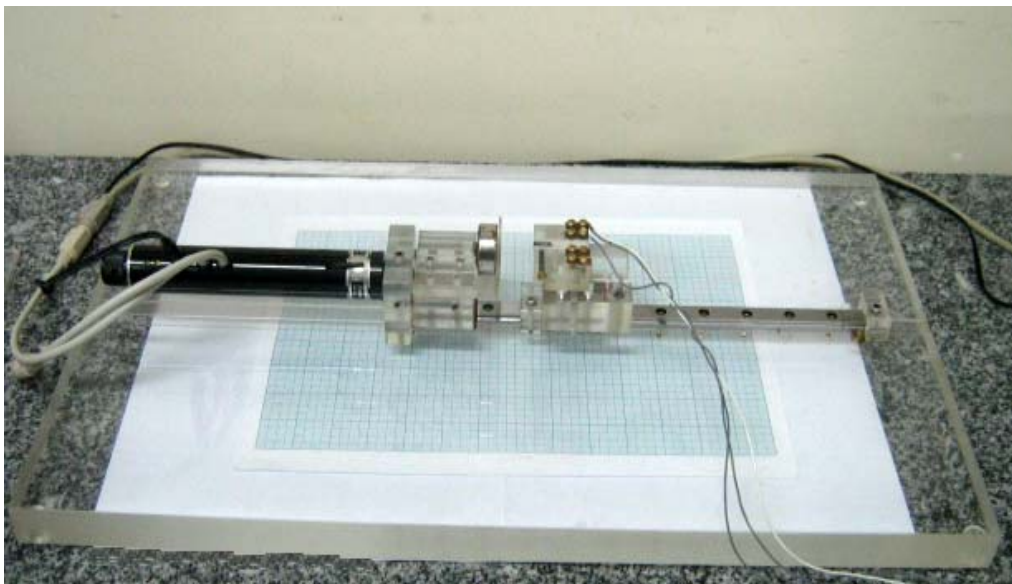


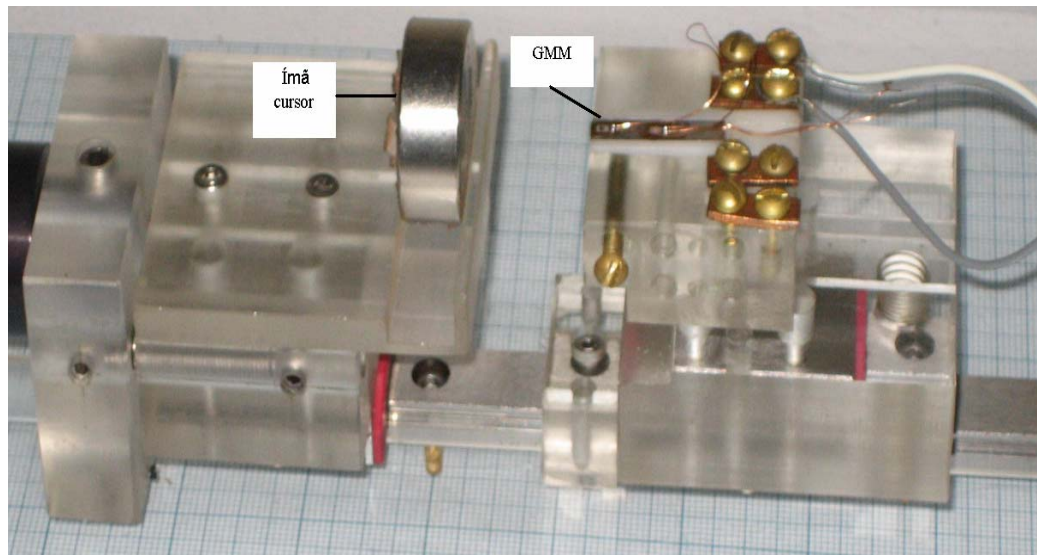
Figura 4.4: Simulação para o ímã de diâmetro 25.5 mm variando a distancia no eixo y.

4.2. Montagem experimental

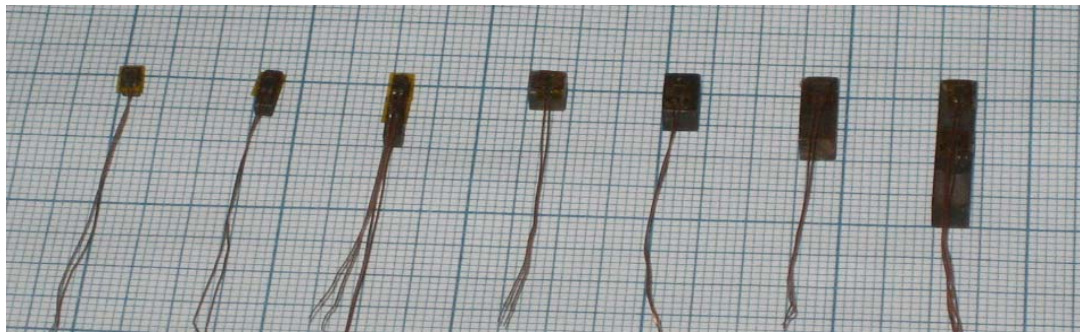
A montagem consistiu de um trilho de aço e dois patins onde estão colocados o ímã e o GMM. Foi utilizado um ímã de NdFeB de 25.5 mm de comprimento e 9.6 mm de diâmetro. O ímã pode se movimentar através de um atuador linear ZABER T-LA60 numa faixa de 2 a 20 mm e o GMM permanece parado, fixado usando um parafuso. O passo utilizado em todas as medidas foi igual a 50 μm . Veja foto a seguir. O ímã vai gerar um gradiente de campo na faixa de 30 mT a 280 mT na posição da face do cubóide mais perto do ímã. O eixo central de cada cubóide era coincidente com o eixo N-S do ímã. A origem para a posição foi tomada na face da íma mais perto do cubóide magnetostrictivo. As fibras óticas com redes de Bragg e o strain gauge foram coladas diretamente sobre o lado mais comprido do cubóide.



(a)



(b)



(c)

Figura 0-5: (a) Montagem do sensor. (b) Conjunto ímã-terfenol. (c) Diferentes geometrias de TX testadas com strain gauges colados.

4.2.1.

Colagem dos extensômetros

Os extensômetros usados foram colados paralelamente ao eixo principal dos cubóides de GMM os quais foram inicialmente desmagnetizados como se apresenta na seguinte figura.

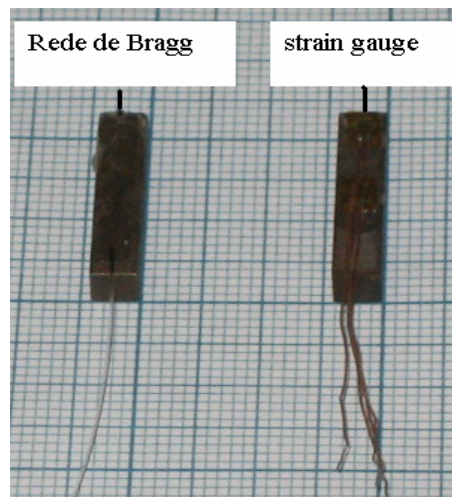


Figura 0-6: Extensômetros: strain gauge e rede de Bragg colados em os cubóides de GMM.

Para a colagem da fibra com redes de Bragg o seguinte procedimento foi utilizado:

- Clivar as fibras com as redes de Bragg.
- Colocar a fibra com Rede de Bragg e a fibra clivada nos cabos ópticos na máquina de emenda, depois esquentar o protetor de emenda para proteger a fibra.
- Lixar a peça de Terfenol-D, e logo limpa-la com álcool assim como a fibra.
- Posicionar a rede sobre a peça colocada em um suporte de acrílico e logo colocar cola, nosso caso Loctite 416. Fazer pressão por uns minutos com mylar aluminizado.
- O conjunto é deixado secar por aproximadamente 24 horas, antes de fazer as medidas.

As medidas do comprimento de onda da FBG foram realizadas usando o sistema de leitura sm125-200 Micron Optics, Ethernet Remote Utility, versão 0.90 que tem uma exatidão nominal de 10 pm, este sistema faz uma emissão de radiação produzida por um Laser sintonizável que varre o comprimento de onda na fibra óptica na faixa do comprimento de onda de 1520 nm a 1570 nm

Para as medidas com os strain gauges, o modelo 062BG produzido pela empresa Excel Sensors foi utilizado. A resistência do 062BG é de 350 Ω , fator gauge de 2.1 ± 0.05 e dimensões para grelha de 2.03 mm x 1.57 mm. Para a colagem do strain gauge, a peça de GMM foi lixada com o objetivo de retirar as impurezas mais grosseiras, depois se limpou com acetona para a remoção de contaminantes e posteriormente colou-se o strain gauge com Loctite 416, deixando secar e fazendo pressão por aproximadamente 1 minuto. Para a

medição com strain gauge conectou-se o strain gauge à uma ponte de Wheatstone.

4.2.2.

A ponte de Wheatstone

Uma ponte de Wheatstone é uma rede de quatro resistências que forma um circuito fechado, onde uma ou mais resistências são desconhecidas

As resistências desconhecidas são os elementos sensores, que terão sua resistência alterada de acordo com a variação de algum parâmetro físico como, por exemplo, a variação na deformação ou temperatura. A Fig. 4.7 mostra o circuito da ponte que é o equivalente elétrico de dois divisores de tensão, R_1 e R_2 , e R_3 e R_4 . V_{EX} é a tensão de alimentação e a saída da ponte de Wheatstone é V_{CH} . A resistência a ter sua variação medida constitui um dos braços da ponte, se todas as resistências forem idênticas o valor lido será zero ou sim o produto $R_1 R_3 = R_2 R_4$.

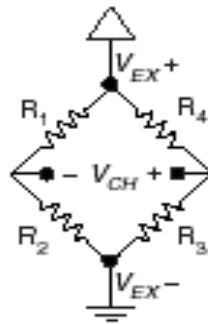


Figura 0-7: Modelo do circuito básico da ponte de Wheatstone [23].

O número de resistências ativas determina a classe de configuração da ponte, assim na configuração de $\frac{1}{4}$ temos um elemento ativo, a configuração de $\frac{1}{2}$ tem 2 elementos ativos e a total tem os quatro elementos ativos.

4.2.1.1.

A ponte de wheatstone $\frac{1}{4}$

Para a leitura do strain gauge nesta pesquisa foi usada uma ponte configurada como do tipo $\frac{1}{4}$ da National Instruments PXI-4220.

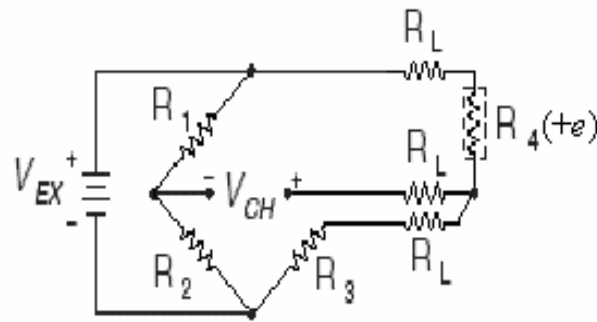


Figura 4.8: Ponte de Wheatstone tipo I de ¼. [23].

- R_1 , R_2 e R_3 são os resistores fixos da ponte (350Ω).
- R_4 é o strain gauge ativo (350Ω).
- $\Delta R_4 = R_4 + e$
- R_L é a resistência dos fios que em nosso caso é de $0,4 \Omega$.
- V_{CH} é a medida do sinal da voltagem.
- V_{EX} é a voltagem de excitação.

Para converter as leituras da voltagem na deformação e , se utiliza a seguinte relação:

$$e = \frac{4V_{CH}}{GFV_{EX}}$$

(4.1)

onde:

$$V_{CH} = \frac{V_{EX}}{4} \frac{\Delta R_4}{R_4} \quad (4.2)$$

- GF é o fator de gauge especificado pelo fabricante.

A calibração da ponte com strain gauge é feita através do programa MAX (Measurement & Automation Explorer) da National Instruments. O GMM é colocado a mais de 20 mm do ímã, onde então a ponte é zerada. Para avaliação das medidas realizadas pela ponte PXI 4220 utilizou-se o resistor variável de precisão Tinsley ZX74 com resolução de $1 \text{ m}\Omega$, onde comparamos os valores

selecionados do resistor com as medidas feitas com o PXI 4220. Esta medida foi também comparada com outra disponível no certificado de calibração do Tinsley, realizada com um multímetro de precisão Time Electronics 5075. Foi constatado um erro médio na medida é de $0,13 \text{ m}\Omega$ entre a PXI4220 , o ZX74 e o Time Electronics 5075.

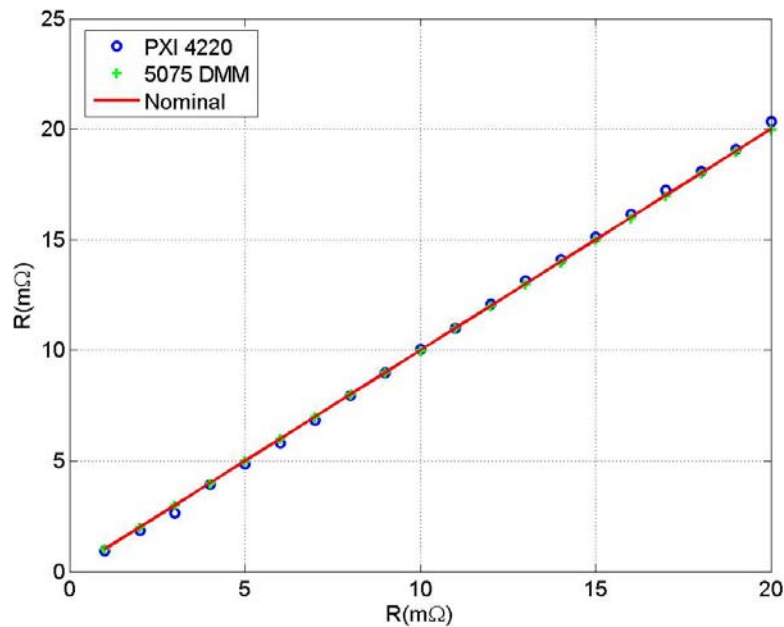


Figura 0-9: Curva de comparação entre as leituras da PXI 4220 e o resistor padrão Tinsley ZX74.