

## CALIBRAÇÃO DE MEDIDORES DE DENSIDADE DE FLUXO MAGNÉTICO

Ademir Martins de França<sup>1</sup>, Danielli Guimarães Costa<sup>1</sup>, Luiz Napoleão Pereira<sup>1</sup>, Marco Aurélio Soares<sup>1</sup>, Patrícia Cals de O. Vitorio<sup>1</sup>, Paulo Roberto Mesquita Nascimento<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (Inmetro)  
Duque de Caxias, RJ, Brasil, latra@inmetro.gov.br

**Resumo:** este trabalho apresenta os fundamentos básicos do serviço de calibração de medidores de densidade de fluxo magnético, disponibilizado pelo Inmetro.

**Palavras chave:** calibração, campo, magnético, densidade, fluxo, bobina, Helmholtz, Tesla, medidores, Gauss, uniformidade.

### 1. INTRODUÇÃO

A norma técnica brasileira ABNT NBR 15415-2006 estabeleceu limites para exposição de pessoas a campos magnéticos alternados gerados por linhas de transmissão e de distribuição e por dispositivos elétricos. A norma estipula também a obrigação de monitorações periódicas em todos os lugares onde existam pessoas que possam ser expostas a níveis de campo acima desses limites.

A grandeza monitorada para o limite de campo magnético é a densidade de fluxo magnético, também conhecida como indução magnética, cuja unidade no Sistema internacional é o Tesla (T), mas a unidade Gauss (G, equivalente a  $10^{-4}$  T) é também usada em muitos casos.

A fim de disponibilizar a calibração de medidores de densidade de fluxo magnético, a Divisão de Eletricidade do Inmetro (DIELE) implantou uma estrutura inicial para gerar campos magnéticos senoidais rastreáveis aos seus próprios padrões de corrente alternada e a instrumentos calibrados em outros países.

### 2. MÉTODOS

Embora uma única bobina possa ser usada para gerar um campo magnético de referência, o conjunto de duas bobinas idênticas, paralelas e de eixo comum, comumente conhecido como Bobina de Helmholtz, tem uma clara vantagem, como poderá ser vista nos próximos parágrafos.

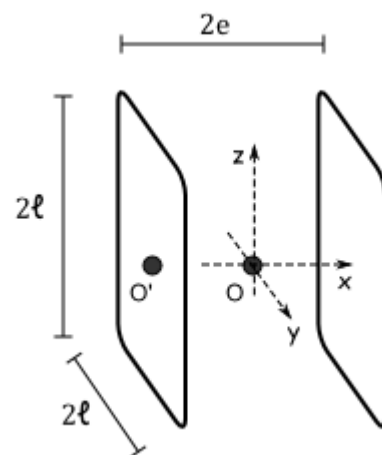


Fig 1 Arranjo básico do par de bobinas

A Figura 1 mostra o arranjo básico para um par de bobinas de formato quadrado. É suposto que a mesma corrente circula por ambas as bobinas em direções adequadas, de forma que a densidade de fluxo magnético em qualquer ponto  $B(x, y, z)$  é dada pela soma das densidades de fluxo de cada bobina.

O valor teórico da densidade de fluxo magnético pode ser determinado com o uso de fórmulas da literatura para um caminho quadrado ideal de corrente.

O gráfico da Figura 2 mostra a variação da densidade de fluxo magnético ao longo do eixo x em função da distância da origem para o par de bobinas e para uma bobina simples (ambas com dimensões das bobinas existentes no laboratório da Divisão de Eletricidade do Inmetro).

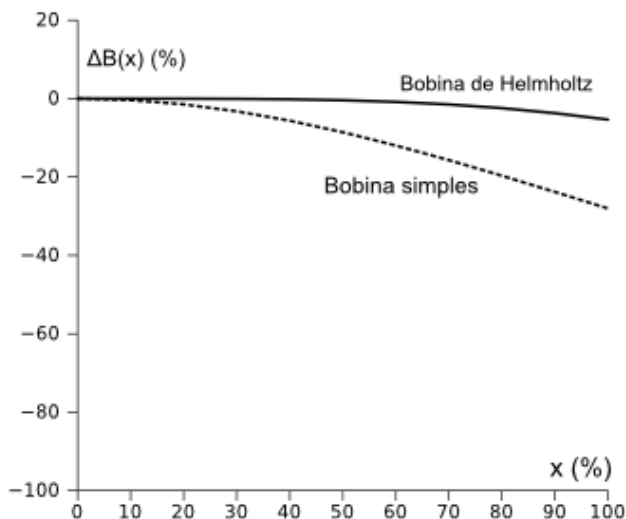


Fig 2 Comparação bobina simples e bobina de Helmholtz

Os valores das distâncias são percentuais relativos à metade da distância entre bobinas ( $e$ ) e as origens são o centro de simetria ( $O$ ) para o par de bobinas e o centro ( $O'$ ) para a bobina única. Os valores de densidade de fluxo magnético são relativos aos valores nesses pontos.

As curvas mostram claramente que a conjunto de Helmholtz tem uniformidade muito melhor que a de uma bobina simples. Também pode ser demonstrado que comportamento similar ocorre para eixos paralelos a ( $x$ ) na região próxima. Desde que as densidades de fluxo magnético ao longo dos eixos  $y$  e  $z$  de ambas as bobinas cancelam-se mutuamente, pode ser dito que uma bobina de Helmholtz produz um campo magnético que se aproxima do uniforme, em um volume localizado no seu centro de simetria, se a distância entre as bobinas for igual a um valor ótimo.

Essa uniformidade é um fator decisivo para fins metrológicos e, desde que ela pode ser calculada, a escolha de uma bobina de Helmholtz para um dado instrumento e uma determinada exatidão é uma tarefa simples.

Resultados similares podem ser obtidos para bobinas circulares, mas o volume de uniformidade é algo maior para bobinas quadradas de mesmas dimensões globais.

A Figura 3 apresenta o método de calibração de densidade de fluxo magnético no Inmetro / Divisão de Eletricidade.

Um sinal senoidal na frequência desejada (normalmente 60 Hz) é produzido por um gerador de funções. Esse sinal é a entrada para uma fonte especial, que trabalha como um amplificador linear de potência.

O shunt e o voltímetro digital DVM1 formam o conjunto de medição para a corrente através da bobina de Helmholtz.

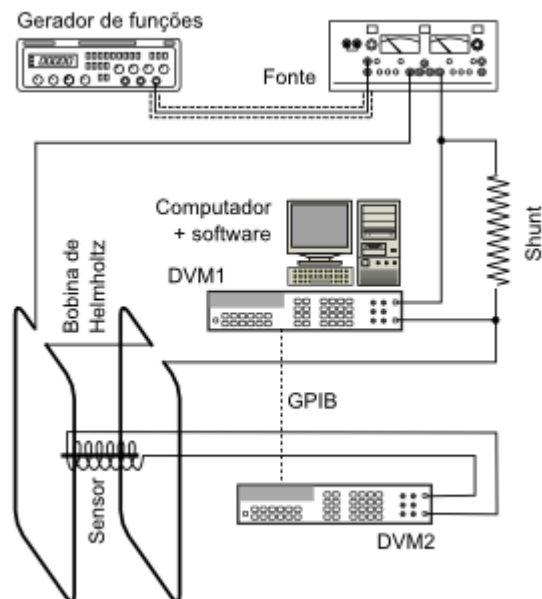


Fig 3 Esquema básico de calibração

A sonda do instrumento em calibração é disposta no centro de simetria do par de bobinas, no alinhamento do campo magnético uniforme. A tensão de saída da sonda é medida por um segundo voltímetro digital DVM2.

Leituras de ambos os DVMs são tomadas simultaneamente por meio do barramento GPIB e software de amostragem, de forma a minimizar os efeitos de pequenas flutuações da tensão de alimentação.

O campo magnético gerado por uma bobina de Helmholtz é função da corrente circulante e das suas propriedades físicas. Conseqüentemente, o campo no interior do volume de uniformidade pode ser usado como padrão para o dispositivo em calibração.

Se o instrumento não permite a medição da tensão do seu sensor, são tomadas leituras visuais do seu display, com a correspondente perda de exatidão.

### 3. CONCLUSÃO

Com esta estrutura inicial, a Divisão de Eletricidade do Inmetro pode calibrar medidores de densidade de fluxo magnético dentro da faixa de 1 a 200  $\mu$ T (10 a 2000 mG), frequência 60 Hz e incerteza expandida de cerca de 4 %.

Melhorias estão previstas para o futuro próximo, com a implantação de padrão primário para reduzir incertezas, bem como calibração a 50 Hz, faixas mais amplas de valores e calibração simultânea ao longo de três eixos.

## REFERÊNCIAS

- [1] ABNT “Medição dos campos magnéticos e elétricos de baixa frequência considerando a exposição de seres humanos – Requisitos especiais para instrumentos e guia para medições”, Rio de Janeiro: ABNT, 2000.
- [2] Trout, S. R. "Use of Helmholtz Coils for Magnetic Measurements", IEEE Trans Magnetics, V.24, No. 4, Jul 1988 pg. 2108.
- [3] Misakian, M. “Equations for the Magnetic Field Produced by One or More Rectangular Loops of Wire in the Same Plane”, National Institute of Standards and Technology, July–August 2000.