

APRENDIZADO INTERDISCIPLINAR ATRAVÉS DA ANÁLISE DIMENSIONAL DE UMA BOBINA DE HELMHOLTZ

MSc Eng Paulo Roberto Batista Pinto
prbp2005@gmail.com

<http://lattes.cnpq.br/7239724982649284>

RESUMO

Este artigo descreve o trabalho para a calibração dimensional de uma bobina de helmholtz em 2017/2018, visando a implementação da norma ISO17025 num Laboratório de Desenvolvimento de Sensores durante estudos de doutoramento, enfatizando a interdisciplinaridade exigida.

Palavras-chave: Interdisciplinaridade, ensino, bobina de helmholtz

Introdução:

Este artigo traz o estudo da bobina de Helmholtz desenvolvida no ON em suas características dimensionais, visando o atendimento à norma ISO17025 e a calibração de bússolas, à época fazendo parte de trabalhos de doutoramento. Sua construção foi efetuada a mais de 10 anos e esta averiguação dimensional permite a avaliação de possíveis deformações impostas pelo tempo de uso, o que acarretaria erros de medição, já que um dos principais cuidados para confiabilidade de medições utilizando essas bobinas é a garantia de suas dimensões mecânicas, que influenciam diretamente na intensidade e distribuição do campo no espaço. Como já exposto, a bobina foi construída antes de 2010, e a mesma é de grande importância nos estudos de equipamentos e sensores, foi então verificado se as atuais dimensões dessa bobina se mantêm dentro do especificado na documentação inicial de sua construção, o que validaria as medições feitas com a mesma em campos magnéticos.

Conforme a literatura amplamente aceita, na área magnética a medição de densidade de fluxo magnético no SI (Sistema Internacional de Unidades) é na unidade tesla (T), onde $1T = 1\text{kg}/(\text{s}^2 \cdot \text{A})$, e em razão da estreita relação entre corrente elétrica (A) e o campo magnético (T), uma das forças fundamentais da física⁽²⁾, deve-se verificar a fiação das bobinas e suas dimensões. No Brasil o INMETRO é a referência da grandeza

elétrica (A), mas a melhor medição de campo magnético nacionalmente é feita pelo ON na geofísica. A medição geomagnética do Brasil está atualmente referenciada a IAGA (Associação Internacional de Geomagnetismo e Aeronomia)⁽¹⁾, instituição contemporânea da Convenção do Metro e do Segundo Império Brasileiro, hoje com uma rede mundial interconectada em tempo real fornecendo dados para navegação, medições diversas e astronáutica, entre outros, onde o VSS Observatório Magnético de Vassouras – ON)⁽³⁾ está rastreado por intercomparação de medições a todo o sistema geomagnético global, com capacidade de resolução de medição de décimos de nano teslas (0,1nT), centenas de vezes melhor que a necessária em resoluções comerciais ⁽⁹⁾, indicando sua possibilidade de uso.

Metodologia:

Do ponto de vista educacional, vemos que o estudante deve adquirir conhecimentos em diferentes áreas do conhecimento para efetuar um trabalho aparentemente simples, pois a interdisciplinaridade envolvida exige o entendimento para a execução da ação, algo que demanda tempo e nem sempre é valorizado por terceiros, mostrando a dicotomia do ensino de ciências no quadro atual, onde cada vez mais urge a fusão entre academia, labor e comércio para viabilizar as pesquisas em sistemas governamentais cada vez mais sobrecarregados pelas crescentes e urgentes demandas sociais.

Para entender o por que medir, segundo os critérios do International Bureau of Weights and Measures (BIPM), uma grandeza primária deve ser realizada com relação a padrões quânticos universais aceitos pelos países membros da Convenção do Metro, viabilizando o comércio internacional, mas o campo magnético, enquanto uma grandeza vetorial, aparece com duas grandes vertentes de medição: sua direção e sua intensidade, as quais podem ser medidas “juntas” ou separadas. Em qualquer abordagem escolhida, campos magnéticos externos ao nosso intuito podem interferir nas medições desejadas, o que no caso de um padrão é inaceitável. Um instrumento empregado em laboratórios de medição de campos magnéticos é a bobina de Helmholtz, onde os efeitos eletromagnéticos gerados por bobinas idênticas devidamente polarizadas podem gerar

áreas livres de interferência externa, muito útil em estudos de materiais, equipamentos e calibrações, como as de bússolas por exemplo.

Além das bússolas aeronáuticas, esse sistema padronizado também pode ser aplicado à calibração de bússolas marítimas e terrestres, aumentando a segurança e economia desses sistemas de navegação, além de melhorar a confiabilidade para o cumprimento das exigências da IMO (Organização Marítima Internacional) em calibração, algo feito por empresas estrangeiras ou por nacionais treinados pela marinha.

No início do século XXI o mundo experimentou uma corrida entre os institutos de pesquisa para unificar as Convenções do Metro (que gerou a cadeia de rastreabilidade) e da IAGA, visando um aumento da competência geral de medições e incremento de medições de campos eletromagnéticos, cada vez mais presentes no cotidiano. Objetivando manter-se nessa vanguarda, o Brasil iniciou o processo de estudo para essa fusão⁽⁴⁾, daí os estudos em nível acadêmico elevado visando enquadrar os processos nacionais na área na norma ISO17025⁽⁶⁾, que já está na versão 2017, já que o mesmo estava sendo implementado na região metrológica Ásia-Pacífico (APMP)⁽⁵⁾, entre Rússia e Coréia do Sul, através de seus institutos metrológicos nacionais⁽⁷⁾.



Figura 1: bobina triaxial de Helmholtz a ser mensurada mecanicamente.

Fonte: Próprio autor.

Uma fase viável na atual conjuntura, a adequação da calibração de bússolas aeronáuticas à esta norma, permitiria o início da fusão entre os dois sistemas metrológicos nacionalmente, preenchendo uma lacuna científica e sócio-econômica.

Nesse objetivo, a bobina de Helmholtz deve ser verificada⁽⁸⁾, o que foi iniciado em suas dimensões mecânicas nesse artigo, com condições ambientais de umidade e temperatura controladas através de um termohigrômetro Maxi-Track nº9.2286-16 com calibração rastreada, e com equipamentos utilizados em calibração, como a trena, aferidos por comparação feita em relação ao calibre de 25mm e com os micrômetros e

paquímetros calibrados pelo laboratório da Base Aérea Naval de São Pedro da Aldeia (ligado à RBC – Rede Brasileira de Calibração), com certificados números: micrômetro LEE 0002/11, paquímetro SCMET 0003/11, micrômetro STARFER 1287/11. A trena da oficina foi utilizada após 30 minutos de estabilização de temperatura, com erro em marcação de 100 mm visual igual a 99,46mm no paquímetro, para verificar se houveram variações nos mais de 10 anos de utilização da mesma em relação ao seu projeto original.

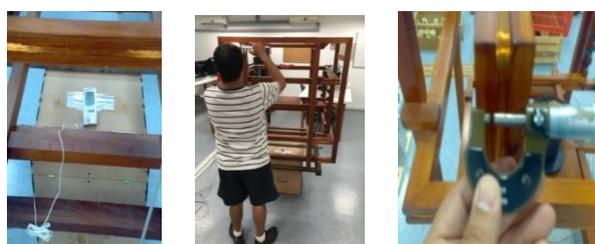


Figura 2: Medições na bobina. Fonte: Próprio autor.

Resultados e discussões:

As medições dimensionais da bobina triaxial geraram os seguintes resultados (que foram comparados aos originalmente propostos à época de sua construção, com as dimensões obtidas por média de medições físicas diretas e as profundidades dos sulcos consideradas as declaradas, pois não se desmontou a bobina). Foram realizadas quatro medições, tirada a média em cada dimensão avaliada, e a ART número 2020170040380:

Grandeza medida	Aparelho	Medição original	Média das medições
Temperatura ambiente	Termohigrômetro	N.O.	24.4°C
Umidade relativa ambiente	Termohigrômetro	N.O.	53%
Dimensão comprimento da aresta maior	Trena	1210 mm,	B1: 1210 mm B2: 1210 mm
Dimensão comprimento da aresta intermediária		1120mm,	B1: L1 = 1190mm L2 = 1170mm L3 = 1180mm L4 = 1170mm B2: L1 = 1180mm L2 = 1120mm L3 = 1180mm L4 = 1170mm
Dimensão comprimento da aresta menor		1025mm,	B1: L1 = 1027mm L2 = 1026mm L3 = 1026mm L4 = 1026mm B2: L1 = 1025mm

			L2 = 1025mm L3 = 1027mm L4 = 1025mm
Sulcos (para o bobinamento) Bobina maior	Paquímetro	Largura: 12,0mm Profundidade: 12,0mm	Largura: B1:L2: Cima:10,80mm Baixo:11,36mm B1:L4: Cima:11,30mm Baixo:11,08mm B2:L2: Cima:10,32mm Baixo:11,20mm B2:L4: Cima:11,70mm Baixo:11,20mm Profundidade: 12,0mm
Sulcos (para o bobinamento) Bobina média	Paquímetro	Largura: 12,0mm Profundidade: 12,0mm	Largura: B1:L2: Cima: 11,00mm Baixo: 11,48mm B1:L4: Cima:10,66mm Baixo:12,00mm B2:L2: Cima:10,98mm Baixo:10,80mm B2:L4: Cima:10,00mm Baixo:12,00mm Profundidade: 12,0mm
Sulcos (para o bobinamento) Bobina menor	Paquímetro	Largura: 12,0mm Profundidade: 12,0mm	Largura: B1:L2: Cima:10,70mm Baixo:11,30mm B1:L4: Cima:10,68mm Baixo:10,00mm B2:L2: Cima:9,82mm Baixo:10,20mm B2:L4: Cima:8,80mm Baixo:9,62mm Profundidade: 12,0mm
Distância entre as bobinas no mesmo eixo (internamente) Bobina maior	Trena	652,3mm	Lado 2: Cima:608mm Baixo:608mm Lado 4: Cima:607mm Baixo:607mm
Distância entre as bobinas no mesmo eixo (internamente) Bobina média	Trena	603,3mm	Lado 2: Cima:559mm Baixo:559mm Lado 4: Cima:557mm Baixo:559mm
Distância entre as bobinas no mesmo	Trena	551,6mm	Lado 2: Cima:595mm Baixo:596mm

eixo (internamente)			Lado 4: Cima:597mm Baixo:596mm
Bobina menor			

Tabela 1: Valores medidos de dimensões físicas.

Para diminuir a interferência do ambiente, optou-se por erguer a bobina, ficando a base central de teste dos sensores em relação ao chão com L2= 1150mm e L4= 1178mm, e distante do teto L2= 1639mm e L4= 1364mm. O comprimento do fio em cada bobina pode ser calculado em função das medições dimensionais executadas, com a soma de cada dimensão x o número de voltas (espiras) declarado, então:

Medidas originais	Medidas obtidas	Varição
Comprimento do fio para aresta maior e com 125 espiras (cada bobina, 2 por plano): 605m	605m	0%
Comprimento do fio para aresta intermediária e com 125 espiras (cada bobina, 2 por plano): 560m	588,75m	4,9%
Comprimento do fio para aresta menor e com 125 espiras (cada bobina, 2 por plano): 512,5m	513,125m	0,1%

Tabela 2: Verificação do comprimento da fiação.

Sabendo que a principal característica construtiva desta bobina é a relação entre a distância entre duas bobinas no mesmo eixo ser igual ao raio de uma delas, temos as medidas:

Calculo original	Contra-prova	Varição
Distância entre as 2 bobinas maiores: 652,311mm	652,311mm	0%
Distância entre as 2 bobinas intermediárias: 603,306mm	634,61475mm	4,93%
Distância entre as 2 bobinas menores: 551,5785mm	552,123mm	0,1%

Tabela 3: Verificação das distâncias físicas entre as bobinas.

As medidas contém uma incerteza do tipo B de +-2mm. A equação (I), determinada no projeto original da bobina é utilizada para determinação do campo gerado por cada bobina:

$$K_b = (0,8114 \cdot w \cdot i) / a \quad (10^5 nT/A), \quad (I) \text{ onde:}$$

K_b – constante da bobina;

w - número de voltas em cada seção da bobina (espiras);

i – corrente elétrica, em amperes(A);

a – comprimento de meia aresta no plano considerado, em centímetros.

Destes cálculos com as dimensões verificadas e a mesma equação, temos:

Cálculos originais	Resultados obtidos (T/A):	Variação
Bobina maior: 170nT/mA	168,264nT/mA	1,0%
Bobina intermediária: 180nT/mA	173,2nT/mA	3,8%
Bobina menor: 200nT/mA	198,44nT/mA	0,8%

Tabela 4: Campos magnéticos gerados estimados. Obs: $m = 10^{-3}$ e $n = 10^{-9}$

Para a verificação elétrica, deveria ser utilizada uma fonte calibrada com rastreabilidade, o que não havia a época, além de um medidor de campo certificado. Segundo a literatura padrão a lei de Biot-Savart indica que a densidade de campo magnético varia com o quadrado da distância com o condutor onde passa a corrente, mais uma vez mostrando a dependência da medição dimensional para o processo, e no caso em estudo o centro da bobina está à metade do raio de cada bobina.

Segundo as anotações originais, a construção desta bobina foi desenvolvida para trabalhos com campos magnéticos de corrente contínua (CC/DC) gerados por uma fonte regulável, objetivando uma área magneticamente estável em seu centro de aproximadamente 80mm de raio, suficiente para alocação física dos sensores triaxiais que eram calibrados, de dimensões aproximadas de 40x70x40 (mm). Nesse espaço, além de poder-se calibrar esses sensores (fluxgate) e outros similares, pode-se avaliar/medir campos coersivos de grande intensidade de materiais magnéticos, permitindo o estudo e desenvolvimento de materiais em vários campos de aplicação nas geociências, engenharia e outras. Como demonstrado nos cálculos estruturais, os desvios da bobina são desprezíveis, permitindo sua utilização nos processos desejados. Para a calibração de bússolas a principal função da bobina é a verificação da funcionalidade da agulha em função de seus deslocamentos orientados ao campo local, ou seja, sua histerese mecânica (ou seja, se “o eixo prende”) após os deslocamentos do ponteiro. Para o teste, polariza-se a bobina, gerando um campo numa dada direção, deflexionando a agulha 90° em relação ao norte original, desliga-se a fonte e depois é feita a polarização contrária, com o mesmo valor, esperando uma igual movimentação, num movimento total de 180° da agulha, livre de erros de histerese mecânica. Por ser triaxial, pode-se também verificar

a inclinação da agulha e seu pronto repouso. Se a agulha apresentar desvios além do aceitável, o funcionamento da bússola está comprometido e a mesma não será calibrada, sendo devolvida ao seu proprietário original. Isto evita retrabalho e faz parte do controle de qualidade inicial do laboratório, em processo documentado e formalizado no manual de calibração de bússolas que estava sendo desenvolvido, conforme é preconizado em norma. Por não haver consertos de bússolas na instituição evita-se o conflito de interesses entre a calibração e a manutenção, algo também exigido em norma.

Para o uso dessa bobina em calibração de sensores de forma rastreável, sabe-se que as características de projeto são fio AWG 20 (0,812 mm de diâmetro = $0,5190\text{mm}^2$), com capacidade de corrente de 1,6A (que não é excedida) e com resistência da ordem de $32,69\Omega/\text{km}$ (obtida com um multímetro fluke não certificado), que só poderá ser verificada plenamente com aparelhos rastreáveis à RBC, assim como outras medidas elétricas e comparações de medições magnéticas, para seu pleno uso em aplicações rastreadas quantitativas.

Conclusão:

A bobina estudada não sofreu significativa mudança física em seus anos de utilização em experimentos científicos e metrológicos, boa parte em função do material utilizado e sua localização em um ambiente fechado livre de grandes intempéries, e pode ser utilizada como instrumento de verificação do funcionamento das bússolas no processo de calibração que está sendo padronizado.

Os estudantes de doutorado ou outros níveis devem ser cada vez mais estimulados a interdisciplinaridade e a visão prática de um projeto, não devendo esquecer que em algumas áreas a pesquisa pela pesquisa faz-se necessária, mas exige investimentos que infelizmente nem sempre são possíveis.

É atual e urgente a adequação e integração de medições magnéticas a processos controlados e rastreados, reafirmando a posição do Brasil como grande *player* global, continuando o legado deixado pelos fundadores de nossa nação para as futuras gerações, cumprindo nosso papel na história.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1- Muniz Barreto, Luiz, 150 Anos do Observatório Nacional – Rio de Janeiro, ON, 1988;
- 2- Baker, Joanne, PHD, 50 ideias de física quântica que você precisa conhecer, Editora Planeta, 2015;
- 3- <https://www.bgs.ac.uk/iaga/vobs/> - 25/07/2017, 19:40;
- 4- Benyosef, Luiz C.C.; Silva, Ivan Mourilhe; Implantação do Laboratório de Calibração de Bússolas e Magnetômetros do Observatório Nacional, MCT/Observatório Nacional, Rio de Janeiro, Brasil, VIII Semetro – 2009;
- 5- Pajunpaa K., Genzer Maria, Posio, P.; Nevanlinna H. and Schmidt, W. – Quality Assurance Project for the Magnetic Calibration and Test Laboratory of the Nurmijarvi Geophysical Observatory – Pubs. Inst. Geophys. Pol. Acad. Sc. C-99 (398), 2007;;
- 6- Associação Brasileira de Normas e Técnicas (2006) - ABNT NBR ISO/IEC 17025:2005 - Requisitos Gerais Para a Competência de Laboratórios de Ensaio e Calibração, Rio de Janeiro;
- 7- P.G.Park, V. Shifrin, Asia Pacific Metrology Programme – Technical Protocol, Coréia/Rússia, APMP, 2010;
- 8- Oliveira, Danilo Anderson de, Calibração e Controle de Bobinas de Helmholtz para Aplicação Espacial, INPE, São José dos Campos, 2014, dissertação;
- 9- Antônio Fernando Maciel de Mendonça – Demanda por Calibração de Instrumentos de Medição Magnética no Brasil, PUC, Dissertação de Mestrado, Rio de Janeiro, 2013.

SOBRE O AUTOR/ A AUTORA:

Mestre em Metrologia e Qualidade pelo INMETRO, possui graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade Estácio de Sá (1998) pós-graduação em Engenharia de Segurança do Trabalho e Administração e Supervisão Escolar, Licenciatura em Ensino Superior e Licenciatura em Física. Atualmente é professor do magistério superior do Centro de Instrução Almirante Graça Aranha. Tem experiência na área de Engenharia Elétrica, com ênfase em Circuitos Elétricos e Eletrônicos, e como professor de ensino técnico/ tecnológico.