



IMPLANTAÇÃO DO LABORATÓRIO DE CALIBRAÇÃO DE BÚSSOLAS E MAGNETÔMETROS DO OBSERVATÓRIO NACIONAL

Luiz C.C. Benyosef¹, Ivan Mourilhe Silva²

¹ MCT/Observatório Nacional, Rio de Janeiro, Brasil, benyosef@on.br

² MCT/Observatório Nacional, Rio de Janeiro, Brasil, ims@on.br

Sumário: The Magnetic Sensors Development Laboratory (MSDL) of the Geophysics Co-Ordination of the National Observatory mission is to develop and to build magnetic sensors and magnetometers of high resolution. The growing necessity for using magnetic navigation systems in airplanes and ships, has given raise to the need to obtain the accreditation in calibration services in accordance with the ISO/IEC 17025:2005 standard. In the present paper is described the principal technical requisites and the Laboratory competence.

Palavras chave: Fluxgate, Magnetômetro, Bússola, Indução Magnética e Declinação Magnética.

1. Introdução

O LDSM em operação desde 1995, tem realizado importantes trabalhos de desenvolvimento de sensores magnéticos e magnetômetros do tipo fluxgate utilizando materiais amorfos e nanocristalinos. Também são realizadas pesquisas de desenvolvimento em magnetômetros de precessão nuclear de prótons e Overhauser. A calibração de bússolas é realizada pelo ON desde a sua fundação em 1827.

Desde o final da década de 90, o LDSM tem realizado trabalhos desta natureza para o Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO), Fundação Oswaldo Cruz (FIOCRUZ), Instituto de Pesquisas da Marinha (IPqM), Indústria de Material Bélico do Brasil (IMBEL), Diretoria de Hidrografia e Navegação da Marinha Brasileira (DHN) e Força Aérea Brasileira (FAB).

Pela primeira vez em 180 anos de história o ON exportou tecnologia de ponta, através da venda de sensores fluxgate de alta resolução para o Instituto Indiano de Geomagnetismo em Mumbai, Índia.

O Observatório Magnético de Vassouras (OMV) onde são realizadas parte dos procedimentos de medição pelo LDSM, pertence ao Observatório Nacional e está em

funcionamento contínuo desde 1915. O OMV é considerado referencia na América Latina pelo Centro Mundial de Dados (World Data Center) vinculado a Associação Internacional de Geomagnetismo e Aeronomia (IAGA).

2. Objetivo

Implantar um sistema da qualidade baseado na norma ISO/IEC 17025:2005 no LDSM. Tal sistema buscará a acreditação junto ao órgão competente.

3. Sistema Internacional de Unidades (SI)

3.1. Histórico [12]

Em 1789, a Academia de Ciências da França, criou um sistema de medidas baseado numa "constante natural". Assim foi criado o Sistema Métrico Decimal.

Posteriormente, muitos outros países adotaram o sistema, inclusive o Brasil, aderindo à "Convenção do Metro". O Sistema Métrico Decimal adotou, inicialmente, três unidades básicas de medida: o metro, o litro e o quilograma.

Entretanto, o desenvolvimento científico e tecnológico passou a exigir medições cada vez mais precisas e diversificadas.

Por isso, em 1960, o sistema métrico decimal foi substituído pelo Sistema Internacional de Unidades - SI, mais complexo e sofisticado, adotado também pelo Brasil em 1962 e ratificado pela Resolução nº 12 de 1988 do Conselho Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (CONMETRO), tornando-se de uso obrigatório em todo o Território Nacional.

3.2. Resumo do SI atual

O SI evoluiu de modo a acompanhar as crescentes exigências mundiais demandadas pelas medições.

As sete unidades de base do SI, listadas na tabela 1, fornecem as referências que permitem definir todas as unidades de medida do Sistema Internacional.

Tabela.1 Unidades de base do SI

Grandeza	Unidade, Símbolo
comprimento	metro, m
massa	quilograma, kg
tempo	segundo, s
corrente elétrica	ampere, O ampere é a intensidade de uma corrente elétrica constante que, mantida em dois condutores paralelos, retilíneos, de comprimento infinito, de seção circular desprezível, e situados à distância de 1 metro entre si, no vácuo, produziria entre estes condutores uma força igual a 2×10^{-7} newton por metro de comprimento. Assim, a constante magnética, μ_0 , também conhecida como permeabilidade do vácuo, é exatamente igual a $4\pi \times 10^{-7}$ H/m.
temperatura termodinâmica	kelvin, K
quantidade de substância	mol, mol
intensidade luminosa	candela, cd

Todas as outras grandezas são descritas como grandezas derivadas e são medidas utilizando unidades derivadas, que são definidas como produtos de potências de unidades de base.

As unidades derivadas utilizadas em magnetismo são listadas na Tabela 2.

Tabela. 2 . Unidades derivadas magnéticas

Grandeza derivada	Símbolo	Unidade derivada	Símbolo
campo magnético	H	ampere por metro	A/m
permeabilidade relativa	μ_r	um	1

A permeabilidade relativa é uma grandeza adimensional, para a qual a unidade do SI é o número um (1), embora esta unidade não seja escrita.

Algumas unidades derivadas recebem nome especial, sendo este simplesmente uma forma compacta de expressão de combinações de unidades de base que são usadas frequentemente. Na Tabela 3 as unidades derivadas magnéticas com nomes especiais.

Tabela. 3 Unidades derivadas magnéticas com nomes especiais

Grandeza derivada	Nome da unidade derivada	Símbolo da unidade	Exp. Em termos de outras unidades
fluxo de indução magnética	Weber	Wb	$V \cdot s = m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-1}$
indução magnética	tesla	T	$Wb/m^2 = kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-1}$
indutância	henry	H	$Wb/A = m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-2}$
Permeabilidade.	henry/metro	H/m	$m \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-2}$

3.3. Unidades fora do SI

Algumas unidades fora do SI continuam a ser empregadas ocasionalmente. Algumas delas são importantes na interpretação de antigos textos científicos. É preferível evitar seu uso.

Na Tabela 4, exemplos.

Tabela. 4 Unidades fora do SI

Nome	Símbolo	Valor em SI
gauss ^a	G	$1 \text{ G} \approx 10^{-4} \text{ T}$
oersted ^a	Oe	$1 \text{ Oe} \approx (1000/4\pi) \text{ A/m}$
maxwell ^a	Mx	$1 \text{ Mx} \approx 10^{-8} \text{ Wb}$

a) Esta unidade pertence ao Sistema CGS (acrônimo maiúsculo para centímetro–grama–segundo) dito “eletromagnético” a três dimensões, e não é estritamente comparável com a unidade correspondente do SI, que possui quatro dimensões, quando se refere a grandezas mecânicas e elétricas. Por isso, a relação entre esta unidade e a unidade SI é expressa por meio do símbolo matemático (\approx).

4. Metodologia

Serão utilizados os procedimentos adotados pelo INMETRO, ao acreditar os laboratórios que assim o solicitem.

4.1. Processo de acreditação

De acordo com o fluxograma básico do processo de acreditação, as várias etapas a serem cumpridas são:

4.1.1. Solicitação da acreditação

Obter junto à Divisão de Acreditação de Laboratórios (DICLA), um “login” e uma senha para ter acesso ao sistema denominado pelo INMETRO, ORQUESTRA. Preencher a solicitação da acreditação no ORQUESTRA e encaminhar, em papel à DICLA todos os outros documentos solicitados.

Em março de 2009 foi dado início ao processo e constatamos que em [8] não existem os serviços pretendidos.

Realizamos consulta no site do Bureau International de Poids et Mesures (BIPM), onde pode-se verificar os serviços oferecidos nesta área, pelos Institutos Nacionais de Metrologia (NMI), dos EUA, National Institute of Standards and Technology (NIST), da Alemanha, Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB), da Inglaterra, National Physical Laboratory (NPL), da Czech Republic, Czech Metrology Institute (CMI), da Austrália, National Measurement Institute (NMIA), da Bulgária, Bulgarian Institute of Metrology (BIM), do Canadá, National Research Council (NRC), da Dinamarca, Danish Fundamental Metrology (DFM), da Finlândia, Mittatekniikan Keskus (MIKES), e da França, Laboratoire National de Métrologie et d'essais (LNE).

Em todos estes institutos os serviços são classificados dentro do grupo de Eletricidade e Magnetismo, grupo este inexistente no Brasil. Sugerimos que se crie o grupo Magnetismo, mantendo o grupo atual de Eletricidade sem alteração. Esta nova versão de [8], conterá os seguintes novos serviços:

2200 – Intensidade de Fluxo Magnético DC
2201 – Intensidade de Fluxo Magnético AC
2202 – Fluxo Magnético DC
2203 – Densidade de Fluxo Magnético DC
2204 – Densidade de Fluxo Magnético AC
2205 – Declinação do Campo Terrestre
2206 – Inclinação do Campo Terrestre

4.1.2. Solicitação de visita preliminar (se pertinente) e análise da solicitação

O INMETRO verifica a viabilidade de atender à solicitação e, se necessário solicita documentação adicional ou, no caso de laboratórios, realiza uma visita de pré-avaliação.

4.1.3. Análise da documentação

A documentação é analisada por uma equipe formada por avaliadores/auditores qualificados e especializados nas atividades que serão avaliadas/auditadas.

4.1.4. Auditoria e ações corretivas

No sentido de verificar a implementação do sistema da qualidade, a equipe realiza a avaliação/auditoria e, dependendo do tipo de acreditação, haverá uma auditoria-testemunha.

4.1.5. Acreditação

Com as informações resultantes das etapas anteriores, a Comissão de Acreditação analisa todo o processo e emite parecer ao coordenador da área de acreditação que tomará a decisão sobre a concessão ou não da acreditação.

Os documentos necessários estão disponíveis na página WEB do INMETRO,
<http://www.inmetro.gov.br/credenciamento/docBasicos.asp>.

Os serviços a serem solicitados para acreditação, são:

A) 2205 – Declinação do Campo Terrestre, exemplo: bússolas mecânicas, bússolas eletrônicas

B) 2206 – Inclinação do Campo Terrestre, exemplo: Teodolito DI

5. Rastreabilidade dos mensurandos

De acordo com [9], é a propriedade do resultado de uma medição ou do valor de um padrão estar relacionado a referências estabelecidas, geralmente a padrões nacionais ou internacionais, através de uma cadeia contínua de comparações, todas tendo incertezas estabelecidas.

Observações:

1) O Conceito é geralmente expresso pelo adjetivo rastreável;

2) Uma cadeia contínua de comparações é denominada de cadeia de rastreabilidade

No caso de calibração de instrumentos para medidas de Intensidade de Fluxo Magnético, e de Densidade de Fluxo magnético, a rastreabilidade pode ser obtida por intermédio da utilização de bobinas de Helmholtz, Fig. 1, capazes de gerar campos uniformes na região central entre as duas bobinas. Tais campos vão ser função das dimensões das bobinas e da corrente elétrica por elas circulando.

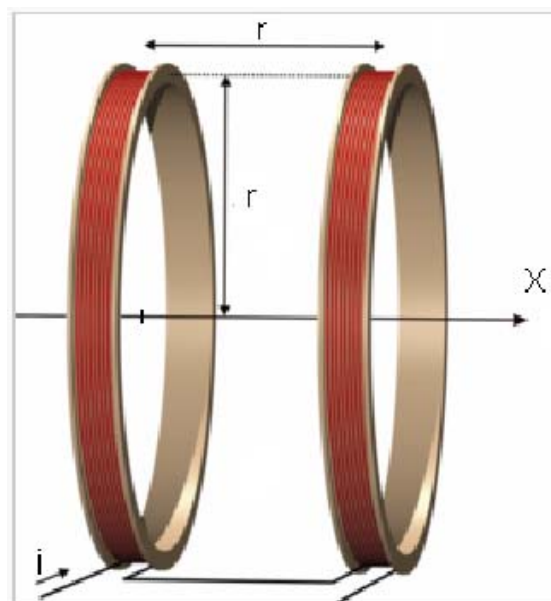


Fig. 1 Bobinas de Helmholtz

O campo H pode ser calculado por intermédio da lei de Bio Savart [10], resultando:

$$H = \frac{ni}{r} (4/5)^{3/2} \text{ (amper/metro)} \quad (1)$$

$$\text{sendo } \mu_o = 1,26 \times 10^{-6} \text{ (Henry/metro)} \quad (2)$$

e n = n° de espiras em cada bobina

Se a determinação da corrente e das dimensões forem realizadas por intermédio de medidores calibrados por laboratórios acreditados pela Rede Brasileira de Calibração (RBC) do INMETRO, teremos estabelecido a rastreabilidade.

Comparison results for the DI-theodolite and PMP-7 of the Nurmijärvi observatory

Workshop year	Dourbes 1994	Niemegk 1996	Hurbanovo 2000	Kakioka 2004	Uppsala 2005
Delta D	< 10"	< 5"	< 5"	< 10"	< 5"
Delta I	< 5"	< 5"	< 10"	< 5"	< 5"
F	< 0.5nT		< 0.2nT	< 0.2nT	

Esta tabela foi obtida de [7]

Os padrões de referência utilizados são um Teodolito DI e um magnetômetro de prótons.



Fig. 2 Diagrama de Rastreabilidade

Na Fig. 2 um diagrama de rastreabilidade obtido no “site” do INMETRO.

No caso das bússolas, que medem um determinado ângulo, os teodolitos utilizados em sua calibração deverão ter sido igualmente calibrados pela RBC.

6. Estudo de caso

Em cerca de três anos, no “Magnetic Calibration and Test Laboratory” do Nurmijärvi Geophysical Observatory [7] situado na Finlândia, foi implementado um sistema da qualidade que é bastante semelhante ao que pretendemos implantar no ON.

A calibração dos padrões de referência é realizada durante a ocorrência dos “workshops” da International Association of Geomagnetism and Aeronomy (IAGA). Na Tabela 5 os resultados obtidos, desde 1994 até 2005.

6.1. Teodolito DI

O teodolito, inventado pelo italiano Ignazio Porro, em torno de 1835, tem como objetivo a medição de ângulos verticais e horizontais.

O teodolito DI em particular é constituído por um teodolito sem partes magnéticas com um sensor Fluxgate adaptado, permitindo desta forma a medição dos ângulos D e I. Na Fig. 3 um exemplo de tal equipamento. Deve haver um alinhamento entre o eixo do sensor Fluxgate com o eixo ótico do teodolito.

Tabela. 5. Calibração dos padrões



Fig. 3 Teodolito DI

Os mensurandos utilizados são:

D – Declinação magnética, é o ângulo formado entre a direção do Norte Verdadeiro e a direção do Norte Magnético, em um determinado local da superfície terrestre; ângulo este, contado para leste (E) ou para oeste (W).

I – Ângulo que o campo magnético terrestre faz com um plano horizontal.

F – A intensidade total do campo magnético

Estes mensurandos podem ser visualizados por intermédio da Fig. 4

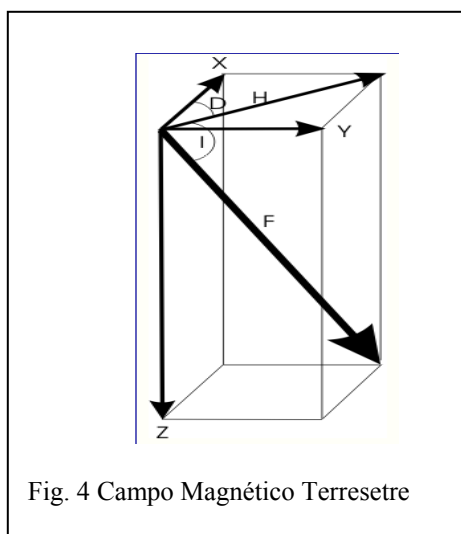


Fig. 4 Campo Magnético Terrestre

O eixo dos X coincide com a direção norte geográfica verdadeira, o eixo dos Y com a direção leste e o eixo dos Z com a vertical do local. Os ângulos D e I são medidos em graus e os demais componentes em nTesla (1×10^{-9} Tesla).

7. Padrões de referência

Um teodolito magnetômetro DI, um magnetômetro de prótons e uma bobina triaxial de Helmholtz são os padrões de referência utilizados pelo laboratório. Todos aferidos no OMV, pertencente à rede mundial INTERMAGNET e uma das principais referências para calibração na América Latina. O OMV situa-se na cidade de Vassouras, estado do Rio de Janeiro e está em funcionamento ininterrupto, desde 1915.

6. REFERÊNCIAS

- [1] Chapman S. & Bartels, Journal of Geomagnetism, Oxford at the Clarendon Press – 1940.
- [2] Chikazumi. S. – Physics of Magnetism, Wiley Series on the Science and Technology of Materials, John Wiley & Sons Inc. New York, 1992.
- [3] Jacobs J. A. – Geomagnetism, Vol. 1 Academic Press - 1987
- [4] Jankowski. J. and Sucksdorff. C. – Guide for Magnetic Measurements and Observatory Practice IAGA – 235 pags. Warsaw -1996.
- [5] Ness Norman F. – Magnetometers for Space Research, Pub. NASA Goddard Space Flight Center – 1980.
- [6] Wienert, K.A. – Notes on Geomagnetic Observatory and Survey Practice, UNESCO, Paris – 1970.
- [7] 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 – Publs. Inst. Geophys. Pol. Acad. Sc. C-99 (398), 2007.
- [8] INMETRO – Norma NIT-DICLA-012, revisão 11, Relação Padronizada de Serviços de Calibração Acreditados, Rio de Janeiro – fev/2009.
- [9] INMETRO – Portaria nº 029 de 1995 Vocabulário Internacional de Termos Fundamentais e Gerais de Metrologia, Rio de Janeiro – 2007.
- [10] Crowell B. – Simple Nature – Fullerton, Califórnia - 2009
- [11] INMETRO – Sistema internacional de unidades – Rio de Janeiro – 2007 (Tradução da 7ª edição do original francês “Le Système International d’Unités”, elaborado pelo BIPM)
- [12] INMETRO – Unidades Legais de Medida - <http://www.inmetro.gov.br/consumidor/unidlegaismed.asp>