



Antonio Fernando Maciel de Mendonça

**Demanda por Calibração
de Instrumentos de Medição
de Grandezas Magnéticas no Brasil**

Dissertação de Mestrado

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Metrologia (Área de concentração: Metrologia para Qualidade e Inovação) da PUC-Rio.

Orientador: Prof^a. Elisabeth Costa Monteiro, Dra.
Co-Orientador: Prof Carlos Roberto Hall Barbosa, Dr.

Rio de Janeiro

Abril de 2013



Antonio Fernando Maciel de Mendonça

**Demanda por Calibração
de Instrumentos de Medição
de Grandezas Magnéticas no Brasil**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Metrologia (Área de concentração: Metrologia para Qualidade e Inovação) da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

Prof^a. Elisabeth Costa Monteiro

Orientadora

Programa de Pós-Graduação em Metrologia (PósMQI)
Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio)

Prof. Carlos Roberto Hall Barbosa

Co-orientador

Programa de Pós-Graduação em Metrologia (PósMQI)
Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio)

Prof. Maurício Nogueira Frota

Programa de Pós-Graduação em Metrologia (PósMQI)
Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio)

Prof. Fabrício Casarejos Lopes Luiz

Programa de Pós-Graduação em Metrologia (PósMQI)
Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio)

Prof. Jose Eugenio Leal

Coordenador Setorial de Pós-Graduação
do Centro Técnico Científico – PUC-Rio

Rio de Janeiro, 25 de abril de 2013.

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização da universidade, do autor e do orientador.

Antonio Fernando Maciel de Mendonça

Pós-Graduado pela Universidade Federal Fluminense - RJ (UFF) em Engenharia Mecânica de Construções e Montagens Industriais (área petroquímica), especialização, no Programa PROMINP da Petrobrás, em 2009-2010. Graduado em Engenharia Elétrica-Eletrônica, pelas Faculdades Reunidas Nuno Lisbôa (FRNL) - RJ, em 1989. Atuou em Engenharia de Controle, Automação Industrial e Controle de Processos, para indústrias de siderurgia, cimento e petróleo.

Ficha Catalográfica

Mendonça, Antonio Fernando Maciel de

Demanda por calibração de instrumentos de medição de grandezas magnéticas no Brasil / Antonio Fernando Maciel de Mendonça ; orientador: Elisabeth Costa Monteiro ; co-orientador: Carlos Roberto Hall Barbosa. – 2013.

106 f. ; 30 cm

Dissertação (mestrado)–Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Programa de Pós-Graduação em Metrologia (Área de concentração: Metrologia para a Qualidade e Inovação), 2013.

Inclui bibliografia

1. Metrologia – Teses. 2. Grandezas magnéticas. 3. Rastreabilidade metrológica. 4. Calibração. I. Monteiro, Elisabeth Costa. II. Barbosa, Carlos Roberto Hall. III. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Programa de Pós-Graduação em Metrologia (Área de concentração: Metrologia para a Qualidade e Inovação). IV. Título.

CDD: 389.1

Dedico este trabalho aos meus pais, do céu e no céu,
pelo anseio e estímulo da formação acadêmica,
incentivando pela paciência e fortaleza,
cada etapa deste caminho.

Agradecimentos

À Deus, por dirigir, iluminar e guiar meus pensamentos e passos, cedendo-me seus dons de inteligência, ciência e sabedoria, principalmente, entre outros, a fim de que a comunhão de Amor seja manifestada por atos e fatos;

À N. Senhora das Graças, da Paz e Auxiliadora pela materna intercessão no céu e amorosa presença cotidiana;

Aos orientadores, professora Elisabeth Costa Monteiro e professor Carlos Roberto Hall Barbosa, por acreditarem no desenvolvimento deste trabalho de dissertação, incentivando o crescimento do potencial humano;

À PUC-Rio, por acreditar e incentivar a pesquisa científica como instrumento de crescimento social e humano;

À CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal de Ensino Superior), pelos incentivos financeiros concedidos, necessários, sem os quais este trabalho não seria possível de ser realizado;

Aos anjos e todos os Santos do céu, que intercederam em meu favor, durante os anos de instrução e maturidade na Fé, em especial a São João Bosco, patrono dos alunos salesianos e santo Antonio de Pádua, inspirador de meu nome.

À Igreja Católica, por ensinar e ministrar a fonte da vida, todos os dias, pelos sacramentos da confissão e eucaristia, presentes em todas as paróquias, especialmente na Paróquia do Sagrado Coração de Jesus, instalada no Campus da PUC-Rio;

Ao padre Monsenhor José Geraldo da Silva Pinto Souza, por ser instrumento eficaz de Deus, pelas palavras de indicação do caminho a ser seguido, num momento de minha vida;

Aos meus pais, Antonio Elias e Analéia, por apoiarem e sustentarem a educação escolar ao longo de vários anos de estudos e pela tolerância nos momentos complexos deste difícil caminho;

Ao coordenador do PósMQI, professor Maurício Nogueira Frota, por propiciar um ambiente científico multidisciplinar e de multinacionalidades, enriquecendo a cultura dos alunos mestrando;

Ao pesquisador Eduardo Costa da Silva, por apresentar as idéias referentes ao tema desta dissertação, mesmo que inconscientemente;

Aos professores do PósMQI, pelas instruções e avaliações dedicadas;

À equipe de secretaria do PósMQI, nas pessoas da Márcia Ribeiro, Paula Guimarães e Jaime Ticoná, pela tolerância e respeito dedicados à instituição e aos alunos mestrando;

À todos os amigos e colegas, conhecidos durante o curso, especialmente àqueles que se tornaram amigos, pelo incentivo;

Resumo

Mendonça, Antonio Fernando Maciel. Monteiro, Elisabeth Costa (orientadora). Barbosa, Carlos Roberto Hall (co-orientador). **Demanda por Calibração de Instrumentos de Medição de Grandezas Magnéticas no Brasil**. Rio de Janeiro, 2013. 106p. Dissertação de Mestrado - Programa de Pós-Graduação em Metrologia (Área de concentração: Metrologia para Qualidade e Inovação), Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

A confiabilidade dos resultados das medições é garantida por meio da rastreabilidade às unidades do Sistema Internacional de Unidades (SI). A cadeia de rastreabilidade dos padrões metrológicos dos diversos laboratórios de cada país é implantada, mantida e referenciada aos padrões internacionais pelos Institutos Nacionais de Metrologia (INM). No Brasil, apesar de uma demanda crescente originária de diversos setores (regulatório, industrial, serviços, etc.), a rastreabilidade de grandezas magnéticas não foi implantada. No presente trabalho é realizado levantamento da demanda nacional por rastreabilidade metrológica de grandezas magnéticas e caracterizadas as competências, iniciativas e infraestrutura nacionais já disponíveis. As iniciativas para realização das unidades SI de grandezas magnéticas já em implantação no INM apresentam a abrangência necessária ao atendimento das demandas regulatórias recentemente estabelecidas no país, mas não são suficientes para atender às faixas de intensidade e de frequência de densidade de fluxo magnético correspondentes às demandas identificadas nos setores da indústria e de pesquisa e desenvolvimento.

Palavras-chave

Metrologia; Grandezas Magnéticas; Rastreabilidade Metrológica; Calibração.

Abstract

Mendonça, Antonio Fernando Maciel. Monteiro, Elisabeth Costa (Advisor). Barbosa, Carlos Roberto Hall (co-Advisor). **Brazilian demand for calibration of measuring instruments for magnetic quantities.** Rio de Janeiro, 2013. 106p. MSc. Dissertation, Programa de Pós-Graduação em Metrologia (Área de concentração: Metrologia para Qualidade e Inovação), Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

The traceability to the International System of Units (SI) guarantees the reliability of measurement results. For each country, the metrological traceability chain to an international measurement standard is supported by the National Metrological Institute (NMI). Despite a growing demand from various sectors (regulatory, industrial, services, etc.), the traceability of magnetic quantities has not been implemented in Brazil. In the present work, the national demand for metrological traceability of magnetic measurement results is investigated; and the potential infrastructure and competencies already available are characterized. The measurement infrastructure presently being built for realization of the SI unit of magnetic flux density enables compliance to the regulatory requirements recently established, but it is not sufficient for the range of magnitudes and frequencies of this quantity that have been identified in other sectors, like Industry and Research & Development .

Keywords

Metrology; Magnetics quantity; Metrological traceability; Calibration.

Sumário

1 Introdução	16
2 Magnetismo	18
2.1. Princípios do Magnetismo	19
2.2. Grandezas Magnéticas	21
2.3. Materiais Magnéticos	24
2.4. Magnetômetros	24
2.4.1. Magnetômetro de Bobina de Indução	26
2.4.2. Magnetômetro <i>Fluxgate</i>	27
2.4.3. Magnetômetro de Efeito <i>Hall</i>	29
2.4.4. Magnetômetro SQUID	31
2.4.5. Magnetômetro Magnetoresistivo (MR)	34
2.4.6. Magnetômetro Magnetoresistivo Gigante (GMR)	35
2.4.7. Magnetômetro Magnetoimpedância Gigante (GMI)	36
3 Confiabilidade Metrológica de Grandezas Magnéticas	38
3.1. Organismos Internacionais	39
3.1.1. BIPM (<i>Bureau International des Poids et Mesures</i>)	39
3.1.2. OIML (<i>International Organization of Legal Metrology</i>)	47
3.1.3. ILAC (<i>International Laboratory Accreditation Cooperation</i>)	47
3.1.4. WHO (<i>World Health Organization</i>)	50
3.1.5. ICNIRP (<i>International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection</i>)	51
3.1.6. ISO (<i>International Organization for Standardization</i>)	52
3.1.7. IEC (<i>International Electrotechnical Commission</i>)	54
3.2. Organismos Nacionais	56
3.2.1. INMETRO (Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia)	56
3.2.2. ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica)	64
3.2.3. ANVISA (Agência Nacional de Vigilância Sanitária)	66
3.2.4. ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas)	67
3.3. Rastreabilidade de grandeza magnética no mundo	70
3.4. Infraestrutura potencial disponível para rastreabilidade de grandeza magnética no Brasil	73

3.4.1. Grandezas Magnéticas no INMETRO	74
3.4.2. Grandezas Magnéticas em laboratórios com infraestrutura potencial	78
4 Demanda brasileira por calibração em metrologia de grandezas magnéticas	85
4.1. Demanda do Setor Regulado	85
4.2. Demanda do Setor Industrial e Serviços	93
4.3. Demanda do Setor de Pesquisa e Desenvolvimento	95
5 Discussão e Conclusão.	98
Referências Bibliográficas	100

Lista de figuras

Figura 1- Magnetismo atômico. (a) Momento magnético global nulo. (b) Momento magnético global não nulo (Leite, 2010).	20
Figura 2- Alinhamento de domínios magnéticos mediante aplicação de um campo magnético externo (Leite, 2010).	21
Figura 3- Antena em anel com núcleo de ar (Crasto, 2003).	27
Figura 4- Antena solenoidal com núcleo ferromagnético (Crasto, 2003).	27
Figura 5 – Variações do fluxo magnético: (a) Núcleo com alta permeabilidade (b) Núcleo com baixa permeabilidade (Kabata e Vitorello, 2007).	28
Figura 6- Representação de um sensor fluxgate.	29
Figura 7- Ilustração do Efeito Hall.	30
Figura 8- Junção Josephson (Crasto, 2003).	32
Figura 9- Desenhos esquemáticos (adaptado) de tipos de gradiômetros comumente utilizados: (a) Axial de 1ª Ordem (b) Axial de 2ª Ordem (c) Planar de 1ª ordem. (Barbosa, 1999).	33
Figura 10- Estrutura da rastreabilidade metrológica com a disposição dos organismos participantes da cadeia de rastreabilidade metrológica e disseminação das unidades do SI.	39
Figura 11- Esquema da Organização Internacional da Metrologia.	43
Figura 12 - Esquema de realização das comparações-chave.	46
Figura 13- Esquema básico de calibração de campo magnético (França, 2011).	76
Figura 14 - Configuração Esquemática de um padrão de campo magnético (Martin, 2011).	79

Lista de tabelas

Tabela 1 - Grandezas magnéticas e suas unidades.	23
Tabela 2- Geração e medição do campo magnético em função da faixa de intensidades.	78
Tabela 3 - Organização cronológica de regulamentação dos limites de exposição a RNI.	92

Lista de quadros

Quadro 1- Comitês técnicos e alguns subcomitês da IEC mais diretamente relacionados a grandezas magnéticas.	54
Quadro 2– Grandezas magnéticas e respectivas faixas de intensidade e frequência, que compõem a Capacidade de Medição e Calibração (CMC) declarada no KCDB do BIPM por cada um dos países, apresentados em ordem decrescente de número de grandezas que realizam.	72
Quadro 3 – Laboratórios Divisão de Metrologia Elétrica - Diele	74
Quadro 4– Faixas de intensidade e frequência de grandezas magnéticas para cuja medição os laboratórios exemplificados apresentam infraestrutura desenvolvida ou em desenvolvimento.	84
Quadro 5 - Quadro de exemplos de demandas por rastreabilidade de grandezas magnéticas para diferentes faixas de frequência, associadas aos setores regulatório, industrial e de P&D no Brasil.	97

Abreviaturas e siglas

ASTM	American Society for Testing Materials
BIPM	Bureau Internacional de Pesos e Medidas
CBAC	Comitê Brasileiro de Avaliação da Conformidade
CBM	Comitê Brasileiro de Metrologia
CC	Comitê Consultivo
Cgcre	Coordenação Geral de Acreditação
CGPM	Conferência Geral de Pesos e Medidas
CIPM	Comitê Internacional de Pesos e Medidas
CMC	Calibration and Measurement Capabilities
CONMETRO	Conselho Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial
COOMET	Cooperation in Metrology among the Central European Countries
CPEM	Conference on Precision Electromagnetic Measurements
Dimci	Diretoria de Metrologia Científica e Industrial
DSH/ON	Divisão do Serviço da Hora do Observatório Nacional
EA	European co-operation for Accreditation
EUROMET	European Metrology Collaboration
FPNQ	Fundação para o Prêmio Nacional da Qualidade
IAAC	Inter American Accreditation Cooperation
IAEA	International Atomic Energy Agency
IEC	International Electrotechnical Commission
ILAC	International Laboratory Accreditation Cooperation
INM	Institut National de Métrologie
Inmetro	Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial
IRD	Instituto de Radioproteção e Dosimetria
IRMM	Institute for Reference Materials and Measurements
ISO	International Organization for Standardization
JCRB	Joint Committee of the Regional Metrology Organizations and the BIPM
LGC	Laboratory of the Government Chemist
LNE	Laboratoire National D'essais
LNHB	Laboratoire National Henri Becquerel
MRA	Mutual Recognition Arrangement
NIST	National Institute of Standards and Technology
NMI	National Metrology Institute
PTB	Physikalisch-Technische Bundesanstalt
OIML	Organização Internacional de Metrologia Legal
NPL	National Physical Laboratory
SBM	Sociedade Brasileira de Metrologia
SENAI	Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial
RMO	Regional Metrology Organization
SIM	Sistema Interamericano de Metrologia
SINMETRO	Sistema Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial
SI	Sistema Internacional de Unidades
VIM	Vocabulário Internacional de Termos Fundamentais e Gerais de Metrologia

Deus,
Nosso Criador e Senhor,
é grande e poderoso,
e Sua sabedoria é sem medida.(Sl 147,5)
Ele envia suas ordens à Terra, e sua palavra corre velozmente.(Sl 147,15)
Deus ...tudo dispõe com medida, número e peso.(Sb 11,20)
(Ordena) Tenham balanças, pesos e medidas exatas.(Lv 19,36)
Observem todos os Meus (Deus) estatutos e normas, praticando-os.(Lv 19,37)
Sagrada Escritura, *Bíblia Católica*

1

Introdução

O progresso do magnetismo aconteceu após Oersted descobrir (1820) que um campo magnético pode ser gerado por uma corrente elétrica (Martins, 1986). William Sturgeon (1783-1850) utilizou com sucesso este conhecimento para produzir o primeiro eletroímã em 1823 (Serway e Jewett, 2009; Bassalo, 2007).

Embora muitos cientistas famosos (Gauss, Maxwell e Faraday) abordassem o fenômeno do magnetismo do lado teórico e de forma brilhante, foram principalmente os físicos do século XX que deram uma descrição adequada dos materiais magnéticos e lançaram as bases das tecnologias exploradoras deste fenômeno natural. Curie e Weiss conseguiram esclarecer o fenômeno da magnetização espontânea e sua dependência com a temperatura. A existência de domínios magnéticos foi postulado por Weiss para explicar como um material pode ser magnetizado e, no entanto, tem uma magnetização líquida igual a zero. As propriedades das paredes de tais domínios magnéticos foram estudados detalhadamente por Bloch, Landau e Néel (Bassalo, 2007).

Os materiais magnéticos podem ser considerados como sendo indispensáveis na tecnologia moderna. São componentes de muitos dispositivos eletromecânicos e eletrônicos. São também utilizados como componentes em uma grande variedade de equipamentos industriais, médicos e de tecnologia da informação. As principais aplicações envolvem a conversão mecânica em energia elétrica e vice-versa.

O tema da medição de grandezas magnéticas se tornou de suma importância nos dias atuais, uma vez que materiais magnéticos são amplamente aplicáveis tecnologicamente em aparelhos celulares e partículas nanomagnéticas, por exemplo. Porém, este tema é de natureza altamente interdisciplinar, combinando áreas dos cristais, química, metalurgia e física do estado sólido, eletrônica e telecomunicações.

A Metrologia busca garantir a confiança do cliente, atribuindo qualidade ao produto, atender às necessidades da sociedade em que está inserida, reduzir o

consumo e o desperdício de matéria-prima (pela calibração dos equipamentos), reduzir a possibilidade de rejeição do produto e das empresas fornecedoras e aumentar a produtividade.

A calibração, que estabelece a relação entre os valores e as incertezas de medição fornecidos por padrões e as indicações correspondentes com as incertezas associadas, informa sobre a adequação das propriedades metrológicas do instrumento, validando os resultados obtidos, sendo fundamental, portanto, à qualidade de um processo produtivo.

A confiabilidade dos resultados das medições é garantida por meio da rastreabilidade às unidades do Sistema Internacional de Unidades (SI). A cadeia de rastreabilidade dos padrões metrológicos dos diversos laboratórios de cada país deve ser implantada, mantida e referenciada aos padrões internacionais pelos Institutos Nacionais de Metrologia (INM).

No Brasil, apesar de uma demanda crescente originária de diversos setores, a rastreabilidade de grandezas magnéticas não foi implantada até o presente momento.

Nesta dissertação é realizado um levantamento da demanda nacional por rastreabilidade metrológica de grandezas magnéticas e caracterizadas as competências, iniciativas e infraestrutura nacionais já disponíveis.

Assim, o capítulo 2 visa conceituar as principais grandezas magnéticas em estudo, sendo tratadas questões relativas a algumas características básicas do magnetismo. Mostram-se também os diversos tipos de equipamentos para medição dessas grandezas, os chamados magnetômetros. No capítulo 3 é apresentada a estrutura de rastreabilidade metrológica, juntamente com os organismos que garantem esta confiabilidade para as grandezas magnéticas, particularmente. No capítulo 4, são apresentados os resultados da avaliação da demanda nacional por rastreabilidade de grandezas magnéticas, finalizada no capítulo 5, com a comparação da demanda identificada e a caracterização da infraestrutura potencial já existente no país.

2 Magnetismo

Em física e demais ciências naturais, magnetismo é a denominação associada ao fenômeno ou conjunto de fenômenos naturais relacionados à atração ou repulsão observada entre determinados materiais - particularmente intensas aos nossos sentidos nos materiais ditos ímãs ou em materiais ditos (ferro)magnéticos - e ainda, em perspectiva moderna, entre tais materiais e condutores de correntes elétricas - especificamente entre tais materiais e portadores de cargas elétricas em movimento - ou ainda a uma das parcelas da interação total (Força de Lorentz) que estabelecem entre si os portadores de carga elétrica quando em movimento - explicitamente a parcela que mostra-se nula na ausência de movimento de um dos dois, ou de ambos, no referencial adotado. (Halliday, Resnick e Krane, 2009).

O nome magnetismo resultou do nome de Magnésia, cidade da Ásia Menor (Turquia), onde existe um minério chamado "magnetita" (pedra-ímã ou pedra magnética) que possui a propriedade de atrair objetos ferrosos à distância (sem contato físico). Tal propriedade é muito utilizada em bússolas, já que as agulhas magnéticas se orientam no sentido do eixo terrestre Norte-Sul magnético, próximo do eixo terrestre Norte-Sul geográfico.

Civilizações antigas conheciam a magnetita, mineral que atrai o ferro. As observações de fenômenos magnéticos naturais são relatadas com frequência entre as realizadas pelos gregos. No século VI a.C., Tales de Mileto, em uma de suas viagens ao continente (na época província da Grécia), constatou que pequenas pedras tinham a capacidade de atrair tanto objetos de ferro quanto a de atraírem-se. No século VI os chineses já dominavam a tecnologia para a fabricação de ímãs. Em 1269, Pierre de Maricourt descreveu com detalhes a maioria das experiências típicas associadas ao fenômeno, sendo as nomenclaturas "polo norte" e "polo sul" associadas aos polos de um ímã e a lei dos "opostos se atraem, iguais se repelem" diretamente associada aos mesmos. Também observou que em um ímã, mesmo quando oriundo de fratura de outro, encontram-se presentes sempre dois polos opostos. Até o início do século XVII tais fenômenos não haviam sido

estudados de forma sistemática, o que foi feito pela primeira vez por William Gilbert, autor de *De Magnete* (1600; Sobre os ímãs), que enunciou suas propriedades fundamentais e descobriu o campo magnético terrestre utilizando bússolas rudimentares.

No final do século XVIII, Charles-Augustin de Coulomb elaborou, para a magnetostática, leis semelhantes às que regiam os movimentos de atração e repulsão entre cargas elétricas em repouso. Assim, postulou que uma força magnética era diretamente proporcional a grandezas que denominou unidades de magnetização, ou intensidades de polo magnético, e inversamente proporcional ao quadrado da distância que separa os objetos imantados.

No século XIX, em decorrência dos experimentos realizados pelo dinamarquês Hans Christian Ørsted e pelo britânico Michael Faraday, e das expressões matemáticas do britânico James Clerk Maxwell, unificaram-se as leis da eletricidade e do magnetismo, sendo o fenômeno unificado chamado de eletromagnetismo. O eletromagnetismo encerra em si todos os fenômenos elétricos, todos os magnéticos, e mais os fenômenos associados à interrelação explícita ou implícita entre os dois primeiros. O magnetismo passou a ser considerado também como uma manifestação das cargas elétricas em movimento (Halliday, Resnick e Krane, 2009).

2.1.

Princípios do Magnetismo

Todas as substâncias sólidas, líquidas ou gasosas apresentam alguma característica magnética, em todas as temperaturas. O magnetismo é uma propriedade básica de todos os materiais (Sinnecker, 2000).

As propriedades magnéticas dos materiais têm sua origem no movimento dos elétrons, nos átomos. Do ponto de vista clássico, são de dois tipos os movimentos, associados ao elétron, que podem explicar a origem dos momentos magnéticos: o momento angular orbital do elétron e o momento angular do *spin* do elétron nos íons e átomos que compõem o material (Araujo, 2009).

Sabe-se que no máximo dois elétrons podem ocupar o mesmo nível energético de um átomo isolado. Esses dois elétrons têm *spins* opostos e, como cada elétron, quando girando em torno de si mesmo, é equivalente a uma carga se

movendo, cada elétron atua como um magneto extremamente pequeno, com os correspondentes polos norte e sul. Em geral, o número de elétrons que têm um certo *spin* é igual ao número de elétrons que têm o *spin* oposto e o efeito global é uma estrutura magneticamente insensível. Entretanto, em um elemento com subníveis internos não totalmente preenchidos, o número de elétrons com *spin* em um sentido é diferente do número de elétrons com *spin* contrário. Dessa forma esses elementos têm um momento magnético global não nulo (Figura 1) (Leite, 2010).

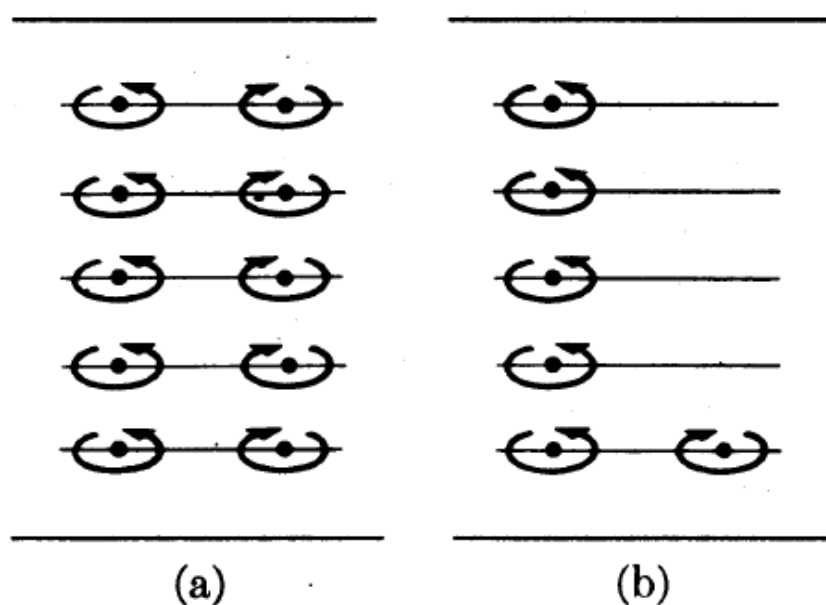


Figura 1- Magnetismo atômico. (a) Momento magnético global nulo. (b) Momento magnético global não nulo (Leite, 2010).

Um material magnético é subdividido em domínios magnéticos com diferentes orientações de magnetização. Dentro de um domínio os momentos magnéticos apresentam um alinhamento unidirecional. Em um material magnético desmagnetizado os domínios estão orientados ao acaso, de forma que seus efeitos se cancelam. Quando um campo magnético externo é aplicado ao material, os domínios tendem a se alinhar com o campo, magnetizando o material, uma vez que o vetor soma dos momentos magnéticos individuais não é mais nulo. Este alinhamento dos domínios magnéticos pode permanecer ou não após a retirada do campo externo (Figura 2).

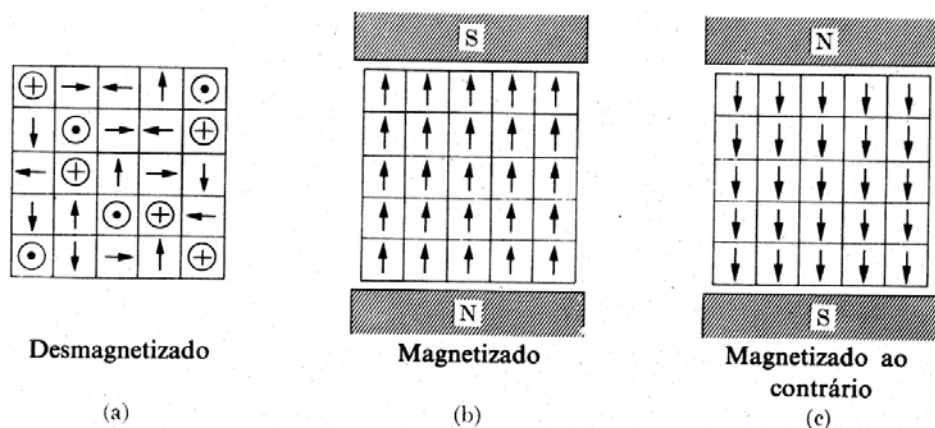


Figura 2– Alinhamento de domínios magnéticos mediante aplicação de um campo magnético externo (Leite, 2010).

2.2. Grandezas Magnéticas

Os momentos magnéticos de um material tendem a se alinhar quando o material é colocado sob a influência de um campo magnético (H) externo, situação em que o material é dito magnetizado. A intensidade magnética de um material magnetizado, chamada de magnetização (M), depende da densidade do momento distribuído pelo volume e é definida pela razão entre a soma de todos os momentos magnéticos elementares (m) e o volume total que eles ocupam (V) (Araujo, 2009).

$$M = \sum_i^n \frac{m_i}{V} \quad (2.1)$$

A magnetização é uma propriedade do material que pode surgir de fontes magnéticas internas ou ser induzida por um campo magnético externo. Assim como o campo magnético externo, a magnetização é uma grandeza vetorial (Crasto, 2003).

O fluxo magnético (ϕ) é definido como a quantidade de linhas de campo que atingem perpendicularmente uma dada superfície. As linhas de campo representam geometricamente um campo magnético e são linhas envoltórias imaginárias fechadas que nunca se cruzam.

A indução magnética ou densidade de fluxo magnético, indicada por B , é uma grandeza vetorial determinada pela relação entre o fluxo magnético (ϕ) e a

área de uma dada superfície perpendicular à direção do fluxo magnético (A). A direção da densidade de fluxo magnético é sempre tangente às linhas de campo magnético em qualquer ponto e o sentido é sempre o mesmo das linhas de campo. Assim:

$$B = \frac{\phi}{A} \quad (2.2)$$

O número de linhas de campo magnético que atravessam perpendicularmente uma dada superfície é proporcional ao módulo da densidade de fluxo magnético na região considerada. Assim, onde as linhas de campo estão muito próximas uma das outras, o valor da densidade de fluxo magnético é alto.

A equação (2.3) descreve a relação entre campo magnético, densidade de fluxo magnético e magnetização do material.

$$B = \mu_0 (H + M) \quad (2.3)$$

onde μ_0 é a permeabilidade magnética do vácuo, constante universal de valor $4\pi \times 10^{-7} \text{ H/m}$.

A resposta de um material a um campo aplicado pode ser representada por suas permeabilidade e susceptibilidade magnéticas. A permeabilidade magnética (μ) de um material expressa intrinsecamente sua capacidade de se mostrar mais ou menos suscetível à passagem de fluxo magnético e é definida por:

$$\mu = \frac{B}{H} \quad (2.4)$$

A relação entre a permeabilidade magnética (μ) de um dado material e a permeabilidade do vácuo (μ_0) é chamada de permeabilidade relativa e é definida por:

$$\mu_r = \frac{\mu}{\mu_0} \quad (2.5)$$

A susceptibilidade magnética (χ), por sua vez, expressa a resposta do material ao campo aplicado e é definida pela razão entre magnetização e campo aplicado.

$$\chi = \frac{M}{H} \quad (2.6)$$

A tabela 1 apresenta as grandezas magnéticas mais importantes e suas unidades.

Tabela 1 - Grandezas magnéticas e suas unidades.

Grandeza		Unidade		Conversão
Nome	Símbolo	SI	CGS	
<i>Fluxo Magnético</i>	ϕ	<i>weber</i> (Wb)	<i>maxwell</i> (Mx)	$1 \text{ Mx} = 10^{-8} \text{ Wb}$
<i>Densidade de Fluxo Magnético</i>	B	<i>tesla</i> (T)	<i>gauss</i> (G)	$1 \text{ G} = 10^{-4} \text{ T}$
<i>Campo Magnético</i>	H	<i>ampere por metro</i> (A/m)	<i>oersted</i> (Oe)	$1 \text{ Oe} = 1/4\pi \times 10^3 \text{ A/m}$
<i>Magnetização</i>	M	<i>ampere por metro</i> (A/m)	e.m.u.cm^{-3}	$1 \text{ e.m.u. cm}^{-3} = 1000 \text{ A/m}$
<i>Permeabilidade Magnética</i>	μ	<i>henry por metro</i> (H/m)	<i>adimensional</i>	-
<i>Susceptibilidade Magnética</i>	χ	<i>adimensional</i>	<i>adimensional</i>	-

2.3. Materiais Magnéticos

Os materiais magnéticos podem ser classificados pela forma como respondem a um campo magnético aplicado. A resposta do material a este campo pode ser representada por sua susceptibilidade magnética e permeabilidade relativa, podendo os materiais serem classificados em diamagnéticos, paramagnéticos, ferromagnéticos, ferrimagnéticos e antiferromagnéticos.

Os materiais diamagnéticos são os que apresentam valores reduzidos e negativos de susceptibilidade magnética χ , entre -10^{-6} e -10^{-5} , e permeabilidade relativa um pouco abaixo de 1 ($\mu_r < 1$) como o mercúrio, ouro, prata e cobre.

Já os materiais paramagnéticos são os que apresentam valores reduzidos e positivos de susceptibilidade magnética χ , entre 10^{-5} e 10^{-3} , e permeabilidade relativa um pouco acima de 1 ($\mu_r > 1$) como a platina, potássio, sódio, alumínio, cromo e manganês (Buschow e Boer, 2004).

Os materiais ferromagnéticos, ferrimagnéticos e antiferromagnéticos, por sua vez, apresentam alta susceptibilidade magnética χ e permeabilidade relativa muito maior que 1 ($\mu_r \gg 1$). Ferro, níquel, aço e cobalto e ligas destes materiais são exemplos de materiais ferromagnéticos.

2.4. Magnetômetros

A intensidade de campo magnético e outras grandezas magnéticas podem ser medidas usando diferentes técnicas. Cada técnica possui propriedades únicas que a torna mais adequada a determinadas aplicações. Estas aplicações podem variar desde a detecção da presença ou variação de campo magnético até a medição precisa das propriedades vetoriais e escalares dos campos (Crasto, 2003).

Os magnetômetros existentes exploram vários conceitos físicos, a maioria sendo baseada na conexão entre os fenômenos elétricos e magnéticos. Em geral, um magnetômetro é baseado em um tipo de sensor, que converte o campo magnético em um sinal elétrico (Araújo, 2009). Existem vários tipos de magnetômetros que são bem diferentes entre si nos aspectos de construção e custo. A escolha de um magnetômetro para uma determinada aplicação depende da resolução desejada, tamanho físico e preço.

Os magnetômetros podem ser classificados em escalares, que medem apenas o módulo do campo magnético, e vetoriais, que conseguem medir separadamente cada um das componentes do campo. Os transdutores magnéticos do tipo Bobina, *Fluxgate*, *SQUID*, Efeito *Hall*, Magnetoresistivo e Magnetoimpedância Gigante são magnetômetros vetoriais, enquanto os dispositivos baseados em Bombeamento Óptico e Precessão Nuclear são classificados como escalares.

A bobina de indução e o *fluxgate* são os mais utilizados entre os sensores vetoriais. Eles são robustos, seguros e relativamente de menor custo quando comparados a outros instrumentos de medição para campos magnéticos de baixa intensidade ($< 10^{-3}$ T).

Os magnetômetros que utilizam dispositivos supercondutores de interferência quântica (*Superconducting Quantum Interference Device – SQUID*) são os de maior sensibilidade entre todos os instrumentos de medição de campo magnético. Estes sensores operam em temperaturas próximas do zero absoluto e necessitam de um sistema de controle térmico especial, o que torna os magnetômetros *SQUIDs* menos robustos, menos confiáveis e de maior custo (Crasto, 2003).

Os dispositivos de efeito *Hall* são os mais antigos e comuns para medição vetorial de campos magnéticos extremamente altos, maiores que 1 T (Crasto, 2003), mas atualmente existem modelos que também permitem a medição de campos com magnitudes menores, na faixa de 10^{-5} T.

O magnetômetro de precessão nuclear (*nuclear precession magnetometer*) é o instrumento mais popular para medição escalar de intensidade de campo magnético. Sua principal aplicação está na exploração geológica e mapeamento aéreo de campo magnético. Este tipo de magnetômetro não pode ser utilizado em medições com rápida variação de campo, pois possui baixa taxa de amostragem, da ordem de 1 a 3 amostras por segundo (Crasto, 2003).

O magnetômetro de bombeamento ótico (*optically pumped magnetometer*) opera com alta taxa de amostragem e possui maior sensibilidade que o magnetômetro de precessão nuclear. No entanto é de custo mais elevado, menos robusto e tem menor confiabilidade (Crasto, 2003).

A seguir são detalhados os princípios de funcionamento destes dispositivos e suas aplicações.

2.4.1. Magnetômetro de Bobina de Indução

A bobina de indução é um dos mais simples dispositivos detectores de campo magnético existentes e o seu funcionamento está baseado na lei de Indução de *Faraday* que prevê a indução de uma força eletromotriz (ε) nos terminais de uma bobina, se houver variação temporal do fluxo magnético (ϕ) que a atravessa.

$$\varepsilon(t) = -\frac{d\phi(t)}{dt} \quad (3.1)$$

As duas configurações mais comuns de bobina de indução para medição de intensidade de campo magnético são antena em anel com núcleo de ar e antena em haste. O princípio de operação é o mesmo para ambas as configurações.

2.4.1.1. Antena em Anel com Núcleo de Ar

A antena em anel com núcleo de ar consiste em um anel, circular ou retangular, contendo uma ou mais voltas de fio sem um núcleo magnético (Figura 3). O diâmetro do anel é normalmente muito maior que as dimensões da seção reta do enrolamento. A sensibilidade de uma antena de anel circular com enrolamento interno de diâmetro d , espessura de enrolamento t , número de voltas n e seção reta retangular é aproximadamente (Crasto, 2003):

$$K = \mu_o n \pi \frac{d^2}{4} \left[1 + 2 \left(\frac{t}{d} \right) + \frac{3}{4} \left(\frac{t}{d} \right)^2 \right] \quad (3.2)$$

Este tipo de instrumento é utilizado na medição de campos magnéticos com frequências na faixa de 100Hz até alguns megahertz. Um ponto negativo é o tamanho que o dispositivo deverá ter para aplicações em que seja necessária alta sensibilidade em baixas frequências (Crasto, 2003).

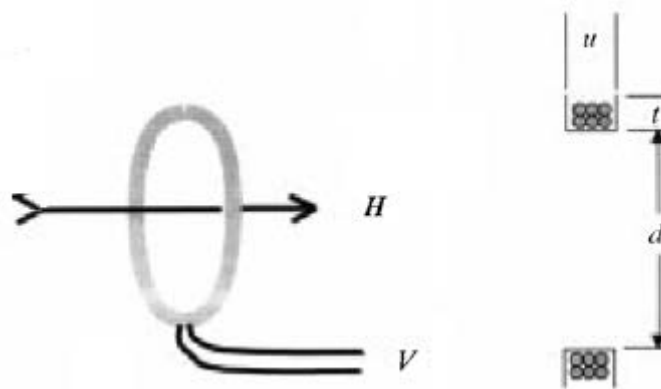


Figura 3- Antena em anel com núcleo de ar (Crasto, 2003).

2.4.1.2.

Antena em Haste

A antena em haste é menor que uma antena em anel com núcleo de ar de mesma sensibilidade, e pode ser projetada para operar em baixas frequências. No entanto, sua resposta à intensidade de campo magnético pode ser não linear, além do núcleo adicionar ruído ao sinal.

A Figura 4 é uma configuração típica de antena em haste e consiste basicamente em um solenoide com um núcleo magnético. O núcleo pode apresentar seção reta circular ou retangular e é de material de alta permeabilidade magnética relativa. O enrolamento pode ser montado diretamente sobre o núcleo ou em uma fôrma, pela qual o núcleo é posteriormente inserido. Um isolante pode ser posto entre as camadas do enrolamento para reduzir a capacitância distribuída (Crasto, 2003).

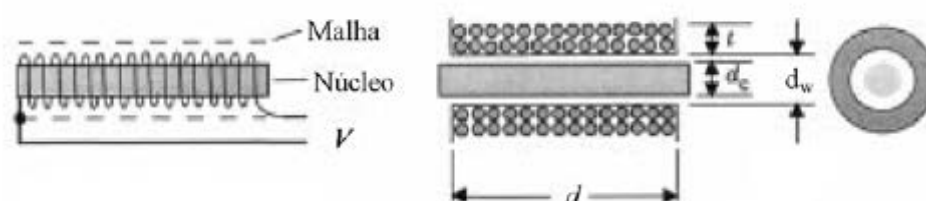


Figura 4- Antena solenoidal com núcleo ferromagnético (Crasto, 2003).

2.4.2.

Magnetômetro *Fluxgate*

Magnetômetros de núcleo saturado ou *fluxgates* são amplamente usados em medições de campo magnético de baixa intensidade, principalmente em

aplicações associadas a observações geomagnéticas, pesquisas espaciais, prospecção mineral, sistemas de navegação de aviões e mísseis e detecção de veículos e submarinos, por causa do baixo consumo de energia, baixo nível de ruído, ampla faixa dinâmica e grande sensibilidade (Kabata et al., 2004).

Em termos de sensibilidade para campos de baixa frequência, os fluxgates e o GMI perdem apenas para os magnetômetros *SQUIDS* mas, diferentemente desses, não necessitam de baixas temperaturas para operar. São resistentes, confiáveis, fisicamente pequenos e capazes de medir campos estáticos ou alternados com frequências de até alguns kilohertz, com resolução de 10^{-10} T a 10^{-4} T. Sua origem data do final da década de 1930, tendo sido largamente usado durante o período da 2ª Guerra Mundial na detecção de submarinos (Silva, 2010).

O princípio geral de funcionamento deste magnetômetro é uma aplicação imediata da Lei de Indução de *Faraday*, assim como a dos magnetômetros do tipo bobina de indução. No entanto, as variações no fluxo magnético são provocadas por meio de alterações na permeabilidade magnética do seu núcleo ferromagnético.

Os magnetômetros *fluxgates* consistem em um núcleo de material magnético envolvido por uma bobina e têm seu funcionamento baseado nas propriedades de saturação de ligas magnéticas moles, que possibilitam o chaveamento do fluxo magnético, devido à variação da permeabilidade magnética do material usado como núcleo. Se o núcleo tiver alta permeabilidade, o campo externo será "canalizado" para dentro dele e o fluxo que atravessa a espira será muito grande (Figura 5a). Se a permeabilidade do meio diminuir repentinamente, o campo deixará de se concentrar dentro da espira e o fluxo devido ao campo externo diminuirá (Figura 5b). Nesse instante, a variação do fluxo provoca uma tensão induzida proporcional ao campo externo que se quer medir (Kabata e Vitorello, 2007).

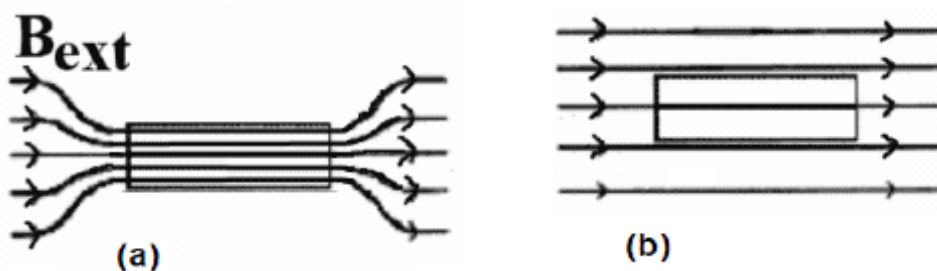


Figura 5 – Variações do fluxo magnético: (a) Núcleo com alta permeabilidade (b) Núcleo com baixa permeabilidade (Kabata e Vitorello, 2007).

O controle da permeabilidade do material é possível por meio de um campo magnético adicional, denominado campo magnético de excitação, gerado a partir de um enrolamento chamado enrolamento de excitação (enrolamento primário). Quando não há corrente passando no primário, a permeabilidade do núcleo é a própria permeabilidade do material, que pode atingir valores altíssimos para materiais ferromagnéticos. Se uma corrente suficientemente alta é aplicada no enrolamento primário, de forma a gerar um campo magnético H maior que o campo magnético de saturação do material H_s , então a permeabilidade do núcleo decresce para valores próximos ao da permeabilidade do vácuo, como se o núcleo tivesse desaparecido do interior da bobina.

Envolvendo todo o conjunto (bobina de excitação e núcleo), existe um enrolamento denominado bobina detectora (enrolamento secundário). Ela é responsável pela detecção da variação do fluxo magnético. Cada vez que o núcleo passa da condição de saturado para não saturado, ou vice-versa, as linhas de campo magnético que cortam as espiras da bobina detectora induzem pulsos de tensão com amplitude proporcional à magnitude do campo externo e com fase indicando a direção do campo. Desta forma, dois pulsos são gerados a cada ciclo, e são amostrados com um sinal de frequência duas vezes maior que a frequência de excitação (Kabata e Vitorello, 2007).

A Figura 6 apresenta a configuração esquemática de um sensor *fluxgate*.

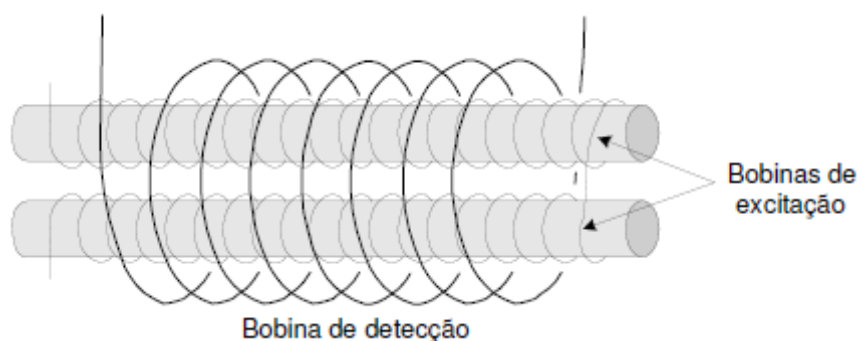


Figura 6— Representação de um sensor fluxgate.

2.4.3. Magnetômetro de Efeito *Hall*

O magnetômetro de efeito *Hall* é baseado no fenômeno descoberto em 1879 por Edwin H. Hall, enquanto trabalhava na sua tese de doutorado em Física na *Johns Hopkins University* em Baltimore, Estados Unidos. Aplicando um campo

magnético perpendicular à direção da corrente elétrica em um condutor elétrico, E. H. Hall verificou que aparecia uma diferença de potencial elétrico nas laterais do condutor (Araujo, 2009).

O efeito *Hall* está relacionado com a força de Lorentz, que define a interação de uma carga q em movimento em um campo magnético B . Quando um condutor é exposto a uma indução magnética transversal, os elétrons em movimento são repelidos para uma das bordas. A concentração de elétrons nessa borda causa um campo elétrico, que por sua vez forma uma força eletrostática contrária à força resultante do campo magnético, a chamada força de Lorentz. O campo elétrico transversal ao condutor causa uma diferença de potencial entre as bordas do condutor, conhecida como tensão Hall (Silva, 2010). A Figura 7 ilustra o efeito *Hall*.

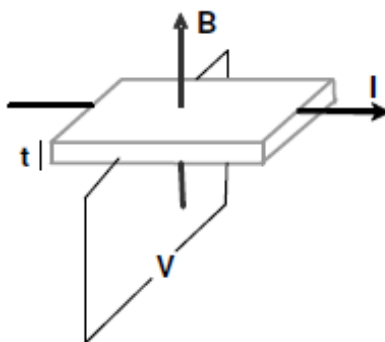


Figura 7– Ilustração do Efeito Hall.

A diferença de potencial V induzida ao longo da largura do condutor, a chamada tensão *Hall*, é dada por

$$V = \frac{R_H IB}{t} \quad (3.4)$$

onde t é a espessura do material, I é a corrente de excitação que flui sobre o dispositivo, B é a densidade de fluxo magnético ortogonal à superfície do dispositivo e R_H é o coeficiente *Hall*, o qual é constante para um dado material a uma temperatura fixa, sendo expresso em m^3/C . O coeficiente *Hall* está diretamente relacionado com a mobilidade dos elétrons no material (μ) e a condutividade (σ), sendo definido pela equação:

$$R_H = \frac{\mu}{\sigma} \quad (3.5)$$

Os materiais mais usados na fabricação de dispositivos de efeito Hall são materiais semicondutores, como arsenieto de gálio (GaAs), antimonieto de índio (InSb), e arsenieto de índio (InAs). Este último é o material favorito para fabricação de dispositivos de efeito Hall, devido ao baixo coeficiente de sensibilidade de temperatura ($< 0,1\%/^{\circ}\text{C}$), baixa resistência e boa sensibilidade relativa.

A corrente de controle típica para dispositivos de efeito Hall é 100 mA, mas alguns dispositivos podem operar com correntes inferiores a 1 mA. A faixa de sensibilidade é de 10 mV/T a 1,4 V/T e a faixa de linearidade de 0,25% a 2% da faixa de campo estimado. As impedâncias de entrada e de saída são tipicamente na faixa entre 1 Ω a 3 Ω . O elemento sensor normalmente tem dimensões da ordem de 10 mm² com 0,5 mm de espessura (Crasto, 2003).

2.4.4. Magnetômetro SQUID

Magnetômetros que têm como elemento sensor o *SQUID* (*Superconducting Quantum Interference Device*) transformam variações extremamente pequenas de campo magnético em uma tensão elétrica e são os de maior sensibilidade dentre todos os instrumentos de medição de campo magnético, com sensibilidades da ordem de 10^{-15}T , operando na faixa de frequências de 0 kHz a 2 kHz. O princípio de operação do *SQUID* é baseado em propriedades de supercondutividade, no efeito Josephson e na quantização do fluxo magnético (conservação do fluxo magnético) em um circuito supercondutor fechado.

Experimentalmente, o efeito *Josephson* é caracterizado por uma corrente crítica, abaixo da qual uma barreira de potencial, ou junção, é supercondutora. No estado supercondutor o circuito apresenta resistência nula e, conseqüentemente, mesmo quando aplicada uma corrente elétrica, a tensão verificada em seus terminais é nula. Para um valor de corrente superior ao valor da corrente crítica, a barreira de potencial transita para o estado normal, e conseqüentemente passa a detectar uma tensão não nula. É demonstrado que, no *SQUID*, a corrente crítica é função do fluxo magnético aplicado. A medição da variação da corrente crítica

permite determinar a variação do fluxo que atravessa o dispositivo (Sampaio, Garcia e Cernicchiaro, 2000).

A Figura 8 ilustra a estrutura geral de uma junção *Josephson*, que consiste em um supercondutor como o nióbio separado por uma fina camada isolante.

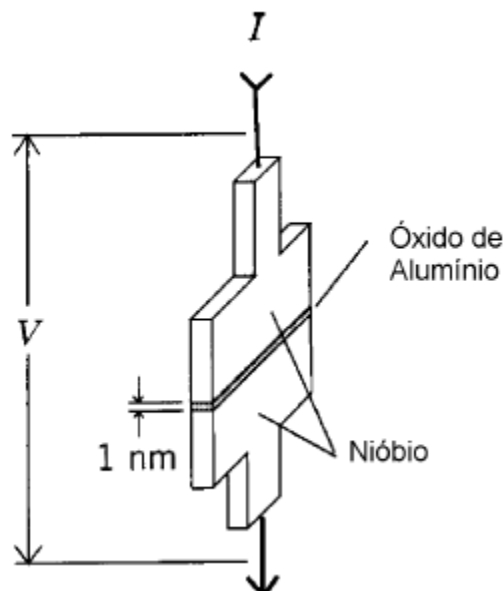


Figura 8– Junção Josephson (Crasto, 2003).

Um *SQUID* consiste em um anel supercondutor interrompido por uma ou duas junções *Josephson*. No primeiro caso, ele é denominado *SQUID RF* e no segundo caso, *SQUID DC*. O *SQUID RF* utiliza basicamente correntes alternadas com frequências na faixa RF (*radio frequency*), enquanto que o *SQUID DC* utiliza apenas correntes contínuas.

Os *SQUIDs RF* tiveram bastante sucesso nos primeiros magnetômetros comerciais, devido a sua relativa facilidade de fabricação, pois apresentam uma única junção. No entanto, devido à boa relação sinal-ruído e à eletrônica mais simples, a maior parte dos *SQUIDs* comercializados são DC.

Os magnetômetros *SQUID*, pelo fato de seus elementos sensores serem constituídos de materiais supercondutores, necessitam que estes elementos, para operarem, estejam imersos em um líquido criogênico dentro de um recipiente termicamente isolado (*dewar*), uma vez que demandam temperaturas de operação muito baixas. Os sistemas *SQUID* que demandam temperaturas de operação extremamente baixas (em torno de 4,2 K) exigem resfriamento por hélio líquido enquanto que os sistemas *SQUID* que demandam temperaturas de operação mais

elevadas (em torno de 77 K dependendo do material utilizado na confecção dos anéis supercondutores) possibilitam o resfriamento por nitrogênio líquido.

Outro ponto relacionado com a sua operação é que, devido a sua elevada sensibilidade, a aplicação do *SQUID* para medição de campos magnéticos exige a redução do ruído magnético presente no ambiente onde as medidas são realizadas. Para eliminar a influência de fontes magnéticas distantes (ruído) utilizam-se transformadores de fluxo (gradiômetros) que, acoplados ao *SQUID*, são capazes de discriminar fontes distantes, que geram campos magnéticos de alta intensidade e baixa frequência espacial, em favor das fontes próximas ao sensor (sinal magnético de interesse), que geram campos de baixa intensidade e com espectro amplo de frequências. Dessa forma, os gradiômetros utilizados são filtros espaciais passa-alta (Barbosa, 1999). A Figura 9 apresenta os tipos mais comuns de gradiômetros.

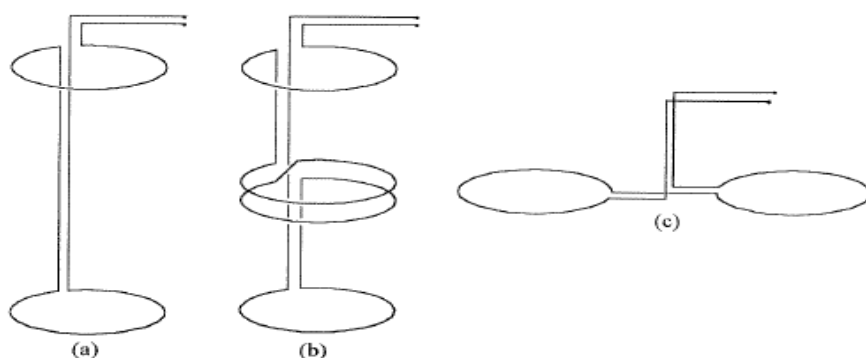


Figura 9— Desenhos esquemáticos (adaptado) de tipos de gradiômetros comumente utilizados: (a) Axial de 1ª Ordem (b) Axial de 2ª Ordem (c) Planar de 1ª ordem. (Barbosa, 1999).

Os gradiômetros consistem basicamente em um certo número de bobinas conectadas em série e separadas por uma distância conhecida como linha de base. O número de voltas de cada bobina, o sentido do enrolamento e a linha de base são definidos para obter a filtragem das baixas frequências espaciais. Os gradiômetros mais utilizados nos sistemas *SQUID* a baixas temperaturas são os axiais (Figura 9a/b), confeccionados com fio supercondutor em torno de um mandril cilíndrico, enquanto que para os sistemas *SQUID* de alta temperatura, construídos à base de filmes finos, utiliza-se o gradiômetro planar de 1ª ordem (Figura 9c).

Uma das principais aplicações do magnetômetro *SQUID* é a pesquisa biomédica, em virtude de possuir sensibilidade suficientemente alta para medir os

campos magnéticos extremamente fracos gerados pelo corpo humano, na faixa de 10^{-9} T a 10^{-15} T. Outras áreas de aplicação incluem o paleomagnetismo (medição do magnetismo remanescente de rochas) e teluricomagnetismo (medição do magnetismo da terra) (Crasto, 2003).

2.4.5. Magnetômetro Magnetoresistivo (MR)

Magnetômetros magnetoresistivos são dispositivos que utilizam sensores magnéticos cujo funcionamento é baseado no efeito da magnetoresistência (MR), que consiste na mudança da resistência elétrica de um material em função de um campo magnético externo aplicado.

O efeito magnetoresistivo foi primeiramente observado por William Thomsom (Lord Kelvin) em 1856, que realizou experimentos com barras de ferro e níquel, nas quais aplicou um campo magnético e observou o aumento no valor da resistência elétrica do material. O efeito de magnetoresistência descoberto por W. Thomson é conhecido como magnetoresistência anisotrópica (*Anisotropic Magnetoresistance - AMR*) (Santos, 2011).

Em geral, os dispositivos baseados em materiais magnéticos que apresentam o efeito de magnetoresistência são do tipo multicamada, construídos a partir da sobreposição alternada de filmes finos de diferentes materiais (ferromagnéticos e isolantes), com diferentes configurações a fim de maximizar o efeito (SANTOS, 2011). Os materiais usados na fabricação de elementos magnetoresistivos são ligas metálicas de Ni-Fe-Co, Ni-Fe-Mo e *permalloy* (família de ligas metálicas com cerca de 80% de níquel e 20% de ferro). O *permalloy* apresenta alto efeito magnetoresistivo sendo o material favorito para este tipo de dispositivo (Montovani, 2009).

Sensores magnetoresistivos são sensores de ordem zero, diferindo dos sensores indutivos e de efeito *Hall* que são sensores de primeira ordem (Montovani, 2009), sendo capazes de medir campos magnéticos na faixa entre 10^{-3} e 10^4 A/m.

Os magnetômetros magnetoresistivos são utilizados em medições relacionadas com a medição direta de campo magnético, tais como gravações de sinais de áudio, leitura de cartões magnéticos e etiquetas magnéticas, e em

medições relacionadas com a medição de grandezas por meio de variação do campo magnético, tais como deslocamento angular e linear, chaves de proximidade e medições de posição (Montovani, 2009).

2.4.6.

Magnetômetro Magnetoresistivo Gigante (GMR)

O fenômeno da Magnetoresistência Gigante (*Giant Magnetoresistance - GMR*) consiste em mudanças bruscas na resistência de um material em função da variação do campo magnético (Silva, 2010).

A GMR foi descoberta entre os anos de 1988 e 1989 pelo francês Albert Fert e pelo alemão Peter Grunberg, em trabalhos simultâneos e independentes, a partir de multicamadas de filmes finos de ferro e cromo alternados. O grupo de Fert obteve valores de variações da resistência elétrica de 80% para baixa temperatura e de 20% para temperatura ambiente, enquanto que o grupo de Grunberg obteve variações de 10% à temperatura ambiente. Devido aos altos valores de variação de resistência obtidos, nomearam o efeito de magnetoresistência gigante (Santos, 2011).

Uma estrutura simplificada de um dispositivo que apresenta o efeito GMR pode ser construída a partir de três camadas de filmes sobrepostas: uma camada de material ferromagnético, uma de material não-magnético (isolante) e uma de material ferromagnético com configuração de magnetização antiparalela à primeira camada. A mudança na resistência do dispositivo ocorre com a aplicação de um campo magnético capaz de alinhar os momentos magnéticos das camadas de material ferromagnético (Santos, 2011). Quando as magnetizações das camadas ferromagnéticas são paralelas entre si, e com mesmo sentido, os elétrons com configuração de *spin* paralela à magnetização do material conseguem se locomover mais facilmente e passar pela estrutura sem dificuldade (a resistência elétrica é pequena). Por outro lado, elétrons com configuração de *spin* antiparalela à magnetização do material serão “espalhados”, aumentando a resistência elétrica deste dispositivo. Este efeito é maximizado quando as camadas são extremamente finas pois, para certas espessuras das camadas e de suas separações, as magnetizações das camadas ferromagnéticas naturalmente se alinham em direções

opostas sem a necessidade de campo magnético externo (acoplamento antiferromagnético).

Atualmente existem diversos grupos de pesquisa nessa área devido a seu grande potencial tecnológico. Hoje existem dispositivos GMR operando em temperatura ambiente, capazes de apresentar variações de sua resistência em função do campo magnético superiores a 10%/Oe (Silva, 2010). Os magnetômetros GMR, em relação aos de efeito Hall, apresentam maior nível de sinal de saída, maior sensibilidade e maior estabilidade com a temperatura. Em relação aos AMR, os GMR apresentam menores dimensões físicas, maior nível de sinal, menor consumo de energia e menor custo, além de poderem operar em uma faixa maior de intensidades de campo.

2.4.7.

Magnetômetro Magnetoimpedância Gigante (GMI)

Magnetômetros GMI são dispositivos que utilizam sensores magnéticos baseados no efeito da Magnetoimpedância Gigante (*Giant Magnetoimpedance – GMI*), que se caracteriza pela grande variação da impedância (módulo e fase) de uma amostra de material ferromagnético amorfo quando submetida a um campo magnético externo. Apesar de sua recente descoberta (década de 1990), este fenômeno tem sido objeto de intensos estudos, tanto do ponto de vista de sua física básica quanto do ponto de vista das enormes perspectivas de aplicações tecnológicas.

Magnetômetros GMI já vêm sendo desenvolvidos para diversas aplicações, dentre as quais se destacam: detectores de presença, controle de processos industriais, pesquisa espacial e aplicações aeroespaciais, sistemas de navegação, memórias de alta densidade e HDs, controle de tráfego, detecção de fissuras em materiais e aplicações biológicas e biomédicas (Silva, 2010).

A grande vantagem deste tipo de transdutor magnético em comparação a outras alternativas é o seu baixo custo para produção em escala, boa sensibilidade e grande faixa de frequências de operação (Silva, 2010).

Os resultados obtidos até o momento (Cavalcanti et al., 2008; Louzada et al., 2008 ; Silva et al., 2010 ; Costa Silva et al., 2011; Silva et al., 2011; Silva et al., 2013) permitem vislumbrar a possibilidade futura de utilização destes

dispositivos, devido à elevada sensibilidade, na detecção de campos biomagnéticos, cujas densidades de fluxo magnético estão situadas na faixa entre 10^{-9} T e 10^{-15} T.

3

Confiabilidade Metrológica de Grandezas Magnéticas

A Convenção do Metro, tratado internacional assinado em 20 de maio de 1875, estabeleceu um marco na busca de harmonização e uniformidade das medições em nível mundial. A partir desta data, muitos organismos surgiram com o objetivo de atuar em metrologia ou em áreas relacionadas (Pizzolato, 2006). Nos últimos 60 anos, o número de organismos que atuam no processo de fornecer confiança às medições se tornou pelo menos três vezes maior do que existia há 200 anos, incluindo os institutos nacionais de metrologia e os organismos internacionais envolvidos com sistematização e formalização, avaliação da conformidade e metrologia. Nesta busca internacional pela confiabilidade dos resultados das medições, a rastreabilidade metrológica ocupa a posição fundamental do processo (Pizzolato, 2006).

A cadeia de rastreabilidade tem como ápice a definição das unidades do Sistema Internacional de Unidades (SI), realizadas pelo BIPM (*Bureau International des Poids et Mesures*), laboratório internacional de metrologia, possuidor da mais elevada exatidão de medição (Figura 10). A estrutura piramidal da cadeia de rastreabilidade metrológica se estende desde as definições das unidades SI, passando pelos padrões nacionais, implantados e mantidos pelos institutos nacionais de metrologia (INM), havendo em seguida os padrões de referência de laboratórios de calibração e ensaios, até os padrões de trabalho para, assim, chegar às medições realizadas por usuários finais. Desta forma, para assegurar que as medições realizadas em um país tenham rastreabilidade ao Sistema Internacional de Unidades (SI) mantido pelo BIPM, é necessário que o INM de cada país implante e mantenha a cadeia de rastreabilidade dos padrões para cada uma das unidades de medida.



Figura 10- Estrutura da rastreabilidade metrológica com a disposição dos organismos participantes da cadeia de rastreabilidade metrológica e disseminação das unidades do SI.

Nas seções 3.1 e 3.2 são apresentados, respectivamente, os organismos nacionais e internacionais que estruturam os requisitos e a infraestrutura para garantia da confiabilidade metrológica, em particular para grandezas magnéticas. No item 3.3 é apresentado o conjunto de países que possuem infraestrutura para rastreabilidade de grandezas magnéticas e no item 3.4 estão indicadas as iniciativas nacionais para desenvolvimento de infraestrutura com potencial para compor a rede de rastreabilidade a grandezas magnéticas no país.

3.1. Organismos Internacionais

Considerando o foco do presente trabalho, voltado às grandezas magnéticas, no âmbito internacional, os organismos mais relevantes para a garantia da confiabilidade metrológica são apresentados a seguir.

3.1.1. BIPM (*Bureau International des Poids et Mesures*)

No âmbito mundial, a metrologia científica é coordenada pelo *Bureau International des Poids et Mesures* (BIPM), situado próximo a Paris, França, no Pavilhão de *Breteuil, Sèvres*. O órgão foi criado em 1877 pela Convenção do Metro (1875), como uma organização intergovernamental sob a autoridade da Conferência Geral de Pesos e Medidas (CGPM) e a supervisão do Comitê Internacional de Pesos e Medidas (CIPM). O BIPM atua na busca de padrões de medição internacionais cada vez mais precisos e na demonstração da equivalência entre os padrões de medição nacionais. O BIPM coordena a base

para um sistema único e coerente de medidas em todo o mundo, rastreável ao sistema internacional de unidades (SI). Esta tarefa assume várias formas, desde a divulgação direta de unidades até a realização de comparações internacionais de padrões nacionais de medição (BIPM, 2013).

A Convenção do Metro, assinada em 1875 por representantes de 17 nações e ligeiramente modificada em 1921, continua a ser a base do acordo internacional sobre as unidades de medida. Além de fundar o BIPM, a Convenção estabeleceu a forma de gestão das atividades do BIPM, em uma estrutura organizacional permanente formada por Estados-Membros, para agir em comum acordo em todas as questões relativas às unidades de medida.

Conferência Geral de Pesos e Medidas (CGPM)

A Conferência Geral de Pesos e Medidas (CGPM; em inglês: *General Conference on Weights and Measures*; em francês: *Conférence Générale des Poids et Mesures*) é constituída por representantes dos governos dos observadores e

Estados-Membros associados à CGPM, havendo atualmente, após a recente adesão da República da Colômbia em 06 de fevereiro de 2013, 55 Estados-Membros e 37 Estados-Associados à CGPM, dentre os quais incluem-se todos os principais países industrializados.

A CGPM possui a atribuição fundamental de **supervisionar o SI, desenvolver, dinamizar e difundir a padronização das unidades**, com a colaboração de todos os países membros, inclusive do Brasil. Reúne-se a cada quatro anos. Esta conferência geral recebe os relatórios do Comitê Internacional de Pesos e Medidas (CIPM), examina e discute os acordos para assegurar a melhoria e propagação do Sistema Internacional de Medidas (SI); endossa resultados de novas determinações metrológicas fundamentais e várias resoluções de caráter científico internacional; e delibera sobre decisões concernentes à organização e desenvolvimento do BIPM, assim como o orçamento para o próximo período de quatro anos. Esta conferência ocorre em Paris, sendo a 24ª reunião a última realizada, em 21 de outubro de 2011, antecedida pelas resoluções adotadas na **23ª reunião da CGPM** (2007) e na **22ª reunião da CGPM** (2003).

Comitê Internacional de Pesos e Medidas (CIPM)

O Comitê Internacional de Pesos e Medidas (CIPM; em inglês *International Committee for Weights and Measures*, em francês *Comité International des Poids et Mesures*) é o órgão que recomenda e, em grande parte, orienta o rumo das pesquisas em metrologia, em nível mundial, em conformidade com o Sistema SI. Reúne-se anualmente e zela pela Convenção do Metro e pelo desempenho do BIPM, sendo composto por dezoito representantes de Estados-Membros da Convenção do Metro.

A função principal da CIPM é **promover a uniformidade mundial das unidades de medida** por ação direta ou submetendo propostas à Conferência Geral de Pesos e Medidas (CGPM). Outras atribuições do CIPM consistem em:

- discutir o trabalho do BIPM sob a autoridade delegada pela CGPM;
- publicar um relatório anual sobre a posição financeira e administrativa do BIPM para os governos dos Estados-Membros da Convenção do Metro;
- discutir trabalhos realizados em comum pelos Estados-Membros e estabelecer diretrizes e coordenar atividades entre especialistas em metrologia;
- estabelecer recomendações apropriadas.

Além dos encargos descritos, a CIPM discute os relatórios apresentados por seus 10 Comitês Consultivos (CC) listados a seguir, trabalhando em cooperação com muitos organismos internacionais da metrologia, como mostrado na Figura 11, em uma estrutura hierárquica de órgãos componentes da Convenção:

- CCAUV: Consultative Committee for Acoustics, Ultrasound and Vibration;
- CCEM: Consultative Committee for Electricity and Magnetism;
- CCL: Consultative Committee for Length;
- CCM: Consultative Committee for Mass and Related Quantities;
- CCPR: Consultative Committee for Photometry and Radiometry;
- CCQM: Consultative Committee for Amount of Substance - Metrology in Chemistry;
- CCRI: Consultative Committee for Ionizing Radiation;
- CCT: Consultative Committee for Thermometry;
- CCTF: Consultative Committee for Time and Frequency;
- CCU: Consultative Committee for Units.

O CCEM é o comitê consultivo relacionado às grandezas magnéticas. Foi criado em 1927 como "*Consultative Committee for Electricity (CCE)*", e alterado para "*Consultative Committee for Electricity and Magnetism (CCEM)*" pela CIPM de 1997. Em 2009 o Brasil iniciou sua participação no comitê.

O CCEM é formado por 22 Estados-Membros, incluindo o Brasil, e por membros observadores. É organizado nos seguintes grupos de trabalho ("*Working Groups*"): CCEM Working Group on Radiofrequency Quantities (GT-RF), CCEM Working Group on Electrical Methods to Monitor the Stability of the Kilogram (WGKG), CCEM Working Group on Low-Frequency Quantities (WGLF), CCEM Working Group on Proposed Modifications to the SI (WGSi), CCEM Working Group on Strategic Planning (WGSP), CCEM Working Group for RMO Coordination (CCEM-WGRMO). Atualmente o Brasil integra os grupos de trabalho WGLF e CCEM-WGRMO, presidindo o último.

Dentre as publicações deste comitê (CCEM), encontram-se atualmente disponíveis, para livre consulta, relatórios de encontros (*Comité Consultatif d'Électricité et Magnétisme*, 27th meeting (2011), 60 pp. , ou *Comité Consultatif d'Électricité et Magnétisme*, 26th meeting (2009), 62 pp.); guias de acordos internacionais (Electricity and Magnetism Supplementary Guide to the JCRB Instructions for Appendix C of MRA, 2011, 19 pp., e CCEM Guidelines for Planning, Organizing, Conducting and Reporting Key, Supplementary and Pilot Comparisons, 2007, 30 pp.); além de estudos científicos sobre grandezas, unidades e seus desdobramentos, sendo os mais relevantes para esta dissertação: "*CCEM/11-19 Physiological effects of magnetic fields*, B. Ittermann, 23/03/2011" e "*Big Problems in Electromagnetics, CCEM strategic planning document*, 2011, 18 pp." . Nestas publicações observa-se grande número de trabalhos relacionados à realização do tesla, unidade da grandeza densidade de fluxo magnético.

O esquema apresentado na Figura 11 esclarece a disposição hierárquica dos organismos aos quais o BIPM está relacionado no âmbito da organização internacional da Metrologia.

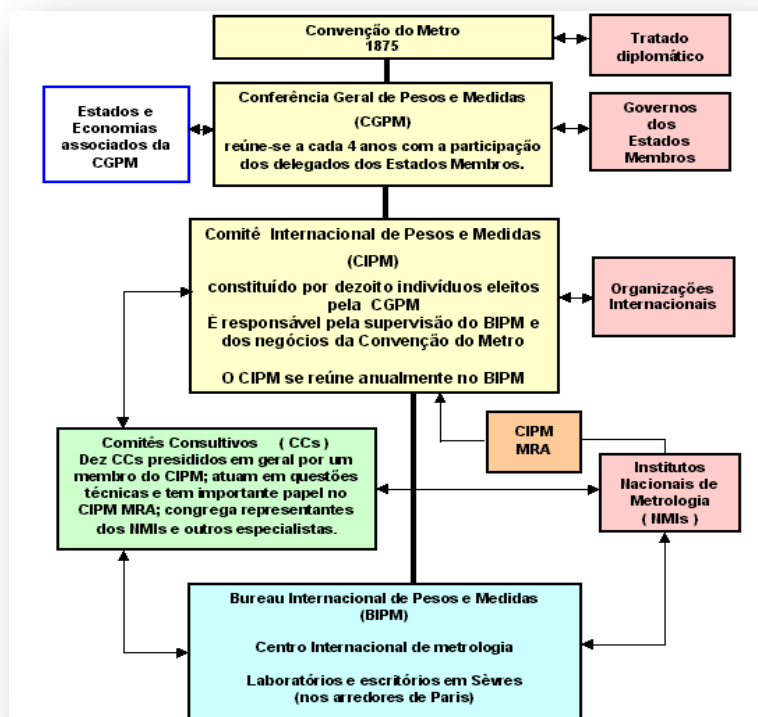


Figura 11- Esquema da Organização Internacional da Metrologia.

Comitês Conjuntos do BIPM

Alguns comitês conjuntos do BIPM com outras organizações internacionais foram criados para tarefas específicas de interesse comum. Tais comitês conjuntos são listados a seguir:

- JCGM: *Joint Committee for Guides in Metrology*;
- JCRB: *Joint Committee of the Regional Metrology Organizations and the BIPM*;
- JCTLM: *Joint Committee for Traceability in Laboratory Medicine*;
- DCMAS Network: *Network on Metrology, Accreditation and Standardization for Developing Countries*;
- RMO_DEVMET workspace: *Inter-RMO Working Group in Support of Small, Emerging and Developing NMIs*;

Em especial, vale destacar o comitê conjunto para guias em metrologia (JCGM), que é responsável pela elaboração do **Guia para a Expressão da Incerteza de Medição (ISOGUM)** e do **Vocabulário Internacional de Termos Fundamentais e Gerais de Metrologia (VIM)**. Foi criado em 1997, sendo presidido pelo BIPM e composto por mais sete Organizações Internacionais:

International Electrotechnical Commission (IEC), International Federation of Clinical Chemistry and Laboratory Medicine (IFCC), International Organization for Standardization (ISO), International Union for Pure and Applied Chemistry (IUPAC), International Union for Pure and Applied Physics (IUPAP), International Organization of Legal Metrology (OIML) e, a partir de 2005, International Laboratory Accreditation Cooperation (ILAC).

Acordos de Reconhecimento Mútuo

A busca de harmonização dos sistemas de metrologia, normalização e avaliação da conformidade com as peculiaridades de cada modelo de organização dessas atividades culminou em um encontro realizado em Paris, em 14 de outubro de 1999, entre os diretores de Institutos Nacionais de Metrologia de 38 Estados-Membros da Convenção do Metro e representantes de 2 organizações internacionais, que assinaram o CIPM MRA: Comitê Internacional de Pesos e Medidas - Acordo de Reconhecimento Mútuo (*Mutual Recognition Arrangement*). Este foi um acordo histórico para estabelecer regras destinadas a uma ampla aceitação dos padrões nacionais de medição e certificados emitidos pelos respectivos Institutos Nacionais de Metrologia.

O Acordo de Reconhecimento Mútuo procura atender à necessidade de um esquema aberto, transparente e abrangente que torne disponível aos usuários uma informação quantitativa confiável para comparação de serviços nacionais de metrologia, fornecendo bases técnicas para acordos negociados mais amplos destinados ao comércio internacional e assuntos regulatórios.

Até maio de 2013, o CIPM MRA foi assinado por representantes de 91 institutos (51 Estados-Membros, 26 associados da CGPM e 4 organismos internacionais) – e abrange mais 146 institutos designados pelas entidades signatárias (BIPM, 2013).

Organismos Participantes do CIPM MRA

Em 23 de Janeiro de 2006, por meio de um documento chamado "*Tripartite Statement*", os organismos BIPM, OIML e ILAC, em uma política conjunta de rastreabilidade metrológica ao SI, declararam a relevância de diversos acordos internacionais sobre metrologia. Em 09 de novembro de 2011, uma nova declaração conjunta foi emitida, denominada "*Joint BIPM, OIML, ILAC and ISO*

Declaration on Metrological Traceability ", na qual se reconhece a importância da rastreabilidade metrológica ao SI dos resultados de medição para as missões centrais desses quatro organismos, reconhecidos internacionalmente, responsáveis pela metrologia, acreditação e normalização em nível mundial.

Pontos Essenciais dos Acordos CIPM MRA (Objetivos):

- Estabelecer o grau de equivalência entre os padrões nacionais mantidos pelos INM;
- Prover reconhecimento mútuo dos certificados de calibração e medições; e
- Fornecer fundamentação técnica segura aos governos e outras partes visando acordos relacionados ao comércio internacional e regulamentação.

Já em 1998, antes da assinatura do CIPM-MRA, foi estabelecido o comitê conjunto JCRB (*Joint Committee of the Regional Metrology Organizations and the BIPM*). O comitê apoia a implementação do CIPM MRA relativamente aos certificados de medição emitidos pelos INM e seus padrões nacionais de medição. Definidas desde sua primeira reunião, as principais atividades do JCRB são:

- A coordenação e gerenciamento de revisões da Capacidade de Calibração e Medição – CMCs dos INM;
- O desenvolvimento de políticas e linhas de atuação da operação do CIPM MRA para prestar assistência às RMO e ao CIPM.

O principal produto do MRA é a base de dados KCDB (*Key Comparison Data Base*) mantida pelo BIPM e usada como referência-chave para intercomparações laboratoriais (Figura 12). O acesso aos dados da base KCDB está disponível no sítio do BIPM. Na base de dados do CIPM MRA se encontram quatro anexos (A, B, C e D), contendo as seguintes informações (BIPM-KCDB,2013):

- anexo A – Lista dos signatários do MRA;
- anexo B – Comparações Chaves e suplementares do CIPM e RMO (Resultados);
- anexo C – Capacidade de Calibração e Medição – CMCs (*CMC - Calibration and Measurement Capability*);
- anexo D – Lista de comparações-chave e suplementares.

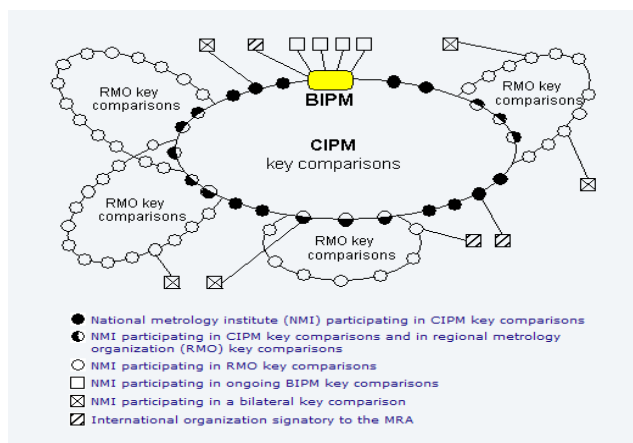


Figura 12 - Esquema de realização das comparações-chave.

Fonte: BIPM, http://www.bipm.org/en/cipm-mra/key_comparisons/organization.html, acessado em 21/jan/2013.

As organizações regionais de Metrologia (RMO) desempenham um papel importante no CIPM MRA. Elas têm a responsabilidade de coordenar a realização das comparações chaves dentro das suas regiões, realizar comparações suplementares e outras ações para apoiar a confiança mútua na validade de certificados de calibração e de medição de seus institutos membros (NMIs) e são responsáveis pela coordenação, através da JCRB, das entradas para o Apêndice C do MRA de capacidades de medição e calibração de seus NMIs-membros.

A rastreabilidade metrológica é um dos elementos que estabelecem confiança na equivalência das medições em nível internacional. Segundo a declaração conjunta assinada em 2011 pelo BIPM, OIML, ILAC e ISO (*Joint BIPM, OIML, ILAC and ISO declaration on metrological traceability*), os princípios que devem ser adotados para demonstrar rastreabilidade metrológica, objetivando a aceitabilidade internacional, são:

- As calibrações devem ser executadas em Institutos Nacionais de Metrologia signatários do MRA–CIPM, com CMCs publicadas em áreas relevantes da base de dados KCDB ou em laboratórios acreditados por Organismos de Acreditação que são signatários do acordo de reconhecimento mútuo do ILAC;
- A expressão da incerteza de medição deve seguir os princípios estabelecidos no Guia para a Expressão da Incerteza de Medição (ISO GUM);
- Os resultados das medições efetuadas em laboratórios acreditados devem ser rastreáveis para o Sistema Internacional de Unidades - SI;

- Institutos Nacionais de Metrologia que proporcionem rastreabilidade aos laboratórios acreditados devem ser signatários do CIPM MRA e com CMCs publicadas em áreas relevantes da base de dados KCDB; e
- Dentro da MAA da OIML, a acreditação deve ser fornecida por órgãos signatários do acordo da ILAC e devem ser seguidas as condições acima sobre rastreabilidade para SI.

3.1.2.

OIML (*International Organization of Legal Metrology*)

A Organização Internacional de Metrologia Legal (OIML) é uma organização intergovernamental cujos membros incluem Estados Membros – países que participam ativamente das atividades técnicas – e Estados Correspondentes – países que se unem à OIML como observadores.

A OIML foi estabelecida em 1955 objetivando promover a harmonização mundial dos procedimentos referentes à metrologia legal. Desde então, a OIML desenvolveu uma estrutura técnica global capaz de prover a seus membros **recomendações metrológicas para a elaboração dos requisitos** nacionais e regionais **referentes à fabricação e utilização de instrumentos de medição**, destinados a aplicações relacionadas à metrologia legal. De acordo com dados do Banco Mundial (2007), os membros da OIML abrangem cerca de 88% da população mundial e aproximadamente 98,5% da economia global(OIML, 2013).

Para a elaboração das recomendações metrológicas, a OIML procura estabelecer acordos de cooperação com a ISO (*International Standardization Organization*) e o IEC (*International Electrotechnical Commission*), buscando-se evitar requisitos contraditórios (OIML, 2013).

3.1.3.

ILAC (*International Laboratory Accreditation Cooperation*)

A ILAC (*International Laboratory Accreditation Cooperation*) começou como uma conferência em 1977 com o objetivo de desenvolver a cooperação internacional para facilitar o comércio, por meio da promoção da aceitação dos resultados de ensaio e calibração acreditados, ou seja, ajudar a remover barreiras técnicas ao comércio. Em 1996, o ILAC tornou-se uma cooperação formal para

estabelecer uma rede de acordos de reconhecimento mútuo entre organismos de acreditação que iriam cumprir este objetivo (ILAC, 2013).

A acreditação consiste na avaliação independente de organismos de avaliação da conformidade com padrões reconhecidos para realizar atividades específicas para garantir sua imparcialidade e competência. Por meio da aplicação de normas nacionais e internacionais, governo, compradores e consumidores podem ter confiança na calibração e resultados de ensaios, relatórios de inspeções e certificações fornecidas. Os organismos de acreditação são estabelecidos em muitos países com o objetivo principal de assegurar que os organismos de avaliação da conformidade estejam sujeitos à fiscalização por órgão oficial (ILAC, 2013).

Em 2 de novembro de 2000, 36 organismos de acreditação de laboratórios, membros da ILAC, pertencentes a 28 economias em todo o mundo, assinaram um acordo em Washington, com o objetivo de promover a aceitação dos resultados de ensaios e de calibração para mercadorias exportadas, oferecendo significativa base técnica ao comércio internacional. A assinatura do Acordo de Reconhecimento Mútuo para acreditação de Laboratórios entre o Inmetro e a ILAC aconteceu no ano de 2000. Em 2012, a rede já consistia em 135 organismos, representando 88 economias diferentes, com mais de 35 mil laboratórios em todo mundo e 6000 organismos de inspeção, todos acreditados (ILAC, 2013).

O acordo entrou em vigor em 31 de janeiro de 2001 e foi ampliado em outubro de 2012 para incluir a acreditação de organismos de inspeção. A chave do Acordo de Reconhecimento Mútuo da ILAC é a rede global de laboratórios de ensaio e calibração acreditados e organismos de controle que são avaliados e reconhecidos como competentes por organismos de acreditação signatários do acordo ILAC. Os signatários, por sua vez, são avaliados e demonstram atendimento aos critérios estabelecidos pela ILAC, possibilitando o desenvolvimento e melhoria das relações comerciais internacionais. O objetivo final é o aumento da utilização e aceitação pela indústria, bem como pelo governo, dos resultados de laboratórios acreditados e de organismos de inspeção, incluindo resultados de instalações em outros países.

A ILAC possui uma extensa lista de publicações atualizadas (set/2012) e organizadas em: "Brochures; Guidance Documents (G Series); Procedural Documents (P Series); Rules Documents (R Series); Joint ILAC / IAF Documents

(A Series)", segundo website(ILAC,2013), dos quais destaca-se dentre as 13 Brochuras "*The Advantages of Being An Accredited Laboratory*"; dentre os guias (G Series) destacam-se o G17:2002, que trata da incerteza de medição em ensaios, e os mais recentes "G21:09/2012 *Cross Frontier Accreditation - Principles for Cooperation* , ILAC-G25:01/2012 *Accreditation of Proficiency Testing Providers to ISO/IEC17043:2010-A crosswalk to ILAC G13:2007*, ILAC-G26:07/2012 *Guidance for the Implementation of a Medical Laboratory Accreditation System*". Entre os 10 Procedimentos (P Series) publicados, os mais recentes são "P10:01/2013 *ILAC Policy on Traceability of Measurement Results*" e "P14:01/2013 *ILAC Policy for Uncertainty in Calibration*", ambos comentados a seguir; os demais poderão ser consultados no website do ILAC, no link https://www.ilac.org/ilac_documents.html.

Dentre as publicações da ILAC, a seguir são destacados alguns exemplos que abordam critérios para avaliações (ILAC, 2013):

- **ILAC G17:2002**- Introduz o conceito de incerteza de medição em testes em associação com a exigência de aplicação da norma ISO/IEC 17025.
- **ILAC-P10:01/2013**- Rastreabilidade dos Resultados de Medição: fornece uma política de rastreabilidade dos resultados de medição que se destina a ser implementado pelos membros da ILAC.
- **ILAC P14:01/2013**- Política de incerteza na calibração: estabelece os requisitos e diretrizes para a estimativa e declaração de incerteza na calibração e medição.

O Comitê Internacional de Pesos e Medidas (CIPM) e a Cooperação internacional de Acreditação de Laboratórios (ILAC), reconhecendo a necessidade de reforçar os laços entre a acreditação e a metrologia e cooperar e coordenar suas ações em relação às suas tarefas relacionadas com a infraestrutura de medição nacional e internacional, assinaram um Memorando de Entendimento (MoU – *Memorandum of Understanding*) em 3 de novembro de 2001, reafirmado em 2012, assim como o Acordo sobre a *definição de calibração e capacidade de medição* (CMCs), resultando na publicação de um livro pelo grupo de trabalho conjunto CIPM/ILAC (2007).

3.1.4. WHO (*World Health Organization*)

A Organização Mundial da Saúde – OMS foi fundada em 7 de abril de 1948 pela Organização das Nações Unidas (ONU), com sede em Genebra, Suíça. Segundo o Ministério das Relações Exteriores do Brasil, foram os delegados brasileiros que propuseram o estabelecimento de um "organismo internacional de saúde pública". Segundo sua constituição, a OMS tem por objetivo promover a saúde de todos os povos, com a responsabilidade de estabelecer normas e orientações, articular políticas baseadas em evidência, prestar apoio técnico aos países, acompanhar e avaliar tendências no setor da saúde (WHO, 2013).

A OMS é composta por 193 Estados-membros, nos quais se incluem todos os Estados Membros da ONU, exceto Liechtenstein, e dois não-membros da ONU, Niue e as Ilhas Cook.

A OMS é financiada por contribuições dos Estados-membros e de vários doadores. Nos últimos anos, o trabalho da OMS tem crescido bastante também com a colaboração de entidades externas; e também, existem atualmente cerca de 80 parcerias com organizações não-governamentais e indústrias farmacêuticas, bem como com fundações como a Fundação Bill e Melinda Gates e a Fundação Rockefeller (as contribuições voluntárias para a OMS por governos locais e nacionais, fundações e ONGs, outras organizações da ONU e o próprio setor privado excedem atualmente as contribuições dos Estados-membros).

Dentre as publicações genéricas da OMS destacam-se: Boletim da Organização Mundial da Saúde, *Eastern Mediterranean Health Journal*, Recursos Humanos para a Saúde, *Pan American Journal of Public Health*, *World Health Report*.

Em particular, com relação às grandezas magnéticas, a OMS possui várias iniciativas, dentre as quais a implementação do projeto EMF internacional, destinado à avaliação de evidências científicas relacionadas aos possíveis efeitos na saúde causados por campos eletromagnéticos na faixa de frequências de 0 a 300 GHz; e publicações envolvendo campos magnéticos estáticos, como *Electromagnetic fields and public health; Static electric and magnetic fields. Factsheet N°299. March 2006*.

3.1.5.

ICNIRP (*International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection*)

A ICNIRP é a Comissão Internacional de Proteção contra Radiação Não-Ionizante, que visa divulgar informações e conselhos sobre os potenciais perigos para a saúde humana ocasionados pela exposição à radiação não-ionizante.

Consiste em um corpo científico de peritos independentes, voluntários, compostos por uma comissão principal de 14 membros e seus grupos de trabalho. Até outubro de 2012, havia quatro comitês científicos permanentes abrangendo epidemiologia, biologia, dosimetria e radiação óptica, além de um número de especialistas em consultoria. A estrutura agora está sendo redesenhada para abranger novas áreas. Membros do ICNIRP são peritos que, na realização de seu trabalho voluntário para a Comissão, não representam seus países de origem ou seus institutos.

O escopo do ICNIRP abrange todas as radiações não-ionizantes, incluindo as radiações ópticas (ultravioleta, visível e infravermelha - e *lasers*), radiações elétricas estáticas e variáveis no tempo e campos magnéticos, radiação de radiofrequência (incluindo microondas) e ultrassom. Muitas das informações que fornece são publicadas sob a forma de relatórios e avaliações científicas e no processo de reuniões científicas. Os resultados dessas reavaliações, combinados com avaliações de risco realizadas em colaboração com a Organização Mundial de Saúde, resultam na publicação das diretrizes da ICNIRP. São exemplos destas as diretrizes para limitação de exposição a campos eletromagnéticos, à radiação laser, à radiação ultravioleta, a radiações ópticas incoerentes e ultrassom.

A ICNIRP trabalha em estreita colaboração com muitos organismos de proteção da saúde relacionados com agências nacionais e internacionais, incluindo, por exemplo, OMS, OIT - Organização Internacional do Trabalho, ICOH (*International Commission for Occupational Health*), IRPA (*International Radiation Protection Association*) e EUROSIN (*European Society for Skin Cancer Prevention*) (ICNIRP, 1998).

Colabora com a OMS por meio de dois principais programas de saúde: *International EMF Project* e o *INTERSUN Project*. Também colabora com o ILO (*International Labour Office*) sobre questões relativas à proteção ocupacional de radiação não-ionizante.

A ICNIRP é oficialmente reconhecida pela OMS e a ILO como o órgão consultivo internacional independente para a proteção de radiação não-ionizante. A ICNIRP também colabora com a Comunidade Europeia - EC, principalmente DG EMPL (*Employment*), SANCO (*Health*), a Comissão Internacional de iluminação - CIE, a Comissão Internacional de higiene ocupacional - ICOH, a Associação Europeia de Bioeletromagnetismo - EBEA (ICNIRP, 1998).

A seguir são apresentadas algumas das publicações da ICNIRP pertinentes ao tema do presente trabalho:

- *Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric and Magnetic Fields (1 Hz - 100 kHz)*. *Health Physics* 99(6):818-836; 2010.
- *Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields (up to 300 GHz)*. *Health Physics* 74 (4): 494-522; 1998.
- *Statement on Health Issues Associated with Millimeter Wave Whole Body Imaging Technology*. *Health Physics* 102(1):81-82; 2012.
- *Note on the Interphone Study*. Published at www.icnirp.org; 2011.
- *Mobile Phones, Brain Tumours and the Interphone Study: Where Are We Now?* *Environ Health Perspect* 119(11): 1534-1538; 2011.
- *Guidelines on Static Fields - Guidelines on Limits of Exposure to Static Magnetic Fields*. *Health Physics* 96(4):504-514; 2009.
- *Fact Sheet on Static Fields - 2009*
- *Statement on MR and patients - Amendment to the ICNIRP "Statement on Medical Magnetic Resonance (MR) Procedures: Protection of Patients"*. *Health Physics* 97(3):259-261; 2009.

3.1.6.

ISO (*International Organization for Standardization*)

A ISO (Organização Internacional para Padronização) é uma organização independente, não-governamental, fundada em 1947, composta por membros dos organismos nacionais de normalização de 164 países (111 efetivos, 49 correspondentes, 4 assinantes), que se reúnem uma vez por ano em Assembleia Geral para decidir os objetivos estratégicos. Possui uma secretaria central em

Genebra, Suíça, onde trabalham 150 pessoas, que coordena um sistema com 224 comitês técnicos.

O Brasil participa como membro efetivo e observador, através da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) em 327 TC/SC e 3 PDC (*Policy Development Committees*: CASCO, COPOLCO, DEVCO). A ISO já produziu e publicou mais de 19500 normas e documentos cobrindo quase todos os aspectos de tecnologia e negócios, segundo seu *website* (ISO, 2013).

No âmbito do BIPM, a ISO participa do Comitê Consultivo de Unidades (CCU – *Consultative Committee for Units*), do Comitê Conjunto para Guias em Metrologia (JCGM - *Joint Committee for Guides in Metrology*), e da Comissão Mista de Coordenação de Assistência aos países em desenvolvimento em metrologia, acreditação e Normalização (JCDCMAS - *Joint Committee on Coordination of Assistance to Developing Countries in Metrology, Accreditation and Standardization*).

As publicações da ISO classificam-se em diversos tipos: **Normas Técnicas** (p.ex.: normas da ABNT); **Normas de Procedimento** (p.ex: a ISO 9000 de gestão da qualidade); **Classificações** (p.ex: os códigos de países BR / BRA / 076 para Brasil).

Algumas **Normas técnicas da ISO** (*standards*) importantes para a metrologia são:

- ISO 1000-- Unidades SI e recomendações para o uso de seus múltiplos e de algumas outras unidades;
- ISO 80000 -- Norma sobre grandezas e unidades, que substitui a ISO 31;
- IEC 80000-6:2008-- Grandezas e Unidades -- Parte 6: Eletromagnetismo;
- ISO 9000 -- Sistema de gestão da qualidade em ambientes de produção;
- ISO/IEC 17025 -- Laboratórios de Ensaio e Calibração;
- ISO 17.020: Metrologia e medições em geral;

Algumas normas relacionados ao campo magnético são:

- ISO 9213:2004 - *Measurement of total discharge in open channels -- Electromagnetic method using a full-channel-width coil*;
- ISO 4986:2010 - *Steel castings -- Magnetic particle inspection*;
- ISO 5347-19:1993 - *Methods for the calibration of vibration and shock pick-ups -- Part 19: Testing of magnetic field sensitivity*;

3.1.7. IEC (*International Electrotechnical Commission*)

Fundada em 1906, o IEC é uma das três principais organizações, juntamente com a ISO e a ITU (*International Telecommunication Union*), para elaboração e publicação de normas internacionais para todas as tecnologias elétricas, eletrônicas e relacionadas. Quando apropriado, a IEC coopera com a ITU ou ISO para garantir que as normas internacionais sejam harmônicas e complementares. Comissões mistas certificam-se de que as normas internacionais combinam todos os conhecimentos relevantes de peritos que trabalham em áreas relacionadas (IEC, 2013).

A IEC serve a mercados mundiais e à sociedade por meio do seu trabalho de normalização, utilizado na avaliação de conformidade de todas as tecnologias elétricas, eletrônicas e relacionadas. Desta forma, promove o comércio mundial e o crescimento econômico, incentivando o desenvolvimento de produtos, sistemas e serviços seguros, eficientes e ambientalmente amigáveis.

Possui uma estrutura formada por grupos de trabalho (*WorkingGroups-WG*), comissões/subcomissões técnicas (*Technical Committees and Subcommittees-TC/SC*), equipes de projetos (*Project Team - PT*) e equipes de manutenção (*Maintenance-MT*) trabalhando em conjunto com 10 mil profissionais de diversos países.

Dentre todos os 171 comitês técnicos da IEC, aqueles mais diretamente relacionados às grandezas magnéticas são listados no Quadro 1, no qual também se incluem alguns subcomitês de maior importância (IEC, 2013).

Quadro 1- Comitês técnicos e alguns subcomitês da IEC mais diretamente relacionados a grandezas magnéticas.

Comitê Técnico IEC	Descrição (<i>Description</i>)
TC 27	<i>Industrial electroheating and electromagnetic processing</i>
TC 51	<i>Magnetic components and ferrite materials</i>
TC 62	<i>Electrical equipment in medical practice</i>
SC 62B	<i>Diagnostic imaging equipment</i>
SC 62D	<i>Electromedical equipment</i>
TC 68	<i>Magnetic alloys and steels</i>
TC 77	<i>Electromagnetic compatibility</i>
TC 85	<i>Measuring equipment for electrical and electromagnetic quantities</i>

TC 106	<i>Methods for the assessment of electric, magnetic and electromagnetic fields associated with human exposure</i>
CISPR	<i>International special committee on radio interference</i>
CIS/D	<i>Electromagnetic disturbances related to electric/electronic equipment on vehicles and internal combustion engine powered devices</i>
CIS/I	<i>Electromagnetic compatibility of information technology equipment, multimedia equipment and receivers</i>

As publicações que resultam do trabalho dos comitês técnicos e subcomitês dividem-se em duas grandes categorias: Normativas e Informativas. As publicações normativas são as Normas Internacionais, Especificações Técnicas, Especificações Disponíveis Publicamente e Acordos Técnicos Industriais. Publicações Informativas são Relatórios Técnicos, Avaliações de Tendências Tecnológicas e Guias. As Normas Internacionais da IEC apoiam o comércio entre países, fornecendo uma referência para o funcionamento do Acordo sobre Barreiras Técnicas ao Comércio da Organização Mundial do Comércio (OMC) (IEC, 2013).

Dentre as normas publicadas pela IEC, para a metrologia em geral e para o tema deste trabalho destacam-se:

- ISO/IEC 17025:2005 - Requisitos gerais para a competência de laboratórios de ensaio e calibração - é uma publicação conjunta da ISO e IEC, que estabelece os critérios para laboratórios que desejam demonstrar sua competência técnica, que possuem um sistema da qualidade efetivo e que são capazes de produzir resultados tecnicamente válidos.
- IEC 61786:1998 - (Faixa de baixa frequência) fornece orientações para medir os valores eficazes (*rms* - *root-mean-square*) dos campos elétricos e magnéticos que têm um conteúdo de frequência na faixa de 15 Hz a 9 kHz. As faixas de magnitude abrangidas são de 1 V/m a 50 kV/m e de 100 nTa100 mT para campo elétrico e magnético, respectivamente. Especificamente, esta norma: define a terminologia; identifica as especificações necessárias do medidor de campo; indica os métodos de calibração; define os requisitos de incerteza de medição da instrumentação; descreve as características gerais dos campos; orienta pesquisas de princípios básicos de instrumentação; descreve

os métodos de medição para atingir as metas definidas referentes à exposição humana.

- IEC 62110:2009 - é uma publicação sobre metodologia de medição de campos elétricos e magnéticos em baixa frequência.
- IEC 62311:2007 - Avaliação de equipamentos elétricos/eletrônicos com respeito às restrições relativas à exposição das pessoas a campos eletromagnéticos (0 Hz - 300 GHz).

3.2.

Organismos Nacionais

No âmbito nacional, os organismos regulamentadores e normativos mais relevantes para a estrutura e garantia da confiabilidade metrológica, em particular para grandezas magnéticas, são abordados a seguir.

3.2.1.

INMETRO (Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia)

O Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (Inmetro) foi criado pela lei 5966 de 1973 (INMETRO,2013a), sendo o órgão executivo central do Sistema Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial - Sinmetro, e tendo por competência (Decreto Nº 7.938, de 19 de fevereiro de 2013):

I - elaborar e expedir regulamentos técnicos nas áreas determinadas pelo Conselho Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial - Conmetro;

II - elaborar e expedir regulamentos técnicos sobre o controle metrológico legal e instrumentos de medição;

III - exercer o poder de polícia administrativa na área de metrologia legal, que poderá ser delegado a órgãos ou entidades de direito público;

IV - exercer poder de polícia administrativa, e expedir regulamentos técnicos nas áreas de avaliação da conformidade de produtos, insumos e serviços, desde que não constituam objeto da competência de outros órgãos ou entidades da administração pública federal quanto à segurança; proteção da vida e da saúde

humana, animal e vegetal; proteção do meio ambiente; e prevenção de práticas enganosas de comércio;

V - executar, coordenar e supervisionar as atividades de metrologia legal e de avaliação da conformidade compulsória por ele regulamentadas ou exercidas por delegação;

VI - atuar como órgão acreditador oficial de organismos de avaliação da conformidade;

VII - registrar objetos sujeitos à avaliação da conformidade compulsória;

VIII - planejar e executar atividades de pesquisa, ensino e desenvolvimento científico e tecnológico em metrologia, avaliação da conformidade e áreas afins;

IX - prestar serviços de transferência tecnológica e de cooperação técnica voltados à inovação e à pesquisa científica e tecnológica em metrologia, avaliação da conformidade e áreas afins;

X - prestar serviços voltados ao fortalecimento técnico e à inovação nas empresas nacionais;

XI - produzir e alienar materiais de referência, padrões metrológicos e produtos relacionados;

XII - realizar contribuições a entidades estrangeiras congêneres, cujos interesses estejam amparados em acordos firmados entre si ou entre os respectivos países, como uma única ação;

XIII - designar entidades públicas ou privadas para executar atividades técnicas nas áreas de metrologia legal e de avaliação da conformidade, no âmbito de sua competência regulamentadora;

XIV - atuar como órgão oficial de monitoramento da conformidade aos princípios das boas práticas de laboratório;

XV - conceder bolsas de pesquisa científica e tecnológica para o desenvolvimento de tecnologia de produto ou de tecnologia de processo, de caráter contínuo, diretamente ou por intermédio de parceria com instituições públicas ou privadas;

XVI - estabelecer parcerias com entidades de ensino para a formação e especialização profissional nas áreas de sua atuação, inclusive para programas de residência técnica;

XVII - anuir no processo de importação de produtos por ele regulamentados que estejam sujeitos a regime de licenciamento não automático ou a outras medidas de controle administrativo prévio ao despacho para consumo; e

XVIII - representar o País em foros regionais, nacionais e internacionais sobre avaliação da conformidade.

Considerando que o INMETRO foi designado pelo Conselho Nacional de Metrologia - CONMETRO para propor as modificações no Quadro Geral de Unidades de Medida no País, integrante do SI; e que o SI é dinâmico e evolui de forma contínua para refletir as melhores práticas de medição que são aperfeiçoadas com o decorrer do tempo, requerendo um mecanismo mais flexível para a sua divulgação aos usuários do País; a Resolução CONMETRO / MDIC número 4 de 05/12/2012 dispõe sobre a delegação de competência ao INMETRO para divulgar o Sistema Internacional de Unidades de Medida – SI, no País, no qual constarão os nomes, as definições das unidades e os prefixos SI, e que estabelece o INMETRO como encarregado de traduzir para o português e divulgar as alterações do Sistema SI, resolver casos omissos e dirimir dúvidas que possam surgir na interpretação e na aplicação das unidades legais no País, bem como manter atualizado o Quadro Geral de Unidades de Medida adotado.

As atribuições principais do INMETRO são:

- Metrologia Científica e Industrial;
- Metrologia Legal;
- Avaliação da Conformidade;
- Organismo Acreditor;
- Secretaria Executiva do Conmetro e dos seus comitês técnicos assessores;
- Supervisor dos Organismos de Fiscalização e Verificação da Certificação (*).

(*) O Inmetro delega as atividades de verificação, fiscalização e da certificação às entidades da Rede Brasileira de Metrologia Legal e Qualidade – RBMLQ, que são os Institutos de Pesos e Medidas (IPEM) dos estados brasileiros.

Outra atribuição do Inmetro está na elaboração de Regulamentos Técnicos Metrológicos (RTM), os quais define mas exigências que os equipamentos devem atender. Estes são de caráter compulsório e são normalmente baseados nas

Recomendações Internacionais da Organização Internacional de Metrologia Legal (OIML), sendo que, senão houver recomendação da OIML, os requisitos do RTM devem ser baseados em outro documento de aceitação internacional como, por exemplo, os publicados pela ISO ou pelo IEC.

Todo instrumento de medição sob o controle legal (conjunto de atividades de metrologia legal que visam à garantia metrológica, compreendendo o controle legal dos instrumentos de medição, a supervisão metrológica e a perícia metrológica) deve ser submetido à apreciação técnica de modelo (ATM) antes de ser colocado no mercado. Esta atividade é responsabilidade da Diretoria de Metrologia Legal do Inmetro (Dimel) e compreende o exame e ensaio sistemáticos do desempenho de um ou vários exemplares de um modelo identificado de um instrumento de medição, em relação às exigências documentadas, afim de determinar se o modelo pode ou não ser aprovado.

O Brasil é filiado à OIML como país membro e participado processo de elaboração destas Recomendações como base para harmonização da regulamentação do Mercosul. Como objetivo de obter um processo de elaboração de RTMs mais participativo, representativo e transparente, o INMETRO criou Grupos de Trabalho (GT) de Regulamentação Metrológica, gerenciados pela Divisão de Desenvolvimento e Regulamentação Metrológica – Dider.

Sinmetro

Sistema Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial

O Sinmetro é um sistema brasileiro, constituído por entidades públicas e privadas, que exercem atividades relacionadas com metrologia, normalização, qualidade industrial e certificação da conformidade.

O Sinmetro foi instituído pela Lei 5966 de 11 de dezembro de 1973 com uma infraestrutura de serviços tecnológicos capaz de avaliar e certificar a qualidade de produtos, processos e serviços por meio de organismos de certificação, rede de laboratórios de ensaio e de calibração, organismos de treinamento, organismos de ensaios de proficiência e organismos de inspeção, todos acreditados pelo INMETRO.

Apoiam esse sistema os organismos de normalização, os laboratórios de metrologia científica e industrial e de metrologia legal dos estados. Essa estrutura

está formada para atender às necessidades da indústria, do comércio, do governo e do consumidor.

Dentre as organizações que compõem o Sinmetro, as seguintes podem ser relacionadas como principais:

- Conmetro e seus Comitês Técnicos;
- INMETRO ;
- Organismos de Certificação Acreditados, (Sistemas da Qualidade, Sistemas de Gestão Ambiental, Produtos e Pessoal);
- Organismos de Inspeção Acreditados;
- Organismos de Treinamento Acreditados;
- Organismo Provedor de Ensaio de Proficiência Credenciado;
- Laboratórios Acreditados – Calibrações e Ensaio – RBC/RBLE ;
- Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT ;
- Institutos Estaduais de Pesos e Medidas – IPEM ;
- Redes Metrológicas Estaduais.

As funções do Sinmetro são:

- Metrologia Científica e Industrial;
- Metrologia Legal;
- Normalização e Regulamentação Técnica;
- Certificação;
- Ensaio e Calibrações;
- Acreditação.

Metrologia Científica e Industrial

Na área da metrologia científica e industrial o Sinmetro é de grande importância para a ciência e a economia do Brasil, tendo em vista que é o Sistema responsável pelas grandezas metrológicas básicas. Este Sistema, sob coordenação do Inmetro, transfere para a sociedade padrões de medição com confiabilidade igual à de outros países, mesmo os chamados países do primeiro mundo.

Junto com a normalização e a regulamentação técnica, esta área é um dos pilares das atividades do Sinmetro.

Metrologia Legal

Considera-se que esta área se constitui num dos maiores sistemas conhecidos de defesa do consumidor no Brasil.

O Inmetro atua como coordenador da Rede de IPEM dos estados brasileiros, chamada Rede Brasileira de Metrologia Legal e Qualidade - RBMLQ.

Durante os trabalhos de fiscalização, os órgãos da RBMLQ coletam produtos nos estabelecimentos comerciais para avaliar o peso e o volume e verificar se a qualidade dos produtos é adequada para o consumo. Este é um trabalho de utilidade pública que alcança mais de cinco mil municípios brasileiros.

Normalização e Regulamentação Técnica

Uma das atividades do Sinmetro é a de elaborar normas para dar apoio à regulamentação técnica, facilitar o comércio e fornecer a base para melhorar a qualidade de processos, produtos e serviços.

A área de normalização no Sinmetro está sob a responsabilidade da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), que tem autoridade para acreditar Organismos de Normalização Setoriais (ONS) para o desempenho dessas tarefas, além de representar o Brasil na ISO/IEC e nos foros regionais de normalização, com participação em vários comitês técnicos, como o ISO TC 176 (qualidade), ISO TC 207 (meio ambiente) e ISO/CASCO, além do ISO/TMB (*Technical Management Board*).

As atividades relacionadas à acreditação e avaliação de conformidade no Sinmetro são baseadas nas normas e guias ABNT/ISO/IEC.

Certificação

São os organismos de certificação acreditados, que conduzem a certificação da conformidade no Sinmetro, nas áreas de produtos, sistemas da qualidade, pessoal e meio ambiente.

Estes organismos são entidades públicas, privadas ou mistas, nacionais ou estrangeiras, situadas no Brasil ou no exterior, sem fins lucrativos e que demonstraram competência técnica e organizacional para aquelas tarefas. Operam em bases semelhantes aos organismos estrangeiros, utilizando normas e guias ABNT, Copant, Mercosul, ISO/IEC e as recomendações do IAF, IATCA e IAAC, principalmente.

Ensaio e Calibrações

Os ensaios e calibrações executados no Sinmetro são de responsabilidade dos laboratórios públicos, privados ou mistos, nacionais ou estrangeiros, da RBC e RBLE. Tais serviços são utilizados, na maioria dos casos, para a certificação de produtos (ensaios) e calibração de padrões de trabalho na indústria, além da calibração dos próprios instrumentos industriais. Todos os serviços são executados por laboratórios acreditados pelo Inmetro, no Brasil e no exterior.

A base para a acreditação e operação dos laboratórios constituintes da RBC e RBLE são as normas e guias da ABNT, Copant, Mercosul e ISO/IEC e suas interpretações pelo ILAC e IAAC, principalmente.

Acreditação

O Inmetro é o único órgão acreditador do Sinmetro, seguindo a tendência internacional atual de apenas um acreditador por país ou economia. O Inmetro é reconhecido internacionalmente como o organismo de acreditação brasileiro, pois baseia sua acreditação nas normas e guias da ABNT, Copant, Mercosul e nas orientações do IAF, ILAC, IATCA e IAAC, principalmente, e é assessorado pelos Comitês Técnicos do Conmetro na preparação dos documentos que servem de base para a acreditação.

A acreditação no Sinmetro é concedida pelo Inmetro e significa um reconhecimento formal de que um organismo de certificação, laboratório de calibração, organismo de inspeção e outros, está operando um sistema de qualidade documentado e demonstrou competência técnica para realizar serviços específicos, avaliados segundo critérios estabelecidos pelo Inmetro, baseados em guias e normas internacionais.

O Inmetro acredita Laboratórios de Calibração e Ensaio; Organismos de Certificação; Organismos de Inspeção; Organismos de Verificação de Desempenho de Produto; Produtores de Materiais de Referência; Provedores de Ensaio de Proficiência; Acreditação transfronteiras (*Cross-frontier accreditation*).

Processo de acreditação

A base da acreditação utilizada pela Coordenação Geral de Acreditação (Cgcre) do Inmetro é formada pelas normas ABNT NBR ISO/IEC 17021 e ABNT NBR ISO/IEC 17024 para organismos certificadores de sistemas e pessoas, respectivamente; ABNT NBR ISO/IEC GUIA 65 para organismos certificadores de produtos; ABNT NBR ISO/IEC 17020 para organismos de inspeção; ABNT NBR ISO/IEC 17025 para laboratórios; ISO/IEC 17043 para provedores de ensaios de proficiência; OECD/BPL para Monitoramento da Conformidade aos Princípios das Boas Práticas de Laboratório e ABNT NBR NM ISO 15189 para laboratórios de análises clínicas. A organização do Inmetro como acreditador de laboratórios está baseada no Guia ISO 58 e, como acreditador de organismos de certificação, no Guia ISO 61. As orientações do IAF, ILAC, IATCA e IAAC para a utilização desses documentos são também utilizadas.

Qualquer entidade que ofereça serviços de certificação, de inspeção, de laboratório ou de ensaios de proficiência, seja ela pública ou privada, nacional ou estrangeira, situada no Brasil ou no exterior, pode solicitar acreditação junto ao Inmetro.

As etapas principais para a concessão da acreditação são a solicitação formal da acreditação, a análise da documentação encaminhada e a avaliação "in loco"; um contrato e um certificado de acreditação; avaliações periódicas, com o objetivo de verificar a permanência das condições que deram origem a acreditação, é a etapa de manutenção da acreditação.

O Inmetro reconhece a Divisão do Serviço da Hora do Observatório Nacional como referência das grandezas tempo e frequência, o Instituto de Radioproteção e Dosimetria (IRD), como referência das grandezas radiações ionizantes. Outras instituições vêm sendo agregadas ao sistema pelo Inmetro, para que sejam realizadas no Brasil outras grandezas metrológicas básicas.

Reconhecimento Internacional

O Inmetro adota os Guias ABNT/ISO/IEC 25, 39, 43, 58, 61, 62 e 65, que estabelecem os requisitos para a sua própria organização e para a acreditação das diversas organizações do Sinmetro.

Na busca do reconhecimento internacional, o Inmetro representa o Brasil nos seguintes foros internacionais:

- IAF - *International Accreditation Forum*;
- IAAC - *Interamerican Accreditation Cooperation*;
- ILAC - *International Laboratory Accreditation Cooperation*;
- OIML - *Organização Internacional de Metrologia Legal*;
- IATCA - *International Auditor and Training Certification Association*;
- BIPM - *Bureau International des Poids et Mesures*;

O Inmetro mantém acordos de cooperação com as seguintes entidades:

- UKAS - *United Kingdom Accreditation Service*;
- NIST - *National Institute of Standards and Technology*;
- PTB - *Physikalisch-Technische Bundesanstalt*;
- ANSI - *American National Standards Institute*.

A ABNT representa o Brasil nos seguintes foros:

- ISO - *International Organization for Standardization*
- Copant - Comissão Panamericana de Normalização Técnica
- CMN - Comitê Mercosul de Normalização
- CEN/CENELEC - Organização Conjunta Europeia de Normalização

3.2.2.

ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica)

A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), autarquia em regime especial vinculada ao Ministério de Minas e Energia, foi criada para regular o setor elétrico brasileiro, por meio da Lei nº 9.427/1996 e do Decreto nº 2.335/1997. A ANEEL iniciou suas atividades em dezembro de 1997, tendo como principais atribuições:

- Regular a produção, transmissão, distribuição e comercialização de energia elétrica;
- Fiscalizar, diretamente ou mediante convênios com órgãos estaduais, as concessões, as permissões e os serviços de energia elétrica;
- Implementar as políticas e diretrizes do governo federal relativas à exploração da energia elétrica e ao aproveitamento dos potenciais hidráulicos;

- Estabelecer tarifas;
- Mediar, na esfera administrativa, os conflitos entre os agentes e entre esses agentes e os consumidores;
- Por delegação do governo federal, promover as atividades relativas às outorgas de concessão, permissão e autorização de empreendimentos e serviços de energia elétrica.

Para exercer suas atribuições, a ANEEL conta com uma estrutura organizada em dois níveis hierárquicos, o que proporciona mais agilidade e eficiência às decisões. A Agência é conduzida por uma **Diretoria Colegiada**, composta por um diretor geral e quatro diretores. As decisões da Diretoria são subsidiadas pelo trabalho de **20 unidades técnicas e de apoio**, além da Chefia de Gabinete, da Secretaria-Geral, da Auditoria Interna e da Procuradoria-Geral. Ao deliberar sobre questões trazidas à sua consideração, a Diretoria Colegiada pauta-se pelos princípios da transparência e da isonomia, buscando assim o equilíbrio dessas decisões em relação aos interesses dos consumidores, dos agentes e do próprio Governo.

A seguir são listados os documentos regulatórios ANEEL mais relevantes ao tema dessa dissertação.

Lei federal 11.934, de 5 de maio de 2009

Dispõe sobre limites à exposição humana a campos elétricos, magnéticos e eletromagnéticos; altera a Lei no 4.771, de 15 de setembro de 1965. Se baseia nas recomendações da Organização Mundial de Saúde (OMS), que estabelece a faixa entre 9 kHz e 300 GHz para exposição a campos elétricos, magnéticos e eletromagnéticos gerados por estações transmissoras de radiocomunicação, terminais de usuários e sistemas de energia elétrica.

- Limite para exposição do público em geral de 83,33 μ T para campo magnético e 4,17 kV/m para campo elétrico, para os sistemas que operam nas faixas de frequências até 300 GHz; e
- Limite para exposição da população ocupacional de 416,67 μ T para campo magnético e 8,33 kV/m para campo elétrico, para os sistemas que operam nas faixas de frequências até 300 GHz .

Resolução Normativa 398 de 23 de março de 2010 da ANEEL.

- Regulamenta a Lei Federal 11.934 de 05/05/09;
- Estabelece procedimentos para regular e fiscalizar o atendimento aos limites de exposição a campos elétricos e magnéticos;

Resolução Normativa 413 de 03 de Novembro de 2010 da ANEEL.

- Regulamenta a Lei Federal 11.934 de 05/05/09;
- Altera a redação dos arts 6º e 8º, insere o art. 8º-A e substitui o Anexo da Resolução Normativa nº 398, de 23 de março de 2010, que regulamenta a Lei nº 11.934, de 5 de maio de 2009, no que se refere aos limites à exposição humana a campos elétricos e magnéticos originários de instalações de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica, na frequência de 60 Hz.

3.2.3.

ANVISA (Agência Nacional de Vigilância Sanitária)

A Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) Criada pela **Lei nº 9.782, de 26 de janeiro 1999**, a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa) é uma autarquia sob regime especial, que tem como área de atuação todos os setores relacionados a produtos e serviços que possam afetar a saúde da população brasileira, por intermédio do controle sanitário da produção e da comercialização de produtos e serviços submetidos à vigilância sanitária, inclusive dos ambientes, dos processos, dos insumos e das tecnologias a eles relacionados. Sua competência abrange tanto a regulação sanitária quanto a regulação econômica do mercado. Além da atribuição regulatória, também é responsável pela coordenação do Sistema Nacional de Vigilância Sanitária (SNVS), de forma integrada com outros órgãos públicos relacionados direta ou indiretamente ao setor da saúde. Na estrutura da administração pública federal, a ANVISA encontra-se vinculada ao Ministério da Saúde e integra o Sistema Único de Saúde (SUS), absorvendo seus princípios e diretrizes. (ANVISA, 2012a).

O Sistema SNVS engloba unidades nos três níveis de governo – federal, estadual e municipal – com responsabilidades compartilhadas. No nível federal, estão a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) e o Instituto

Nacional de Controle de Qualidade em Saúde (INCQS/Fiocruz). No nível estadual, estão o órgão de vigilância sanitária e o Laboratório Central (Lacen) de cada uma das 27 Unidades da Federação. No nível municipal, estão os serviços de VISA dos 5561 municípios brasileiros, muitos dos quais ainda em fase de organização. Participam indiretamente do Sistema: Conselhos de Saúde e Conselhos de Secretários de Saúde. Interagem e cooperam com o Sistema: órgãos e instituições, governamentais ou não, de diversas áreas.

Como exemplo de controle realizado pela agência, podem-se citar os equipamentos eletromédicos, que são sujeitos à certificação compulsória. Neste caso, a ANVISA só fornece o registro necessário para a sua comercialização no mercado nacional e internacional mediante a certificação de Produto por Organismo Certificador de Produto (OCP) acreditado pelo INMETRO. A Certificação de Produto, também conhecida como Avaliação da Conformidade, é um processo sistematizado, acompanhado e avaliado, de forma a propiciar adequado grau de confiança de que um produto atende a requisitos pré-estabelecidos em normas e regulamentos técnicos, nacionais e internacionais.

A Instrução Normativa nº3, de 21 de junho de 2011, estabelece a lista de normas técnicas cujas prescrições devem ser atendidas para certificação de conformidade, no âmbito do Sistema Brasileiro de Avaliação da Conformidade (SBAC), dos equipamentos sob regime de Vigilância Sanitária (eletromédicos), nos termos da Resolução RDC ANVISA nº 27, de 21 de junho de 2011.

3.2.4.

ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas)

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) é uma entidade privada e sem fins lucrativos fundada em 1940, sendo responsável pela normalização técnica brasileira, com a missão de prover a sociedade brasileira de conhecimento sistematizado, por meio de documentos normativos, que permita a produção, a comercialização e uso de bens e serviços de forma competitiva e sustentável nos mercados interno e externo, contribuindo para o desenvolvimento científico e tecnológico, proteção do meio ambiente e defesa do consumidor. É membro fundador da ISO (*International Organization for Standardization*), da

COPANT (Comissão Panamericana de Normas Técnicas) e da AMN (Associação Mercosul de Normalização) (ABNT, 2013).

A ABNT é responsável no País pela elaboração das Normas Técnicas Brasileiras (NBR), por meio de seus Comitês Brasileiros (ABNT/CB), Organismos de Normalização Setorial (ABNT/ONS) ou pelas Comissões de Estudo Especiais (ABNT/CEE) por ela credenciados. Seu acervo reúne perto de 10 mil normas destinadas às mais diversas áreas. Os comitês e os ONS são organizados em uma base setorial, por área de conhecimento, ou para tratar de temas de normalização que interessem a diversos setores, como é o caso da Qualidade, da Gestão Ambiental e da Responsabilidade Social.

A ABNT mantém um Centro de Informações Tecnológicas (CIT), no qual os interessados podem fazer consultas sobre o acervo e oferece também o ABNT-Catálogo, serviço que permite a pesquisa de normas via Internet. Outras facilidades, como o acesso unificado ao acervo e gerenciamento das normas, com rapidez e segurança, é oferecida pelo ABNT-Coleção.

Na ABNT o comitê CB-53 é o responsável pela normalização na área da Metrologia, denominado Comitê Brasileiro de Normalização em Metrologia. Atua em normalização no campo da metrologia científica e industrial e suas áreas correlatas, compreendendo: terminologia, generalidades e procedimentos para controle metrológico, confiabilidade laboratorial, métodos e técnicas de calibração e ensaios, comparação interlaboratorial, ensaios de proficiência, aplicáveis a qualquer segmento/setor econômico, dispositivos e instrumentos de medição. (ABNT, 2013).

O comitê CB-03 é o responsável pela normalização no campo da eletricidade. O CB-03 estabelece diretrizes para seleção e aplicação das normas no campo da eletricidade, compreendendo geração, transmissão e distribuição de energia; equipamentos industriais em atmosferas explosivas; eletrônica; dispositivos e acessórios elétricos; instrumentação; bens de consumo; condutores elétricos; instalações elétricas; iluminação; compatibilidade eletromagnética e telecomunicações no que concerne à terminologia, requisitos, métodos de ensaio e generalidades (ABNT, 2013)

Por meio de consultas no ABNT-Catálogo, serviço que permite a pesquisa de normas via internet, encontraram-se as seguintes normas referentes a grandezas magnéticas:

- ABNT NBR 15415:2006– Métodos de medição e níveis de referência para exposição a campos elétricos e magnéticos na frequência de 50 Hz e 60Hz;
- ABNT NBR ISO 31-5:2006 – Grandezas e unidades - Parte 5: Eletricidade e magnetismo;

A norma ABNT NBR 15415:2006 aborda o limite para exposição do público em geral de 83,33 μ T para campo magnético e 4,17 kV/m para campo elétrico na frequência de 60 Hz, estabelecendo procedimentos e padrões de medição. Apesar de mencionar “campo magnético”, a norma ABNT NBR 15415:2006 provavelmente se refere à densidade de fluxo magnético, já que o limite é indicado pela unidade tesla.

A norma ISO 31, *Grandezas e unidades*, atualmente está sendo substituída pelas séries 80000 da ISO e 80000 da IEC *Grandezas e unidades*. A norma ABNT NBR ISO 31-5:2006 foi incorporada a partir da norma internacional ISO 31-5: 1992. No entanto, esta última está sendo substituída pela ISO 80000-6: 2008, atualmente em revisão.

O comitê responsável pela normalização no campo de gestão da qualidade, compreendendo sistemas da qualidade, garantia da qualidade e tecnologias de suporte, é o CB-25. Este estabelece diretrizes para seleção e aplicação das normas da qualidade, elabora guias e normas relativas a práticas de ensaio, inspeção e certificação de produtos, processos e serviços e para avaliação de sistemas de gestão, laboratórios de ensaio, organismos de inspeção, certificação e credenciamento, e sua operação e aceitação, excluindo-se a normalização de produtos e serviços. Dentro desse contexto pode-se citar a norma ABNT NBR ISO/IEC 17025:2005, que estabelece os requisitos gerais para a competência de laboratórios de ensaio e calibração, indicando a validação de 82 métodos e a estimativa da incerteza de medição dentre os requisitos técnicos importantes na qualidade assegurada dos laboratórios de ensaio, bem como a documentação do trabalho de validação (ABNT, 2013).

Também figuram entre os comitês relacionados com grandezas magnéticas o ABNT/ONS-58 - Organismo de Normalização Setorial de Ensaio Não Destrutivos, partículas magnéticas, especificamente, e o ABNT/CEE-109 - Comissão de Estudo Especial de Segurança e Saúde Ocupacional.

3.3.

Rastreabilidade de grandeza magnética no mundo

A rastreabilidade metrológica é um dos elementos que estabelecem confiança na equivalência das medições em nível internacional.

Segundo a declaração conjunta “*Joint BIPM, OIML, ILAC and ISO declaration on metrological traceability*”, assinada em 9 de novembro de 2011 pelo BIPM, OIML, ILAC e ISO, os princípios que devem ser adotados para demonstrar a rastreabilidade metrológica, objetivando a aceitabilidade internacional, são:

- As calibrações devem ser executadas em Institutos Nacionais de Metrologia signatários do MRA – CIPM, com CMCs publicadas em áreas relevantes da base de dados KCDB ou em laboratórios acreditados por Organismos de Acreditação que são signatários do acordo de reconhecimento mútuo do ILAC;
- A incerteza de medição deve seguir os princípios estabelecidos no GUM;
- Os resultados das medições efetuadas em laboratórios acreditados devem ser rastreáveis ao SI;
- dentro do MAA da OIML, a acreditação deve ser fornecida por órgãos signatários do acordo da ILAC e devem ser seguidas as condições acima sobre rastreabilidade ao SI;

Em julho de 2013, 15 institutos nacionais de metrologia (INM) possuíam infraestrutura implantada para rastreabilidade metrológica de grandezas magnéticas em seus países. A maioria desses (11 institutos) possui infraestrutura voltada para a realização da grandeza Densidade de Fluxo Magnético. Tal aspecto deve-se provavelmente ao fato de, durante o ano de 2000, terem ocorrido encontros voltados para o desenvolvimento de padrões para densidade de fluxo magnético, EUROMET Project No. 446 (Weyand, 2001), que culminaram na realização de uma ampla comparação-chave para determinação da equivalência dos padrões promovida pelo CCEM de 2001 a 2003. Os resultados indicaram a boa capacidade de manutenção do padrão de densidade de fluxo magnético por meio de um artefato, nos regimes contínuo (CC) e alternado (CA), envolvendo o uso de diferentes métodos e magnetômetros. Os resultados integram as informações fornecidas pelo KCDB - BIPM. Considerando as grandezas

magnéticas, desde o evento de 2003, na mesma importância nenhum outro aconteceu até abril de 2013, embora comparações suplementares de âmbito regional tenham ocorrido entre 2011 e 2012 (BIPM, 2013).

Por meio de consulta ao *website* do BIPM é possível obter informações sobre a Capacidade de Medição e Calibração (CMC) de cada país, na seção "*Calibration and Measurement Capabilities - CMCs*" do KCDB (BIPM-KCDB, 2013). O quadro 2 foi elaborado a partir das informações fornecidas por cada país em julho de 2012, sendo apresentada a relação entre grandezas magnéticas cuja rastreabilidade metrológica poderia ser fornecida e os países cuja capacidade de medição abrange a rastreabilidade metrológica a tais grandezas.

Os dados apresentados no quadro 2 indicam que a grandeza cuja rastreabilidade está disponível em maior número de países é a densidade de fluxo magnético CC e CA (para frequências inferiores a 50 kHz). A Rússia é o país que apresenta a capacidade de medição mais abrangente em relação a grandezas magnéticas (dez grandezas), seguida pelo Reino Unido (oito), República Tcheca (sete) e Coreia do Sul (seis). Observa-se que todos os países oferecem rastreabilidade a pelo menos uma grandeza relacionada à densidade de fluxo magnético (tesla).

Quadro 2– Grandezas magnéticas e respectivas faixas de intensidade e frequência, que compõem a Capacidade de Medição e Calibração (CMC) declarada no KCDB do BIPM por cada um dos países, apresentados em ordem decrescente de número de grandezas que realizam.

GRANDEZAS \ PAÍSES	Unidade	Rússia	Reino Unido	Czech	Korea	Itália	Alemanha	Noruega	China	Austrália	Turquia	Suíça	França	Malásia	Bulgária	Ucrânia	USA	Total de Países que Realizam a Grandeza
Campo magnético abaixo de 50 kHz: intensidade de campo magnético AC por corrente unitária	1/m	x																1
Campo eletromagnético acima de 50 kHz: intensidade de campo magnético	A/m	x	x		x	x		x										5
Campo magnético abaixo de 50 kHz: intensidade de campo magnético CC	A/m		x				x	x										3
Campo magnético abaixo de 50 kHz: intensidade de campo magnético CA	A/m		x					x										2
Campo eletromagnético acima de 50 kHz: intensidade de campo magnético (campo distante)	A/m						x											1
Campo magnético abaixo de 50 kHz: fator de blindagem CC (razão de densidade de fluxo magnético CC)	dB				x													1
Campo magnético abaixo de 50 kHz: DC turn area	m ²			x														1
Campo magnético abaixo de 50 kHz: turn area (ratio of magnetic flux and magnetic flux density)	m ²				x													1
Campo magnético abaixo de 50 kHz: densidade de fluxo magnético CC	T	x	x	x		x	x	x			x	x	x		x	x		11
Campo magnético abaixo de 50 kHz: densidade de fluxo magnético CA	T	x	x	x		x	x	x			x	x						8
Campo magnético abaixo de 50 kHz: densidade de fluxo magnético e intensidade do campo magnético aplicado CC	T				x				x	x				x				4
Campo magnético abaixo de 50 kHz: densidade de fluxo magnético e intensidade do campo magnético aplicado CA	T				x				x	x								3
Campo eletromagnético acima de 50 kHz: densidade de fluxo magnético	T		x															1
Campo magnético abaixo de 50 kHz: gradiente de campo magnético por corrente unitária	T/(A.m)	x																1
Campo magnético abaixo de 50 kHz: densidade de fluxo magnético CA por corrente unitária	T/A	x		x														2
Campo magnético abaixo de 50 kHz: densidade de fluxo magnético CC por corrente unitária	T/A	x									x							2
Campo magnético abaixo de 50 kHz: densidade de fluxo magnético por corrente unitária	T/A			x														1
Campo magnético abaixo de 50 kHz: gradiente de campo magnético	T/m	x																1
Campo eletromagnético acima de 50 kHz: densidade de fluxo de potência	W/m ²									x								1
Campo magnético abaixo de 50 kHz: fluxo magnético	Wb	x		x	x	x			x									5
Campo magnético abaixo de 50 kHz: fluxo magnético CC	Wb									x								1
Campo magnético abaixo de 50 kHz: fluxo magnético por corrente unitária	Wb/A	x																1
Campo magnético abaixo de 50 kHz: turn area	Wb/T	x	x	x		x	x		x									6
Total de GRANDEZAS Realizadas no País		10	8	7	6	5	5	5	4	4	3	2	1	1	1	1	0	

3.4.

Infraestrutura potencial disponível para rastreabilidade de grandeza magnética no Brasil

Conforme declarado no documento "Diretrizes Estratégicas para a Metrologia Brasileira 2008-2012" e transcrito aqui: "os Institutos Nacionais de Metrologia (INM) não se limitam a laboratórios de metrologia primária, prestadores de serviços – embora não possam deixar de sê-los [...] atuam como instrumento fundamental de políticas públicas [...] comprometidos direta e proativamente com o desenvolvimento e a competitividade das indústrias de seus países, bem como com a defesa de outros interesses nacionais (CBM, 2012)." Ao mesmo tempo "em que o INM aprofunda suas raízes científicas, se insere na política industrial como um importante instrumento." (CBM, 2012)

Nesse mesmo documento, também é declarado que as grandezas "mais importantes para o comércio, indústria, saúde, etc. e que têm especial relevância econômica ou estratégica é que são objeto das “referências nacionais”". Afirmar ainda que "um INM tem a guarda dos padrões metroológicos nacionais, bem como mantém, realiza, reproduz, representa e dissemina as unidades de medida no país" (CBM, 2012).

Nessa perspectiva é fundamental que se determine a importância das grandezas magnéticas para os diferentes setores mencionados, já que este é o indicador da necessidade de implantação de infraestrutura nacional para oferecer rastreabilidade de grandezas magnéticas.

A seguir, no item 3.4.1, são apresentadas iniciativas do INMETRO para o desenvolvimento da infraestrutura necessária à implantação da rastreabilidade de grandeza magnética no Brasil e no item 3.4.2 são citados alguns dos laboratórios cuja infraestrutura caracteriza o potencial para compor uma futura rede de laboratórios acreditados para calibração de grandezas magnéticas.

3.4.1. Grandezas Magnéticas no INMETRO

No INMETRO, a Divisão de Metrologia Elétrica (DIELE) e a Divisão de Metrologia de Materiais (DIMAT) possuem atividades relacionadas a grandezas e propriedades magnéticas. Os serviços de calibração, com suas respectivas faixas e com a melhor capacidade de medição realizada pela divisão (menor incerteza que o Laboratório é capaz de obter, com uma probabilidade de abrangência ou nível da confiança de aproximadamente 95%), estão publicados na página do BIPM no Apêndice C (BIPM,2013). Essas CMCs são revisadas periodicamente por Organizações Metrológicas Regionais (RMOs) do mundo (INMETRO, 2013b).

Dentre os Laboratórios de Calibração e Ensaio disponíveis na Divisão de Metrologia Elétrica do INMETRO (Quadro 3), em 2013, o Laboratório de Metrologia em Campo Elétrico e Magnético (Lamce) implantou infraestrutura inicial para gerar campos magnéticos senoidais rastreáveis aos seus próprios padrões de corrente alternada e a instrumentos calibrados em outros países. A infraestrutura implantada visa tornar disponível a calibração de medidores de densidade de fluxo magnético dentro da faixa de 1 a 700 μ T, frequência de 50 e 60 Hz e incerteza expandida de cerca de 2-4 % (França et al., 2013).

Quadro 3 – Laboratórios da Divisão de Metrologia Elétrica - Diele

Grupo DIELE	Descrição	Serviço
Lamce	Laboratório de Metrologia em Campo Elétrico e Magnético	Calibração
Lampe	Lab. de Metrologia em Padronização Elétrica	Calibração
Lamel	Lab. de Metrologia em Energia Elétrica	Calibração /Ensaio
Lameq	Lab. de Metrologia Elétrica Quântica	Calibração
Lacel	Lab. de Calibração em Metrologia Elétrica	Calibração
Lamat	Lab. de Metrologia em Alta Tensão	Calibração

Laboratório de Metrologia em Campo Elétrico e Magnético (Lamce)

Os serviços de calibração em medidores de densidade de fluxo magnético, em 50 e 60 Hz, estão sendo implantados para atender às exigências da ANEEL-RN nº413/2010 com relação às medições em linhas/subestações/instalações elétricas. Com base na norma técnica brasileira ABNT NBR 15415-2006, o

regulamento da ANEEL, RN nº413/2010, estabeleceu limites para exposição de pessoas a campos elétricos e magnéticos alternados gerados por linhas de transmissão e de distribuição e por dispositivos elétricos.

Os serviços prestados até o momento têm sua principal aplicação no setor elétrico e os novos serviços terão suas aplicações na indústria elétrica, metalúrgica, automotiva, bens de consumo, empresas fabricantes de equipamentos de fotocópia, laboratórios de metrologia, setor da saúde e em laboratórios de pesquisa e desenvolvimento tecnológico.

A DIELE possui ainda o propósito de obter melhoria das incertezas dos serviços já implementados (França et al., 2011) e a expansão dos serviços na área de densidade de fluxo magnético em CC. Nesses novos serviços os padrões poderão ser: bobina Helmholtz calculável; magnetômetro de ressonância nuclear; eletroímã; sonda de efeito Hall; ímã padrão; etc. (França et al., 2012).

A implantação e implementação dos Sistemas de Referência em Campo Magnético (SIRCAM) e em Campo Elétrico (SIRCEL) serão realizadas em várias etapas. Na etapa 1, o propósito foi estabelecer uma referência que atendesse às exigências estabelecidas pela ANEEL, principalmente àquelas relativas à intensidade, incerteza e frequência de medição.

O Sistema de Referência de Campo Magnético (SIRCAM), com o intuito de tornar os sistemas de medição mais confiáveis, com maior repetitividade, mais rápidos e mais exatos, é formado por bobinas alimentadas por fontes de correntes. A especificação requer bobinas com campo magnético de referência com boa uniformidade e fontes estáveis para alimentá-las, com baixo nível de ruído e baixa distorção. Com base nessas premissas, o INMETRO/DIELE adquiriu dois conjuntos de bobinas Helmholtz de geometria quadrada (um de eixo simples e outro triaxial). A geometria quadrada foi escolhida por apresentar um volume maior de uniformidade se comparada com o formato circular equivalente. A bobina de Helmholtz de eixo simples consiste em duas bobinas idênticas em série, com uma geometria específica, em que o raio médio é igual ao espaçamento médio das bobinas. Quando uma corrente é aplicada, um campo magnético uniforme é produzido em um determinado volume, cuja dimensão e variação de uniformidade depende do compromisso entre as dimensões físicas da bobina e da corrente aplicada. Configurações de maior complexidade, como a triaxial, são por vezes necessárias. Uma aplicação particular, que elimina uma das fontes de erro,

é a facilidade na calibração de medidor que possui bobinas dispostas nos 3 eixos, sem a necessidade de modificar a posição do sensor. Cada par de bobinas ou eixo é controlado independentemente por meio de fontes de alimentação dedicadas. Compõem os sistemas, portanto:

- Padrão de referência: uma sonda-padrão de densidade de fluxo magnético.
- Sistema de referência de eixo único: um conjunto de geração de campo uniforme formado por bobina de Helmholtz de geometria quadrada, uma fonte de corrente excitada por gerador de sinal senoidal, um sistema de medição de corrente, composto por shunt de corrente, multímetro de 8½ dígitos e software de amostragem digital.
- Sistema de referência triaxial: um conjunto de geração de campo uniforme formado por 3 bobinas de Helmholtz ortogonais de geometria quadrada e fontes de corrente excitada por gerador de sinal senoidal, um sistema de medição de corrente, composto por shunt de corrente, multímetro de 8½ dígitos e software de amostragem digital.

A rastreabilidade metrológica da tensão e resistência elétricas é dada pelos laboratórios do próprio INMETRO e a densidade de fluxo magnético é referenciada aos padrões do Instituto Nacional de Metrologia da Austrália, com propósito de implementação de rastreabilidade metrológica interna no futuro (França et al., 2011).

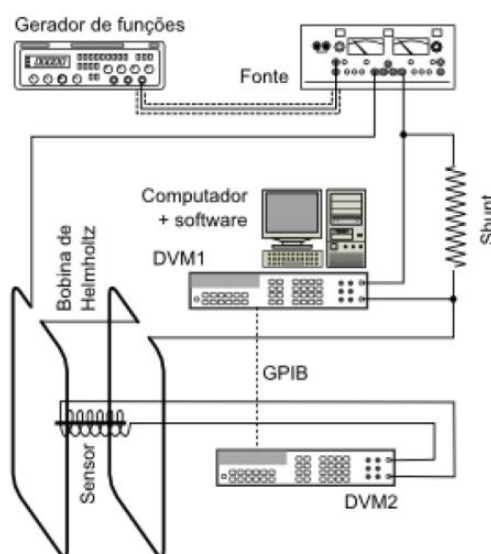


Figura 13- Esquema básico de calibração de campo magnético (França, 2011).

A DIELE participa em Comitês e Grupos de Trabalho Internacionais, tais como o Comitê Consultivo de Eletricidade e Magnetismo (CCEM) e o Grupo de Trabalho de Metrologia de Eletricidade e Magnetismo do SIM (SIM EM MWG), do Sistema Interamericano de Metrologia (SIM).

Em outubro de 2009, na reunião do CIPM, o INMETRO/DIMCI/DIELE foi eleito membro efetivo do Comitê Consultivo de Eletricidade e Magnetismo, se constituindo no primeiro INM da América Latina a se tornar membro do CCEM.

Laboratório de Magnetismo (Lamag)

Na Divisão de Metrologia de Materiais (DIMAT) do INMETRO, o Laboratório de Magnetismo (Lamag) está se capacitando para estudos de propriedades magnéticas das mais diversas formas. As propriedades magnéticas mais importantes são a permeabilidade magnética e as perdas totais, que dependem da resistividade, espessura de uma chapa e de sua microestrutura. A determinação de propriedades magnéticas de materiais magneticamente duros, como os ímãs permanentes e filmes finos magnéticos, realizadas com um magnetômetro de amostra vibrante (capaz de operar em altos campos magnéticos), pode auxiliar no desenvolvimento de ímãs nanocristalinos de alto desempenho para operação em altas temperaturas. A seguir é apresentada a Infraestrutura do Laboratório de Magnetismo (Lamag):

- Histeresímetro - Caracterização de materiais magneticamente moles, como aços elétricos, em campos com intensidade de até 30.000 A/m e frequências de 3 Hz até 2 kHz, utilizando um quadro Epstein de 25 cm.
- Magnetômetro de Amostra Vibrante - Medições magnéticas com alta sensibilidade em materiais magneticamente duros, incluindo filmes finos, em campos de até 2 T e em temperaturas de até 1000 °C.

No Lamag se desenvolvem várias Linhas de Pesquisa, como: Métodos de caracterização de propriedades magnéticas em chapas de aço elétrico; Estudo da relação entre perdas magnéticas e a microestrutura dos materiais; Caracterização de propriedades magnéticas com altos campos magnéticos, da temperatura ambiente até 1000 °C; Preparação e caracterização de materiais avançados: magnetocalóricos, memória de forma, etc; Desenvolvimento de modelos teóricos para materiais magnéticos.

3.4.2.

Grandezas Magnéticas em laboratórios com infraestrutura potencial

Nesta seção são citados alguns laboratórios de medição pertencentes a empresas ou centros de pesquisa e de desenvolvimento, os quais apresentam infraestrutura para medição de grandezas magnéticas, com possível potencial para ampliar a rede de laboratórios a serem acreditados pelo CGCRE (INMETRO), organismo de acreditação do Brasil.

3.4.2.1.

Grandezas Magnéticas no IPT

O Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo - IPT possui diversos laboratórios já acreditados pelo INMETRO (IPT, 2013a), mas nenhum para grandezas magnéticas.

Por meio de intercâmbio com o *Physikalisch-Technische Bundesanstalt* (PTB) e com o *Fraunhofer-Gesellschaft*, Alemanha, para conhecer as instalações e obter capacitações nas áreas de metrologia magnética, ensaios não-destrutivos, e caracterização de materiais com ênfase em métodos magnéticos, o IPT investiu na modernização do seu Laboratório de Metrologia Elétrica (LME), objetivando a realização de medições confiáveis e a caracterização magnética numa ampla faixa de intensidades de campo e indução magnética (Tabela 2). A faixa de intensidade de densidade de fluxo magnético cujas medições são pretendidas, juntamente com a metodologia para geração e medição da grandeza são apresentadas na tabela 2, a seguir (IPT, 2013b).

Tabela 2- Geração e medição do campo magnético em função da faixa de intensidades.

Intensidade	Geração de campo	Medição
50 mT – 2,5 T	Eletroímã com núcleo ferromagnético	RMN de absorção (<i>Teslameter</i> comercial)
3 mT – 50 mT	Eletroímã com núcleo de ar refrigerado à água	RMN de absorção não comercial
100 μ T – 3 mT	Bobina de precisão	RMN de livre precessão ou absorção em fluxo contínuo de água
1 μ T – 100 μ T	Bobina de precisão com sistema de cancelamento do campo geomagnético	RMN de livre precessão ou absorção em fluxo contínuo de água
< 1 μ T	Bobinas de precisão e câmaras blindadas	Indireta, pela medida de corrente em bobina calibrada, e medidas relativas com magnetômetros FLUXGATE, ou criogênicos (Squid)

As aplicações incluem ensaios, calibrações e desenvolvimentos de componentes e equipamentos usados em prospecção geofísica, espectroscopia e análises químicas, medicina diagnóstica e terapêutica, além de máquinas e carros elétricos. Estes recursos permitirão ainda o desenvolvimento de métodos simples para a caracterização de nanopartículas magnéticas. Na medicina, estas nanopartículas poderão contribuir para a identificação e destruição de tumores e na orientação magnética do trajeto de medicamentos até o ponto de interesse, evitando danos colaterais em tecidos saudáveis. Métodos magnéticos podem ser usados para verificar a integridade estrutural de componentes como dutos, *risers* e umbilicais em instalações industriais e plataformas de extração de petróleo (Martin, 2011).

O sistema para desenvolvimento de padrão de campo magnético é composto por vários arranjos experimentais, específicos para cada faixa de intensidade apresentada, conforme a configuração esquemática da Figura 14 a seguir (Martin, 2011).

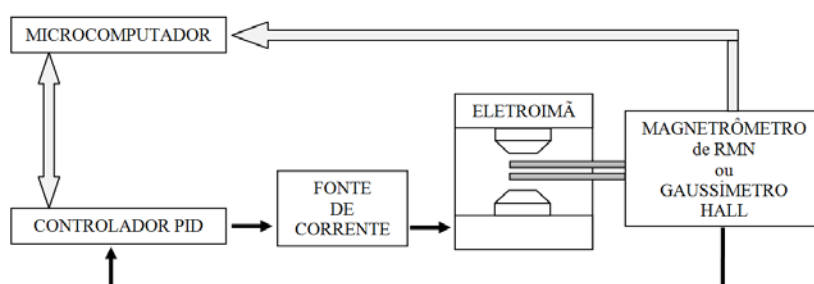


Figura 14 - Configuração Esquemática de um padrão de campo magnético (Martin, 2011).

A realização da unidade tesla com incertezas abaixo de 10 ppm pode ser feita com um magnetômetro de absorção no entreferro de um eletroímã com núcleo ferromagnético, e a realização de 1 mT é possível com a utilização de um magnetômetro baseado em fluxo contínuo de água, e uma bobina especial com núcleo de ar. A disseminação da rastreabilidade poderia ser feita por meio da calibração de padrões secundários até se chegar à calibração de instrumentos industriais, que têm incertezas típicas de 1%, tais como bobinas, magnetômetros, gaussímetros, e outros instrumentos de medições magnéticas utilizados tanto em laboratórios de pesquisa quanto em aplicações industriais. A configuração esquemática é semelhante àquela da Figura 14, com o magnetômetro RMN sendo

substituído por um gaussímetro de alta qualidade com incerteza da ordem de 0,1%.

3.4.2.2.

Grandezas Magnéticas no Observatório Nacional

O Observatório Nacional (ON), instituto de pesquisa vinculado ao Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI), atua em três grandes áreas de conhecimento: Astronomia, Geofísica e Metrologia em Tempo e Frequência, nas quais realiza pesquisa, desenvolvimento e inovação (ON, 2013). .

As medições regulares do campo geomagnético realizadas rotineiramente nas 110 estações da Rede Geomagnética e nos Observatórios propiciam subsídios para a pesquisa básica no estudo da morfologia do campo geomagnético no Brasil e sua evolução temporal, servindo de apoio a áreas aplicadas tais como: prospecção de minerais, água subterrânea e de petróleo; navegação; pesquisas espaciais, em especial a pesquisa sobre o eletrojato equatorial e anomalia magnética do Atlântico Sul.

Laboratório de Geomagnetismo: Dentre as importantes atribuições do laboratório, destaca-se a missão de dar apoio técnico: 1) aos Observatórios Magnéticos; 2) à Rede de Estações Magnéticas de Repetição; 3) ao Projeto FINEP-ON da Rede Brasileira de Observatórios Magnéticos (REBOM). O monitoramento do campo geomagnético por meio da medição contínua ou periódica faz parte da história do Observatório Nacional e o Laboratório de Geomagnetismo do ON é fundamental nesta atividade. Fornecimento de magnetogramas, calibração de bússolas e outros instrumentos de orientação à navegação com base no campo magnético terrestre são serviços frequentemente prestados pelos Observatórios Magnéticos, que também contribuem para o estudo do eletrojato equatorial e da anomalia magnética do Atlântico Sul, duas feições importantes do campo magnético terrestre, tendo o Brasil localização privilegiada para estudá-las. Com base na Rede de Estações Magnéticas de Repetição são construídos modelos de variação do campo magnético e das cartas magnéticas, com ampla utilização socioeconômica. Ao longo de 2010 foram adquiridos os seguintes equipamentos para o Laboratório de Geomagnetismo do ON: 32 Magnetômetros Longo Período Lemi417, Equipamentos de Medição

Magnetotelúrica Banda Larga Lemi419, Magnetômetro Gradiômetro GSM19, Magnetômetro GSM19-Tatuoca, Equipamento Transiente Eletromagnético TerraTEM, Eletroresistivímetro 8 canais MonexGeoScope, Giroscópio Sokkia de 1 segundo de arco, Equipamento Magnetotelúrico Banda Larga Metronix ADU07, Magnetômetros Diflux Lemi204 resolução de um segundo de arco.

Laboratório de Desenvolvimento de Sensores Magnéticos e Magnetômetros do ON (LDSM-ON): Tem por objetivo o desenvolvimento de sensores (p.ex., sensor nanocristalino; sensor amorfo) e magnetômetros do tipo fluxgate, prótons e Overhauser. Dentre os equipamentos adquiridos em 2010 pode-se citar: quatro fontes de alimentação de precisão; um gerador de funções; um notebook atualizado; um equipamento para tratamento termomecânico para materiais amorfos; software e hardware do *Labview* para simulação de circuitos eletrônicos. Os equipamentos pré-existentes são: uma bobina triaxial de *Helmholtz* (com arestas superiores a 1 metro); uma blindagem magnética com 5 camadas, concêntricas, de μ -metal; um analisador de espectro; um osciloscópio; um *Lock-In*; uma ponte RLC; um capacímetro portátil; três multímetros de bancada; um multímetro portátil; dois magnetômetros fluxgate construídos no LDSM/ON, entre outros..

Observatórios Geomagnéticos – Os observatórios Geomagnéticos têm como principal objetivo realizar medições, sem interrupções, do campo geomagnético. Além dos dois observatórios magnéticos operados pelo ON de forma contínua (Vassouras – RJ e Tatuoca – PA) e dos dois observatórios (Valinhos - SP) e São Martinho da Serra - RS) que entraram em operação em 2009, foram instaladas, em 2010, doze observatórios magnéticos itinerantes entre o Tocantins e o Macapá para estudos do eletrojato equatorial e da condutividade elétrica do manto. O observatório de Vassouras iniciou sua operação em 1915 e atualmente conta com os seguintes equipamentos: Magnetômetro *fluxgate* 3 componentes NAROD, Sistema INTERMAGNET (*fluxgate* 3 componentes, magnetômetro de prótons, plataforma de dados via satélite e periféricos), Magnetômetros unifilares TOEPFER, DI *fluxes* BARTINGTON e EDA, magnetômetros absolutos QHM, Magnetômetro RUSKA e Indutor terrestre RUSKA. O Observatório de Tatuoca opera desde 1957 e hoje conta com magnetômetros unifilares TOEPFER, DI flux EDA e de prótons GEOMETRICS (BENYOSEF e MOURILHE SILVA, 2009).

3.4.2.3.

Grandezas Magnéticas na Empresa GLOBALMAG

A GLOBALMAG transdutores magnéticos ind. com. Ltda., fundada em fevereiro de 2001, é uma empresa fabricante de equipamentos medidores de densidade de fluxo magnético e de dispositivos transdutores - tipo "*probe*", destinados, sobretudo, ao controle de campos magnéticos contínuos (CC) em processos industriais; de Medidores de Campos Magnéticos, Gaussímetros, Fluxímetros e Sensores (Globalmag, 2013).

A GLOBALMAG, segundo *website*, desde 2004, emite "Relatórios de calibração" para valores de campos magnéticos com intensidades 20 mT (200 gauss), 0,1 T (1000 gauss) e 1 T (10 kilogauss), como forma de garantir confiabilidade técnica aos seus produtos e serviços. (Globalmag, 2013).

3.4.2.4.

Grandezas Magnéticas no CTA/IEAv

O Laboratório de Sistemas Eletromagnéticos (LSE) pertence ao Centro Técnico Aeroespacial - Instituto de Estudos Avançados (CTA/IEAv) - do Comando da Aeronáutica. O LSE faz parte da infraestrutura da Divisão de Física Aplicada do CTA/IEAv, estando localizado em São José dos Campos, SP. As atividades de P&D no LSE apoiam a Diretoria de Saúde do Comando da Aeronáutica (DIRSA), promovendo missões de avaliações ambientais e de sistemas e a disseminação de Informações sobre radiação eletromagnética não ionizante.

3.4.2.5.

Grandezas Magnéticas no MAGLAB/UFSC

O MagLab-Laboratório de Eletromagnetismo e Compatibilidade Eletromagnética, é um laboratório do Departamento de Engenharia Elétrica da UFSC (Universidade Federal de Santa Catarina), que está credenciado como Laboratório de Ensaio em Compatibilidade Eletromagnética pela Reblas-ANVISA, além de outros organismos governamentais.

No MagLab é possível realizar vários testes relacionados ao Eletromagnetismo e Compatibilidade Eletromagnética, quais sejam:

- Testes de emissões radiadas e conduzidas; Testes de imunidade conduzida e radiada (susceptibilidade eletromagnética);
- Verificações de conformidade: IEC, EN, CISPR, CE, FCC, VDE, ANSI, IEEE, ANATEL, ANVISA, ICNIRP, etc.;
- Análise de qualidade de energia elétrica (distorção harmônica, fator de potência, flexões e ondulações, transitórios, sub e sobretensões, desvios de frequência);

3.4.2.6.

Grandezas Magnéticas no LDI/IFI

O Laboratório de Ensaios de Dispositivos Irradiantes do CTA foi criado em 1983 por meio de recursos orçamentários do CTA, recursos financeiros da Comissão de Implantação do Sistema de Controle do Espaço Aéreo (CISCEA), além de equipamentos fornecidos pelo programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD) para apoiar o desenvolvimento um laboratório de ensaios de medições de antenas transmissoras e receptoras, sendo seu principal objeto de trabalho uma câmara anecóica, em condições operacionais de uso. Nessa câmara são realizadas medições de ganho, polarização e diagramas de irradiação de sistemas irradiantes na faixa de frequências de 2 GHz a 23 GHz.

O LDI presta serviços a empresas de telecomunicações de pequeno e médio porte da região, além de apoiar a atividade de pesquisa e desenvolvimento dos vários institutos integrantes do CTA na área de sistemas eletromagnéticos irradiantes.

Quadro 4– Faixas de intensidade e frequência de grandezas magnéticas para cuja medição os laboratórios exemplificados apresentam infraestrutura desenvolvida ou em desenvolvimento.

Grandezas magnéticas (faixas de intensidade e frequência)	Unidade	INMETRO LAMCE	INMETRO LAMAG	IPT-SP	Observatório Nacional
Campo eletromagnético acima de 50 kHz: intensidade de campo magnético	A/m				
Campo eletromagnético acima de 50 kHz: intensidade de campo magnético (campo distante)	A/m				
Campo eletromagnético acima de 50 kHz: densidade de fluxo magnético	T				
Campo eletromagnético acima de 50 kHz: densidade de fluxo de potência	W/m ²				
Campo magnético abaixo de 50 kHz: intensidade de campo magnético CA	A/m		x		x
Campo magnético abaixo de 50 kHz: intensidade de campo magnético CA por corrente unitária	1/m				
Campo magnético abaixo de 50 kHz: densidade de fluxo magnético CA	T	x	x	x	x
Campo magnético abaixo de 50 kHz: densidade de fluxo magnético e intensidade do campo magnético aplicado CA	T				
Campo magnético abaixo de 50 kHz: densidade de fluxo magnético CA por corrente unitária	T/A				
Campo magnético abaixo de 50 kHz: intensidade de campo magnético CC	A/m		x		x
Campo magnético abaixo de 50 kHz: fluxo magnético CC	Wb				
Campo magnético abaixo de 50 kHz: densidade de fluxo magnético CC	T	x	x	x	x
Campo magnético abaixo de 50 kHz: densidade de fluxo magnético e intensidade do campo magnético aplicado CC	T				
Campo magnético abaixo de 50 kHz: densidade de fluxo magnético CC por corrente unitária	T/A				
Campo magnético abaixo de 50 kHz: fator de blindagem CC (razão de densidade de fluxo magnético CC)	dB				
Campo magnético abaixo de 50 kHz: DC turn area	m ²				
Campo magnético abaixo de 50 kHz: gradiente de campo magnético	T/m				
Campo magnético abaixo de 50 kHz: gradiente de campo magnético por corrente unitária	T/(A.m)				
Campo magnético abaixo de 50 kHz: fluxo magnético	Wb				
Campo magnético abaixo de 50 kHz: densidade de fluxo magnético por corrente unitária	T/A				
Campo magnético abaixo de 50 kHz: fluxo magnético por corrente unitária	Wb/A				
Campo magnético abaixo de 50 kHz: turn area	m ²				
Campo magnético abaixo de 50 kHz: turn area (razão de fluxo magnético e densidade de fluxo magnético)	Wb/T				

4

Demanda brasileira por calibração em metrologia de grandezas magnéticas

No presente capítulo são apresentados os resultados de um levantamento realizado para obtenção de informações sobre a demanda nacional por serviços metrológicos de calibração, relacionados a grandezas magnéticas, principalmente as grandezas relacionadas às radiações não ionizantes. Convencionalmente o Instituto Nacional de Metrologia do Brasil (Inmetro) captava a busca de informações sobre demanda nacional por rastreabilidade metrológica de grandezas em geral por meio de indicadores. Atualmente, a gestão estratégica institucional utiliza a metodologia Balanced Scorecard (BSC) para medição e avaliação do desempenho organizacional e coleta de informações da demanda nacional por grandezas (Barros Neto e Da Costa, 2006).

As demandas para calibração de grandezas magnéticas com rastreabilidade metrológica estão subdivididas conforme sua relação com setores regulatórios e normativos (item 4.1), industrial, por fabricantes de equipamentos relacionados com tais grandezas e de usuários destes equipamentos no processo de avaliação de conformidade (item 4.2) e, finalmente, no item 4.3, a demanda do setor de pesquisa e desenvolvimento (P&D) por serviços de calibração dos equipamentos adquiridos ou desenvolvidos, relacionados a grandezas magnéticas, a fim de validar os métodos de medição, garantindo a confiabilidade metrológica dos resultados. Dentre os estabelecimentos citados nos itens 4.2 e 4.3 se encontram também alguns laboratórios com infraestrutura para prestação de serviços de calibração, caracterizando-se como potenciais laboratórios para acreditação, quando a mesma for possível.

4.1.

Demanda do Setor Regulado

A demanda do setor regulado começou a ser estabelecida pelas diretrizes referentes a altas frequências e a campos eletromagnéticos de 50/60 Hz, as quais

foram emitidas pela *International Radiation Protection Association's / International Non-Ionizing Radiation Committee* (IRPA/INIRC) em 1988 e 1990 (Tabela 3), respectivamente, mas foram substituídas pelas recomendações de 1992, que abrangem a totalidade da faixa de frequências de campo eletromagnético (CEM) variáveis no tempo (até 300 GHz), quando da fundação da *International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection* (ICNIRP) (IRPA/INIRC 1988, 1990; ICNIRP, 1992).

As ondas eletromagnéticas com maior frequência já verificadas na natureza são as radiações gama (γ), que possuem frequência da ordem de 3×10^{20} Hz e são oriundas de emissões radioativas.

As radiações eletromagnéticas são divididas em ionizantes e não-ionizantes. As radiações eletromagnéticas ionizantes são aquelas que possuem frequência acima de 3petahertz (PHz ou 3×10^{15} Hz), e recebem essa nomenclatura por possuírem energia suficiente para quebrar as ligações moleculares dos tecidos humanos sobre os quais incidem. Por outro lado, as radiações abaixo desse limiar são denominadas não ionizantes (RNI). Dentre as RNI incluem-se as transmissões de radiofrequência por meio de ondas eletromagnéticas, situadas na faixa de 9 kHz a 3000 GHz.

Para a faixa de frequências das emissões de RNI, o principal efeito conhecido é o efeito térmico. Ao se propagar pelo corpo humano, as ondas eletromagnéticas têm parte de sua energia transformada em energia térmica, o que pode levar ao aquecimento. A elevação em 1 °C na temperatura de um tecido biológico pode ocasionar alteração do metabolismo celular, fadiga e distúrbios do sono (ANATEL,1999).

Campos magnéticos estáticos, por sua vez, são tratados nas diretrizes da ICNIRP publicadas em 1994 (ICNIRP, 1994). A ICNIRP avalia conhecimentos científicos e fornece orientações de proteção na faixa de frequência até 300 GHz, ou seja, faixas de radiofrequência, microondas e infravermelho, bem como proteção em ultrassom e radiações solares (ópticas). As orientações são diretrizes de proteção dos cidadãos e dos trabalhadores contra os efeitos adversos na saúde humana causados pela exposição à radiação não-ionizante.

Entre 1996 e 2007, com o objetivo de realizar estudos sobre os possíveis efeitos da radiação eletromagnética na saúde humana, na faixa de frequência entre 0 e 300 GHz, a Organização Mundial de Saúde (OMS) estabeleceu o “*INTERNATIONAL EMF PROJECT*”. Os resultados indicaram alguns efeitos devido ao aquecimento dos tecidos biológicos (a catarata nos olhos é exemplo de um possível efeito térmico da exposição à RNI). As pesquisas já concluídas permitiram que se estabelecessem limites à exposição de seres humanos a este tipo de radiação, garantindo que a temperatura do corpo não se eleve de 1°C. Outros resultados sugerem que tal exposição pode produzir efeitos como câncer, mudanças no comportamento, perda de memória, dores de cabeça, doenças de Parkinson e Alzheimer, porém não se mostraram conclusivos e nem suficientes. Desta forma, é de consenso, entre os especialistas da área, que extensivos estudos se fazem necessários, para o esclarecimento dos reais efeitos (ANVISA, 2006).

Os campos magnéticos de baixa frequência (ELF) interagem com os tecidos vivos por dois mecanismos: induzindo campos elétricos (Lei de *Faraday*); OU atuando diretamente sobre partículas magnéticas, tais como os cristais de magnetita (Fe_3O_4) (TSQC, 2006). A presença do campo elétrico, induzido pela variação no tempo da densidade de fluxo magnético aplicado, resulta em diferenças de potencial e correntes no tecido exposto (ICNIRP, 1998). Induções de densidades de corrente no tecido humano superiores a 1 A/m^2 podem produzir efeitos letais, como fibrilação cardíaca. A exposição a densidades de fluxo magnético acima de 3-5 mT ou a aplicação direta de correntes elétricas fracas na cabeça pode provocar sensações visuais oscilatórias fracas, conhecidas como magnetofosfenos (Silny 1986; ICNIRP, 1998).

Em 1998, a ICNIRP publicou orientações para radiofrequências eletromagnéticas (EMF), intitulado “*Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields (up to 300 GHz)*”. Em 2009, a ICNIRP finalizou uma revisão sobre os efeitos de radiofrequência na saúde humana, avaliando pesquisas nas áreas de biologia, física, dosimetria e epidemiologia.

As recomendações de limites para exposição humana a campos magnéticos estabelecem valores diferentes para exposição ocupacional e exposição da população em geral, sendo adotadas sempre restrições mais rigorosas para a

exposição do público. A população ocupacionalmente exposta compreende adultos que trabalham em ambiente exposto à radiação eletromagnética, cientes do potencial de exposição e com controle sobre sua permanência no local e sobre medidas preventivas.

No Brasil, até 1999, não havia um instrumento normativo que estabelecesse as limitações da exposição à radiação eletromagnética não-ionizante (RNI). Apenas algumas normas do Ministério do Trabalho se dedicavam a estabelecer protocolos de segurança para pessoas expostas à radiação em virtude de seu trabalho.

Em 1999, com a permissão da *Health Physics Society*, o Conselho Diretor da Anatel (Agência Nacional de Telecomunicações) adotou como referência provisória e publicou o documento elaborado pela ICNIRP, em 1998 contendo "Diretrizes para Limitação da Exposição a Campos Elétricos, Magnéticos e Eletromagnéticos Variáveis no Tempo (até 300 GHz)" (Tabela 3).

No ano de 2002, a Organização Mundial de Saúde (OMS) publicou o relatório de seus estudos realizados desde 1996. Com base no relatório, decidiu-se adotar os limites de exposição propostos em 1998 pela ICNIRP, e seus membros participantes foram orientados a criarem diretrizes utilizando os limites sugeridos. No Brasil, o "Regulamento de Uso do Espectro de Radiofrequências (RUE)", aprovado pela Resolução n.º 259 da Anatel, de 19 de abril de 2001 (ANATEL, 2001), estabeleceu que, para uma estação transmissora de radiocomunicação obter autorização de funcionamento, deve atender aos limites de exposição ocupacional e da população em geral a campos eletromagnéticos. Posteriormente, a ANATEL publicou Resolução n.º 303, de 2 de julho de 2002, aprovando o "Regulamento sobre Limitação da Exposição a Campos Elétricos, Magnéticos e Eletromagnéticos na Faixa de Radiofrequências entre 9 kHz e 300 GHz" (ANATEL, 2002).

No Brasil, a ANVISA publicou um documento chamado de "INFRA-ESTRUTURA PARA GARANTIR A QUALIDADE DAS MEDIÇÕES DAS RADIAÇÕES NÃO IONIZANTES (RNI) SOBRE SERES HUMANOS", em ação conjunta com a Rede TSQC - Tecnologia e Serviços de Qualificação e Certificação em Tecnologia da Informação, no qual a ANVISA se propõe a controlar os níveis de exposição a RNI e decide adotar os limites sugeridos pela

ICNIRP, uma vez que valores para os níveis aceitáveis foram estabelecidos pelo OMS, e adotados pela agência reguladora ANATEL, desde julho de 1999. Atualmente, há o "Programa de Melhoria do Processo de Regulamentação da ANVISA (PMR)", com o objetivo de aperfeiçoar as práticas regulatórias da Agência, garantindo maior previsibilidade, legitimidade, transparência e estabilidade ao processo regulatório, mas que ainda não gerou nenhuma recomendação normativa a respeito da exposição a RNI (ANVISA, 2006)

Em 2006, a OMS publicou a ampliação de sua pesquisa sobre efeitos adversos dos campos eletromagnéticos (CEM). Os limites mencionados nas recomendações da OMS sobre campos elétricos, magnéticos e eletromagnéticos, são adotados no Brasil pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL) e pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). Cabe a estes órgãos estabelecer as diretrizes e fiscalizar os níveis de campo gerados pelas instalações de equipamentos dos setores elétrico (ANEEL), de telecomunicações (ANATEL) e de saúde (ANVISA).

Em maio de 2009, por causa da adoção dos limites propostos pela ICNIRP (1998), e dos limites apresentados nas recomendações da OMS (2006) por parte das agências nacionais, principalmente as que adotaram os limites, o governo federal publicou a Lei 11.934, de 05 de maio de 2009, tal como mencionado no artigo 4º da Lei nº 11.934 de 2009 e transcrito a seguir:

"Art. 4º Para garantir a proteção da saúde e do meio ambiente em todo o território brasileiro, serão adotados os limites recomendados pela Organização Mundial de Saúde - OMS para a exposição ocupacional e da população em geral a campos elétricos, magnéticos e eletromagnéticos gerados por estações transmissoras de radiocomunicação, por terminais de usuário e por sistemas de energia elétrica que operam na faixa até 300 GHz.

Parágrafo único. Enquanto não forem estabelecidas novas recomendações pela Organização Mundial de Saúde, serão adotados os limites da Comissão Internacional de Proteção Contra Radiação Não Ionizante - ICNIRP, recomendados pela Organização Mundial de Saúde. " (BRASIL, 2009)

A Lei 11.934, de 05 de maio de 2009, atribuiu competência às agências nacionais para regular e fiscalizar o atendimento aos limites de exposição humana a campos elétricos, magnéticos e eletromagnéticos, associados ao funcionamento de estações transmissoras de radiocomunicação, de terminais de usuário e de sistemas de energia elétrica nas faixas de frequências até 300 GHz. Visando garantir a proteção da saúde e do meio ambiente, ficaram sujeitas às obrigações estabelecidas por esta Lei as prestadoras de serviço que se utilizarem de estações transmissoras de radiocomunicação, os fornecedores de terminais de usuário comercializados no País e as concessionárias, permissionárias e autorizadas de serviços de energia elétrica. Dessa forma, ANEEL, ANATEL e ANVISA receberam um instrumento legal para emitir regulamentação normativa sobre os limites de exposição humana a campos elétricos e magnéticos e eletromagnéticos originários de instalações de energia elétrica, telecomunicações e de saúde, respectivamente, recomendados pela OMS, relativos aos serviços de diagnósticos, exames, monitoramentos e controle, para proteção da saúde de seres humanos e do meio ambiente.

Em março de 2010, cumprindo a lei 11934 de 05/2009, a ANEEL emitiu a Resolução Normativa RN-398/2010 (ANEEL,2010a), reeditada em nov/2010 como RN-413/2010 (ANEEL,2010b), relativa aos serviços em instalações de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica, no que se refere aos limites à exposição humana a campos elétricos e magnéticos originários dessas instalações, na frequência de 60 Hz. Os valores máximos de exposição (Art.3) foram estabelecidos com base no documento publicado em 1998 pela ICNIRP, *“Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields (up to 300GHz)”*, (ICNIRP, 1998).

Em 03/11/2010 a ANEEL editou outra Resolução Normativa, RN nº413/2010 (ANEEL, 2010b), prorrogando de 31/12/2010 para 31/12/2011o prazo inicial fornecido para a execução dos serviços de todas as medições. Além disso, considerando o requisito da RN nº 398/2010 da ANEEL, de que as medições fossem executadas por equipamentos com certificado de calibração emitido por órgão acreditado (leia-se "credenciado") pelo Instituto Nacional de Metrologia do Brasil, o INMETRO, na RN nº413 tal texto foi alterado, conforme citado a seguir:

Art. 6º, §3º - RN 413:

As medições, quando realizadas, devem ser executadas no período de carga pesada, conforme metodologia estabelecida na NBR 15415/2006, da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, com equipamentos com certificado de calibração emitido por entidade competente, nacional ou internacional ou, alternativamente, aferidos por laboratório especializado ou centro de pesquisa. (ANEEL, 2010b)

Vale comentar que, no momento da elaboração desta dissertação, segundo a última versão nacional do Vocabulário Internacional de Metrologia (VIM), publicada em 2012, o termo "aferido" não pode ser utilizado, mas sim "calibrado", cujo significado é a operação que estabelece, sob condições especificadas, uma relação entre os valores e as incertezas de medição fornecidos por padrões e as indicações correspondentes com as incertezas associadas (primeira etapa); em uma segunda etapa, utiliza esta informação para estabelecer uma relação visando a obtenção de um resultado de medição a partir de uma indicação. Nota-se ainda que uma calibração pode ser expressa por meio de uma declaração, uma função de calibração, um diagrama de calibração, uma curva de calibração ou uma tabela de calibração. Em alguns casos, pode consistir em uma correção aditiva ou multiplicativa da indicação com uma incerteza de medição associada.

Outro comentário sobre a terminologia utilizada na Resolução Normativa de 03/11/2010, RN 413/2010, consiste em referir ao cálculo e medição da grandeza "intensidade do campo magnético", citada nos itens 1 e 2, sugerindo a unidade microtesla. Esta última é a unidade relacionada à grandeza "densidade de fluxo magnético". A unidade no SI associada à grandeza "intensidade do campo magnético" é o "ampere por metro" (A/m).

Dessa forma, a demanda por serviços de calibração, gerada pelas Resoluções Normativas, em atendimento às recomendações internacionais da OMS e em cumprimento à lei nacional nº11.934/2009, cria demandas por serviços de calibração internamente no país, motivadas pela necessidade de confiabilidade metrológica das medições de grandezas magnéticas.

Tabela 3 - Organização cronológica de regulamentação dos limites de exposição a RNI.

ANO	ORGANISMO	DOCUMENTO	COMENTÁRIO
1988	IRPA/INIRC	Guidelines on limits of exposures to radiofrequency electromagnetic fields in the frequency range from 100 kHz to 300 GHz. Health Phys. 54:115-123; 1988.	Diretrizes referentes a CEM de alta frequência.
1990	IRPA/INIRC	"Interim guidelines on limits of exposure to 50/60 Hz electric and magnetic fields", Health Phys. 58:113-121; 1990.	Diretrizes referentes a CEM-50/60Hz [refer NO FINAL deste doc.].
1992	ICNIRP		Ano de fundação. Os resultados dos estudos da ICNIRP são publicados no periódico científico "Health Physics" [http://www.icnirp.de/aim.htm].
1994	ICNIRP	Guidelines on Limits of Exposure to Static Magnetic Fields. Health Physics 66 (1): 100-106; 1994.	Recomendações de Limites de exposição humana em equipamentos de Ressonância Magnética, principalmente. Revisado em 2009.
1996	OMS	"INTERNATIONAL EMF PROJECT"	Projeto para estudo dos efeitos da RNI em seres humanos.
1998	ICNIRP	Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields (up to 300 GHz). Health Physics 74 (4): 494-522; 1998.	Orienta/Propõe Limites máximos de exposição humana a campos elétricos, magnéticos e eletromagnéticos variáveis no tempo. Revisado em 2009.
1999	ANATEL	diretrizes para limitação da exposição a campos elétricos, magnéticos e eletromagnéticos variáveis no tempo (até 300 ghz)	Decide adotar os limites propostos pela ICNIRP na faixa de frequências de zero a 300GHz.
2002	IARC	Non-ionizing radiation, Part 1: Static and extremely low-frequency (ELF) electric and magnetic fields. IARC Monographs (vol. 80).	O International Agency for Research on Cancer (IARC) avaliou o efeito cancerígeno dos campos estáticos.
2002	ANATEL	Resolução Normativa nº 303, de 2 de julho de 2002.	Regulamenta sobre a limitação da exposição a campos elétricos, magnéticos e eletromagnéticos na faixa de rádio frequência entre 9 kHz e 300 GHz.
2006	OMS	Environmental Health Criteria	Recomendações da OMS sobre os limites máximos de exposição humana aos campos elétricos, magnéticos e eletromagnéticos pela adoção dos valores propostos pela ICNIRP em 1998.
2006	ANVISA	infra-estrutura para garantir a qualidade das medições das radiações não ionizantes (rni) sobre seres humanos	Adota os limites recomendados pela OMS e propõe-se a controlar a exposição dos seres humanos.
2009	Gov.Federal do Brasil	Lei nº 11.934, de 05 de maio de 2009.	Estabelece no Brasil os limites para CEM, recomendados pela OMS,
2010	ANEEL	RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 398, DE 23 DE MARÇO DE 2010	Regulamenta a Lei nº 11.934, de 5 de maio de 2009, no que se refere aos limites à exposição humana a campos elétricos e magnéticos originários de instalações de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica, na frequência de 60 Hz.
2010	ANEEL	RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 413, DE 3 DE NOVEMBRO DE 2010	Altera a redação dos arts 6º e 8º, insere o art. 8º-A e substitui o Anexo da Resolução Normativa nº 398, de 23 de março de 2010, que regulamenta a Lei nº 11.934, de 5 de maio de 2009.

4.2. Demanda do Setor Industrial e Serviços

A demanda por calibração de grandezas magnéticas no setor industrial brasileiro se forma a partir da utilização de equipamentos baseados nessas grandezas, importados ou nacionais, envolvendo setores diversos como elétrico, metalúrgico, automotivo, saúde, etc. e se estende aos laboratórios com infraestrutura potencial para serem acreditados para oferta de serviços de calibração de grandezas magnéticas. Muitas empresas nacionais demandam a calibração de seus equipamentos de laboratórios internos, utilizados na manufatura dos produtos, ou mesmo de seus produtos finais. Por outro lado, há alguns laboratórios que oferecem serviços de calibração de grandezas magnéticas, fornecendo um relatório de calibração, já que não há laboratórios acreditados, os quais poderiam emitir o "Certificado de Calibração".

Como exemplo, pode-se mencionar a companhia "Globalmag transdutores magnéticos ind. com. ltda.", fundada em fevereiro de 2001, que fabrica uma ampla gama de medidores com aplicações magnéticas, desde poucos microteslas (μT) até 2,5 T e dispositivos transdutores - tipo "probe", instrumentos destinados, sobretudo, à medição de campos magnéticos contínuos (CC) em processos industriais. Contudo, fica altamente exposta à demanda do setor industrial global, principalmente os que atuam no setor elétrico e de telecomunicações, devido às Resoluções Normativas desses segmentos. A empresa, especializada na área do magnetismo, emite "Relatórios de calibração" dos equipamentos comercializados, como forma de garantir confiabilidade técnica. As importações de equipamentos com tecnologia de ponta, cujo valor resultou em um déficit na balança comercial da ordem de US\$ 11 bilhões, entre 2009 e 2011, dos quais 25% são provenientes das compras de equipamentos médicos no exterior, colocam o Brasil entre os países em que o déficit comercial pode ser compensado com o incentivo da produção local e, subsequente, incremento das exportações (Valor, 2012). O peso substancial nas contas externas, a expansão do mercado interno e a perspectiva de fazer do Brasil um polo irradiador de exportações para América Latina e África, vem atraindo investimentos com a promessa de transferência de tecnologia (Valor, 2012). Dados divulgados pela Associação Brasileira de Alta Tecnologia de Equipamentos, Produtos e Suprimentos Médico-Hospitalares (Abimed), com

base nas estatísticas do Ministério da Saúde, revelam as razões de tamanho interesse pelo mercado brasileiro (Valor, 2012). O setor faturou R\$ 13,5 bilhões em 2011, com crescimento de 19% em relação ao ano anterior. Cerca de 50% desse total corresponde a compras realizadas pelo governo federal (Valor, 2012).

A presença no país como fabricante local amplia o mercado e torna os produtos mais acessíveis a clínicas e a médicos, que precisam equipar seus estabelecimentos, utilizando linhas de crédito, muitas vezes, limitadas a produtos fabricados no Brasil. O custo do financiamento cai para 6,25% ao ano, o que não ocorre quando o equipamento é importado.

De 2008 a 2013, vieram para o país quatro empresas de equipamentos para diagnósticos médicos por imagem. Grandes fabricantes como Philips (Lagoa Santa/Mg, 2008), GE (Contagem/Mg, 2010), Siemens (Joinville/SC, 2012) e Toshiba (Campinas/SP, 2013), de equipamentos de ressonância magnética, montaram suas fábricas de equipamentos médicos de diagnósticos aqui no Brasil, com planos de investimentos na ampliação, visando as exportações para toda América Latina, reduzindo ciclo de venda e logística, barateando o custo de acesso, em que o tempo médio para execução de um exame de ressonância magnética no Brasil é 30% inferior ao tempo levado nos Estados Unidos, segundo um executivo da GE Healthcare Systems(Valor, 2012).

Todo esse mercado, representa já uma forte demanda industrial, por resultados com confiabilidade metrológica de seus equipamentos de alta tecnologia, que utilizam grandezas magnéticas como base, exigindo serviços de calibração adequados, com rastreabilidade metrológica.

Além disso, atualmente, o fenômeno do magnetismo tem sido bastante explorado e aplicado tanto na medicina clínica quanto em pesquisas sobre fisiologia. Muitos métodos biomédicos utilizam a medição ou aplicação de campos magnéticos estáticos e/ou variáveis de baixa frequência (ELF) e de rádio frequência RF (faixas de MHz e GHz). Como exemplo, campos magnéticos estáticos são largamente aplicados para diagnósticos por imagem por ressonância magnética (RMI), com intensidade de 1,5 a 3T e, mais recentemente, até 10 T (tesla). Tais intensidades despertam a preocupação quanto aos possíveis efeitos desses campos estáticos sobre o ser humano, já que o campo magnético da Terra, ao qual todo ser humano está exposto, é em torno de 20 μ T.

4.3.

Demanda do Setor de Pesquisa e Desenvolvimento

A demanda do setor de pesquisa e desenvolvimento é formada pelos diversos laboratórios que se dedicam ao estudo de aspectos científicos das grandezas de interesse deste trabalho, sejam no desenvolvimento de novos produtos, durante o qual são feitas inúmeras medições, ou sejam nos desenvolvimentos da própria ciência em si, nos quais as medições são de maior precisão. São equipamentos, mais abrangentes na medição de intensidades da grandeza em estudo, e de maiores sensibilidades na detecção dessas grandezas. Exigem calibrações precisas e confiáveis, com menores incertezas, a fim de manterem as principais características de construção e de utilização desses equipamentos.

Nesta demanda, figuram também os laboratórios citados no capítulo 3 (item 3.4.2), cuja infraestrutura lhes caracteriza o potencial para compor uma futura rede de laboratórios acreditados para calibração em grandezas magnéticas. Além desses, podem-se citar alguns exemplos de laboratórios voltados a pesquisa e desenvolvimento de cunho mais específico, como o - Laboratório de Máquinas Elétricas, Acionamentos e Energia (LMEAE/UFRGS), que desenvolve sensores e atuadores eletromagnéticos; o - Laboratório de Biometrologia (LabioMet), pertencente ao Programa de Pós-Graduação em Metrologia da PUC-Rio, que desenvolve transdutores magnéticos baseados no efeito da Magnetoimpedância Gigante (GMI), destinados a aplicações biomédicas; o Laboratório de Magnetismo do Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas (CBPF/MCT) -, que desenvolve instrumentação e estudos de materiais magnéticos por meio de diversas técnicas experimentais: magnetometria, RMN, suscetometria, resistividade, magnetometria SQUID, espectroscopia Kerr; e muitos outros laboratórios lotados em departamentos de universidades e centros de pesquisas científicas do país.

Além disso, vários dispositivos de campos magnéticos são usados em procedimentos cirúrgicos e tratamento de aneurismas. Aplicações como magnetocardiografia, magnetoencefalografia, medidas da atividade pulmonar, detecção de armazenamento de ferro devido à inalação de asbestos e doenças como Talassemias são resultantes do desenvolvimento de dispositivos

supercondutores chamados SQUIDS (Superconducting Quantum Interference Devices) sensíveis a campos magnéticos extremamente fracos gerados por processos elétricos no corpo humano (ANVISA, 2006).

No quadro 5 são indicadas as demandas por rastreabilidade de grandezas magnéticas para diferentes faixas de frequência, associadas a alguns dos setores citados no presente capítulo.

No quadro 5 observa-se que, para a demanda nacional por rastreabilidade da grandeza densidade de fluxo magnético com frequências acima de 50 kHz há somente um país (Reino Unido, segundo o quadro 3), que declarou tal capacidade de medição. Por outro lado, para a demanda nacional mais significativa, densidade de fluxo magnético para frequências inferiores a 50 kHz, oito países realizam a grandeza, conforme indicado no quadro 3.

Quadro 5 - Quadro de exemplos de demandas por rastreabilidade de grandezas magnéticas para diferentes faixas de frequência, associadas aos setores regulatório, industrial e de P&D no Brasil.

[illegible]

5

Discussão e Conclusão.

Na presente dissertação realizaram-se estudos relativos às demandas nacionais por rastreabilidade para grandezas magnéticas, às infraestruturas potenciais já existentes e às iniciativas nacionais para implantação de sistema de referência metrológica para grandezas magnéticas.

Na base de dados KCDB (*Key Comparison Data Base*) encontraram-se quinze Institutos Nacionais de Metrologia signatários do MRA – CIPM, com CMCs publicadas para alguma grandeza magnética. Dentre as grandezas, a "densidade de fluxo magnético" é a mais realizada.

Embora o Brasil não se encontre dentre os países que declaram rastreabilidade para grandezas magnéticas, conforme apresentado no capítulo 3, já existem iniciativas nacionais para implementação de infraestrutura para calibração de instrumentos de medição de grandezas magnéticas.

As demandas nacionais por calibração de grandezas magnéticas com rastreabilidade metrológica provêm de diversos setores como o regulatório e normativo; o industrial; além do setor de pesquisa e desenvolvimento (P&D). Muitos laboratórios de Empresas e Centros de Pesquisa necessitam da calibração dos equipamentos adquiridos ou desenvolvidos, a fim de validar os métodos de medição, e garantir a confiabilidade metrológica dos resultados. Com relação à demanda do setor regulado, em 2006 foi publicada a norma técnica ABNT NBR 15415:2006, abordando os métodos de medição e níveis de referência para exposição a campos elétricos e magnéticos na frequência de 50 Hz e 60 Hz. A Lei 11.934, de 05 de maio de 2009, atribuiu competência às agências nacionais para regular o atendimento aos limites de exposição humana a campos elétricos, magnéticos e eletromagnéticos, associados ao funcionamento de estações transmissoras de radiocomunicação, de terminais de usuário e de sistemas de energia elétrica nas faixas de frequências até 300 GHz.

Tomando por base os valores máximos de exposição estabelecidos no documento publicado em 1998 pela ICNIRP e os métodos de medição publicados na norma técnica ABNT NBR 15415:2006, em 2010, a ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) estabeleceu a exigência do monitoramento periódico em locais onde há pessoas que possam estar expostas a intensidades de campo além dos limites permitidos. Tais requisitos foram publicados nas resoluções normativas nº 398 e 413, da ANEEL, ambas de 2010.

Em 2013, impulsionado pela demanda regulatória, para tornar disponível a calibração de medidores de densidade de fluxo magnético dentro da faixa de 0,5 a 700 μT , com frequência de 50 e 60 Hz, o Laboratório de Metrologia em Campo Elétrico e Magnético (LAMCE), pertencente à Divisão de Metrologia Elétrica do INMETRO, implantou infraestrutura inicial para gerar campos magnéticos senoidais rastreáveis aos seus próprios padrões de corrente alternada e a instrumentos calibrados em outros países, com incerteza expandida em torno de 2-4 % (França et al., 2013).

A análise da demanda nacional, abordada no capítulo 4, aponta para faixa de amplitude de densidade de fluxo magnético de 1 nT a 14 T, e frequências de 0 a centenas de MHz, caracterizando-se em uma faixa mais ampla do que a oferta de serviço em implantação no LAMCE (INMETRO). Por outro lado, existem planos de ampliação da abrangência dos serviços do LAMCE relativos à densidade de fluxo magnético em baixas frequências (França et al., 2013).

Nesse sentido, torna-se recomendável a ampliação da infraestrutura de medição que está sendo implantada no Brasil para realização da unidade de densidade de fluxo magnético, passando a abranger intensidades na faixa de 1 nT a 14T, e toda a faixa de frequências até 300GHz.

Referências Bibliográficas

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Conheça a ABNT**, 2013. Disponível em: <<http://www.abnt.org.br/>>. Acesso em: 03 abr. 2013.

ANATEL. Agência Nacional de Telecomunicações. **Sobre a Anatel**. Disponível em: <<http://www.anatel.gov.br/>>. Acesso em: jan. 2013.

_____. **Diretrizes Para Limitação da Exposição a Campos Elétricos, Magnéticos e Eletromagnéticos Variáveis no Tempo (Até 300 GHz)**, 1999. Disponível em: <http://www.anatel.gov.br/.../diretriz_radiacao.pdf>. Acesso em: 13 mar. 2013.

_____. RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 259 da ANATEL, 2001. **Regulamento de uso do espectro de radiofrequências**. Disponível em: <<http://legislacao.anatel.gov.br/resolucoes/16-2001/231-resolucao-259>>. Acesso em: jan 2013.

_____. RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 303 da ANATEL, 2002. **Regulamento sobre limitação da exposição a campos elétricos, magnéticos e eletromagnéticos na faixa de radiofrequências entre 9Khz E 300Ghz**. Disponível em: <<http://legislacao.anatel.gov.br/resolucoes/17-2002/128-resolucao-303>>. Acesso em: jan 2013.

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Serviços e Informações**. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/>>. Acesso em: jan. 2013.

_____. RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 398. ANEEL. 2010, Mar. 23. **Limites à exposição humana a campos elétricos e magnéticos originários de instalações de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica, na frequência de 60 Hz**. Disponível em: < <http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2010398.pdf>>. Acesso em: jan 2013.

_____. RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 413. ANEEL, 2010 Nov. 03. **Alteração da redação da Resolução Normativa Nº398 de março de 2010**. Disponível em: < <http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2010413.pdf>>. Acesso em: jan 2013.

ANVISA. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **A Agência**, 2012a. Disponível em: <www.anvisa.gov.br>. Acesso em: 10 janeiro 2013.

_____. **Competências gerais da Anvisa**, 2012b. Disponível em: <<http://s.anvisa.gov.br/wps/s/r/2XE>>. Acesso em: 10 jan 2013.

_____. **Infra-estrutura para garantir a qualidade das medições das radiações não ionizantes (rni) sobre seres humanos**. Rede TSQC. 2006.

Disponível em: <<http://portal.anvisa.gov.br/wps/wcm/connect/06faad00474597369f67df3fbc4c6735/projeto2.pdf?MOD=AJPERES>>. Acesso em: jan 2013.

ARAÚJO, J. F. D. F., Construção de um magnetômetro Hall para caracterização de partículas magnéticas utilizadas em ensaios imunológicos. **Dissertação de Mestrado**, Departamento de Física, **Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, PUC-Rio**, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, Abr. 2009.

BARROS NETO, A. D. O.; DA COSTA, S. R. R. Rastreabilidade e desempenho: A demanda por metrologia elétrica no Inmetro. **XIII SIMPEP**, Bauru, SP, Brasil, 6 a 8 Novembro 2006.

BASSALO, J. M. F. **A Evolução Histórico-Conceitual do Magnetismo**. Palestra proferida no Mestrado de Física da Universidade Federal do Pará por ocasião da **II Semana de Pós-Graduação em Física da UFPA**, Belém, PA. 22 de outubro de 2007. Disponível em: http://www2.ufpa.br/ppgf/IISPF/inicio_arquivos/EHCMAGNE.pdf. Acessado em: 2012.

BENYOSEF, L. C.C.; MOURILHE SILVA, I. Implantação do laboratório de calibração de bússolas e magnetômetros do observatório nacional. In: **VIII Seminário Internacional em Engenharia Elétrica (SEMETRO)**, 2009, João Pessoa, PB. Anais do VIII SEMETRO, 2009.

BIPM. *Rules of procedure for the Consultative Committees created by the CIPM, CC Working Groups and CC Workshops*. BIPM, 2012 Junho 07. Disponível em: <<http://www.bipm.org/utis/en/pdf/CIPM-D-01.pdf>>. Acesso em: jan 2013.

BIPM-KCDB. *Calibration and Measurement Capabilities - CMCs*. BIPM, 2013. Disponível em: <<http://kcdb.bipm.org/appendixC/>>. Acesso em: jan-dez 2012.

BRASIL. Lei nº11.934, de 05 de maio 2009, "**Limites à exposição humana a campos elétricos, magnéticos e eletromagnéticos...**". Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF, 6.5.2009. Disponível em: <www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2009/L Lei/L11934.htm>. Acesso em Fev, 2012.

BUSCHOW, K. H. J.; BOER, F. R. D. *Physics of Magnetism and Magnetic Materials*. New York: KLUWER ACADEMIC PUBLISHERS, v. eBook ISBN: 0-306-48408-0, 2004.

CAVALCANTI, Flávia Maria Pompéia ; COSTA MONTEIRO, E. ; GUSMÃO, L A P; BARBOSA, C.R.H. ; GONÇALVES, L.A.P. ; MACHADO, F.L.A.. Ring shaped magnetic field transducer based on the GMI effect. **Measurement Science & Technology** (Print), v. 19, p. 025801, 2008.

CBM. **Diretrizes Estratégicas para a Metrologia Brasileira 2008-2012**. 2008 - 2012. ed. RJ: [s.n.], 2012. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/noticias/conteudo/diretrizesEstrategicas.pdf>>. Acesso em: 26 Abril 2011.

COSTA SILVA, E.; GUSMÃO, L A P ; BARBOSA, C.R.H.; COSTA MONTEIRO, E.; MACHADO, F.L.A. High sensitivity giant magnetoimpedance

(GMI) magnetic transducer: magnitude versus phase sensing. **Measurement Science & Technology (Print)**, v. 22, p. 035204, 2011.

FRANÇA, Ademir Martins de; COSTA, Danielli Guimarães; PEREIRA, Luiz Napoleão; SOARES, Marco Aurélio; VITORIO, Patrícia Cals de O.; NASCIMENTO, Paulo Roberto Mesquita. Calibração de medidores de densidade de fluxo magnético. In: **IX Semetro**, 2011, Natal. Anais... Natal : Rio Grande do Norte, 2011.

_____. Low Frequency Magnetic Flux Density Meter Calibration. **20º IMEKO - Congresso Mundial de Metrologia**. Busan, República da Coreia. Setembro, 2012.

FRANÇA, Ademir Martins; SOARES, Marco Aurélio; PEREIRA, Luiz Napoleão; RIBEIRO, Luana Kerolaine G.; FONSÊCA, Laís de Oliveira. Implantação e Implementação dos Sistemas de Referência Metrológica de Campo Elétrico e Magnético de Baixa Frequência. **X Semetro**, Buenos Aires, Argentina. Setembro, 2013.

FN PQ. Fundação Para O Prêmio Nacional Da Qualidade. **Crêterios de Excelênciã 2005, O estado da arte da gestão para a excelênciã do desempenho e o aumento da produtividade**. 2º. ed. São Paulo, 2005.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; KRANE, K. S. **Fundamentos da Física - Eletromagnetismo**. 8ª. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S/A (LTC), v. 3, 2009.

HEWITT, P. G. **Conceptual Physics**. 9ª. ed. [S.l.]: Pearsons, v. ebook, 2004.

ICNIRP. *International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection*. Disponível em: <<http://www.icnirp.de/what.htm>>. Acesso em Fev 2013. **About us** (fundação da ICNIRP), 1992.

_____. *International Comission on Non-Ionizing Radiation Protection. Guidelines on limits of exposure to static magnetic fields*. **Health Phys.** 66:100-106; 1994.

_____. *International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection. Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields (up to 300 GHz)*. **Health Physics** Vol. 74, Nº 4, pp 494-522, 1998.

IEC. *International Electrotechnical Commission*, 2013. **Welcome to the IEC**. Disponível em: <<http://www.iec.ch/index.htm>>. Acesso em: 26 Abril 2011.

IEC. *International Electrotechnical Commission*. IEC 61786: **Measurement of low-frequency magnetic and electric fields with regard to exposure of human beings – Special requirements for instruments and guidance for measurements**. 1ª. ed., 1998.

IEC. *International Electrotechnical Commission*. IEC 62110: **Electric and magnetic field levels generated by AC power systems – Measurement procedures with regard to public exposure**. Primeira. ed., 2009.

ILAC. *International Laboratory Accreditation Cooperation*. **ILAC P5: 11/2011 ILAC Mutual Recognition Arrangement (Arrangement). Describes the elements of a Mutual Recognition Arrangement for testing and calibration laboratory accreditation**. 2011.

_____. **ILAC P4: 03/2012 ILAC Mutual Recognition Arrangement (Arrangement): Policy Statement**. Provides details on the objectives, foundation, management, procedures and decisions associated with the ILAC MRA. 2012.

_____. **ILAC P10: 01/2013 ILAC Policy on Traceability of Measurement Results**. [S.l.]: [s.n.], 2013. Describes the ILAC policy on metrological traceability of measurement results. This policy is effective as of January 2014.

_____. **ILAC P14: 01/2013 ILAC Policy for Uncertainty in Calibration**. Sets out the requirements and guidelines for the estimation and statement of uncertainty in calibration and measurement. 2013.

INMETRO. Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia. **Conheça o INMETRO, 2013**. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/inmetro/oque.asp>>. Acesso em: 25 jan. 2013.

_____. **Divisão de Metrologia Elétrica, 2013b**. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/metcientifica/eletrica/index.asp>>. Acesso em: jan. 2013.

_____. **Diretrizes Estratégicas para a Metrologia Brasileira 2003-2007**. [S.l.]: [s.n.], 2003. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/noticias/eventos/MetQuim_palestras/DocumentoDiretrizesEstrategicas2003-2007.pdf>. Acesso em: 25 jan. 2013.

_____. **Norma NIT-DICLA-012**. Revisão 11. ed. Rio de Janeiro: INMETRO, 2009.

ISO. *International Organization for Standardization*. **About ISO, What is ISO?, 2013**. Disponível em: <<http://www.iso.org>>. Acesso em: 23 jan. 2013.

IPT. Instituto de Pesquisas Tecnológicas - SP. **Sobre o IPT, 2013a**. Disponível em: <<http://www.ipt.br/institucional>>. Acesso em: 23 out. 2011.

_____. **Notícias - Metrologia de ondas, 2013b**. Disponível em: <<http://www.ipt.br/noticia/174.htm>>. Acesso em: 7 julho 2012.

IRPA/INIRC. *International Radiation Protection Association/International Non Ionizing Radiation Committee*. **Guidelines on limits of exposures to radiofrequency electromagnetic fields in the frequency range from 100 kHz to 300 GHz. Health Phys.** 54:115-123; 1988.

_____. *International Radiation Protection Association/International Non-Ionizing Radiation Committee. Interim guidelines on limits of exposure to 50/60 Hz electric and magnetic fields.* **Health Phys.** 58:113-121; 1990.

KABATA, Wanderli; VITORELLO, Ícaro; BANIK, Marcelo; TRIVEDI, Nalin B.; CUNHA, Wagner C. **Magnetômetros Fluxgates amorfos robustos para pesquisa em Sondagens Geomagnéticas Profundas no Brasil.** *Revista de Física Aplicada e Instrumentação*, vol. 17, no. 3, Setembro, 2004. Disponível em: <http://www.sbfisica.org.br/rfai/Vol17/Num3/v17_99.pdf>. Acesso em: julho 2012.

KABATA, W.; VITORELLO, I. **Configurações alternativas para magnetômetros "fluxgate" com núcleo amorfo.** *Revista Brasileira de Geofísica*, São Paulo, v. 25, n. 2, Abr/Jun 2007.

LENZ, J.; EDELSTEIN, A. S. **Magnetic Sensors and Their Applications.** *IEEE Sensors Journal*, v. 6, n. 3, p. 631-649, 2006.

LENZ, J. E. **A review of magnetic sensors.** *Proc. IEEE*, v. 78, n. 6, p. 973-989, 1990.

LOUZADA, R.D. ; COSTA MONTEIRO, E. ; GUSMÃO, L. A. P. ; HALL BARBOSA, C. . Medição não-invasiva de ondas de pulso arterial utilizando transdutor de pressão MIG. **IFMBE Proceedings**. 1ed.: Springer Berlin Heidelberg, 2008, v. 18, p. 436-439.

MARTINS, Roberto de Andrade. **Ørsted e a descoberta do eletromagnetismo**[*Ørsted and the discovery of electromagnetism*]. *Cadernos de História e Filosofia da Ciência* (10): 89-114, 1986. Disponível em:< <http://www.ghc.usp.br/server/pdf/ram-30.pdf>>. Acessado em: out, 2012.

MARTIN, Ramon V. “Implementação De Sistema Para Obtenção De Rastreabilidade De Grandezas Magnéticas Estáticas”. **6º Congresso Brasileiro de Metrologia**. Natal - RN: [s.n.]. 2011.

NOVAK, M. A. Instituto de Física - UFRJ. **INTRODUÇÃO AO MAGNETISMO**, 2009. Disponível em: <<http://www.cbpf.br/~labmag/miguel.pdf>>. Acesso em: 10 nov. 2012. 1ª palestra.

OIML. Organização Internacional de Metrologia Legal. **Welcome to the OIML web site**. Disponível em: <<http://www.oiml.org>>. Acesso em: 20 dezembro 2012.

OMS. Organização Mundial da Saúde. **WHO - World Health Organization**. Disponível em: <<http://www.who.int/en/>>. Acesso em: 03 nov. 2012.

ON. Observatório Nacional. **LABORATÓRIOS - Infraestrutura para serviços de medição e de calibração em grandezas magnéticas.** Pós-Graduação em Geofísica do Observatório Nacional - 2013. Disponível em: <http://www.on.br/conteudo/dppg_e_iniciacao/dppg/newweb_geo/conteudo/laboratorios.html>. Acesso em: 03 abr. 2013.

PIROTA, K. R. Magnetoimpedância Gigante em Materiais Ferromagnéticos Amorfos: Uma Breve Introdução. *Revista Physicae*, v. 1, p. 37-44, 2000.

PIZZOLATO, M. **Mapeamento Da Estrutura Global Que Fornece Confiança Às Medições: Análise Da Inserção Brasileira**. Porto Alegre-RS. UFRGS, 2006.

RIPKA, P. *Magnetic Sensors and Magnetometers*, Artech House Publishers, 2001.

RIPKA, P. *Advances in fluxgate sensors*. *Sensors and Actuators A*, v.106, p.8–14, 2003.

SAMPAIO, L. C.; GARCIA, F.; CERNICCHIARO, G. R. C. Técnicas de magnetometria. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 22, n. 3, setembro 2000.

SERWAY, R. A.; JEWETT JR, J. W. **Princípios de Física**. 6º. ed. [S.l.]: Thomsom Learning, v. III - Eletromagnetismo, 2009. 530.5492.3ªed.

SI. **Sistema Internacional de Unidades**. 1ª. ed. [S.l.]: INMETRO, 2012.

SILNY, J. *The influence threshold of a time-varying magnetic field in the human organism*. In: Bernhardt, J. H., ed. *Biological effects of static and extremely-low-frequency magnetic fields*. Munich:MMV Medizin Verlag; 1986:105-112.

SILVA, E. D. C. Desenvolvimento de Transdutor Baseado na Fase da Magnetoimpedância Gigante para Medição de Campos Biomagnéticos. **Dissertação de Mestrado, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro - PUC-Rio**, Rio de Janeiro, Abril 2010.

SILVA, E.C. ; GUSMÃO, L. A. P ; HALL BARBOSA, C. R ; COSTA MONTEIRO, E . Transdutor de pressão, baseado nas características de fase do efeito GMI, destinado a aplicações biomédicas. **Controle & Automação**, v. 21, p. 598-608, 2010.

SILVA, E.C.; GUSMÃO, Gusmão, L.A.P.; BARBOSA, C.R.H. ; COSTA MONTEIRO, E.; MACHADO, F.L.A. Sensitivity improvement of GMI magnetic and pressure transducers for biomedical measurements. **Brazilian Journal of Biomedical Engineering**, v. 27, p. 79-89, 2011.

SILVA, E.C. ; BARBOSA, C.R.H. ; COSTA MONTEIRO, E. ; GUSMÃO, L.A.P. . Electronic approach for enhancing impedance phase sensitivity of GMI magnetic sensors. **Electronics Letters**, v. 49, p. 396-397, 2013.

SINNECKER, J. P. Materiais Magnéticos Duros e Materiais Ferromagnéticos Amorfos. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 22, n. 3, Setembro 2000.

SOUZA, V. D. **Rastreabilidade metrológica: pontos relevantes para avaliação dos avaliadores**, Rio de Janeiro. INMETRO, 2011.

TAKEUCHI, A. Y. **Técnicas de Medidas Magnéticas**. Rio de Janeiro: Livraria da Física, v. CBPF (Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas) - Coleção Tópicos em Física, 2010.

TSQC: Rede de Tecnologia e Serviços de Qualificação e Certificação. **Infra-estrutura para garantir a qualidade das medições das radiações não ionizantes (rni) sobre seres humanos**. Rio de Janeiro. ANVISA, 2006.

Valor: Revista Valor Econômico. **Produção Local Atrai Gigantes Globais**. São Paulo, 29-mar-2012.

VIM. - **Conceitos Fundamentais e Gerais e Termos Associados Vocabulário Internacional de Metrologia**. 1a edição luso-brasileira. ed. Rio de Janeiro: INMETRO, v. (JCGM 200:2012), 2012. 94 p.

WHO. **World Health Organization**, 2013. Disponível em: <<http://www.who.int/peh-emf/en/>>. Acesso em: 03 Nov 2012.

_____. **Electromagnetic fields and public health; Static electric and magnetic fields**. Fact sheet N°299. March 2006. Disponível em: <<http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs299/en/>>. Acesso em: 03 Nov 2012.

_____. **Magnetic Fields Measurement and Evaluation of EHV Transmission Lines in Saudi Arabia (Proceedings of the International Conference on Non-Ionizing Radiation at UNITEN (ICNIR 2003). Electromagnetic Fields and Our Health**), 2003. Disponível em: <<http://www.who.int/peh-emf/meetings/archive/en/paper16bakhawain.pdf>>. Acesso em: 03 Nov 2012.

WEYAND, Kurt. Final Report on EUROMET Project No. 446. **Metrologia**, v. 38, p. 187-191, 2001.

WEYAND, K. Final Report on CCEM Key Comparison CCEM. M.-K1, Março 2005. Disponível em: <http://www.bipm.org/utis/common/pdf/final_reports/EM/M-K1/CCEM.M-K1.pdf>. Acesso em: 19 Janeiro 2013.