



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
Instituto de Biociências – Campus de Botucatu

Ensaio não destrutivo: metrologia e calibração

Degliane Brizzi

Monografia apresentada ao Instituto
de Biociências, Campus de Botucatu, para
obtenção do título de Bacharel em Física Médica.

Botucatu, 2011.

Degliane Brizzi

Ensaio não destrutivo: metrologia e calibração

Monografia apresentada ao Instituto
de Biociências, Campus de Botucatu, para
obtenção do título de Bacharel em Física Médica.

Orientador: Eng. Márcio Cristiano de Oliveira

Botucatu
2011

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉC. AQUIS. TRATAMENTO DA INFORM.
DIVISÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - CAMPUS DE BOTUCATU - UNESP
BIBLIOTECÁRIA RESPONSÁVEL: *ROSEMEIRE APARECIDA VICENTE*

Brizzi, Degliane.

Ensaaios não destrutivos: metrologia e calibração / Degliane Brizzi. -
Botucatu, 2011

Trabalho de conclusão de curso (bacharelado - Física Médica) - Instituto de
Biociências de Botucatu, Universidade Estadual Paulista, 2011

Orientador: Márcio Cristiano de Oliveira

Capes: 10501053

1. Física médica. 2. Calibração.

Palavras-chave: Calibração; Ensaaios não destrutivos; Metrologia.

Avaliadores

Prof. Dr. Roberto Morato Fernandez

Departamento de Física e Biofísica

Instituto de Biociências – UNESP – Campus de Botucatu

Eng. Márcio Cristiano de Oliveira

Laboratório de calibração

Inter-Metro Serviços Especiais Ltda.

Agradecimentos

A Deus por guiar meus passos e auxiliar minhas conquistas.

Aos meus pais por acreditarem em mim, pelo carinho, amor, e pelo suporte dado durante todos esses anos, essenciais para minha formação.

Ao meu grande companheiro, Eduardo, quem sempre esteve ao meu lado, dando apoio aos estudos e proporcionando momentos especiais.

Às amigas e companheiras de casa, Ludmila, Cristiane e Sabrina, minha segunda família, por todas as conversas divertidas até tarde da noite.

A todos os amigos e professores da V turma, em especial os amigos Daniel e Anna Luiza, meus grandes irmãos e parceiros, com quem sempre pude contar.

Aos amigos da república Ktivero pelos momentos de descontração e, pelas ótimas festas.

À Prof. Dra. Silvia Mitiko e ao Prof. Dr. Roberto Morato, que sempre me incentivaram e trouxeram grandes idéias para meu trabalho.

A todo o pessoal da *Inter-Metro* que me acolheu muito bem, proporcionando um grande aprendizado e experiência, em especial Márcio e Claudia, todos do laboratório de calibração, do setor de manutenção e ao Eduardo T., pelas ajudas e dicas.

A todos que direta ou indiretamente colaboraram para minha formação e finalização deste trabalho.

Resumo

Para realização do controle de qualidade de diversos setores, como: petroquímico, nuclear, aeroespacial, siderúrgico, naval, papel e celulose, e inspeção de produtos soldados, fundidos, forjados, laminados, entre outros, é utilizado o método de Ensaio Não Destrutivo (E.N.D.). O método se baseia nas propriedades físicas do material, selecionando assim um procedimento mais adequado.

A empresa *Inter-Metro Serviços Especiais Ltda.*, com seu laboratório pioneiro, dedica-se à execução de serviços de calibração e de medições de equipamentos industriais, médicos, de segurança do trabalho e de Ensaio Não Destrutivo (E.N.D.). Conta com uma equipe treinada, prestando orientação e proporcionando apoio à melhoria dos processos de ensaios e medição.

Palavras-chave: Calibração; Ensaio não destrutivo; Metrologia.

Abstract

To perform the quality control of various industries like: petrochemical, nuclear, aerospace, steel, shipbuilding, pulp and paper, and inspection of welded products, castings, forgings, rolled products, among others, used the method of Non-Destructive Testing (NDT). The method is based on the physical properties of the material, so selecting a procedure more appropriate.

The company *Inter-Metro Serviços Especiais Ltda.*, with its cutting-edge laboratory, dedicated to the implementation of calibration services and measurement equipment for industrial, medical, occupational safety and Non-Destructive Testing (NDT). It has a trained team, providing guidance and providing support for improving procedures for testing and measuring.

Key word: Calibration; Non-destructive testing; Metrology.

Sumário

1. INTRODUÇÃO	8
1.1. Metrologia.....	8
1.2. Calibração	9
1.3. Rastreabilidade das medições	9
1.4. Ensaios não destrutivos	10
2. METODOLOGIA	13
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	16
4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	17

1. INTRODUÇÃO

Atendendo as novas necessidades do mercado, foi criada a empresa *Inter-Metro Serviços Especiais Ltda.*, um laboratório pioneiro dedicado à execução de serviços de calibração e de medições de equipamentos industriais, médicos, de segurança do trabalho e de Ensaio Não Destrutivos (E.N.D), visando desenvolver a confiabilidade.

A empresa é certificada NBR ISO 9001, reconhecida pela REMESP, ANFAVEA em algumas áreas, RBC na área de vibração, possui um laboratório de metrologia e calibração reconhecido como operando de acordo com a norma ABNT NBR ISO/IEC 17025, e uma divisão chamada INTER-SONIC, onde são fabricados transdutores especiais de ultra-sons para sistemas automáticos de inspeção e para TOFD, como também blocos padrão normalizados e blocos de referência para inspeção TOFD e Phased Array.

Para isso conta com uma equipe adequadamente treinada e capacitada para atender e assistir aos clientes em situações de ensaios não destrutivos e medição, prestando orientação e proporcionando apoio à melhoria dos processos de ensaios e medição.¹

1.1. Metrologia

Ciência que trata das medições. A metrologia abrange todos os aspectos teóricos e práticos relativos às medições, qualquer que seja a incerteza em qualquer campo da ciência ou tecnologia, como:

- As unidades de medir e seus padrões: estabelecimento, reprodução, conservação e rastreamento.
- As medições e as medidas (resultado das medições): métodos e procedimentos de medição, execução, exatidão, erros de medição, incerteza de medição, etc.
- As medidas materializadas e os instrumentos de medição: propriedades examinadas sob o ponto de vista da sua aplicação.
- Os observadores (operadores): suas qualidades em relação à execução das medições.

As medições devem seguir exigências legais, técnicas e administrativas, relativas às unidades de medida, aos métodos de medição, aos instrumentos de medição e às medidas materializadas, chamada de Metrologia Legal. No Brasil as atividades da Metrologia Legal são uma atribuição do Inmetro, que também colabora para a

uniformidade da sua aplicação no mundo, pela sua ativa participação no Mercosul e na OIML - Organização Internacional de Metrologia Legal.^{2,3}

1.2. Calibração

Calibrar um equipamento ou instrumento é comparar, em condições controladas de laboratório, os resultados das medidas apresentadas por este equipamento com os valores apresentados por padrões de elevada confiabilidade. O padrão é considerado a referência.

Trata-se de uma atividade específica e periódica, diferenciada do dia a dia dos trabalhos normais, feita por profissionais treinados. É realizada com procedimentos absolutamente reprodutíveis e validados, utiliza padrões específicos e pré-calibrados, rastreáveis a padrões da maior hierarquia nacional e de forma controlada.

A calibração proporciona vantagens como:

- Redução na variação das especificações técnicas dos produtos;
- Prevenção dos defeitos;
- Compatibilidade das medições.

Tais vantagens possibilitam a diminuição de gastos para as empresas que utilizam equipamentos calibrados, pois evitam desperdícios, e aumentam o nível em que elas concorrem no mercado.⁴

1.3. Rastreabilidade das medições

A rastreabilidade metrológica é a propriedade do resultado de uma medição ou do valor de um padrão estar relacionado a referências estabelecidas, geralmente a padrões nacionais ou internacionais, através de uma cadeia contínua de comparações, todas com incertezas estabelecidas.⁵ Um laboratório nacional de padrões disporá de padrões primários, laboratórios privados ou industriais disporão de padrões secundários, os quais serão utilizados como referência para ajuste e calibração de padrões de trabalho. Este tipo de organização, que pode revestir diferentes formas (como vemos na figura 1), deverá permitir reportar o valor medido com um padrão de trabalho a um padrão primário mediante uma cadeia ininterrupta de comparações, designada: rastreabilidade.⁴



Figura 1: Diagrama de rastreabilidade metrológica.⁵

1.4. Ensaios não destrutivos

Os Ensaios Não Destrutivos (END) são definidos como testes para o controle da qualidade, de peças acabadas ou semi-acabadas. São utilizados para a detecção de falta de homogeneidade ou defeitos, através de princípios físicos definidos, sem prejudicar a posterior utilização dos produtos inspecionados. Constituem uma das principais ferramentas do controle da qualidade e são utilizados na inspeção de produtos soldados, fundidos, forjados, laminados, entre outros, com vasta aplicação nos setores petroquímico, nuclear, aeroespacial, siderúrgico, naval, papel e celulose, autopeças e transporte rodo-ferroviário.

O método a ser utilizado depende das propriedades físicas do material. Um conhecimento geral dos métodos de END disponíveis faz-se necessário para a seleção do método mais adequado. Podem-se citar algumas situações típicas em que os ensaios não destrutivos são aplicados: melhoramento da confiabilidade de produtos para serem aceitos por uma determinada norma, prevenção de acidentes, redução de custos e gerar informações para reparo.

Para obter resultados satisfatórios e válidos, devem ser considerados como elementos fundamentais para os resultados destes ensaios: pessoal treinado, qualificado e certificado, equipamentos calibrados e procedimentos de execução de ensaios

qualificados com base em normas e critérios de aceitação previamente definidos e estabelecidos.

Alguns dos métodos utilizados são: análise de vibrações, correntes parasitas, emissão acústica, ensaio visual, partículas magnéticas, ultra-som.

a) Análise de vibrações

O ensaio para vibrações mecânicas é um método indispensável para um diagnóstico precoce de anomalias, como falta de balanceamento das partes rotativas, desalinhamento de juntas e rolamentos, excentricidade, interferência, erosão localizada, abrasão, ressonância, folgas, etc.

O método também permite uma grande confiabilidade na operação de instalações e na interrupção de uma máquina em tempo hábil, para substituição de peças desgastadas. É essencial para a melhoria da qualidade final do produto.

Ensaio de Análise de Vibrações é um método muito valioso, pois a identificação das falhas no monitoramento de máquinas e motores é feito por medições eletrônicas das vibrações, não percebidas por nossos ouvidos, eliminando assim a subjetividade do técnico.

b) Correntes parasitas

Correntes induzidas, parasitas, são produzidas através do campo magnético gerado por uma sonda ou bobina alimentada por corrente alternada. A peça sendo ensaiada terá um fluxo de acordo com as características do metal.

Quando passado o sensor sobre o material ensaiado, trincas ou discontinuidades superficiais, ou ainda as características físico-químicas da amostra serão detectadas, anomalias estas que alteram o fluxo das correntes parasitas, possibilitando a sua detecção.

Trata-se de um método limpo e rápido de ensaios não destrutivos, com baixo custo operacional, mas requer tecnologia e prática na realização e interpretação dos resultados.

c) Emissão acústica

A emissão acústica é aplicada quando se deseja analisar o comportamento dinâmico de defeitos em peças ou em estruturas metálicas complexas, e registrar sua localização. O método se baseia na detecção de ondas acústicas emitidas por um material em função de uma força ou deformação aplicada nele, se o material apresentar trincas, discontinuidade ou defeitos, a propagação irá provocar ondas acústicas detectadas pelo sistema. Este método não é utilizado para determinar o tipo ou tamanho das

descontinuidades, mas sim, para registrar a evolução das descontinuidades durante a aplicação de tensões para as quais a estrutura estará sujeita.

d) Ensaio visual

A inspeção por meio do Ensaio Visual é o primeiro ensaio não destrutivo aplicado em qualquer tipo de peça ou componente nos setores industriais. Um método importante na verificação de alterações dimensionais, padrão de acabamento superficial e na observação de descontinuidades superficiais visuais em materiais e produtos em geral, como trincas, corrosão, deformação, alinhamento, cavidades, porosidade, montagem de sistemas mecânicos e muitos outros, se utilizando de tecnologia avançada.

Quando a peça não permite o acesso direto interno para sua verificação, são utilizadas fibras óticas conectadas a espelhos ou microcâmeras de TV com alta resolução, a chamada técnica de inspeção visual remota.

Não existe nenhum processo industrial em que a inspeção visual não esteja presente. É um método simples, de baixo custo operacional, mas requer técnica apurada e obedece a sólidos requisitos.

e) Partículas magnéticas

O ensaio por partículas magnéticas é usado para detectar descontinuidades superficiais e sub superficiais em materiais ferromagnéticos. O método está baseado na geração de um campo magnético que percorre toda a superfície do material ferromagnético. Quando encontram descontinuidade superficial, as linhas magnéticas do fluxo induzido no material desviam-se de sua trajetória, criando assim uma região com polaridade magnética, que atrai partículas magnéticas. No momento em que se provoca esta magnetização na peça, aplica-se sobre ela as partículas magnéticas que serão atraídas para o local que contiver a descontinuidade, assim será formada uma clara indicação de defeito.

É importante que as descontinuidades estejam de forma a serem “interceptadas” ou “cruzadas” pelas linhas do fluxo magnético induzido, para serem detectadas. Para isto serão utilizados yokes, máquinas portáteis com contatos manuais ou equipamentos de magnetização estacionários para ensaios seriados ou padronizados.

f) Ultra-som

O método por ultra-som detecta descontinuidades internas em materiais, através do fenômeno de reflexão de ondas acústicas quando se deparam com obstáculos em sua propagação, dentro do material.

Um transdutor especial gera e transmite pulso ultra sônico, encostado ou acoplado ao material. Os pulsos que são refletidos pela descontinuidade, ou pela superfície oposta da peça, são captados pelo transdutor, convertidos em sinais eletrônicos e mostrados na tela do aparelho.

Quase sempre, as dimensões reais de um defeito interno podem ser estimadas com uma certa precisão, dessa maneira é possível verificar se o material em teste deve ser aceito ou rejeitado, de acordo com a norma aplicável. O ultra-som também é utilizado para medir com precisão espessuras e determinar corrosão.

O ultra-som é bastante utilizado na manutenção industrial, na detecção preventiva de vazamentos de líquidos ou gases, falhas operacionais em sistemas elétricos (efeito corona), vibrações em mancais e rolamentos, etc.⁶

2. METODOLOGIA

O estágio curricular obrigatório foi realizado no setor técnico da empresa *Inter-Metro Serviços Especiais Ltda.*, no Laboratório de Calibrações.

Durante três meses acompanhei as atividades da equipe do laboratório, equipe formada por coordenadores, engenheiros e técnicos, todos capacitados e treinados para realizar calibrações de acordo com as normas.

Os equipamentos a serem calibrados possuem números de ordem de serviço, consultáveis em um sistema próprio, assim é possível verificar o andamento do processo de calibração de cada equipamento.

Após efetuar as medições nos equipamentos um relatório final é feito. O processo de preenchimento dos formulários está sendo alterado, tornando-o todo digital e não mais um preenchimento manual, o qual necessitava de revisões. No formulário digital etapas como cálculo de médias, incertezas e erros são feitas automaticamente. O relatório final é passado ao Setor de Qualidade, que faz a emissão dos certificados.

Equipamentos que apresentam erro superior ao permitido por suas respectivas normas são analisados e verifica-se se são passíveis de manutenção, quando sim o cliente solicitante da calibração é contatado e informado sobre o erro, ele decide se o equipamento será enviado à manutenção ou será emitido um certificado contendo o erro.

Dentre todos os equipamentos que a empresa realiza presta serviços, acompanhei e fui treinada para realizar o procedimento de calibração de:

- Medidores de intensidade de campo magnético

Base dos procedimentos:

- Artigo técnico: SIO 247: Rock and Paleomagnetism
Instructors; Lisa Tauxe and Jeff Gee, Scripps Institution of Oceanography
Lecture 1: The Physics of Magnetism
- Livro: IEEE TRANSACTIONS ON MAGNETICS, Vol.24, No.4, July 1988
Use of Helmholtz Coils for Magnetic Measurements
S.R.TROUT, MEMBER, IEEE
- Material de apoio: Apostila Partículas Magnéticas, Ed. Jan/2007, Autor:
Ricardo Andreucci.

Para realizar as medições é exigido um ambiente controlado. São abrangidas calibrações em campos magnéticos unidirecionais, utilizando sensores do tipo hall em sondas radiais e axiais.

- Medidores de intensidade de campo magnético residual

Base dos procedimentos:

- ASTM E-709
- ASTM E-1444
- Artigos técnicos
- Manuais

Para realizar as medições é exigido um ambiente controlado. São abrangidas calibrações em campos magnéticos unidirecionais (DC), utilizando Medidor de Intensidade de campo magnético com sonda sensora do tipo hall.

- Medidores de brilho e de padrões de referência para medição de brilho

Para realizar as medições é exigido um ambiente controlado. Não pode haver marcas ou opacidades nos padrões utilizados. Os padrões de referência podem ter ângulos de 20°, 60° e 85°.

- Termo-anemômetros

Para realizar as medições é exigido um ambiente controlado. São abrangidos vários tipos de termo-anemômetros, como: de rotação simples, de fio quente, tubos “pilot”. As medições são realizadas em um túnel de vento controlado.

- Aparelhos ultra-som tipo pulso-eco

Base dos procedimentos:

- BSI, BS 4331 Part 1:1978
- Petrobrás N-1594:1998

- EM 12668-3:2001

Para realizar as medições é exigido um ambiente controlado. O método verifica o desempenho do aparelho de ultra-som para ensaio de materiais combinando resultados da linearidade de ganho do amplificador e a linearidade da base de tempo.

- Blocos de aço para ensaio por ultra-som

Base dos procedimentos:

- DIN 54120
- DIN 54122
- BSI BS EN-12223
- BSI BS EN-27963
- BSI BS-4331: Parte 3

É realizado um método de verificação dimensional e parâmetros acústicos dos blocos de calibração tipo 1 e tipo 2, usados na calibração de aparelhos para ensaio não destrutivo por ultra-som.

- Medidores de nível sonoro

Base dos procedimentos:

- Artigos técnicos
- Manuais
- IEC 61672-3 – Electroacoustics – Sound Level Meters – Part 3: Periodic Tests

Para realizar as medições é exigido um ambiente controlado. São calibrados medidores de nível sonoro (decibelímetro) com ou sem filtro de banda de oitavas, com pontos de medições e frequências determinadas.

- Termo-Higrômetros

Base dos procedimentos:

- DOQ-CGCRE-009 “Orientações para Credenciamento de Laboratórios na Área de Temperatura e Umidade”
- VIM “Vocabulário Internacional de Termos Fundamentais e Gerais de Metrologia – 2ª ed. / Ano 2000”.
- Manual do usuário – Câmara Climática – Nova Ética

Para realizar as medições é exigido um ambiente controlado. São calibrados termo-higrômetros analógicos ou digitais, com sensores internos ou externos, com valores de temperatura e umidade relativa do ar determinadas.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Através da calibração dos equipamentos utilizados em processos de produção, a garantia de qualidade do serviço realizado é assegurada. A calibração permite verificar através da comparação entre equipamento e padrões rastreados qual é o erro que o equipamento possui, associado a uma incerteza da medição. Equipamentos medindo errado podem induzir a decisões equivocadas e certamente produtos produzidos fora das especificações.

Equipamentos devidamente calibrados não trazem retorno produtivo direto. Seus resultados estão ligados a prevenção de gastos, melhoria nos produtos, controle de manufatura ou até cumprimento de exigências de clientes. Com o mercado cada vez mais competitivo, empresas com produtos de boa qualidade passam a frente das concorrentes.

Para assegurar metrologia e calibrações confiáveis a seus clientes, a empresa *Inter-Metro Serviços Especiais Ltda.*, opera de acordo com a norma ABNT NBR ISO/IEC 17025, representando uma referência técnica de credibilidade e de um desempenho sempre positivo frente aos padrões e normas dos setores nos quais atua.

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] INTER-METRO Serviços Especiais Ltda. Disponível em: <www.inter-metro.com.br>. Acesso em: 10 mai. 2011.
- [2] IPEN SP, Instituto de Pesos e Medidas do Estado de São Paulo. Disponível em: <www.ipem.sp.gov.br>. Acesso em: 10 mai. 2011.
- [3] INMETRO, Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial. Disponível em: <www.inmetro.gov.br>. Acesso em: 10 mai. 2011.
- [4] METROLOGIA E CALIBRAÇÃO PARA EMPRESAS DE END, Apostila de apoio ao curso da ABENDI, por Eng. Márcio Cristiano de Oliveira.
- [5] Santana, M. A. A. et al. RASTREABILIDADE METROLÓGICA E OS CRITÉRIOS DE ACEITAÇÃO PARA A INSTRUMENTAÇÃO METEOROLÓGICA/AMBIENTAL. In: ENQUALAB 2008 – Congresso da Qualidade em Metrologia Rede Metrológica do Estado de São Paulo – REMESP 09 a 12 de junho de 2008, São Paulo, Brasil. Disponível em <<http://lim1.cptec.inpe.br/~rlim/docs/03LIMENQUALAB2008.pdf>>. Acesso em 16 de Maio de 2011.
- [6] ABENDI, Associação Brasileira de Ensaaios Não Destrutivos e Inspeção. Disponível em: <www.abende.org.br>. Acesso em: 10 mai. 2011.