

4

Metrologia, Instrumentos de Medição e Fundamentos da Avaliação da Conformidade

O interesse deste trabalho é realizar a modernização do sistema de processamento de dados CORREVIT® através de sua substituição por um computador portátil com placa de aquisição de dados e realizar a análise metrológica dos resultados obtidos garantindo a sua confiabilidade e a exatidão dos instrumentos. Antes disso, porém, é necessário estabelecer as correlações existentes entre metrologia e aquisição de dados.

4.1. Metrologia

Segundo o Vocabulário Internacional de Termos Fundamentais e Gerais de Metrologia – VIM (2000), a metrologia pode ser definida como a ciência da medição. Esta definição desencadeia uma série de outras que permitem complementar o entendimento deste assunto.

A metrologia permite qualificar e quantificar um determinado fenômeno, corpo ou substância, ou seja, determinar a sua grandeza, mais precisamente atribuir-lhe um valor. A grandeza define o que se está medindo, sendo intimamente relacionada com a variável física e diretamente relacionada com a unidade.

As grandezas fazem parte de um sistema que é, em sentido geral, um conjunto no qual há uma relação definida entre elas. Pode-se dizer que este valor atribuído à grandeza é a sua expressão quantitativa sendo, geralmente, sob a forma de uma unidade de medida multiplicada por um número.

A unidade de medida pode ser considerada como uma grandeza específica, definida e adotada por convenção, com a qual outras grandezas de mesma natureza são comparadas para expressar seus módulos em relação àquela

grandeza. Ela define a referência em relação à qual está se medindo uma determinada grandeza e é intimamente relacionada com a variável física.

Cada unidade de medida possui um símbolo que a designa. As unidades de medida fazem parte de um conjunto denominado sistema de unidades, que compreende as unidades de base e unidades derivadas, definidas de acordo com regras específicas, para um dado sistema de grandezas. Quando a unidade de medida derivada pode ser expressa como um produto de potências de unidades de base com fator de proporcionalidade igual ao valor unitário dá-se o nome de unidade de medida derivada coerente. Um sistema de unidades de medida no qual todas as unidades derivadas são coerentes recebe o nome de sistema coerente de unidades de medida.

O sistema de unidades de medida mais empregado atualmente é o Sistema Internacional de Unidades (SI), que é um sistema coerente de unidades adotado e recomendado pela Conferência Geral de Pesos e Medidas (CGPM). A Tabela 4.1 mostra as suas grandezas fundamentais.

Tabela 4.1: Grandezas fundamentais do SI e suas unidades de base.

Grandeza Fundamental	Unidade de Base do SI
Comprimento	Metro (m)
Massa	Quilograma (kg)
Tempo	Segundo (s)
Corrente Elétrica	Ampere (A)
Temperatura	Kelvin (K)
Intensidade Luminosa	Candela (cd)
Quantidade de Substância	Mol

4.1.1. Medição

Ao conjunto de operações necessárias para se determinar o valor de uma grandeza dá-se o nome de medição, a qual segue um princípio que é a sua base científica como, por exemplo, o efeito termoelétrico para a medição de temperatura ou o efeito *Doppler* para medição de velocidade.

Segundo o Guia para a Expressão da Incerteza da Medição (1998), uma medição começa com uma especificação apropriada do mensurando, do método de medição e do procedimento de medição. Segundo o VIM (2000), entende-se

por mensurado o objeto da medição. Este mensurando é medido segundo um método de medição e um procedimento de medição.

O método de medição pode ser definido como a seqüência lógica de operações, descritas genericamente, usadas na execução das medições. Já o procedimento de medição define-se como o conjunto de operações, descritas especificadamente, usadas na execução de medições particulares, de acordo com um dado método.

4.1.2.

Resultados da medição

Segundo o Guia para a Expressão da Incerteza da Medição (1998), o resultado de uma medição é, em geral, somente uma aproximação ou estimativa do valor do mensurando e, assim, só é completa quando acompanhada pela declaração da incerteza dessa estimativa. Segundo o VIM (2000), o resultado de medição é o valor atribuído a um mensurando obtido por medição.

Ainda segundo o Guia para a Expressão da Incerteza da Medição (1998), em muitos casos, o resultado de uma medição é determinado com base em séries de observações obtidas sob condições de repetitividade, ou seja, quando se realiza medições sucessivas de um mesmo mensurando sob as mesmas condições de medição. Neste contexto, medida é o resultado da medição.

4.1.3.

Exatidão, erro e incerteza da medição

Quando se realiza uma medição pretende-se obter o valor mais próximo ao valor real que a representa ou valor verdadeiro. Entretanto, isto é praticamente impossível devido aos próprios desvios naturais dos aparelhos empregados na sua determinação. Estes desvios produzem um erro de medição que é o resultado de uma medição menos o valor verdadeiro do mensurando. Além deste erro existem outros dois tipos de erro que também interferem na medição realizada e que são:

- **erro aleatório:** que é o resultado de uma medição subtraído da média que resultaria de um infinito número de medições efetuadas sob condições de repetitividade;
- **erro sistemático:** que é a média que resultaria de um infinito número de medições do mesmo mensurando, efetuadas sob condições de repetitividade, menos o valor verdadeiro do mensurando

Segundo o VIM (2000), a repetitividade pode ser definida como o grau de concordância entre os resultados de medições sucessivas de um mesmo mensurando sob as mesmas condições de medição.

Percebe-se então que o valor mostrado pelo instrumento é um valor que difere do valor verdadeiro, este valor é denominado de resultado não corrigido, devido aos erros sistemáticos. Porém pode-se compensar o erro sistemático através de uma correção adicionada algebricamente ao resultado não corrigido passando, desta forma, a se ter um resultado corrigido. Dependendo do instrumento de medição esta correção pode ser maior ou menor, o que significa que o valor medido está mais ou menos afastado do valor verdadeiro, este grau de concordância entre o resultado de uma medição e o valor verdadeiro do mensurando é denominada exatidão da medição.

Juntamente com a repetitividade, a exatidão dá uma indicação da qualidade do instrumento, sendo que a primeira tem relação com o desvio padrão das medidas, enquanto que a segunda tem relação com o erro médio das medidas. Na Figura 4.1 apresenta-se uma explicação para a repetitividade e a exatidão, na qual:

- 1) o instrumento apresenta baixa exatidão e baixa repetitividade;
- 2) baixa exatidão e alta repetitividade, i.e. alta precisão;
- 3) o instrumento apresenta alta exatidão e alta repetitividade.

Estes conceitos anteriores produzem um parâmetro associado ao resultado de uma medição, que é a incerteza da medição. Tal parâmetro caracteriza a dispersão dos valores que podem ser fundamentalmente atribuídos a um determinado mensurando. As medições podem também ser realizadas sob condições variadas. O grau de concordância entre os resultados de um mesmo mensurando obtidos nestas condições é denominado de reprodutibilidade.

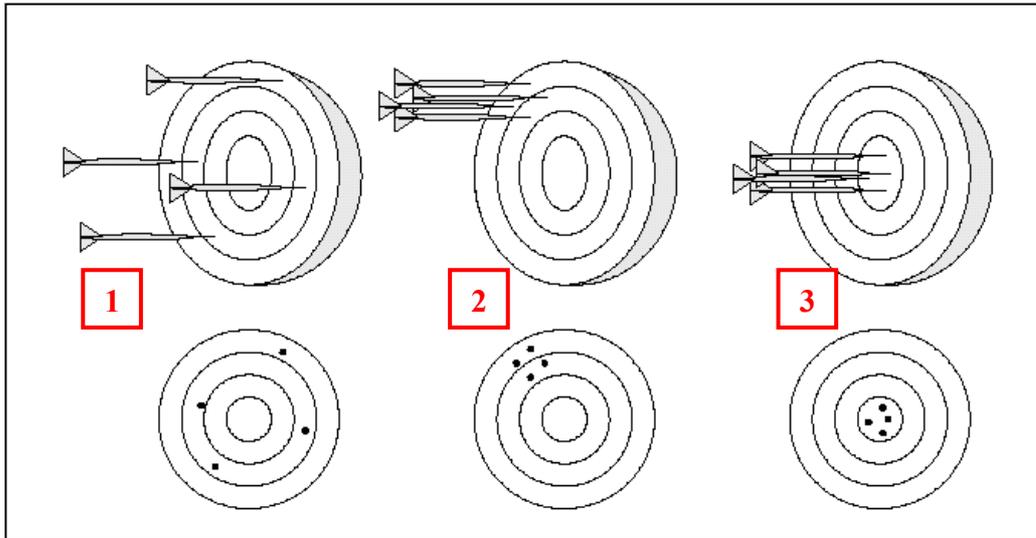


Figura 4.1: Explicação visual dos conceitos de exatidão e repetitividade.
Fonte: (Barbosa, 2003).

4.2. Instrumentos de Medição

Segundo o VIM (2000), o instrumento de medição é o dispositivo utilizado para a realização de uma medição, sozinho ou em conjunto com dispositivo(s) complementar(es), fornecendo informação a respeito do valor físico da variável objeto da medição. Os instrumentos podem ser classificados pela sua aplicação e pelas suas características.

Segundo a sua aplicação os instrumentos podem ser classificados da seguinte forma:

- instrumentos para medição de quantidades físicas;
- instrumentos para monitoração de funções;
- instrumentos componentes de sistemas automáticos de controle.

Com relação às suas características, os instrumentos podem ser classificados da seguinte forma:

- **passivos:** a energia para o sinal de saída é retirada da própria excitação da entrada;
- **ativos:** a saída é obtida pela “modulação” de uma fonte externa, de acordo com o valor da variável a ser medida;

- **deflexão:** valor da quantidade sendo medida é mostrado por meio do movimento de um ponteiro;
- **deteção de nulo:** adiciona-se valores padronizados e conhecidos até que uma posição de equilíbrio seja atingida;
- **monitoramento:** instrumentos que fornecem apenas uma indicação visual (ou auditiva) da amplitude da quantidade física;
- **controle:** instrumentos que fornecem uma saída na forma de um sinal elétrico sinal (ou óptico, ou pneumático), proporcional à quantidade física sendo medida, podendo incluí-los em uma malha de controle;
- **instrumento integrador de medição analógico ou de indicação analógica:** é o instrumento de medição no qual o sinal e saída ou a indicação é uma função contínua do mensurando ou do sinal de entrada. Este termo é relativo à forma de apresentação do sinal de saída ou da indicação e não ao princípio de funcionamento;
- **instrumento de medição digital ou de indicação digital:** é o instrumento de medição que fornece um sinal de saída ou uma indicação na forma digital, ou seja, numa escala quantizada.

Os instrumentos de monitoramento podem ainda ser:

- **mostrado ou indicador:** é o instrumento que representa uma indicação;
- **registrador:** é o instrumento que fornece um registro da indicação;
- **totalizador:** é o instrumento de medição que determina o valor de um mensurando, por meio da soma dos valores parciais desta grandeza, obtidos, simultaneamente ou consecutivamente, de uma ou mais fontes;

Os instrumentos de medição podem fazer parte de um conjunto completo, formado por eles mesmos e por outros equipamentos acoplados, que executam uma medição específica, o qual é denominado de sistema de medição. Quando se tem uma seqüência de elementos de um instrumento ou sistema de medição que constitui o trajeto do sinal de medição desde o estímulo até a resposta tem-se uma cadeia de medição (Figura 4.2).

Normalmente uma cadeia de medição é composta da seguinte forma:

- **excitação:** é o fenômeno que se deseja monitorar, podendo ser qualquer fenômeno de interesse como: temperatura, pressão, velocidade, distância, pH, entre outros.
- **transdutor de medição:** é o dispositivo que fornece uma grandeza de saída que tem uma correlação determinada com a grandeza de entrada, sendo composto pelo sensor (que é o elemento de um instrumento de medição ou de uma cadeia de medição que é diretamente afetado pelo mensurando) e pelos componentes adicionais (sistema de alimentação, entre outros). De um modo geral o transdutor transforma a excitação em um sinal elétrico de tensão ou corrente que é proporcional a ela, emitindo um sinal, normalmente, analógico;
- **condicionador:** em alguns casos pode-se conectar o transdutor diretamente ao sistema de processamento de dados, mas na grande maioria das vezes é necessário adequar o sinal do transdutor para que ele possa ser transmitido e lido pelo processador de sinais. O tipo de condicionamento dependerá do tipo de transdutor usado.
- **transmissor:** são os elementos que transmitem o sinal entre os elementos da cadeia de medição;
- **controlador, armazenador e indicador:** são os instrumentos que recebem o sinal proveniente do transdutor e usam este sinal para controlar a excitação, armazenar os dados ou simplesmente indicar o valor da excitação. Transformam os sinais elétricos de tensão ou corrente em uma unidade de medida relacionada com o fenômeno monitorado

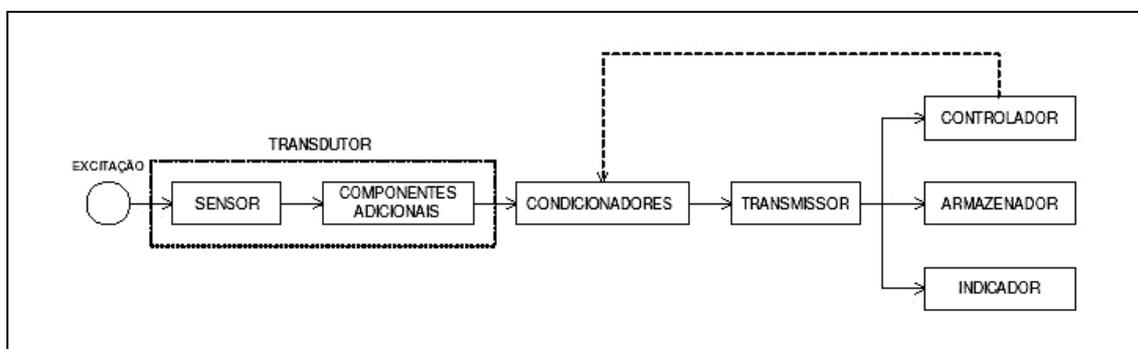


Figura 4.2: Cadeia de medição.
Fonte: Barbosa (2003).

Os instrumentos de medição trabalham dentro de uma faixa de medição ou faixa de trabalho que é o conjunto de valores de um mensurando para o qual se admite que o erro de um instrumento de medição mantém-se dentro dos limites especificados. Esta faixa de medição é dividida em pequenas indicações. A menor diferença entre estas indicações que pode ser significativamente percebida é denominada de resolução. Para que o instrumento de leitura faça uma medição é necessário que a excitação varie de um determinado valor, daí surge a sensibilidade do instrumento que é a variação de sua resposta dividida pela correspondente variação do estímulo.

4.2.1.

Exatidão e erro associado a um instrumento de medição

Os conceitos já descritos de exatidão, erro e incerteza podem ser aplicados a todos os instrumentos de medição. Assim, pode-se dizer que o erro de um instrumento de medição é o valor da sua indicação subtraído do valor verdadeiro da grandeza de entrada correspondente. A exatidão de um instrumento de medição é a aptidão de um instrumento de medição para dar respostas próximas a um valor verdadeiro.

Outro conceito importante é a repetitividade de um instrumento de medição, que pode ser descrita como a aptidão de um instrumento de medição em fornecer indicações muito próximas, em repetidas aplicações do mesmo mensurando, sob as mesmas condições de medição.

4.2.2.

Calibração de um instrumento de medição

O passar do tempo juntamente com as condições de serviço de um determinado instrumento fazem com que sua exatidão apresente desvios, provocando grandes incertezas de medição até que as medições possam, eventualmente, tornarem-se completamente errôneas. Para que se solucione este problema é necessário lançar mão de um recurso denominado calibração.

Segundo o VIM (2000), a calibração é o conjunto de operações que estabelece, sob condições especificadas, a relação entre os valores indicados por um instrumento de medição ou sistema de medição ou valores representados por uma medida materializada ou um material de referência, e os valores correspondentes das grandezas estabelecidas como padrões.

A calibração é feita através da comparação dos valores medidos com o instrumento em relação a um padrão de exatidão conhecida. O seu resultado pode ser expresso em forma de um documento que mostra o desvio de medição do equipamento em relação ao padrão ou pode incluir as capacidades de medição do instrumento como forma de aumentar a exatidão de medição. O objetivo da calibração é a garantia e melhoria do processo de medição do instrumento. Isto pode ser sentido porque se diminuem os erros de medição, garante-se uma consistência entre as medições e conseqüentemente uma garantia de se realizar medições corretas, ou seja, atribui confiabilidade à medição.

O padrão citado anteriormente pode ser definido, segundo o VIM (2000), como a medida materializada, instrumento de medição, material de referência ou sistema de medição destinado a definir, realizar, conservar ou reproduzir uma unidade ou um ou mais valores de uma grandeza para servir como referência.

A estrutura da calibração funciona por meio da rastreabilidade, que é a propriedade do resultado de uma medição ou do valor de um padrão estar relacionado a referências estabelecidas, geralmente a padrões nacionais ou internacionais, através de uma cadeia contínua de comparações, todas tendo incertezas estabelecidas. Com isso, a rastreabilidade torna-se uma cadeia inquebrável de comparações entre o dispositivo de medição e os padrões nacionais e internacionais.

No topo da cadeia de rastreabilidade encontram-se os padrões internacionais mantidos sob custódia do Bureau Internacional de Pesos e Medidas (em francês *Bureau International des Poids et Mesures* - BIPM), que existe para garantir a uniformidade mundial das medições e sua rastreabilidade ao SI. Ele desempenha este papel conforme foi estabelecido pela Convenção do Metro, um tratado diplomático.

Abaixo do BIPM encontram-se os padrões nacionais, sob a responsabilidade das autoridades de metrologia legal de cada país, os quais seguem as diretrizes definidas pelo BIPM e de seus comitês associados. Esta é a lógica segundo a qual

se assegura a qualidade dos padrões de medição de cada país associado. Os Institutos Nacionais de Metrologia - INM (em inglês *National Metrology Institutes* - NMI) de cada país membro da Convenção do Metro também participam do Acordo de Reconhecimento Mútuo (em inglês *Mutual Recognition Agreement* - MRA). Este acordo oficial prevê, o reconhecimento mútuo dos certificados de calibração de medição emitidos pelos INM.

Finalmente, cada país mantém seu instituto nacional de metrologia. No Brasil, o Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO) é o órgão responsável por representar o país junto ao BIPM, além de ser o detentor dos padrões nacionais, portanto responsável por prover rastreabilidade e disseminar as unidades de medida no país. A Figura 4.3 mostra a hierarquia do sistema de rastreabilidade.



Figura 4.3: Hierarquia do sistema de rastreabilidade.
Fonte: INMETRO.

4.3.

Avaliação da conformidade e certificação de produtos

A Avaliação da Conformidade é definida como sendo um processo sistematizado, com regras pré-definidas, devidamente acompanhado e avaliado, de forma a propiciar adequado grau de confiança de que um produto, processo ou

serviço, ou ainda um profissional, atende a requisitos pré-estabelecidos em normas ou regulamentos.

Esse processo normalmente envolve, entre outras ações, como:

- selecionar norma ou regulamento;
- coletar amostras;
- realizar ensaios;
- realizar inspeções;
- realizar auditorias no sistema de qualidade do fornecedor;
- avaliar e acompanhar o produto no mercado.

Existem duas outras definições para a Avaliação da Conformidade, todas com o mesmo significado:

Segundo a ABNT ISO/IEC Guia 2 (1998), a “Avaliação da Conformidade é um exame sistemático do grau de atendimento por parte de um produto, processo ou serviço a requisitos especificados”.

Na visão da Organização mundial do Comércio (OMC), a “Avaliação da Conformidade é qualquer atividade com objetivo de determinar, direta ou indiretamente, o atendimento a requisitos aplicáveis”.

A Avaliação da Conformidade busca atingir dois objetivos fundamentais: em primeiro lugar, deve atender preocupações sociais, estabelecendo com o consumidor uma relação de confiança de que o produto, processo ou serviço esta em conformidade com os requisitos especificados. Por outro lado, não pode tornar-se um ônus para a produção, isto é, não deve envolver recursos maiores do que aqueles que a sociedade está disposta a investir.

Dependendo de quem realiza a Avaliação da Conformidade e, portanto, tem a responsabilidade de evidenciar a conformidade, a atividade pode ser classificada como:

- **de primeira parte:** feita pelo fabricante ou pelo fornecedor;
- **de segunda parte:** feita pelo comprador;
- **de terceira parte:** é feita por uma organização com independência em relação a fornecedor e ao cliente, não tendo, portanto, interesse na comercialização do produto.

No Sistema Brasileiro de Avaliação da Conformidade, o organismo credenciador oficial é o INMETRO e os programas de Avaliação da Conformidade obedecem às práticas internacionais, baseadas em requisitos da *International Organization for Standardization* (ISO), que é uma entidade normalizadora internacional.

A Avaliação da Conformidade pode ser utilizada voluntariamente ou compulsoriamente. Ela é compulsória, isto é, obrigatória, quando o órgão regulador entende que o produto, processo ou serviço pode oferecer riscos à segurança do consumidor ou ao meio ambiente ou ainda, em alguns casos, quando o desempenho do produto, se inadequado, pode trazer prejuízos econômicos à sociedade.

A Avaliação da Conformidade é voluntária quando parte de uma decisão do fornecedor, agregando valor ao produto, representando uma importante vantagem competitiva em relação aos concorrentes.

São cinco os principais mecanismos de Avaliação da Conformidade praticados no Brasil:

- **certificação:** é, por definição, realizada pela terceira parte, isto é, por uma organização independente credenciada para executar essa modalidade de Avaliação da Conformidade;
- **declaração de conformidade pelo fornecedor:** é um procedimento pelo qual um fornecedor dá garantia escrita de que um produto, processo ou serviço está em conformidade com requisitos especificados;
- **inspeção:** é definida como Avaliação da Conformidade pela observação e julgamento acompanhados, conforme apropriado, por medições, ensaios ou uso de calibres. É importante distinguir na Avaliação da Conformidade, o Mecanismo Inspeção dos mecanismos Ensaio e Certificação. Os resultados podem ser utilizados para apoiar a Certificação e a Etiquetagem, e o Ensaio pode fazer parte das atividades de Inspeção;
- **etiquetagem:** os produtos etiquetados são os que apresentam etiqueta informativa indicando seus desempenhos de acordo com os critérios estabelecidos. Esta etiqueta pode ser comparativa entre produtos de um mesmo tipo ou somente indicar que o produto atende a um

determinado desempenho especificado, podendo ser, ainda, de caráter compulsório ou voluntário;

- **ensaio:** é uma operação técnica que consiste na determinação de uma ou mais características de um dado produto, processo ou serviço, de acordo com um procedimento especificado. É o mecanismo de Avaliação da Conformidade mais utilizada, podendo ser utilizado em conjunto com inspeção.

4.3.1.

Avaliação da conformidade no âmbito do Comando do Exército

É de interesse do Ministério da Defesa o aumento da participação de material de defesa na pauta de exportações, mas para que isso ocorra de modo satisfatório é necessário que existam laboratórios de avaliação de materiais de defesa credenciados junto ao INMETRO como forma de garantir a acreditação internacional dos mesmos, visto a elevada competitividade encontrada dentro deste setor. Procurando adequar-se a isso o Exército Brasileiro criou o Sistema de Metrologia, Normalização e Certificação da Qualidade e do Desempenho Operacional do Ministério do Exército (atual Comando do Exército) – SIMETRO/MEx, cujas atividades são: metrologia; normalização; certificação da qualidade e certificação do desempenho operacional.

O CPrM dentro do SIMETRO e do Sistema de Ciência e Tecnologia do Exército Brasileiro é o laboratório de ensaios encarregado da Avaliação Técnica de Produtos Controlados e Materiais de Emprego Militar.

A Avaliação Técnica de Produtos Controlados baseia-se em normas nacionais e/ou internacionais consagradas, sendo a comercialização destes produtos condicionada a aprovação na Avaliação da Conformidade realizada pelo CPrM. Entende-se como produtos controlados todos aqueles descritos no decreto nº 3.665, de 20 de dezembro de 2000 (R-105).

No caso da Avaliação Técnica de Materiais de Emprego Militar, além de tais normas, existem os Requisitos Técnicos Básicos (RTB) elaborados pelo próprio Exército Brasileiro e que tem como base requisitos e doutrinas

operacionais do próprio Exército. Os RTB devem ser cumpridos para que o produto obtenha o desempenho desejado.

O CPrM realiza ensaios desde o protótipo de produto, até o lote-piloto do mesmo como forma de garantir que as características do produto em escala industrial são iguais a do protótipo testado e aprovado.

Como qualquer laboratório o CPrM deve garantir a confiabilidade dos resultados obtidos em seus ensaios, principalmente como forma de se almejar sua acreditação junto ao INMETRO.

4.4. Acreditação (credenciamento)

A acreditação, ou credenciamento, é o reconhecimento formal, concedido por um organismo autorizado, de que a entidade foi avaliada, segundo guias e normas nacionais e internacionais e tem competência técnica e gerencial para realizar tarefas específicas de Avaliação da Conformidade de terceira parte. No Brasil o órgão acreditador é o INMETRO, sendo a acreditação de caráter voluntário.

A Coordenação Geral de Credenciamento atua na acreditação de organismos de certificação, de inspeção, de verificação de desempenho de produto, de treinamento, de pessoal e também credencia laboratórios de calibração e de ensaio. O INMETRO adota os Guias Internacionais da ISO e IEC que estabelecem os requisitos para sua organização interna e para a sua atuação no credenciamento das diversas organizações de terceira parte.

Na busca do reconhecimento internacional, o INMETRO representa o Brasil nos seguintes fóruns internacionais:

- IAF – *International Accreditation Forum*;
- IAAC – *Interamerican Accreditation Cooperation*;
- ILAC – *International Laboratory Accreditation Cooperation*;
- OIML – *Organisation Internationale de Métrologie Légale*;
- IATCA – *International Auditor and Training Certification Association*;
- BIPM – *Bureau International des Poids et Mesures*
- EA – *European Co-operation for Accreditation*.