

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

ESCOLA DE ENGENHARIA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

**IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA DE  
CONFIRMAÇÃO METROLÓGICA**

MIRIAM BORCHARDT

PORTO ALEGRE, AGOSTO DE 1999.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

ESCOLA DE ENGENHARIA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

**IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA DE  
CONFIRMAÇÃO METROLÓGICA**

MIRIAM BORCHARDT

Orientador:  
JOSÉ LUIS DUARTE RIBEIRO, DR.

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção como requisito parcial à obtenção do título de  
MESTRE EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

Porto Alegre, agosto de 1999.

# IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA DE CONFIRMAÇÃO METROLÓGICA

MIRIAM BORCHARDT

Esta dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção e aprovada em sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção.

José Luís Duarte Ribeiro, Dr.  
Orientador

Luís Antônio Lindau, Ph. D.  
Coordenador PPGEP/UFRGS

Banca Examinadora:

Milton Zaro, Dr.  
Prof. Depto. Engenharia Mecânica / UFRGS

Flávio Sanson Fogliato, Dr.  
Prof. CNPq / PPGEP

Gilberto Dias da Cunha, Dr.  
Prof. PPGEP / UFRGS

Porto Alegre, agosto de 1999.

## AGRADECIMENTOS

São muitas as pessoas a quem devo agradecer e sem as quais este trabalho não seria concluído. Muitas delas, mesmo sem perceber, através de palavras de incentivo, me deram motivação para ir sempre em frente.

Entre todas estas pessoas, faço um agradecimento especial para meu marido Leonel, pela compreensão e apoio, não somente durante a execução deste trabalho, mas desde quando nossas vidas se cruzaram. Aos meus filhos, Alice e Alexandre, espero poder ter deixado a lição de que quando temos um objetivo a ser atingido, o melhor caminho para obtê-lo é com dedicação e trabalho.

Aos meus pais, Ildon e Anita, agradeço pelo carinho, apoio, amizade e valores dados em toda minha vida.

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. José Luís Duarte Ribeiro a sua disponibilidade, a sua orientação clara e dedicação.

Agradeço a empresa Andreas Stihl Moto-Serras Ltda. que incentivou e apoiou a execução deste trabalho bem como a colaboração dos colegas, especialmente de Sérgio Schauloeffel, Gustavo Oliveira, Adriane Michaelsen, Newton Barasuol e Fernando Paz.

Também não posso deixar de ser grata aos colegas da Unisinos, em particular, os Profs. Jerzy Pawlowski e Giancarlo Pereira pelo apoio recebido.

Por fim, dedico este trabalho a um amigo muito especial, cujo nome não sei, cujo o rosto não conheço, mas que sinto sempre presente, como uma força interior e que muitas vezes se faz ouvir. Este, sem dúvida, ilumina o meu caminho e me faz ver um mundo novo, o qual devemos sempre buscar conhecer cada vez mais.

## SUMÁRIO

<b>SUMÁRIO</b> .....	v
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	viii
<b>LISTA DE ANEXOS</b> .....	x
<b>RESUMO</b> .....	xi
<b>ABSTRACT</b> .....	xii
<b>CAPÍTULO 1. INTRODUÇÃO</b> .....	1
1.1. BINÔMIO METROLOGIA E QUALIDADE .....	1
1.2. TEMA E SUA IMPORTÂNCIA .....	3
1.3. OBJETIVO DO TRABALHO .....	5
1.4. MÉTODO DE DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO .....	5
1.5. ESTRUTURA DO TRABALHO .....	6
1.6. LIMITAÇÕES DO TRABALHO .....	7
<b>CAPÍTULO 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	8
2.1. HISTÓRICO DA METROLOGIA .....	8
2.2. IMPORTÂNCIA DA METROLOGIA NOS SISTEMAS DA QUALIDADE.....	12
2.3. CONCEITOS BÁSICOS UTILIZADOS EM METROLOGIA.....	14
2.4. NORMAS ISO DA SÉRIE 9000 .....	20
2.5. ITEM 4.11 DA NORMA ISO 9001 – CONTROLE DE EQUIPAMENTOS DE INSPEÇÃO, MEDIÇÃO E ENSAIOS.....	21
2.6. CORRELAÇÃO ENTRE ITEM 4.11 – CONTROLE DE EQUIPAMENTOS DE INSPEÇÃO, MEDIÇÃO E ENSAIOS E OS DEMAIS ITENS DA NORMA ISO 9001 .....	22
2.7. IMPLANTAÇÃO DO ITEM 4.11 DA NORMA NBR ISO 9001 – CONTROLE DE EQUIPAMENTOS DE INSPEÇÃO, MEDIÇÃO E ENSAIOS ...	24

<b>2.7.1. Determinação das medições (no produto e no processo) a serem feitas</b> .....	24
<b>2.7.2. Seleção dos equipamentos de inspeção, medição e ensaios</b> .....	24
<b>2.7.3. Identificação dos equipamentos de inspeção, medição e ensaios</b> .....	26
<b>2.7.4. Calibração dos equipamentos de inspeção, medição e ensaios</b> .....	26
2.7.4.1. Métodos de calibração .....	27
2.7.4.2. Frequência de calibração .....	28
2.7.4.3. Padrões de calibração .....	31
2.7.4.4. Critérios de aceitação .....	32
2.7.4.5. Registros de calibração .....	32
2.7.4.6. Identificação do status da calibração .....	33
<b>2.7.5. Análise crítica de não conformidades relativas aos equipamentos de inspeção, medição e ensaios</b> .....	35
<b>2.7.6. Manuseio, preservação e armazenamento dos equipamentos de inspeção, medição e ensaios</b> .....	36
<b>2.7.7. Qualificação de fornecedores de serviços de calibração</b> .....	36
<b>2.8. DETERMINAÇÃO DA INCERTEZA DE MEDIÇÃO</b> .....	36
<b>2.8.1. Definição de incerteza de medição</b> .....	37
<b>2.8.2. Determinação da incerteza de medição</b> .....	38
<b>2.8.3. Guia para Expressão da Incerteza de Medição (“Guia”)</b> .....	38
2.8.3.1. Conceitos básicos definidos no Guia .....	39
2.8.3.2. Determinação da incerteza de medição .....	42
<b>2.8.4. Método “Ortodoxo” para determinação da incerteza de medição</b> .....	50
<b>2.8.5. Comparação entre método Ortodoxo e método estabelecido pelo Guia</b> .....	51
<b>2.9. AVALIAÇÃO DO SISTEMA DE CONFIRMAÇÃO METROLÓGICA CONFORME ISO 9001</b> .....	53
<b>2.10. ANÁLISE DOS SISTEMAS DE MEDIÇÃO (MSA) – QS 9000</b> .....	55
<b>CAPÍTULO 3. ESTUDO DE CASO</b> .....	57
<b>3.1. APRESENTAÇÃO DA EMPRESA</b> .....	57
<b>3.2. OBJETIVOS E METAS A SEREM ATINGIDOS</b> .....	57
<b>3.3. METODOLOGIA DE IMPLANTAÇÃO DA ISO 9001 NA STIHL</b> .....	58
<b>3.4. ESTRUTURA DOS DOCUMENTOS DO SISTEMA DA QUALIDADE NA STIHL</b> .....	58
<b>3.5. SITUAÇÃO DA METROLOGIA NA STIHL ANTERIOR A IMPLANTAÇÃO DA ISO 9001</b> .....	58
<b>3.6. CRONOGRAMA DE IMPLANTAÇÃO DO ITEM 4.11 – EQUIPAMENTOS DE INSPEÇÃO, MEDIÇÃO E ENSAIOS</b> .....	59
<b>3.7. DEFINIÇÃO DOS RECURSOS NECESSÁRIOS</b> .....	63
<b>3.8. SELEÇÃO DE FORNECEDORES DE SERVIÇOS DE CALIBRAÇÃO</b> .....	64
<b>3.9. ELABORAÇÃO DOS PROCEDIMENTOS GERAIS E OPERACIONAIS</b> .....	66
<b>3.10. CODIFICAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS DE INSPEÇÃO, MEDIÇÃO E ENSAIOS</b> .....	67

3.11. CONTROLE E LOCALIZAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS DE INSPEÇÃO, MEDIÇÃO E ENSAIOS .....	68
3.12. SELEÇÃO DOS EQUIPAMENTOS DE INSPEÇÃO, MEDIÇÃO E ENSAIOS .....	71
3.13. AQUISIÇÃO E DESATIVAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS DE INSPEÇÃO, MEDIÇÃO E ENSAIOS .....	76
3.14. DETERMINAÇÃO DA INCERTEZA DE MEDIÇÃO .....	78
3.15. CALIBRAÇÃO E CRITÉRIO DE ACEITAÇÃO .....	83
3.16. COMPROVAÇÃO METROLÓGICA DE EQUIPAMENTOS DE INSPEÇÃO, MEDIÇÃO E ENSAIOS .....	87
3.17. TRATAMENTO PARA NÃO CONFORMIDADES EM EQUIPAMENTOS DE INSPEÇÃO, MEDIÇÃO E ENSAIOS .....	93
3.18. SOFTWARE PARA CONTROLE DOS EQUIPAMENTOS DE INSPEÇÃO, MEDIÇÃO E ENSAIOS .....	97
3.19. TREINAMENTO OPERACIONAL .....	97
3.20. AVALIAÇÃO SISTEMÁTICA DO SISTEMA DE CONFIRMAÇÃO METROLÓGICA.....	97
3.21. BENEFÍCIOS OBTIDOS COM A IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA DE CONFIRMAÇÃO METROLÓGICA NA STIHL.....	98
3.21.1. Ganhos quantitativos.....	98
3.21.2. Ganhos qualitativos .....	101
<b>CAPÍTULO 4. PROPOSTA PARA IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA DE CONFIRMAÇÃO METROLÓGICA .....</b>	<b>103</b>
4.1. ETAPA DE PLANEJAMENTO GERAL .....	105
4.2. ETAPA DE PLANEJAMENTO DAS ATIVIDADES DE ROTINA DO SISTEMA DE CONFIRMAÇÃO METROLÓGICA.....	109
4.3. ETAPA DE EXECUÇÃO DA ROTINA DE CONFIRMAÇÃO METROLÓGICA.....	112
4.4. ETAPA DE VERIFICAÇÃO DO SISTEMA DE CONFIRMAÇÃO METROLÓGICA E IMPLANTAÇÃO DE AÇÕES CORRETIVAS E PREVENTIVAS .....	115
<b>CAPÍTULO 5. CONCLUSÕES FINAIS .....</b>	<b>119</b>
<b>REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO .....</b>	<b>122</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>124</b>

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 2.1 – Desenvolvimento da precisão das medições da unidade de comprimento [Benich, 1997] .....	10
FIGURA 2.2 – Estatística das não-conformidades registradas durante certificação pela ISO 9002 referentes aos anos de 1985 a 1992 [Maranhão, 1994] .....	14
FIGURA 2.3 – Métodos para análise crítica dos intervalos de calibração [Bureau Veritas do Brasil, 1994] .....	30
FIGURA 2.4 – Rastreabilidade dos padrões x equipamentos de medição .....	31
FIGURA 2.5 – Exemplos de etiquetas para identificar a situação da calibração [Theisen, 1997]. .....	34
FIGURA 2.6 – Resultado de medição e as incertezas associadas [CERTI, 1997] .....	41
FIGURA 2.7 – Comparação entre o método “Ortodoxo” e “Guia” .....	52
FIGURA 3.1 – Cronograma de implementação do sistema de confirmação metrológica ....	60
FIGURA 3.2 – Sistema de codificação dos instrumentos de medição da Stihl .....	68
FIGURA 3.3 – Probabilidade de erro na leitura x relação entre precisão do instrumento e intervalo de tolerância [Bureau Veritas do Brasil, 1994] .....	72
FIGURA 3.4 – Selos e etiquetas utilizados na Stihl para identificar o status do instrumento de medição.....	90
FIGURA 3.5 – Fluxograma para comprovação metrológica interna – Stihl.....	91
FIGURA 3.6 – Fluxograma da comprovação metrológica externa – Stihl .....	92



FIGURA 3.7 - Tipos de não conformidades em instrumento de medição – Stihl.....	94
FIGURA 3.8 – Disposições e ações corretivas aplicáveis ao instrumento de medição não conforme – Stihl .....	96
FIGURA 3.9 - Indicadores de desempenho relativos ao sistema de confirmação metrológica .....	100
FIGURA 3.10 – Motivos do não cumprimento das calibrações planejadas - Stihl.....	100
FIGURA 3.11 – Tipos de não-conformidades verificadas nas calibrações - Stihl.....	101
FIGURA 4.1 – Estruturação de um sistema de confirmação metrológica .....	104
FIGURA 4.2 – Etapas do planejamento geral do sistema de um sistema de confirmação metrológica .....	106
FIGURA 4.3 – Relação entre intervalo de tolerância do produto e incerteza de medição.....	108
FIGURA 4.4 – Fluxograma da estruturação do sistema de confirmação metrológica.....	110
FIGURA 4.5 – Fluxograma para execução das rotinas de confirmação metrológica.....	114
FIGURA 4.6 – Fluxograma para o tratamento dado aos instrumentos de medição não conformes .....	116
FIGURA 4.7 – Fluxograma para verificação do sistema de confirmação metrológica e as respectivas ações corretivas e preventivas .....	117

## **ANEXOS**

ANEXO 1 – Terminologia – Gestão da Qualidade e Garantia da Qualidade – NBR ISO 8402.

ANEXO 2 – Conjunto das Normas ISO da Série 9000 (Edição 1994).

ANEXO 3 – Estrutura da Norma NBR ISO 9001.

ANEXO 4 – Norma NBR ISO 10012-1 – Requisitos de Garantia da Qualidade para Equipamentos de Medição.

ANEXO 5 – Coeficiente “t” de Student.

ANEXO 6 – Exemplos de Relatórios de Calibração.

ANEXO 7 – Relação das Famílias de Instrumentos Dimensionais e Torque da Stihl.

ANEXO 8 – Seleção dos Instrumentos de Medição (Comparação entre Resolução e Limite de Erro Permissível).

ANEXO 9 – Formulário Inclusão / Exclusão de Equipamentos no Sistema de Controle de Instrumentos de Medição).

ANEXO 10 – Exemplos da Obtenção da Incerteza Padronizada Tipo B.

## **RESUMO**

Este trabalho detalha a estruturação de um sistema de confirmação metrológica segundo critérios estabelecidos nas normas ISO da série 9000 / 1994.

Após a introdução ao trabalho, é apresentada a revisão bibliográfica efetuada, onde se buscou esclarecer os conceitos fundamentais sobre metrologia e os critérios definidos nas normas ISO da série 9000. Na seqüência apresenta-se o estudo de caso efetuado na empresa Andreas Stihl Moto-Serras Ltda sobre a implementação do sistema de confirmação metrológica, a metodologia adotada, as dificuldades e ganhos obtidos.

Uma proposta de estruturação destes sistemas também é descrita a partir a avaliação dos dados apresentados na revisão bibliográfica e da experiência obtida durante a implantação do sistema de confirmação metrológica na Andreas stihl Moto-Serras Ltda.

Para finalizar, encerra-se o trabalho com as conclusões obtidas.

## **ABSTRACT**

This work shows the metrological system structure defined according standard ISO serie 9000 / 1994.

After the introduction, the metrological basic concepts and ISO 9000 criterias are introduced. Afterwards, the system developed at Andreas Stihl Moto-Serras Company, considering the metrological system implementation, methodology used, difficulties and benefits produced, is presented.

A proposal to struture metrological system is described too.

At the end, conclusions close this work.

# CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

## 1.1. BINÔMIO METROLOGIA E QUALIDADE

Até início da década de 90 a metrologia industrial evoluiu lentamente e, para muitas empresas, era simplesmente sinônimo de controlar a localização dos instrumentos sem a preocupação que hoje existe com a confiabilidade das medições e informações.

As alterações ocorridas no panorama econômico e político brasileiro a partir de 1990, com a abertura comercial levando o país a se inserir no contexto internacional, caracterizado pela crescente globalização da economia, levaram a profundas mudanças no modelo de desenvolvimento brasileiro. A questão principal passou a ser a busca da competitividade, em função da troca da política de substituição de importações pelo modelo de inserção competitiva.

Neste contexto, a capacitação tecnológica, a produtividade e a qualidade passaram a ser fatores estratégicos no desenvolvimento industrial do país. Além do aspecto gerencial, o aspecto técnico é um dos pilares do processo de qualidade, que envolve tanto a tecnologia de produto, quanto a produção. Sob o aspecto técnico a situação do país ainda evidencia uma grande carência.

A base técnica da qualidade é a metrologia. Os desdobramentos da metrologia têm uma larga abrangência, tanto em relação à sua interdisciplinaridade, quanto ao seu nível de atuação. Com efeito, a metrologia manifesta-se como fundamental, em diferentes níveis de aplicação, desde o "chão de fábrica" até o desenvolvimento de tecnologias altamente sofisticadas, sendo também fundamental em todas as áreas de atuação da indústria. Exemplo deste aspecto é a exigência da metrologia como requisito fundamental na implantação de Sistemas da Qualidade, claramente evidenciadas nas normas ISO da série 9000. Diferentemente de épocas passadas, pesquisas de entidades empresariais mostram os dirigentes das empresas plenamente conscientes da importância da normalização e calibração [Frota, 1996].

Os conceitos de metrologia e qualidade constituem binômio indissociável. Enquanto o último adquiriu popularidade e tem induzido um crescente e irreversível movimento de crença e fé quasi-religiosa, impulsionando as empresas para a conquista da certificação (ISO 9000, QS 9000 e outras) como estratégia à conquista de novos mercados, o primeiro atua no silêncio dos bastidores provendo o imprescindível endosso técnico sem o qual a qualidade não é assegurada [Frota, 1996].

A metrologia é a ciência que trata das medições, dos instrumentos, das técnicas e do tratamento estatístico dos resultados da medição. É a base técnica da qualidade. O anonimato da metrologia reflete a ausência no nosso país de uma cultura metrológica adequada, situação inversa a dos países desenvolvidos que apresentam um processo de industrialização característico das sociedades estruturadas.

A metrologia não apenas está presente em todos os aspectos da tecnologia e é considerada pré-condição ao desenvolvimento das tecnologias e ciências, como é indispensável à decodificação do conhecimento em produtos e serviços de qualidade. É a metrologia que transfere o saber gerado nos centros acadêmicos para o chão-de-fábrica. E é neste contexto que o binômio metrologia e qualidade são conceitos harmônicos que fazem parte de um todo: um que quantifica as grandezas e lhes atribui números confiáveis para expressar características de produtos, processos e serviços, e o outro que estabelece leis ou regras de conformidade para atender exigências técnicas predeterminadas, capazes de conferir qualidade a esses produtos e processos, em atendimentos a padrões de satisfação dos usuários. A metrologia estabelece a referência e o vínculo entre as ciências básicas e aplicadas. Não foi em vão que Sir Willian Thomson (1824 - 1907), condecorado com o nobre título de Lord Kelvin, pretendendo referir-se à necessidade de comparação por meio de um padrão e referindo-se à arbitrariedade inerente à ordem relativa de grandeza, como grande-pequeno, preto-branco, pesado-leve, alto-baixo, etc., já dizia ser “o conhecimento pobre e pouco satisfatório quando incapaz de ser medido e expresso em números” [Frota, 1996].

A metrologia de acordo com a sua abrangência ou aplicação, pode ser rotulada como científica, industrial ou legal. A metrologia científica ou fundamental é aquela que trata do desenvolvimento da ciência das medições; da determinação das constantes físicas elementares, de grandezas cujos valores dependem a maioria das unidades do Sistema Internacional (SI); da concepção e harmonização de escalas de medida; da exatidão, da caracterização de propriedades físico-químicas das matérias; das técnicas, procedimentos e incertezas associados ao processo de medição; do desenvolvimento e uso dos padrões de referência. A ela compete assegurar a confiabilidade metrológica e rastreabilidade dos padrões de mais alta exatidão do Bureau Internacional de Pesos e Medidas (BIPM/Sèrvres).

Beneficiando-se destes conceitos, a metrologia industrial aplica os conhecimentos metrológicos no desenvolvimento da indústria e na melhoria da qualidade de produtos e serviços, de forma a assegurar-lhes a necessária conformidade com as especificações técnicas; na calibração dos padrões metrológicos da indústria e sua rastreabilidade aos padrões nacionais; no conhecimento da base tecnológica para assegurar a competitividade de produtos; na gestão das técnicas de medição e no atendimento às exigências impostas por normas técnicas e expectativas de clientes e usuários [Frota, 1996].

Já a metrologia legal, segundo Frota, 1996, fundamenta-se na ação regulatória que, em consonância com preceitos éticos, visa assegurar aos bens e serviços sociais o pleno cumprimento das especificações técnicas mínimas que garantam à sociedade serviços de qualidade, saúde e segurança, proteção ao meio ambiente e defesa do consumidor. Essa garantia pode vir expressa em emblemas oficiais dos selos e marcas de conformidade afixados nos instrumentos e produtos de consumo da população.

Portanto, desta ciência dependem todas as ações direta ou indiretamente empreendidas pela sociedade. A simbiose metrologia / sociedade estrutura-se e opera com base nas chamadas funções da qualidade: a metrologia; o design; a normalização / regulamentação e a certificação.

## 1.2. TEMA E SUA IMPORTÂNCIA

O tema desta dissertação enfoca sistemas de confirmação metrológica industrial, a serem adotados pelas empresas na busca da melhoria de seus padrões e expectativas quanto à qualidade.

Essa luta incessante das empresas pelo aprimoramento dos Sistemas da Qualidade, orientada na maioria das vezes por critérios consagrados para avaliação, (como normas ISO da série 9000, Malcolm Baldrige, QS 9000, Prêmio Deming, etc.) veio para ficar e faz parte do novo cenário competitivo. Por outro lado, vale dizer que é impossível implantar qualquer sistema, cultura ou método sem a preocupação com esta parte essencialmente técnica que é a metrologia, embora dependa cada vez mais do comprometimento e envolvimento das pessoas responsáveis, que acreditam no que fazem para atingir seus objetivos.

As exigências sobre os métodos de medição, incertezas das medições, rastreabilidade dos padrões de referência usados nas indústrias acentuam-se cada vez mais com a globalização da economia. Critérios mínimos sobre estes aspectos são estabelecidos em normas internacionais referentes a sistemas da qualidade como nas normas ISO da série 9000 ou QS 9000. Mesmo assim ainda é comum surgirem discussões entre clientes e fornecedores quando há reprovação de lotes em questão. O tipo de instrumento, o método de medição, a incerteza da medição e o tamanho da amostra são então questionados.

As normas ISO 9001, 9002 e 9003 tratam somente dos aspectos básicos sobre os instrumentos de inspeção, medição e ensaios..

Também o sucesso relativo ao uso de ferramentas estatísticas utilizadas para análise de medições de processos e produtos, tais como controle estatístico de processo, função de perda quadrática, projetos de experimentos, pode ficar comprometido se a confiabilidade dos resultados for duvidosa. Esta por sua vez depende diretamente do sistema de medição adotado, desde o método, seleção adequada dos instrumentos e padrões até a incerteza das medições efetuadas.

A questão dos custos de avaliação (excesso de medições, medições dispendiosas ou medições erradas que podem causar rejeições ou perdas para empresa) é de extrema importância e deve ser considerada ao se implementar um sistema de confirmação metrológica. Além disso, esse sistema deve sempre se desenvolver e aprimorar juntamente com o avanço de novos processos e produtos. Ainda com relação ao aspecto custos, a implementação de um sistema de confirmação metrológica envolve elevado dispêndio de recursos monetários e, portanto, necessita de planejamento e aprimoramento.

Apesar da importância do tema, poucas publicações abordam a implementação e operacionalização de um sistema de gerenciamento da estrutura de confirmação metrológica (gerenciamento dos equipamentos de inspeção, medição e ensaios). Normalmente os assuntos veiculados em livros e revistas especializadas abordam aspectos da interpretação dos critérios para avaliação do sistema da qualidade ou aspectos específicos sobre determinação de incertezas de medições, repetitividade dos equipamentos, etc. Assim, permanece nos dias de hoje, a dificuldade de interpretação das exigências mínimas definidas em normas como as da ISO série 9000 para uma implementação e gerenciamento bem sucedidos de um sistema de confirmação metrológico eficaz e racional.

Com tudo isso, a avaliação do sistema de confirmação metrológica causa apreensão na equipe técnica e gerencial pelo elevado número de não-conformidades ocorridas durante as auditorias de certificação efetuadas baseadas nos critérios das normas ISO série 9000 pelos organismos certificadores.

Sempre que uma empresa deseja incrementar o atual estágio do Sistema da Qualidade, é fundamental que uma boa estrutura, bem gerenciada, seja implementada para assegurar o funcionamento do sistema de confirmação metrológica. Esta estrutura certamente deve levar em conta a cultura para qualidade estabelecida na empresa, os objetivos que a mesma deseja obter com o sistema de confirmação metrológica a ser adotado, o ganho tecnológico e a capacitação profissional do grupo de pessoas envolvido neste processo todo, lembrando que somente terá utilidade se o foco principal for buscar ganhos reais de um processo de certificação e não apenas o “papel” certificado.



### 1.3. OBJETIVO DO TRABALHO

O objetivo deste trabalho é apresentar a estrutura necessária para a implementação e gerenciamento de um sistema de confirmação metrológica industrial que permita a verificação da conformidade de produtos e processos frente as especificações técnicas.

O principal enfoque, dentro do objetivo deste trabalho, é o estabelecimento de uma estrutura que atenda aos requisitos do item “Equipamentos de Inspeção, Medição e Ensaio” das normas ISO da série 9000.

### 1.4. MÉTODO DE DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO

A seguir são apresentadas as atividades desenvolvidas que no seu conjunto conduzem à obtenção dos objetivos definidos.

1. Uma revisão bibliográfica abrangendo dados referentes ao histórico da metrologia, conceitos e critérios definidos em normas consagradas para implantar e aprimorar o Sistema da Qualidade, definições conceituais sobre os aspectos técnicos relacionados a um sistema de confirmação metrológica, tais como, determinação de incerteza de medições, avaliação das frequências de calibração, etc.

2. Envolvimento prático adquirido na implementação de um sistema de confirmação metrológica em uma indústria metalúrgica, no qual foi necessário troca de experiências e informações com outras empresas que já tinham um sistema de confirmação metrológica suficiente para atender os requisitos da norma ISO 9001 ou que estejam em estágio de estruturação e implantação do mesmo. Também durante este processo de desenvolvimento e implementação de um sistema de confirmação metrológica na indústria foram efetuados contatos com consultores e prestadores de serviços de calibração e manutenção de instrumentos de inspeção, medição e ensaios e com organismos certificadores.

3. Diagnóstico dos principais itens relativos a implementação de um sistema de confirmação metrológico e sua correlação com demais requisitos do Sistema da Qualidade de uma empresa, tendo como base a norma ISO 9001.

4. Definição, implementação e gerenciamento de um sistema de confirmação metrológico em uma empresa metalúrgica, atendendo os requisitos da norma ISO 9001 com análise dos ganhos e dificuldades verificadas e potenciais de melhorar e incrementar este sistema.

5. Considerações sobre técnicas estatísticas utilizadas para determinação de incertezas de medições e sobre o gerenciamento, manutenção e melhoria contínua do sistema de confirmação metrológica.

6. Conclusões obtidas com a pesquisa bibliográfica e a experiência profissional.

## 1.5. ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho apresenta a estrutura descrita a seguir.

No primeiro capítulo está estruturada a introdução, abordando a importância da metrologia como requisito fundamental na implantação ou aprimoramento de Sistemas da Qualidade, frente ao mercado cada vez mais competitivo. Ainda neste capítulo, também é abordado o tema e a importância deste tema e os objetivos a serem alcançados neste trabalho. Segue-se com o método utilizado e as limitações que este trabalho possui.

No segundo capítulo do trabalho serão abordados, inicialmente, um breve histórico da metrologia e os conceitos básicos utilizados em metrologia. A seguir será apresentado um detalhamento dos requisitos da norma ISO 9001, item 4.11 - “Equipamentos de Inspeção, Medição e Ensaios”, a correlação deste item com os demais, os métodos de determinação de incertezas de medições sugeridos na literatura e comumente empregados nas empresas, os passos e etapas necessários a atender os requisitos propostos pela ISO 9001 e as limitações deste sistema.

Após, no terceiro capítulo, será apresentado o processo de implantação do sistema de confirmação metrológica na empresa Andreas Stihl Moto-Serras Ltda. desde a etapa de preparação, orçamentação, definições, implementação, dificuldades e estágio atual até os pontos a serem aprimorados futuramente.

O quarto capítulo irá apresentar uma proposta para o encaminhamento da implantação de um sistema de confirmação metrológica. Essa proposta será baseada tanto na revisão da literatura quanto na experiência obtida junto à empresa Andreas Stihl Moto-Serras.

No quinto capítulo serão apresentadas as conclusões finais e serão feitas sugestões para pesquisas futuras.

Encerra-se o trabalho com a apresentação do referencial bibliográfico e os anexos.

## 1.6. LIMITAÇÕES DO TRABALHO

Embora existam diversos critérios para avaliação de sistemas da qualidade que, ao menos no que se refere ao item confirmação metrológica, são até mais abrangentes que as normas ISO da série 9000, serão consideradas as diretrizes desta série de normas, por serem as mais utilizadas por empresas brasileiras que buscam a melhoria de seus padrões de qualidade e também o reconhecimento público através da certificação gerada por organismos acreditadores.

Outra limitação do trabalho, é que ele foi desenvolvido com base na experiência obtida na implementação de um sistema de confirmação metrológica ocorrido em uma empresa do ramo metalúrgico, onde a maioria dos instrumentos disponíveis são para grandezas dimensionais. As considerações efetuadas, em sua maioria, terão como base este universo de instrumentos.

A empresa Andreas Stihl Moto-Serras Ltda. é uma empresa de médio porte, com planta fabril única no Brasil e com uma filosofia de gerenciamento de sistemas já consolidada. Este ponto também deve ser considerado como limitação a este trabalho, pois certamente onde ainda não está sedimentada a cultura para a qualidade o caminho a ser percorrido para implantar um sistema de confirmação metrológica eficiente será mais longo.

## CAPÍTULO 2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. HISTÓRICO DA METROLOGIA

Desde que a humanidade começou a viver em comunidade e a trocar bens e mercadorias surgiram meios de medir e mensurar o valor ou a quantidade destes bens e mercadorias.

Na história da China antiga temos registros relativos a padronização de medição de comprimento, volume, peso, etc. Assim, podemos dizer que a 3000 anos atrás a demanda por qualidade e o uso da medição como um indicador da qualidade já existiam [Juran, 1995].

Durante todo período de atuação dos clãs comunistas, a cerca de 5000 anos atrás, as pessoas começaram a dar atenção aos métodos de medição de comprimento, volume e peso. Durante a dinastia Shang e Zhon um sistema de verificação dos instrumentos padrões de cada medição foi introduzido. O sistema incluía revisão da precisão destes instrumentos duas vezes por ano. Uma organização especial com oficiais foi criada para garantir este controle.

O controle da instrumentação de medição continuou durante o período de 403 a 221 AC. Entretanto, como a centralização do país entrou em colapso, vários regimes separatistas continuaram ou criaram seus próprios sistemas de medidas de comprimento, volume e peso. Depois da unificação do país pelo Estado de Qin em 221 AC foi editada uma ordem do imperador unificando todos os sistemas de medidas [Juran, 1995].

Já no mundo ocidental temos relatos de que muitas transações comerciais descritas no Velho Testamento relatavam trocas de bens e serviços que requeriam um sistema de medições estabelecido.

Os meios de medição (instrumentos e padrões) tiveram desenvolvimento significativo a partir da Revolução Industrial. O sistema imperial de pesos e medidas da Grã-Bretanha, o berço da Revolução Industrial, tem curiosas anomalias. Este é resultado de uma série de invasões. Cada onda de invasões introduziu sua própria unidade de medida. O resultado cumulativo de todas estas invasões é uma miscelânea de unidades de medidas. Por exemplo, jardas era a distância da ponta do nariz até o dedo de Edgar, o rei Anglo-Saxão a cerca de 1000 anos atrás, e assim por diante. Um outro problema que surgiu é que nomes idênticos para uma unidade de medida não significavam necessariamente uma quantidade idêntica.

No início do século 19 o parlamento selecionou um comitê Britânico para verificar possíveis diferenças entre os padrões de medida [Juran, 1995].

Já na França, o sistema de unidades de medida também tinha sido estabelecido. Então, após a Revolução Francesa (1789) a França investigou seu próprio sistema e também o sistema Britânico e preparou uma proposta (1790) oferecendo a “padronização do sistema de pesos e medidas”. A França convidou a Bretanha para cooperar, mas, em função das relações políticas entre eles, a Bretanha resolveu manter seu próprio sistema de medidas.

O resultado do sistema francês (agora conhecido como sistema métrico) foi a escolha do metro como unidade básica de comprimento [Juran, 1995].

Em 1875, o sistema métrico foi internacionalmente aceito. Desde esta data tivemos três definições para o metro [Kurzmann, 1997]:

- em 1877, a definição foi baseada em uma escala de 1 (um) metro feita de Pt-Ir;
- em 1960, o comprimento de onda no vácuo do isótopo de Kr-86 foi escolhido como definição;
- em 1982, a definição de velocidade da luz foi introduzida para a unidade básica, metro, isto é:

“metro é o distância percorrida pela luz no vácuo durante um intervalo de tempo de  $1/299\,792\,458$  segundos”.

Com o crescimento do comércio entre países, a necessidade da unificação dos sistemas de medição tornou-se cada vez mais importante. Em 1962 a International Organization for Standardization (ISO) e o International Electrotechnical Commission (IEC) endossaram e adotaram o sistema métrico referenciado como “Sistema Internacional de Medidas”.

A fig. 2.1 mostra o desenvolvimento da precisão das medições da unidade de comprimento durante os últimos séculos até os dias de hoje.

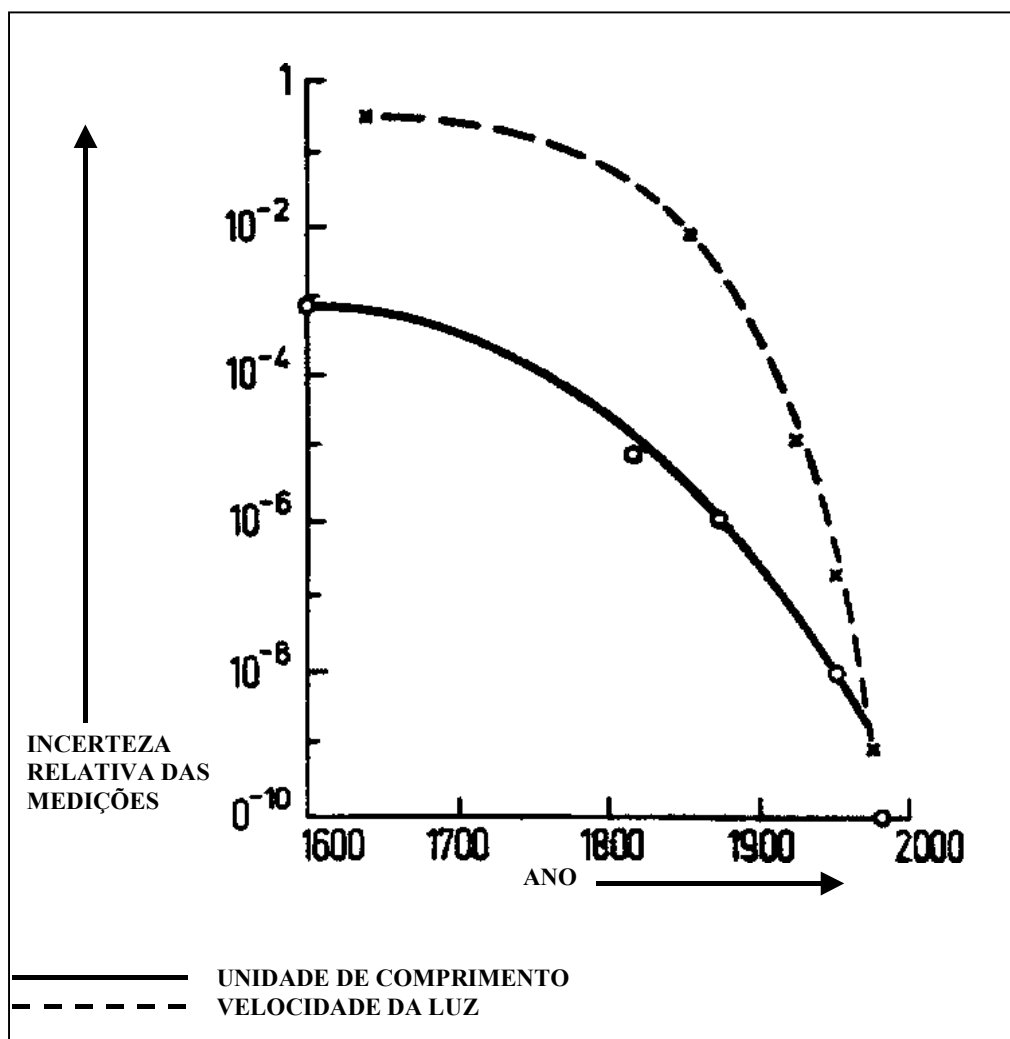


FIGURA 2.1 - Desenvolvimento da precisão das medições da unidade de comprimento [Benich, 1997]

No Brasil, a história da metrologia possui registros do tempo do império. Ainda colônia portuguesa, o Brasil possuía diferentes formas de medir e pesar, todas herdadas de Portugal, como braça, pé, palmo, vara, quintal, marco, onça, oitava, grão, pipa, quartilho, vara quadrada, pé quadrado, vara cúbica, etc. Em 1862, Dom Pedro II promulgou uma lei para oficializar em todo território nacional o sistema métrico decimal francês [Bueno, 1996].

Dez anos mais tarde, por meio de um decreto lei, foram expedidas no Brasil as instruções provisórias para a execução da lei, regulamentando sua aplicação, cabendo às Prefeituras a incumbência de calibrar e fiscalizar os pesos e medidas. Esta legislação deixou de ser cumprida por ter-se tornado obsoleta diante do progresso da indústria mecânica, sempre aperfeiçoando e criando novos tipos de medidas e instrumentos de medir [Theisen, 1997].

No início dos anos 70, o País atravessava uma fase de grande desenvolvimento e para consolidar este processo, a metrologia deixou de ser analisada isoladamente, passando a fazer parte de um contexto mais abrangente, que incluiu a normalização técnica e qualidade industrial.

Em 1973, uma nova Lei instituiu o Sistema Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (SINMETRO), com a finalidade de formular e executar a política nacional de metrologia, normalização e qualidade.

Como órgão normativo do sistema foi criado o Conselho Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (CONMETRO), com a responsabilidade de assegurar uniformidade e a racionalização das unidades de medida utilizadas no país, fixar critérios e procedimentos para certificação de qualidade e também para aplicação de penalidades nos casos de infração à legislação, entre outras atribuições. O setor empresarial pode se fazer presente no Plenário do CONMETRO, onde são deliberados os aspectos gerais do sistema, através da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) e ABCQ (Associação Brasileira de Controle da Qualidade).

O órgão executivo central do sistema é o Instituto de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO), criado pela mesma Lei e vinculado hoje ao Ministério da Indústria, do Comércio e do Turismo, podendo, através de autorização do CONMETRO, credenciar entidades públicas e privadas para as atividades de sua competência.

As atividades básicas do INMETRO estão estruturadas em três grandes áreas de atuação: metrologia, normalização e qualidade, operacionalizadas pelas suas três diretorias:

- Diretoria de Metrologia Legal (DIMEL);
- Diretoria de Metrologia Científica e Industrial (DIMCI);
- Diretoria de Qualidade Industrial, Normalização e Produtividade (DINQP).

A Diretoria de Metrologia Científica e Industrial (DIMCI) coordena e executa as atividades inerentes à realização e manutenção dos padrões primários nacionais das unidade de medida disseminando-as para todos os locais onde se efetuam medições: na indústria, nos laboratórios de entidades públicas e privadas, procurando a obtenção de uma compatibilidade metrológica adequada à finalidade a que se destinam.

Uma das principais contribuições do DIMCI é a descentralização dos serviços metrológicos no país, credenciando laboratórios segundo critérios internacionais estabelecidos na norma ISO Guide 25, assegurando assim o reconhecimento da competência técnica dos labo-

ratórios, segundo faixas de medição e valores de incerteza de medição previamente estabelecidos.

A Rede Brasileira de Calibração (RBC) é uma rede formada de laboratórios credenciados e apresenta uma infra-estrutura de serviços básicos da qualidade e da competitividade que é disponibilizada ao País, sob supervisão metrológica do INMETRO, para assegurar qualidade de produtos e serviços que competem nos mercados nacional e internacional [Theisen, 1997].

A criação da RBC possibilitou a disseminação das referências metrológicas (padrões nacionais) das unidades de medida ao setor produtivo, através de um conjunto de laboratórios que, segundo seus níveis de exatidão, prestam serviços de calibração de instrumentos de medir utilizados pelos diferentes segmentos da sociedade [Theisen, 1997].

A necessidade crescente de precisão, exatidão, critérios de medição e expressão dos resultados necessária aos sistemas de medição utilizados em todos os segmentos da indústria, medicina, comércio, agricultura e pecuária tem acelerado o processo de normalização relativos a metrologia e instrumentação. A evolução da metrologia precisa seguir o mesmo ritmo imposto a todos os segmentos fornecedores de bens e serviços à sociedade moderna.

## 2.2. IMPORTÂNCIA DA METROLOGIA NOS SISTEMAS DA QUALIDADE

A importância da qualidade assegurada tornou-se indiscutível na última década, e procedimentos para assegurar a qualidade do produto têm sido implementados pela maioria das grandes empresas. A adoção de rigorosos sistemas de controle da qualidade não é ainda realidade na maioria das empresas de médio e pequeno porte, mas o mercado internacional têm forçado essas empresas, muitas vezes até por imposição contratual, à busca destes sistemas rapidamente.

Medições e procedimentos de calibração são um componente essencial dentro do sistema de controle da qualidade para monitorar a qualidade relatada dos parâmetros de processo nos vários estágios de produção e para avaliação e teste final dos produtos. Medições nos estágios intermediários e finais da produção fornecem meios para avaliar o sucesso na operação do sistema de controle da qualidade. Tais medições devem refletir o meio pelo qual o consumidor irá perceber a qualidade do produto adquirido. Isto significa que a qualidade e incerteza dos instrumentos deve ser garantida pelo gerenciamento de confirmação metrológica.



Sem confirmação metrológica não há como garantir a confiabilidade dos dados referentes ao controle das características que determinam a qualidade no produto, e muito menos às ações de monitoração do processo. A ausência de confirmação metrológica é, por si só, razão suficiente para gerar descrédito no sistema de informação da qualidade de uma organização.

A confirmação metrológica é função que exige recursos humanos, materiais e financeiros de monta substancial, e requer atenção especial, embora ainda exista o mito de que a confirmação metrológica seja tarefa inferior, a ser atribuída aos níveis de menor responsabilidade e autoridade [Bureau Veritas do Brasil, 1994].

Outro aspecto importante é a uniformização de unidades de medida e determinação de incertezas, para que consumidor e fornecedor falem a mesma linguagem evitando conflitos. Este tema ainda traz muita polêmica sobre os valores verificados em uma medição e, na medida do possível, devem ser adotados padrões e métodos normalizados, definidos contratualmente quando necessário.

O sistema de confirmação deve ser totalmente integrado ao Sistema da Qualidade de uma empresa. A sua importância é tal que está explícito nos textos das normas ISO da série 9000 ou de outras (como QS 9000) os critérios mínimos necessários a um sistema de confirmação metrológico, sem o qual a empresa não terá um Sistema da Qualidade completo.

O item “Equipamentos de Inspeção, Medição e Ensaio” das normas ISO da série 9000 ainda é considerado um dos mais complexos para ser estruturado. Uma das evidências deste fato pode ser verificada na fig. 2.2, que se refere à incidência de não-conformidades registradas para certificação pela ISO 9002, por requisito da norma.

A estatística referente a fig. 2.2 não possui informações sobre a situação brasileira, mas é significativo refletir sobre estes dados, uma vez que o perfil de não-conformidades, em princípio, manterá alguma semelhança com esses, uma vez que os problemas das empresas, independentemente de nacionalidade, guardam alguma semelhança.

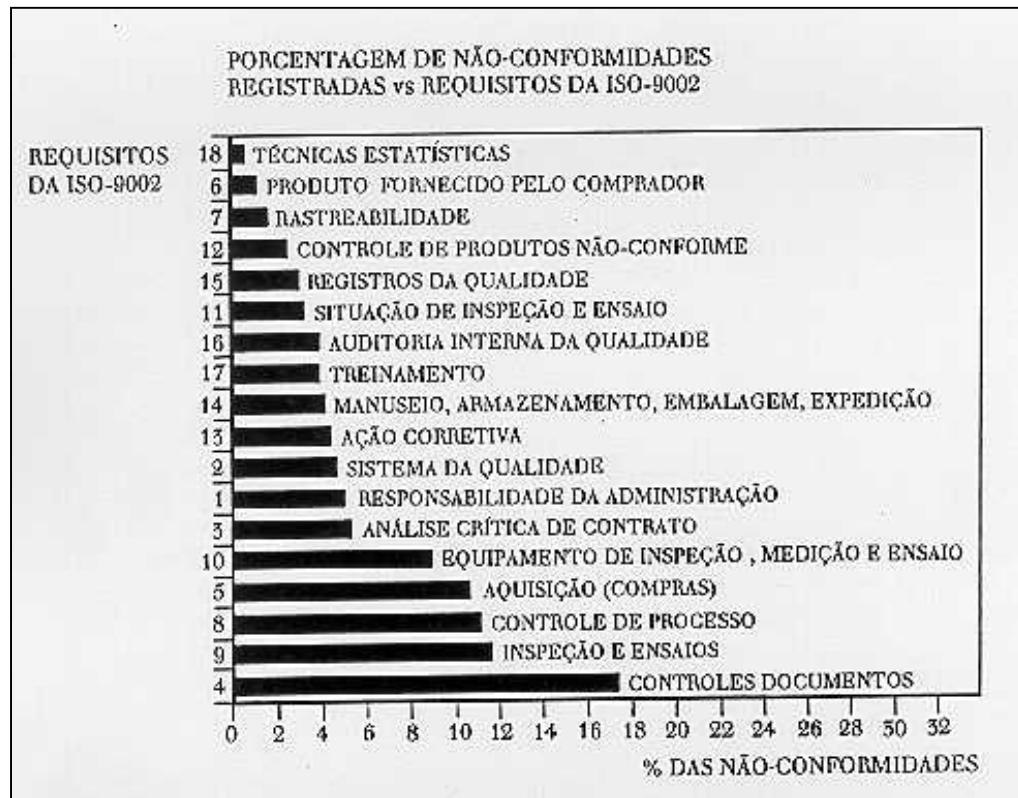


FIGURA 2.2 – Estatística das não-conformidades registradas durante certificação pela ISO 9002 referentes aos anos de 1985 a 1992 [Maranhão, 1994].

O anexo 1 apresenta uma síntese da terminologia relativa a Gestão da Qualidade e Garantia da Qualidade de acordo com a norma NBR ISO 8402.

### 2.3. CONCEITOS BÁSICOS UTILIZADOS EM METROLOGIA

Os principais conceitos utilizados na Metrologia são apresentados a seguir. Esses conceitos estão baseados nas definições da norma NBR ISO 10012 – 1 - Requisitos de Garantia da Qualidade para Equipamento de Medição (nov/1993) e no Vocabulário Internacional de Termos Fundamentais e Gerais de Metrologia (VIM) – INMETRO, estando agrupados conforme apresentado no neste mesmo texto do INMETRO.

#### a) Conceitos genéricos:

- **Comprovação Metrológica:** conjunto de operações necessárias para assegurar que um dado equipamento de medição está em condições de conformidade com os requisitos para o uso.

*Observações:* a comprovação metrológica normalmente inclui, entre outras atividades, calibração, algum ajuste ou manutenção necessária e subsequente recalibração, bem como alguma lacração ou etiquetagem necessária.

- **Intervalo de Tolerância (IT):** é a diferença algébrica entre os limites de tolerância especificados (para produto, processo ou componente).
- **Limites de Tolerância (LT):** são os limites superior e inferior de uma determinada tolerância.
- **Certificado de Calibração:** registro gerado por um fornecedor de serviços de calibração para registrar as condições e os resultados obtidos na calibração de um instrumento de medição.
- **Relatório de Calibração:** registro gerado internamente em uma empresa ou laboratório para documentar as condições e os resultados obtidos na calibração de um instrumento de medição.
- **Valor Medido (VM):** é o valor indicado pelo instrumento sob calibração, quando se tratar de um instrumento mostrador; ou o valor nominal do instrumento sob calibração, quando se tratar de um instrumento de medida materializada.

#### **b) Grandezas e unidades:**

- **Grandeza:** atributo de um fenômeno, corpo ou substância que pode ser qualitativamente distinguido e quantitativamente determinado.

*Exemplos:*

- Grandezas em um sentido geral: comprimento, tempo, massa, temperatura;
- Grandezas específicas: comprimento de uma barra, resistência elétrica de um fio.
- **Unidade:** grandeza específica, definida e adotada por convenção, com a qual outras grandezas de mesma natureza são comparadas para expressar suas magnitudes em relação àquela grandeza.
- **Valor Verdadeiro:** valor consistente com a definição de uma dada grandeza específica.

*Observações:*

- é um valor que seria obtido por uma medição perfeita;
- valores verdadeiros são por natureza indeterminados;
- o artigo indefinido “um” é usado, preferivelmente ao artigo definido “o”, em conjunto com o “valor verdadeiro” porque podem haver muitos valores consistentes com a definição de uma dada grandeza específica.

- **Valor Verdadeiro Convencional (VVC):** valor atribuído a uma grandeza específica e aceito, às vezes por convenção, como tendo uma incerteza apropriada para uma dada finalidade.

*Exemplo:* em um determinado local, o valor atribuído a uma grandeza, por meio de um padrão de referência, pode ser tomado como um valor verdadeiro convencional.

- **Grandeza de influência:** grandeza que não é o mensurando mas que afeta o resultado da medição.

Exemplos: temperatura de um micrômetro usado para medir comprimento; frequência na medição de amplitude de uma diferença de potencial elétrico alternado.

#### c) **Medições:**

- **Medição:** conjunto de operações que tem por objetivo determinar um valor de uma grandeza.
- **Metrologia:** é a ciência das medições. Preocupa-se com as características dos instrumentos, o modo como são utilizados e a finalidade de seu uso.
- **Metrologia Dimensional:** parte da metrologia que se dedica a medição da grandeza de base comprimento e suas grandezas derivadas.

*Observações:* as grandezas derivadas do comprimento podem ser, por exemplo: área, volume, rugosidade, ângulos, etc.

#### d) **Resultados de medições:**

- **Exatidão (de medição):** grau de concordância entre o resultado de uma medição e um valor verdadeiro do mensurando.

*Observações:*

- exatidão é um conceito qualitativo;
- o termo precisão não deve ser utilizado como exatidão.

- **Erro de Medição (EM):** diferença entre o resultado de medição (RM) e o valor verdadeiro convencional (VVC).

$$EM = RM - VVC$$

*Observações:*

1. A definição acima é mais adequada para os casos em que o padrão é um instrumento de medida materializada e o instrumento sob calibração é um instrumento mostrador.
2. Considerando-se as outras duas combinações possíveis entre instrumento sob calibração e padrão, define-se o “erro de medição” para cada caso:

a) quando o instrumento sob calibração e padrão forem instrumentos mostradores, o erro de medição (EM) é definido da seguinte forma:  $EM = RM - VM$  (onde VM é o valor medido pelo instrumento sob calibração);

b) quando o instrumento sob calibração é um instrumento de medida materializada e o padrão é um instrumento mostrador, o erro de medição (EM) é definido da seguinte forma:  $EM = RM - VN$  (onde VN é o valor nominal do instrumento sob calibração).

- ***Incerteza de Medição (IM)***: parâmetro associado ao resultado de uma medição, que caracteriza a dispersão dos valores que podem ser fundamentadamente atribuídos a um mensurando.

*Observações:*

- a incerteza de medição compreende, em geral, muitos componentes. Alguns destes componentes podem ser estimados com base na determinação estatística dos valores obtidos das séries (replicações) de medições e podem ser caracterizados por desvios padrões experimentais. Os outros componentes, que também podem ser caracterizados por desvios padrões são avaliados por meio de distribuição de probabilidades assumidas baseadas na experiência ou em outras informações;

- entende-se que o resultado da medição é a melhor estimativa do valor do mensurando, e que todos os componentes da incerteza, incluindo aqueles resultados dos efeitos sistemáticos, como os componentes associados com correções e padrões de referência, contribuem para a dispersão.

- ***Repetitividade (de resultado de medições)***: grau de concordância entre os resultados de medições sucessivas de um mesmo mensurando efetuadas sob as mesmas condições de medição.

*Observações:*

- estas condições são denominadas condições de repetitividade;

- condições de repetitividade incluem: mesmo procedimento de medição, mesmo observador, mesmo instrumento de medição, utilizado nas mesmas condições, mesmo local, repetição em curto período de tempo;

- repetitividade pode ser expressa, quantitativamente, em função das características da dispersão dos resultados.

- ***Reprodutibilidade***: grau de concordância entre os resultados das medições de um mesmo mensurando, efetuadas sob condições variadas de medição.

*Observações:*

- para que uma expressão de reprodutibilidade seja válida é necessário que sejam especificadas as condições alteradas;

- as condições alteradas podem incluir: princípio de medição; método de medição; observador; instrumento de medição; padrão de referência; local; condições de utilização; tempo.

- **Resultado da Medição (RM):** valor atribuído a um mensurando obtido por medição.

*Observações:*

- para uniformizar a linguagem, é importante considerar as três combinações possíveis entre instrumento sob calibração e padrão:

- a) quando o instrumento sob calibração é um instrumento mostrador e o padrão é um instrumento de medida materializada, o resultado da medição (RM) será a média aritmética dos valores medidos (VM);
- b) quando o instrumento sob calibração é um instrumento mostrador e o padrão é um instrumento mostrador, o resultado das medições (RM) será a média aritmética dos valores verdadeiros convencionais (VVC) indicados pelo padrão durante a calibração;
- c) quando o instrumento sob calibração é um instrumento de medida materializada e o padrão é um instrumento mostrador, o resultado das medições (RM) será a média aritmética dos valores verdadeiros convencionais (VVC) indicados pelo padrão durante a calibração;

- se for medido apenas 1 (um) valor, então o resultado da medição (RM) será definido por este valor.

#### e) Instrumentos de medição:

- **Equipamento de Medição:** todos os instrumentos de medição, padrões de medição, materiais de referência, dispositivos auxiliares e instruções para a execução da medição, incluindo o equipamento de medição usado no decorrer do ensaio e da inspeção, bem como aquele usado na calibração.

*Observações:* o termo equipamento de medição engloba instrumentos de medição e padrões. Além disso, um material de referência é considerado uma espécie de padrão.

- **Faixa de Indicação:** conjunto de valores limitado pelas indicações extremas do equipamento de medição.
- **Instrumento de Medição:** aparelho destinado a fazer medições, sozinho ou complementado por um outro equipamento (ISO 10012-1). Exemplos: paquímetro, voltímetro, amperímetro, manômetro, termômetro, calibre tampão roscado, máquina de medir coordenadas, etc.

- **Instrumento de Medida Materializada:** dispositivo destinado a reproduzir ou fornecer, de maneira permanente durante seu uso, um ou mais valores conhecidos de uma dada grandeza.

*Exemplos:* uma massa, balão volumétrico (sem escala), um resistor elétrico padrão, um bloco padrão, qualquer material de referência.

- **Instrumento Mostrador:** instrumento de medição que apresenta indicação.

#### f) Características dos instrumentos de medição:

- **Faixa de Medição:** conjunto de valores de um mensurando para o qual admite-se que o erro de um instrumento de medição mantém-se dentro dos limites especificados.
- **Faixa Nominal:** faixa de indicação que se pode obter em uma posição específica dos controles de um instrumento de medição.

- **Limite de Erro Permissível (LEP):** valores extremos de um erro, permitidos pelas especificações, regulamentos, etc. para um dado instrumento de medição mostrador.

*Observações:*

- normalmente os erros de medição, repetição, histerese (significa a não coincidência entre as curvas de subida e de descida obtidas a partir das leituras efetuadas com um instrumento de medição ao longo de sua faixa nominal), etc., são comparados com o limite de erro permissível;

- em muitas situações o erro de medição (aquele associado à exatidão do instrumento) é somado a incerteza das medições obtidas na calibração para então ser comparado com o limite de erro permissível. Este procedimento é adotado principalmente para os instrumentos de medição que medem o produto diretamente;

- quando o produto é medido por um sistema de medição (composto por diversos instrumentos de medição calibrados individualmente), ou quando se tratar de padrões, geralmente o erro de medição é comparado diretamente com o limite de erro permissível, e a incerteza das medições, com o limite de tolerância.

- **Resolução (RE):** menor diferença entre indicações de um dispositivo mostrador que pode ser significativamente percebida.

- **Valor Nominal (VN):** valor arredondado ou aproximado de uma característica de um instrumento de medição que auxilia na sua utilização.

*Exemplos:*

- 30,001 mm como valor gravado em um anel padrão;

-1 g como valor gravado em uma massa padrão;

-100  $\Omega$  como valor marcado em um resistor padrão.

**g) Padrões:**

- **Aferição:** é o mesmo que calibração.

*Observações:* o termo “aferição” também pode ser utilizado, mas é interessante evitá-lo, tendo em vista que futuramente deve cair em desuso.

- **Calibração:** 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 por um material de referência, e os valores correspondentes da grandeza estabelecidos por padrões.
- **Procedimento de Calibração:** conjunto de operações, descritas especificamente, usadas na execução de medições para permitir que um instrumentista execute a calibração sem informações adicionais.
- **Padrão:** medida materializada, instrumento de medição, material de referência ou sistema de medição destinado a definir, conservar ou reproduzir uma unidade ou um ou mais valores de uma grandeza para servir como referência.
- **Padrão de Referência:** padrão, geralmente tendo a mais alta qualidade metrológica disponível em um dado local ou em uma dada organização, a partir do qual as medições lá executadas são derivadas.
- **Padrão de Trabalho:** padrão utilizado rotineiramente para calibrar ou controlar medições materializadas, instrumentos de medição ou materiais de referência .  
*Observações:* um padrão de trabalho é geralmente calibrado por comparação a um padrão de referência; um padrão de trabalho utilizado rotineiramente para assegurar que as medições estão sendo executadas adequadamente é chamado de padrão de controle.
- **Rastreabilidade:** 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.

#### 2.4. NORMAS ISO DA SÉRIE 9000 – EDIÇÃO 1994

O conjunto das normas ISO da série 9000 (edição 1994) é formado pelas normas listadas no anexo 2. Estas normas, no seu conjunto, devem ser utilizadas como base pelas empresas que visam seguir um modelo de Sistema da Qualidade que atenda os requisitos das normas ISO da série 9000.



A norma NBR ISO 9001 será utilizada como referência por ser a mais ampla, aplicada por empresas cujos processos abrangem desde o projeto, desenvolvimento, produção, instalação até a assistência técnica. A estrutura da norma NBR ISO 9001 é apresentada no anexo 3.

## 2.5. ITEM 4.11 DAS NORMAS ISO 9001, 9002 E 9003 - CONTROLE DE EQUIPAMENTOS DE INSPEÇÃO, MEDIÇÃO E ENSAIOS

Nas normas NBR ISO 9001, NBR ISO 9002 e NBR ISO 9003 o item referente a comprovação metrológica é o 4.11 - Controle de equipamentos de inspeção, medição e ensaios.

O item 4.11 – Controle de equipamentos de inspeção, medição e ensaios apresenta os requisitos descritos a seguir.

- **4.11.1 – Generalidades:** devem ser estabelecidos e mantidos procedimentos documentados para controlar, calibrar e manter os equipamentos de inspeção, medição e ensaios (incluindo software de ensaio) utilizados para demonstrar a conformidade do produto com os requisitos especificados. Os equipamentos de inspeção, medição e ensaios devem ser utilizados de tal forma, que assegurem que a incerteza das medições seja conhecida e consistente com a capacidade de medição requerida.

Quando software para ensaios ou referências comparativas, tais como materiais e equipamentos para ensaio, são utilizados como meio adequado de inspeção, eles devem ser conferidos, para provar que são capazes de verificar a aceitabilidade do produto, antes da liberação para uso durante a produção, instalação ou serviços associados, e devem ser conferidos a intervalos preestabelecidos. Deve ser estabelecida a extensão e a frequência de tais verificações e deve manter registros como evidência do controle.

Quando a disponibilidade de dados técnicos relativos a equipamentos de inspeção, medição e ensaios for um requisito especificado, tais dados devem estar disponíveis, quando requerido pelo cliente ou seu representante, para a verificação da adequação funcional dos equipamentos de inspeção, medição e ensaios.

Nota: para os propósitos da norma NBR ISO 9001/1994, o termo equipamentos de medição inclui dispositivos de medição.

- **4.11.2 - Procedimentos de controle - a empresa deve:**
  - a) determinar as medições a serem feitas e a exatidão requerida, selecionar os equipamentos de inspeção, medição e ensaios adequados com a exatidão e precisão necessárias;

- b) identificar todos os equipamentos de inspeção, medição e ensaios que possam afetar a qualidade do produto e calibrá-los e ajustá-los a intervalos prescritos ou antes do uso, contra equipamentos certificados que tenham uma relação válida conhecida com padrões nacional ou internacionalmente reconhecidos. Quando não existirem tais padrões, a base utilizada para calibração deve ser documentada;
- c) definir processo empregado para calibração de equipamento de inspeção, medição e ensaios, especificando: tipo do equipamento, localização, identificação única, frequência de conferência, método de conferência, critérios de aceitação e a ação a ser tomada quando os resultados forem insatisfatórios;
- d) identificar equipamentos de inspeção, medição e ensaios com um indicador adequado, ou registros de identificação aprovados, para mostrar a situação da calibração;
- e) manter registros de calibração para os equipamentos de inspeção, medição e ensaios;
- f) avaliar e documentar a validade dos resultados de inspeção e ensaios anteriores quando os equipamentos de inspeção, medição e ensaios forem encontrados fora de calibração (aferição);
- g) assegurar que as condições ambientais sejam adequadas para calibrações, inspeções, medições e ensaios que estejam sendo executados;
- h) assegurar que manuseio, preservação e armazenamento dos equipamentos de inspeção, medição e ensaios sejam tais, que a exatidão e a adequação ao uso sejam mantidas;
- i) proteger instalações de inspeção contra ajustes que possam interferir ou invalidar as condições de calibração, incluindo tanto materiais e equipamentos como software para ensaios, contra ajustes que possam invalidar as condições de calibração.

Ainda é referenciada na norma NBR ISO 9001 que o sistema de comprovação metroológica para equipamentos de medição da NBR ISO 10012 – 1, Requisitos de Garantia da Qualidade para Equipamento de Medição pode ser usado como orientação. Os principais tópicos da norma NBR ISO 10012 –1 estão apresentados no anexo 4.

## 2.6. CORRELAÇÃO ENTRE O ITEM 4.11 – EQUIPAMENTOS DE INSPEÇÃO, MEDIÇÃO E ENSAIOS E OS DEMAIS ITENS DA NORMA NBR ISO 9001

A partir da análise do texto da norma referente ao item 4.11 descrito no tópico acima pode-se constatar a correlação direta deste item com os seguintes:

- **4.4 – Controle projeto:** os requisitos de entrada de projeto relativos ao produto, a realização de ensaios e demonstrações para confirmar dados de saída de projeto e os requisitos estabelecidos para o produto.

- **4.5 – Controle de documentos e de dados:** os procedimentos documentados utilizados para controlar, calibrar e manter os equipamentos de inspeção, medição e ensaios devem ser controlados (emissões pertinentes devem estar disponíveis em todos os locais onde são executadas as operações essenciais para o funcionamento efetivo do sistema da qualidade e ainda os documentos não-válidos ou obsoletos devem ser removidos dos pontos de emissão ou uso, ou, de alguma forma, garantidos contra o uso não intencional) e aprovados (analisados criticamente quanto à sua adequação por pessoal autorizado, antes de sua emissão ou alteração).
- **4.9 – Controle de processo:** devem estar identificados e planejados os processos de produção, instalação e serviços associados onde a ausência de tais procedimentos possa afetar adversamente a qualidade. Os processos devem ser executados sob condições controladas, incluindo uso de equipamentos adequados de produção, conformidade com os planos da qualidade e/ou procedimentos documentados, monitorização e controle de parâmetros adequados do processo e características do produto e aprovação de processos e equipamentos.
- **4.18 – Treinamento:** para assegurar que a incerteza das medições seja conhecida e consistente com a capacidade de medição requerida e que o manuseio, preservação e armazenamento dos equipamentos de inspeção, medição e ensaios sejam tais que a exatidão e a adequação sejam mantidas é necessário o cumprimento do definido neste item 4.18 estabelecendo e mantendo procedimentos documentados para identificar as necessidades de treinamento e providenciando os mesmos para todas as funções que executam atividades relacionadas a medição de características da qualidade, definição de características da qualidade, controle dos instrumentos utilizados e gerenciamento do sistema de confirmação metrológica.
- **4.16 – Controle de registros da qualidade:** os registros de calibração dos equipamentos de inspeção, medição e ensaios devem atender os requisitos do item 4.16, ou seja, devem ter identificação, coleta, indexação, acesso, arquivamento, armazenamento, manutenção e disposição de tal forma que demonstrem a conformidade com os requisitos estabelecidos e a efetiva operação do sistema e ainda, que sejam prontamente recuperáveis. O tempo de retenção dos registros deve ser estabelecido.
- **4.14 – Ação corretiva e ação preventiva:** a avaliação e documentação da validade dos resultados de inspeção e ensaios anteriores quando os equipamentos de inspeção, medição ou ensaios forem encontrados fora de aferição devem seguir o estabelecido no item “Ação corretiva e preventiva”. Este item prescreve com relação a ações corretivas que a investigação da causa das não conformidades relacionadas ao produto, processo e Sistema da Qualidade deve constar em procedimentos e o registro da investigação deve ser efetuado, determinando assim as ações corretivas necessárias para eliminar a causa de não-conformidades. Deve ainda ser aplicado controles para assegurar que a ação corretiva está sendo tomada e é efetiva. Com re-

lação as ações preventivas, deve ser efetuada análise e eliminar causas potenciais de não-conformidades, usando todas fontes de informação disponíveis.

- **4.10 – Inspeção e ensaios:** a inspeção e ensaios requeridos devem ser detalhados no plano da qualidade ou em procedimentos documentados. Estas inspeções e ensaios detalhadas no plano da qualidade devem ser efetuadas com equipamentos selecionados adequadamente, com exatidão e precisão necessárias e que estes sejam controlados, calibrados e mantidos adequadamente.

O item 4.11 – Equipamentos de inspeção, medição e ensaios se correlaciona ainda, não de forma direta, com seguintes itens:

- **4.2 – Sistema da qualidade:** o planejamento da qualidade deve ser consistente com todos os requisitos da qualidade estabelecidos. Deste modo a abrangência e aplicação do item 4.11 é definida e situada dentro do contexto total do sistema da qualidade.
- **4.17 – Auditorias internas da qualidade:** definidas para verificar se as atividades da qualidade e respectivos resultados estão em conformidade com as disposições planejadas e para determinar a eficácia do sistema da qualidade. Assim a consistência e a aplicabilidade do item 4.11 são verificadas periodicamente.

## 2.7. IMPLANTAÇÃO DO ITEM 4.11 – CONTROLE DE EQUIPAMENTOS DE INSPEÇÃO, MEDIÇÃO E ENSAIOS

As etapas necessárias para a implementação do item 4.11 – Controle de Equipamentos de Inspeção, Medição e Ensaio devem contemplar os itens descritos nos tópicos a seguir.

### 2.7.1. Determinação das medições a serem efetuadas (no produto e no processo)

A determinação das medições a serem feitas e a exatidão requerida são a base de todo sistema de confirmação metrológica. Desta definição das medições necessárias sobre o produto ou sobre o processo bem como da exatidão necessária surge a relação “qualidade do sistema de confirmação x custo do sistema de confirmação metrológica”.

### 2.7.2. Seleção dos equipamentos de inspeção, medição e ensaios adequados

Um aspecto muito importante do controle da qualidade e da qualidade assegurada é a correta escolha dos instrumentos para monitorar variáveis dos processos e efetuar medições dimensionais e relativas a outras grandezas sobre o produto. Conhecimento dos possíveis er-

ros presentes na medição é essencial, e um pré-requisito necessário para tal é o conhecimento e o entendimento das características operacionais dos instrumentos assim como o modo como estes estão inseridos em um sistema de controle ou sistema de medição e sua performance.

As principais características e classificação de instrumentos de medição, tais como instrumentos ativos e passivos, instrumentos analógicos e digitais, características estáticas e dinâmicas dos instrumentos, linearidade, histerese, precisão, exatidão, resolução entre outras devem ser consideradas durante a seleção de um instrumento de medição.

Com relação ao texto da norma ISO 9001 é dito que as empresas devem selecionar os equipamentos de inspeção apropriados com a exatidão e a precisão necessárias.

Já a norma ISO 10012 – 1 / 1993 (Requisitos de Garantia da Qualidade para Equipamento de Medição – parte 1) menciona que para um equipamento comercial é usual aceitar as informações de desempenho dadas pelo fabricante como desempenho e exatidão. Reforça importância da seleção criteriosa dos fornecedores dos equipamento de medição.

O custo de um instrumento é fortemente correlacionado com a performance do mesmo. Aumentar a exatidão ou resolução de um instrumento por exemplo, pode somente ser feito penalizando os custos de manufatura. A escolha de um instrumento deve, portanto, considerar as características mínimas requeridas a serem medidas para então se efetuar a escolha dos instrumentos. No que diz respeito à **exatidão**, é usual especificar a mesma como sendo 10% da máxima incerteza desejada no resultado de medição do parâmetro a ser medido. Selecionar um instrumento cuja exatidão e outras características são superiores ao nível mínimo requerido significa pagar mais do que o necessário [Morris, 1991].

Assim como o custo é relevante, outros fatores importantes devem ser considerados. Entre eles destacam-se a durabilidade do instrumento e manutenibilidade. Como uma regra geral, um bom critério é obtido se os custos totais de aquisição e os custos estimados de manutenção de um instrumento ao longo de sua vida são divididos pela vida esperada para o mesmo.

Outro enfoque a ser considerado para a seleção dos instrumentos de medição é a **precisão** requerida x custo [Bureau Veritas do Brasil, 1994].

Uma regra muito utilizada na indústria que pode ajudar na escolha da precisão mais adequada dos equipamentos é estabelecer que a precisão do instrumento a ser utilizado seja de 4 a 10 vezes menor que o intervalo de tolerância que se deseja medir [Bureau Veritas, 1994].

O parâmetro precisão do instrumento também é considerado o mais relevante por Arnold, 1995 onde este cita que as normas industriais exigem que o equipamento tenha uma precisão que seja quatro a dez vezes a precisão da especificação exigida da medição a ser feita.

Para resumir, considera-se que a escolha de um instrumento é um compromisso entre a performance desejada, robustez e durabilidade (levando em consideração o meio e o método de operação), requisitos de manutenção e custos de aquisição [Morris, 1991].

### **2.7.3. Identificação dos equipamentos de inspeção, medição e ensaios**

A identificação dos instrumentos é uma etapa muito importante, embora uma das mais simples de ser implementada. Qualquer padrão ou equipamento de medição deve ter uma identificação única no sistema de controle dos instrumentos que a empresa utiliza e que permita sua localização.

Na literatura pouco é abordado sobre este tópico, até pela simplicidade do mesmo, mas Arnold, 1995, sugere colocar no instrumento um número de série ou número de identificação gravado no mesmo.

Já Oliveira & Shibuya, 1995, menciona que cada instrumento deve ser identificado através de um código e é recomendável que tenha um registro indicando, no mínimo, as seguintes informações: descrição / denominação; fabricante; data de aquisição.

Tem sido prática nas indústrias o uso de número seqüencial, número do ativo fixo ou códigos relacionando o instrumento a sua família (exemplo: paq – para paquímetros) seguidos ou antecidos de um número de controle.

### **2.7.4. Calibração dos equipamentos de inspeção, medição e ensaios**

A calibração permite verificar se os desvios entre os valores indicados por um instrumento ou sistema de medida, ou os valores representados por uma medida materializada e os valores conhecidos correspondentes de uma grandeza medida são inferiores aos erros máximos tolerados.

Considerações importantes sobre as atitudes em relação ao real objetivo da calibração de instrumentos que podem ser verificadas quando empresas implantam um sistema de confirmação metrológica. Estas atitudes classificam as empresas conforme descrito abaixo [Theisen, 1997]:

- Empresas que entendem que as calibrações servem para atender uma necessidade em relação à auditorias de sistema da qualidade. Neste caso, as calibrações são vistas apenas como um elevado custo e não como uma oportunidade de aprimoramento da qualidade.
- Empresas que entendem que a calibração é uma das funções da qualidade, contribuindo assim para o aprimoramento do produto final, têm como benefício:
  - ⇒ Menor dispersão dos produtos em torno das especificações, representando uma vantagem competitiva;
  - ⇒ Prevenção de defeitos com o constante monitoramento dos instrumentos que controlam o processo e;
  - ⇒ Compatibilidade das medições, pois as calibrações referenciadas a centros metrológicos rastreados aos padrões internacionais asseguram que as referências utilizadas para as medições resultaram no atendimento dos requisitos de desempenho quando os mesmos produtos são verificados por terceiros no momento da inspeção de recebimento conforme cláusula contratual.

Por sua vez, Morris, 1991, reforça a importância da “função calibração” ser gerenciada e executada por um profissional designado para esta função. Também cita que o desempenho de todas operações de calibração devem ter claramente a responsabilidade atribuída a uma pessoa. Somente com o total controle sobre o sistema de confirmação metrológica pode-se esperar que esta função seja executada de forma eficiente e eficaz.

O exposto acima somente reforça a importância da atribuição de responsabilidade e autoridade e a inter-relação do pessoal que administra, desempenha e verifica atividades que influem na qualidade e que devem ser definidas e documentadas conforme estabelecido no item 4.1 – Responsabilidade da Administração da ISO 9001.

Para que a execução da calibração ocorra de modo eficaz é necessário o planejamento e definição do método, padrões e frequência de calibração a serem utilizados, dos critérios de aceitação, dos registros de calibração e da identificação do status da calibração a ser adotada. Estes tópicos estão detalhados no itens a seguir.

#### 2.7.4.1. Métodos de calibração

Procedimentos documentados de acordo com os padrões da empresa devem definir os métodos de calibração a serem adotados para cada tipo de instrumento.

As informações descritas a seguir são citadas por Morris, 1991, como conteúdo básico dos procedimentos referentes a calibração dos instrumentos de uma empresa:

- a) Os padrões a serem utilizados;
- b) O método requerido para o armazenamento e manuseio dos padrões;
- c) As condições ambientais necessárias para executar a calibração;
- d) A determinação do número de pontos por escala (faixa) a ser verificado durante a calibração, a determinação do número de ciclos de medição, a determinação da sequência da medição e o registro das leituras também deve ser definido.

No que se refere as condições ambientais necessárias na realização das calibrações, Morris, 1991, destaca que o nível de controle ambiental a ser aplicado nestes locais deve ser cuidadosamente escolhido a fim de manter o nível de exatidão requerido no procedimento de calibração, não devendo ser superdimensionado evitando custos desnecessários.

#### 2.7.4.2. Frequência de Calibração

A determinação da frequência com a qual os instrumentos devem ser calibrados é dependente de uma série de fatores e da experiência do responsável pelas calibrações. Entre estes fatores, podem ser destacados [Theisen, 1997]:

- a) Tipo de instrumento e as recomendações do fabricante;
- b) Dados de tendência históricos obtidos a partir dos registros de calibrações anteriores e dos registros de manutenção e utilização;
- c) Aplicação do instrumento (severidade e extensão de uso) e condições ambientais durante o uso e impacto de um valor medido incorreto sendo aceito como correto em função do equipamento de medição apresentar uma falha;
- d) Exatidão e precisão requeridas para o equipamento.

O custo da calibração não pode ser ignorado na determinação dos intervalos de calibração e pode se tornar um fator limitante. Por todos os fatores apresentados fica claro que é impossível estabelecer regras de determinação de intervalos de calibração aplicáveis universalmente. É mais útil apresentar diretrizes sobre como os intervalos de calibração podem ser estabelecidos e posteriormente analisá-los criticamente quando a rotina estiver implementada.

Assim como Theisen, 1997, o Bureau Veritas do Brasil, 1994, sugere os mesmos métodos para análise crítica dos intervalos de calibração. Basicamente, intervalos devem ser reduzidos em função dos resultados de calibrações prévias que demonstrem sistematicamente a condição de não conformidade do equipamento ou padrão e devem ser ampliados somente se os resultados de calibrações anteriores demonstrarem inequivocamente que tal ação não afetará a confiança na manutenção da exatidão do equipamento ou padrão.



Os métodos diferem quanto ao fato de:

- a) Os equipamentos serem tratados individualmente ou em grupos (por exemplo: pelo fabricante ou pelo tipo);
- b) Dados estarem disponíveis e se atribuir importância ao histórico das calibrações dos equipamentos.

Os métodos para análise crítica dos intervalos de calibração mais usuais estão apresentados na fig. 2.3 [Bureau Veritas do Brasil, 1994]:

FIGURA 2.3 – Métodos para análise crítica dos intervalos de calibração [Bureau Veritas do Brasil, 1994]

MÉTODO	MODO OPERANTE	VANTAGEM	DESVANTAGEM	COMENTÁRIOS
AJUSTE AUTOMÁTICO	Cada vez que a calibração é realizada, o intervalo subsequente é aumentado se o equipamento está dentro do limite estabelecido no critério de aceitação, ou diminuído se o equipamento está fora do limite estabelecido.	Fácil aplicação.	Difícil controle quando muitos equipamentos são tratados individualmente.	Requer planejamento detalhado quando muitos equipamentos são tratados individualmente.
GRÁFICOS DE CONTROLE	Gráficos de controle de processo são aplicados para monitorar tendência central e dispersão. Os intervalos são aumentados ou diminuídos com base nas tendências.	Fornecer intervalos eficientes.	Difícil aplicação.	Permite detectar se os limites especificados são válidos e pode ajudar a identificar as causas de variações assinaláveis.
TEMPO CALENDÁRIO	Equipamentos similares são agrupados em famílias. A proporção de não conformes em cada família é determinada a cada calibração. Se essa proporção excede um dado limite, o intervalo deve ser reduzido. Se a proporção é menor que um dado limite (pequeno), o intervalo pode ser aumentado. Se um subgrupo demonstra um comportamento distinto, este subgrupo deve ser tratado como uma família separada.	Equipamentos são agrupados, reduzindo a dificuldade de monitoração dos intervalos.	Alguns equipamentos podem, dentro de uma família, ficar temporariamente com intervalos maiores ou menores do que o devido.	Outra estatística, diferente da proporção de não conformidades, pode ser adotada.
TEMPO DE USO	Similar ao tempo calendário, porém é contabilizado o tempo real de operação do equipamento.	Número de calibrações e o custo envolvido varia diretamente com o tempo de uso do equipamento.	Não pode ser usado para instrumentos de medição passivos ou para padrões passivos. Não pode ser usado quando há deterioração durante o manuseio ou durante liga-desliga. Requer instalação de temporizadores para contabilizar tempo de uso dos equipamentos.	Difícil gerenciamento desde que não se sabe a priori a ocasião da próxima calibração.
TESTE EM SERVIÇO	Parâmetros críticos são verificados com maior frequência. Se o equipamento é detectado como não conforme, uma calibração total é realizada.	Provê máxima disponibilidade do equipamento ao usuário.	Deve-se decidir sobre parâmetros que são críticos. Equipamento pode falhar quanto à parâmetros não críticos e ter sua capacidade de medição comprometida.	Deve ser usado como complementar aos demais métodos para prover informações úteis entre os intervalos de calibrações.

O gerenciamento das calibrações normalmente é executado conforme um “Plano de Calibrações”. A existência de vários softwares disponíveis no mercado facilita o gerenciamento do Plano de Calibrações.

#### 2.7.4.3. Padrões de calibração

A norma ISO 9001 no item 4.11 – Controle de Equipamentos de Inspeção, Medição e Ensaios prescreve que os equipamentos que possam afetar a qualidade do produto devem ser calibrados e ajustados a intervalos prescritos ou antes do uso, contra equipamentos certificados que tenham uma relação válida conhecida com padrões nacional ou internacionalmente reconhecidos. Quando não existirem tais padrões, a base utilizada para calibração deve ser documentada.

Esta relação válida entre o equipamento em calibração e o respectivo padrão é usualmente conhecida como *rastreabilidade*. Esta relação está sintetizada na fig. 2.4 [Morris, 1991]:

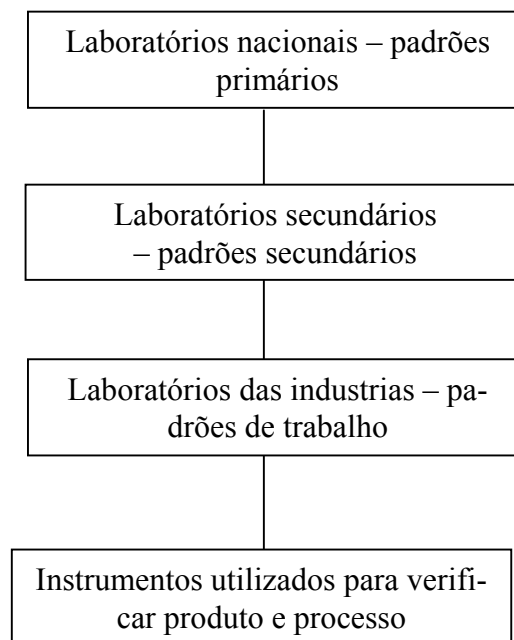


FIGURA 2.4 – Rastreabilidade dos padrões x equipamentos de medição [Theisen, 1997]

No Brasil, o laboratório primário referenciado na fig. 2.4 é o INMETRO e os laboratórios secundários são os laboratórios prestadores de serviços de calibração pertencentes à Rede Brasileira de Calibração.

O sistema de medição padrão a ser utilizado em uma calibração deve possuir uma relação de incerteza de no mínimo quatro vezes menor que a incerteza especificada pelo fabricante para o equipamento ou sistema de medição a calibrar [Theisen, 1997].

Quando padrões rastreáveis inexistem e a obtenção de padrões internos confiáveis e reproduzíveis não é possível, o estado de adequação ao uso de equipamento deve ser avaliada por meio de programas de testes interlaboratoriais, envolvendo fontes independentes, clientes e, se possível, fornecedores. Estes programas de testes interlaboratoriais devem ser cientificamente planejados e suportados por avaliações estatísticas [Bureau Veritas do Brasil, 1994].

#### 2.7.4.4. Critérios de aceitação

O resultado de uma calibração permite afirmar que o meio de medida satisfaz ou não as prescrições previamente fixadas (geralmente sob a forma de limites de erros tolerados), o que autoriza ou não sua utilização em serviço. Ainda, para aplicações relativas aos instrumentos classificados como padrões, o certificado de calibração fornece os erros sistemáticos que devem ser corrigidos a fim de obter-se a rastreabilidade aos padrões primários [Theisen, 1997].

#### 2.7.4.5. Registros de calibração

A norma NBR ISO 10012-1/1993 – Requisitos de Garantia da Qualidade para Equipamento de Medição define todas as informações necessárias em um registro de calibração e demais registros do sistema de confirmação metrológica.

Os registros podem ser manuscritos, datilografados, microfilmados ou armazenados numa memória eletrônica, ou magnética, ou em outro meio de armazenamento de dados.

O tempo mínimo de retenção destes registros depende de muitos fatores como: requisitos do comprador, requisitos reguladores ou legais, responsabilidade civil do fabricante, etc. Os registros relativos aos principais padrões de medição podem estar sujeitos a retenção indefinida. Devem estar claramente documentados os procedimentos relativos à retenção (inclusive duração) e salvaguarda dos registros, os quais devem ser mantidos até que não haja mais a probabilidade de sua utilização.

Os resultados das calibrações devem ser registrados com detalhes suficientes de modo que a rastreabilidade de todas as medições possa ser demonstrada e qualquer medição possa ser reproduzida sob condições semelhantes às condições originais, facilitando, assim, a solução de quaisquer irregularidades.

As informações registradas devem incluir:

- a) A descrição e identificação individual do equipamento;
- b) A data em que cada comprovação foi realizada;
- c) Os resultados da calibração obtidos após, e quando relevante, antes de qualquer ajuste e manutenção;
- d) Os intervalos especificados para a comprovação;
- e) A identificação dos procedimentos de comprovação;
- f) Os limites especificados para os erros permissíveis;
- g) A fonte de calibração utilizada para obter rastreabilidade;
- h) As condições ambientais relevantes e uma declaração sobre quaisquer correções necessárias para este caso;
- i) Uma declaração das incertezas envolvidas na calibração do equipamento e seus efeitos cumulativos;
- j) Os detalhes sobre quaisquer manutenções, tais como, assistência técnica, calibrações, reparos e modificações realizadas;
- k) Qualquer limitação ao uso;
- l) A identificação da(s) pessoa(s) que realizou(aram) a comprovação;
- m) A identificação da(s) pessoa(s) responsável(ies) por assegurar a exatidão da informação registrada;
- n) A identificação individual (tal como o número de série) de qualquer certificado de calibração e outros documentos pertinentes.

A terminologia empregada deve estar compatível com o vocabulário internacional de metrologia.

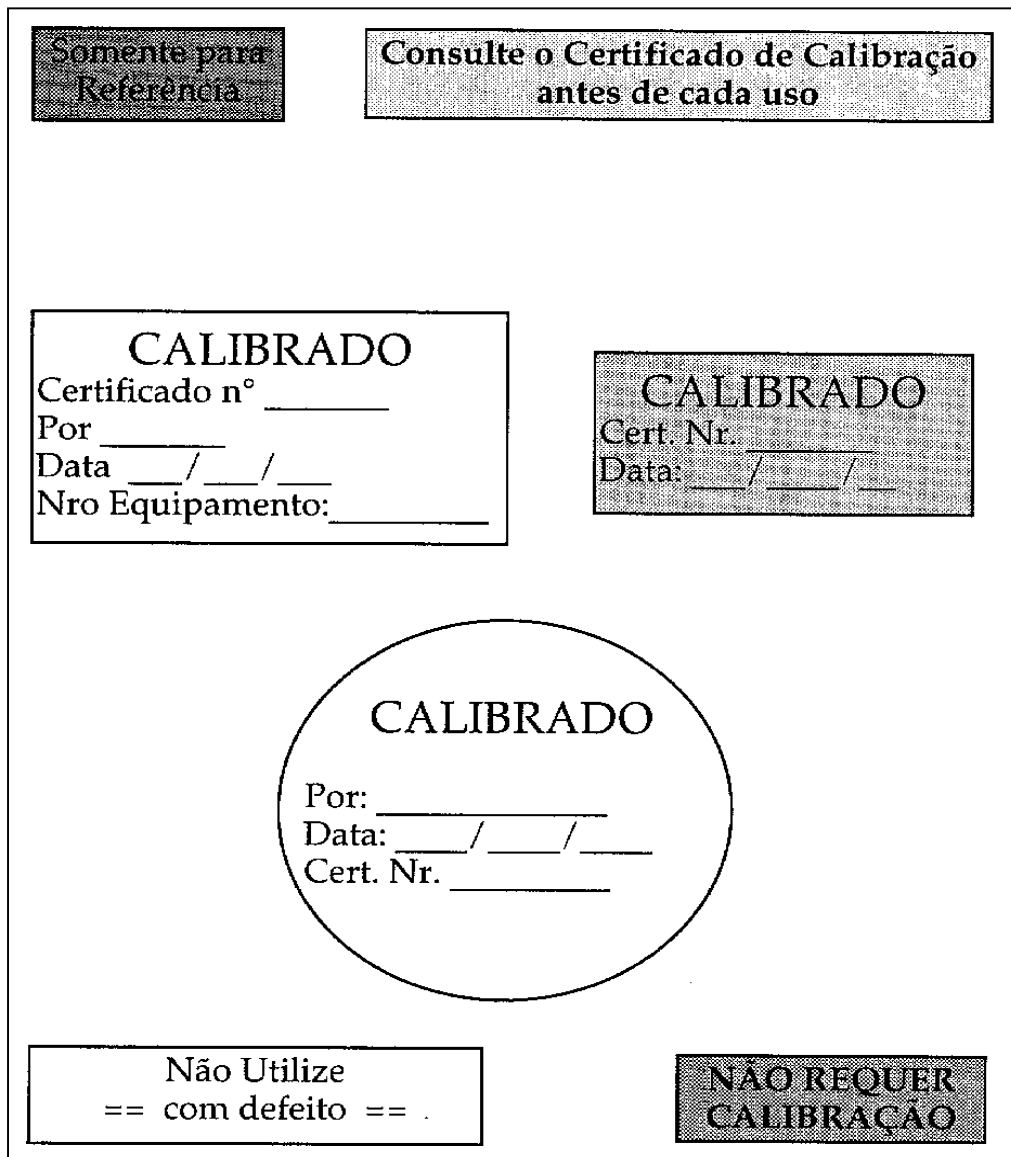
#### 2.7.4.6. Identificação do status da calibração

A norma ISO 9001 estabelece que os equipamentos de inspeção, medição e ensaios sejam identificados com um indicador adequado, ou registros de identificação aprovados, para mostrar a situação da calibração.

Tanto Theisen, 1997 como Arnold, 1995 indicam o uso de etiquetas no equipamento indicando quando será a próxima calibração.

A Fig. 2.5 apresenta exemplos de etiquetas utilizadas para identificar a situação da calibração.

FIGURA 2.5 – Exemplos de etiquetas para identificar a situação da calibração [Theisen, 1997]



### **2.7.5. Análise crítica de não conformidades relativas aos equipamentos de inspeção, medição e ensaios**

Devem ser avaliadas e documentadas a validade dos resultados de inspeção e ensaios anteriores quando os equipamentos de inspeção, medição e ensaios forem encontrados fora de calibração, segundo norma ISO 9001.

Por sua vez, outras não conformidades além de “fora de calibração” podem ser verificadas nos equipamentos de inspeção, medição e ensaios. Devem ser considerados como não-conformes equipamentos que tenham [Bureau Veritas do Brasil, 1994]:

- a) Sofrido estrago físico aparente;
- b) Sofrido sobrecargas além das especificadas;
- c) Sofrido mau uso / manuseio;
- d) Excedido o intervalo de confirmação (calibração);
- e) Tido sua proteção (selo / lacre) violada;
- f) Revelado mau funcionamento ou funcionamento duvidoso;
- g) Sua condição de “fora de calibração” detectada por calibração;
- h) Sua capacidade / adequação posta em dúvida por reclamações de clientes.

Com relação aos produtos expedidos com instrumento não-conforme também deve ser efetuada análise crítica do impacto desta não conformidade sobre estes produtos. Havendo necessidade devem ser definidas ações junto aos clientes com base nos efeitos e riscos encontrados.

### **2.7.6. Manuseio, preservação e armazenamento dos equipamentos de inspeção, medição e ensaios**

O equipamento deve ser manuseado, preservado e armazenado de forma adequada a fim de manter sua precisão e adequação ao uso.

Este requisito deve ser preenchido através de treinamento adequado dos responsáveis pelo sistema de confirmação metrológica e de toda força de trabalho envolvida. Deve ser preparado um procedimento descrevendo método de preservação e armazenamento [Arnold, 1995].

Normalmente as informações necessárias sobre preservação e armazenamento constam no manual ou catálogo do fabricante do instrumento [Oliveira & Shibuya, 1995].

Os critérios estabelecidos para a preservação dos equipamentos de inspeção, medição e ensaios devem abranger o recebimento do equipamento e padrão, o manuseio durante o uso e transporte, o local e a embalagem utilizados para armazenamento e o despacho para terceiros. A preservação deve ser estendida para equipamentos em uso de propriedade de terceiros.

Acesso a dispositivos ajustáveis em equipamentos de medição, cujo “setting” afeta o desempenho, deve ser selado ou protegido de modo a evitar adulteração inadvertida por pessoas não autorizadas [Bureau Veritas do Brasil, 1994].

#### **2.7.7. Qualificação de fornecedores de serviços de calibração**

Quando fontes externas são contratadas para a realização de serviços de confirmação metrológica, deve-se assegurar que estas fontes [Bureau Veritas do Brasil, 1994]:

- a) Possuem a qualificação técnica requerida;
- b) Fazem parte da cadeia de rastreabilidade nacional ou internacional;
- c) Devem estar sujeitas a avaliação, seleção e aprovação conforme requisito de aquisição da norma ISO 9001 – item 4.6 (Aquisição).

## **2.8. DETERMINAÇÃO DA INCERTEZA DE MEDIÇÃO**

### **2.8.1. Definição de Incerteza de Medição**



Em geral, o resultado de uma medição é somente uma aproximação ou estimativa do valor de um *mensurando* e seu resultado só é completo quando acompanhado pela respectiva incerteza [Taylor & Kuyatt, 1994].

Na prática existem muitas fontes de incerteza, tais como [Fundação CERTI, 1997]:

- estabilidade do sistema de medição e padrão em função do tempo (grau de utilização, agressividade do meio);
- definição incompleta do mensurando;
- amostras não representativas do mensurando;
- condições ambientais não compensadas ou compensadas inadequadamente no resultado da medição;
- erros de leitura cometidos pelo operador;
- erros devido a resolução do instrumento; deformações elásticas;
- incertezas do sistema de medição, medidas materializadas e padrões;
- valores inexatos de constantes e parâmetros utilizados na obtenção do resultado;
- aproximações e simplificações adotadas nos procedimentos de medição / calibração e/ou ensaios;
- variações registradas em repetidas medições do mensurando, obtidas sob mesmas condições.

A determinação da incerteza de medição tem causado dificuldades acentuadas em comparações internacionais de padrões e realização de unidades, onde participantes de labora-

tórios nacionais relatam incertezas de suas medições sobre bases diferentes, com diferentes interpretações [Theisen, 1997].

### **2.8.2. Determinação da incerteza de medição**

As normas ISO 9001 não especificam métodos a serem utilizados para determinação da incerteza de medição (até porque sua aplicação é genérica).

O que se verifica na prática, a nível de instrumentos para controle dimensional na indústria, o uso do que se chama de método “*Ortodoxo*”, é bastante difundido. A nível de laboratórios prestadores de serviços de calibração para indústria ou laboratórios secundários e primários, a determinação da incerteza de medição tende a seguir o definido pelo “Guia para Expressão da Incerteza de Medição” cuja primeira edição foi publicada pelo INMETRO em agosto de 1997. Espera-se inclusive, no futuro, uma migração do uso do método “*Ortodoxo*” para o uso do “Guia para Expressão da Incerteza de Medição” nas aplicações industriais.

Por serem esses dois métodos os mais utilizados, os princípios básicos dos mesmos são apresentados a seguir.

### **2.8.3. Guia para Expressão da Incerteza de Medição (“Guia”)**

No prefácio da primeira edição brasileira de agosto de 1997 do Guia, podemos perceber a grande importância do mesmo.

Pela sua complexidade, o Guia, concebido em 1978 por iniciativa do Comitê Internacional de Pesos e Medidas (CIPM), consumiu quinze anos para ser desenvolvido: sua primeira edição foi publicada em 1993, exibindo surpreendente articulação multi-institucional e estabelecendo as bases para um autêntico consenso internacional em torno dos critérios estabelecidos.

Pela sua atualidade, o Guia representa uma verdadeira revolução nos conceitos, apresenta nova lógica para expressão das incertezas de medição e passa a tratar o conceito de incerteza como atributo quantificável para se definir, com base em distribuições e modelos matemáticos, determinados estados de conhecimento associados a uma determinada “medida” compreendida como resultado do processo de medição. A nova sistemática atribui uniformidade e estabelece as bases para se discutir a intercomparabilidade de processos e métodos de medição.

Assim, a finalidade principal do Guia é estabelecer regras gerais para avaliar e expressar a incerteza de medição que podem ser seguidas em vários níveis de exatidão e em muitos campos – desde o chão de fábrica até pesquisa fundamental.

### 2.8.3.1 -Conceitos básicos definidos no Guia

Em geral, uma medição tem imperfeições que dão origem a um **erro** no resultado da medição. Tradicionalmente, um erro é visto como tendo dois componentes: um **aleatório** e um **sistemático**.

O erro aleatório presumivelmente se origina de variações temporais ou espaciais, imprevisíveis, de grandezas de influência. Os efeitos de tais variações são denominados **efeitos aleatórios** e são a causa de variações em observações repetidas do mensurando.

Embora não seja possível compensar o erro aleatório do resultado de uma medição, ele pode geralmente ser reduzido aumentando-se o número de observações.

OBS.: no Guia toma-se muito cuidado em distinguir os termos “erro” e “incerteza”. Eles não são sinônimos; eles não devem ser confundidos um com o outro, nem ser mal empregados.

O erro sistemático, como o erro aleatório, não pode ser eliminado porém muitas vezes pode, também, ser reduzido. Se um erro sistemático se origina de um efeito reconhecido de uma grandeza de influência em um resultado de medição, denominado como **efeito sistemático**, o efeito pode ser quantificado e, se for significativo com relação à exatidão requerida da medição, uma **correção** ou **fator de correção** pode ser aplicado para compensar o efeito. Supõe-se que, após esta correção, a esperança ou valor esperado do erro provocado por um efeito sistemático seja zero.

A **incerteza** do resultado de uma medição reflete a falta de conhecimento exato do mensurando. O resultado de uma medição, após correção dos efeitos sistemáticos conhecidos, é ainda, tão somente uma estimativa do valor do mensurando por causa da incerteza proveniente dos efeitos aleatórios e da correção imperfeita do resultado no que diz respeito aos efeitos sistemáticos.

NOTA: o resultado de uma medição (após correção) pode, sem que se perceba, estar muito próximo do valor do mensurando (e, assim, ter um erro desprezível) muito embora possa ter uma incerteza grande. Portanto, a incerteza do resultado de uma medição não deve ser confundida com o erro desconhecido remanescente.

As fontes de incerteza, já apresentadas anteriormente, não são necessariamente independentes e contribuem para a existência de variações nas observações repetidas do mensurando sob condições aparentemente idênticas. Naturalmente, um efeito sistemático não reconhecido não pode ser levado em consideração na avaliação da incerteza do resultado de uma medição, porém contribui para seu erro.

Os componentes da incerteza podem ser agrupados em duas categorias baseadas no seu método de avaliação: “**A**” e “**B**”. Estas categorias se aplicam à incerteza e não são substitutas para os termos “aleatório” e “sistemático”.

- Componente tipo “A” – avaliados por métodos estatísticos;
- Componente tipo “B” – avaliados por outros métodos.

O propósito da classificação tipo “A” e tipo “B” é de identificar as duas maneiras diferentes de avaliar os componentes da incerteza e serve apenas para discussão; a classificação não se propõe a indicar que haja qualquer diferença na natureza dos componentes resultando dos dois tipos de avaliação. Ambos os tipos de avaliação são baseados em distribuições de probabilidade e os componentes de incerteza resultantes de cada tipo são quantificados por variâncias ou desvios padrão. A avaliação tipo “A” da incerteza padronizada e a avaliação tipo “B” é apresentada no item Determinação da Incerteza de Medição segundo o guia, deste trabalho.

A incerteza padronizada do resultado de uma medição, quando este resultado é obtido de valores de um número de outras grandezas, é **denominada incerteza padronizada combinada** e é designada por  $u_c$ . Ela é o desvio padrão estimado associado com o resultado e é igual a raiz quadrada positiva da variância combinada obtida a partir de todos os componentes da variância e covariância, independente de como tenham sido avaliados, usando o que é denominado de “lei de propagação de incerteza”.

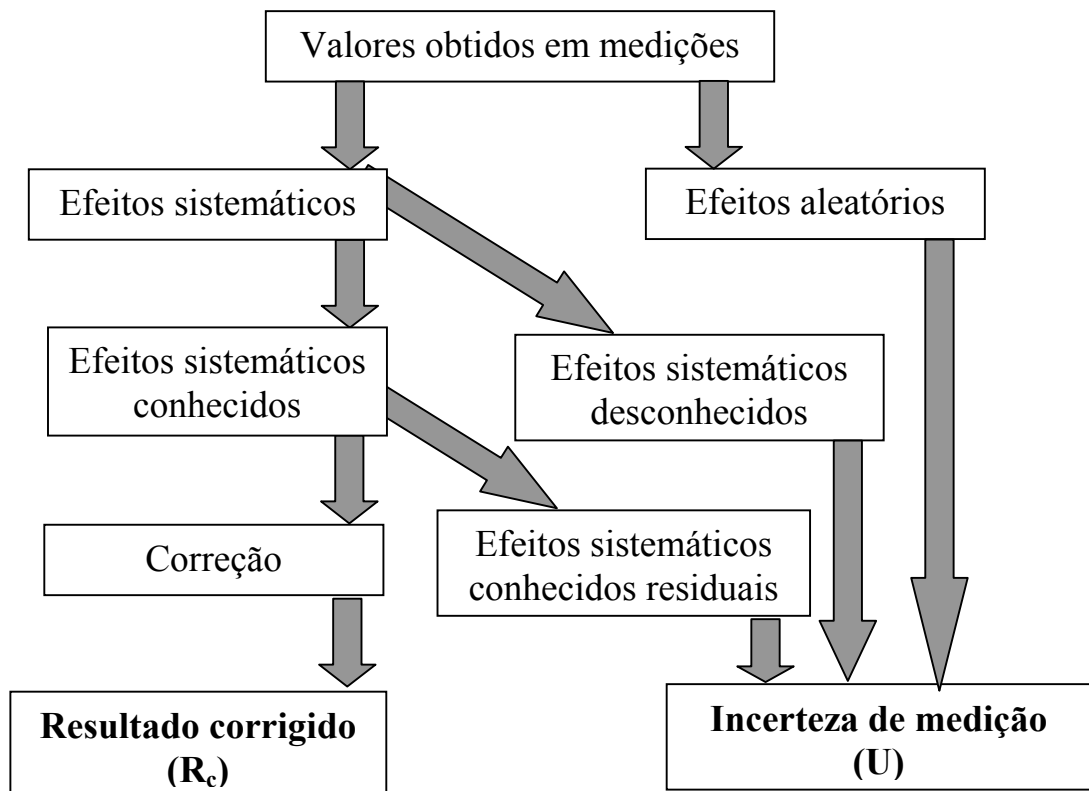
A **incerteza expandida ( $U$ )** é a grandeza que define um intervalo em torno do resultado de uma medição que pode ser esperado em englobar uma grande fração da distribuição de valores que podem ser razoavelmente atribuídos ao mensurando. A fração pode ser vista como a probabilidade de abrangência ou nível de confiança do intervalo.

A incerteza expandida  $U$  é obtida multiplicando-se a incerteza padronizada combinada  $u_c$  por um **fator de abrangência  $k$** . A escolha do fator  $k$ , que está geralmente na faixa de 2 a 3, é baseada na probabilidade de abrangência ou nível de confiança requerido do intervalo.

NOTA: o fator de abrangência  $k$  deve ser sempre declarado de forma que a incerteza padronizada da grandeza medida possa ser recuperado para uso no cálculo da incerteza padronizada combinada de outros resultados de medição que possam depender desta grandeza.

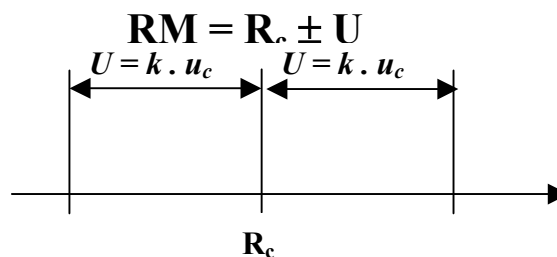
A relação entre o Resultado de Medição (RM) e as incertezas associadas a este resultado pode ser visualizada na Fig. 2.6 [Fundação CERTI, 1997]:

FIGURA 2.6 – Resultado de medição e as incertezas associadas [CERTI, 1997]



Logo:  $RM = R_c \pm U$

**Resultado de medição com intervalo simétrico de Incerteza Expandida:**



RM: Resultado de Medição

R<sub>C</sub>: Resultado Corrigido

U: Incerteza expandida

u<sub>c</sub>: Incerteza Padronizada Combinada

k: Fator de abrangência (Fator de Segurança) - (k=2 → nível de confiança: 95%; k=3 → nível de confiança: 99%).

### 2.8.3.2 Determinação da Incerteza de Medição segundo o guia

Um roteiro simplificado para determinação da incerteza de medição é apresentado a seguir. A notação utilizada é a mesma apresentada no Guia para Expressão da Incerteza da Medição.

a) Determinar o modelo matemático que relaciona a grandeza de entrada com a de saída (na maioria dos casos o mensurando Y não pode ser medido diretamente, mas é determinado a partir de N outras grandezas X<sub>1</sub>, X<sub>2</sub>, ..., X<sub>N</sub> através de uma relação funcional):

$$Y = f(X_1, X_2, \dots, X_N) \quad [2.1]$$

O conjunto de grandezas de entrada X<sub>1</sub>, X<sub>2</sub>, ..., X<sub>N</sub> pode ser caracterizado como:

- Grandezas cujos valores e incertezas podem ser diretamente determinadas na presente medição. Estes valores e incertezas podem ser obtidos por exemplo, de uma única observação, de observações repetidas ou de julgamento baseado na experiência, e podem envolver a determinação de correções a leituras de instrumentos e correções por conta de grandezas de influência, tais como temperatura ambiente, pressão barométrica e umidade;
- Grandezas cujos valores e incertezas são incorporadas à medição a partir de fontes externas, tais como grandezas associadas a padrões de medição calibrados, materiais de referência certificados e dados de referência obtidos de manuais técnicos.

b) Determinar x<sub>i</sub>, o valor estimado da grandeza de entrada X<sub>i</sub>, seja com base em análise estatística de uma série de observações ou por outros meios. Deste modo uma estima-

tiva do mensurando  $Y$ , designada por  $y$ , é obtida usando as estimativas de entrada  $x_1, x_2, x_3, \dots, x_N$ .

c) Avaliar a incerteza padronizada  $u(x_i)$  de cada estimativa de entrada  $x_i$ . Para uma estimativa de entrada obtida através de análise estatística de uma série de observações, a incerteza padronizada  $u(x_i)$  é avaliada como “tipo A” – incerteza padronizada. Para uma estimativa de entrada obtida por outros meios, a incerteza padronizada  $u(x_i)$  é avaliada como “tipo B” – incerteza padronizada.

□ **Avaliação Tipo A da incerteza padronizada:**

A incerteza padronizada  $u(x_i)$  tipo A é obtida por meios que envolvem a análise estatística de observações repetitivas do mensurando. A incerteza padronizada  $u(x_i)$  tipo A pode ser obtida estatisticamente de duas maneiras:

1. Calcular *o desvio padrão experimental da média*:

Na maioria dos casos, a melhor estimativa disponível do valor esperado  $\mu_q$  de uma grandeza  $q$  que varia aleatoriamente e para qual  $n$  observações independentes  $q_k$  foram obtidas sob as mesmas condições de medição é a média aritmética ou média  $\bar{q}$ :

$$\bar{q} = 1/n \sum_{k=1}^n q_k \quad [2.2]$$

Assim, para uma grandeza de entrada  $x_i$  estimada a partir de  $n$  observações repetidas independentes  $X_{i,k}$ , a média aritmética de  $\bar{X}_i$  obtida pela equação [2.2] é usada como estimativa de entrada  $x_i$  na equação [2.1] para determinar o resultado da medição  $y$ ; isto é:  $x_i = \bar{X}_i$ .

As observações individuais  $q_k$  diferem em valor por causa de variações aleatórias nas grandezas de influência, ou seja, efeitos aleatórios. A variância experimental das observações, que estima a variância  $\sigma^2$  da distribuição de probabilidade de  $q$ , é dada por:

$$s^2(q_k) = 1/(n-1) \sum_{k=1}^n (q_k - \bar{q})^2 \quad [2.3]$$

denominada *desvio padrão experimental*, caracterizam a variabilidade dos valores  $q_k$  observados ou, mais especificamente, sua dispersão em torno de sua média  $\bar{q}$

A melhor estimativa de  $\sigma^2(\bar{q}) = \sigma^2/n$ , a variância da média, é dada por:

$$s^2(\bar{q}) = s^2(q_k) / n \quad [2.4]$$

A variância experimental da média  $s^2(\bar{q})$  e o desvio padrão experimental da média  $s(\bar{q})$ , igual à raiz quadrada positiva de  $s^2(\bar{q})$ , quantificam o quanto  $\bar{q}$  estima bem a esperança  $\mu_q$  de  $q$ , e qualquer uma dentre elas pode ser usada como uma medida da incerteza de  $\bar{q}$ .

Assim, para uma grandeza de entrada  $X_i$  determinada por  $n$  observações repetidas independentes  $X_{i,k}$ , a incerteza padronizada  $u(x_i)$  de sua estimativa  $x_i = \bar{X}_i$  é  $u(x_i) = s(\bar{X}_i)$  com  $s^2(\bar{X}_i)$  calculada de acordo com a equação [2.4]. Por conveniência,  $u^2(x_i) = s^2(\bar{X}_i)$  e  $u(x_i) = s(\bar{X}_i)$  são por vezes denominados uma *variância tipo A* e uma *incerteza padronizada tipo A*, respectivamente.

NOTA: o número de observações  $n$  deve ser suficientemente grande para assegurar que  $\bar{q}$  forneça uma estimativa confiável da esperança  $\mu_q$  da variável aleatória  $q$  e que  $s^2(\bar{q})$  forneça uma estimativa confiável da variância  $\sigma^2(\bar{q}) = \sigma^2/n$ .

## 2. Importar o desvio *padrão experimental da média*:

Quando poucas medidas estão disponíveis, em casos onde se realiza somente uma medição  $n = 1$ , ou duas,  $n = 2$ , pode-se importar o desvio padrão experimental. Isto vale para casos onde um grande número  $m$  de medidas tenham sido feitas anteriormente, numa situação que represente o mesmo processo de medição. Neste caso a incerteza padronizada tipo A pode ser calculada como sendo o desvio padrão experimental calculado com  $m$  medições, dividido pela raiz quadrada de  $n$  medidas do mensurando.

$$u(x) = s(x_m) / n^{(1/2)} \quad [2.5]$$

NOTA: os graus de liberdade  $\nu_i$  de  $u(x_i)$  iguais a  $n-1$  no caso simples em que  $x_i = X_i$  e  $u(x_i) = s(\bar{X}_i)$  são calculados de  $n$  observações independentes e sempre devem ser dados quando avaliações tipo A dos componentes de incerteza são documentados.

Se as variações aleatórias nas observações de uma grandeza de entrada são correlacionadas, por exemplo, na grandeza tempo, a média e o desvio padrão experimental da média podem ser estimadores não apropriados da estatística desejada. Em tais casos, as observações



devem ser analisadas por métodos estatísticos especialmente criados para tratar uma série de medições correlacionadas que variam aleatoriamente.

□ ***Avaliação Tipo B da incerteza padronizada***

Para uma estimativa  $x_i$  de uma grandeza de entrada  $X_i$  que não tenha sido obtida através de observações repetidas, a variância associada  $u^2(x_i)$  ou a incerteza padronizada  $u(x_i)$  é avaliada por julgamento científico baseando-se em todas as informações disponíveis sobre a possível variabilidade de  $X_i$ . O conjunto de informações pode incluir:

- Dados de medições prévias;
- A experiência ou conhecimento geral do comportamento e propriedade de materiais e instrumentos relevantes;
- Especificações do fabricante;
- Dados fornecidos em certificados de calibração e outros certificados e;
- Incertezas relacionadas a dados de referência extraídos de manuais.

Se a estimativa  $x_i$  é obtida de uma especificação do fabricante, do certificado de calibração, manual técnico ou outra fonte, e sua incerteza citada é declarada ser um determinado múltiplo de um desvio padrão, a incerteza padronizada  $u(x_i)$  é simplesmente o valor mencionado dividido pelo multiplicador:

$$u(x_i) = U_p / k \quad [2.6]$$

onde  $k$  é o ***fator de abrangência*** (normalmente  $k = 2$  ou  $k = 3$ ). Exemplos de obtenção dos valores de incerteza padronizada do tipo B constam no anexo 10 – Exemplos de obtenção da incerteza padronizada tipo B.

Em outros casos pode ser possível estimar somente fronteiras (limites superior (LS) e inferior LI)) para  $X_i$ , em particular, para afirmar que “a probabilidade de que o valor  $X_i$  esteja definido dentro do intervalo  $a^-$  até  $a^+$  para todos fins práticos é igual a um e a probabilidade de que  $X_i$  esteja fora deste intervalo é essencialmente zero”. Neste caso, temos uma distribuição retangular. Se:

$$x = (LS - LI) / 2 \text{ e } LS - LI = 2.a, \text{ a incerteza padronizada será } u(x_i) = a / \sqrt{3}.$$

Existem casos que para a grandeza em entrada  $X_i$  os limites superior e inferior podem não ser simétricos com relação à melhor estimativa de  $x_i$ . Nestes casos, considerar a distribuição conhecida: triangular, trapezoidal, normal, etc.

“Quando não existem informações suficientes disponíveis para supor a forma da distribuição de probabilidade de determinada grandeza, assume-se a distribuição retangular por questões de segurança”.

Casos onde caracterizam-se os limites superior (LS) e inferior (LI) dos possíveis valores que determinada grandeza poderá assumir:

- Grandezas de influência externa;
- Normas técnicas que regulamentam limites admissíveis de erros;
- Coeficientes e constantes extraídos de livros e tabelas de fabricantes;
- Quando efeitos sistemáticos não forem compensados nos resultados;
- Quando é informado somente o erro máximo do instrumento em lugar da correção e incerteza expandida.

d) Calcular o resultado da medição isto é, obter a estimativa  $y$  do mensurando  $Y$  a partir da relação funcional  $f$ , utilizando como grandezas de entrada  $X_i$  as estimativas de  $x_i$ .

e) Determinar a incerteza padronizada combinada ( $u_c$ )

➤ Grandezas de entrada não correlacionadas: as grandezas de entrada são independentes.

A variância combinada  $u_c^2(y)$  pode ser vista como a soma de termos, onde cada um deles representa a variância estimada associada com a estimativa de saída  $y$  gerada pela variância estimada associada com cada estimativa de entrada  $x_i$ :

$$u_c^2 = \sum_{i=1}^n (u_i)^2 \quad [2.7]$$

Logo: a determinação da incerteza padrão combinada de medições direta é obtida como sendo a raiz quadrada da soma quadrática das diversas incertezas padrão ( $u_i$ ) não correlacionadas, envolvidas no processo de medição:

$$u_c = [(u_1)^2 + (u_2)^2 + (u_3)^2 + \dots + (u_n)^2]^{1/2} \quad [2.8]$$

A medição direta é aquela cuja indicação resulta da aplicação do instrumento de medição sobre o mensurando, informando um valor diretamente na unidade da grandeza medida (exemplos: comprimento, força, pressão e temperatura).

➤ Grandezas de entrada correlacionadas

Pode existir correlação significativa entre duas grandezas de entrada se os mesmos instrumentos de medição, padrão de medição físico ou dados de referência tendo uma incerteza padronizada significativa são usados na sua determinação. Por exemplo, se um certo termômetro é usado para determinar uma correção de temperatura requerida na estimativa do valor de uma grandeza de entrada  $X_i$ , e o mesmo termômetro é usado para determinar uma correção similar de temperatura requerida na estimativa da grandeza de entrada  $X_j$ , as duas grandezas poderiam estar significativamente correlacionadas. Contudo se  $X_i$  e  $X_j$  neste exemplo são redefinidos para serem grandezas não corrigidas e as grandezas que definem a curva de calibração para o termômetro estão incluídas como grandezas de entrada adicionais com incertezas padronizadas independentes, a correlação entre  $X_i$  e  $X_j$  é eliminada.

Correlações entre grandezas de entrada não podem ser ignoradas se estão presentes e são significativas. As covariâncias associadas devem ser avaliadas experimentalmente, se possível, variando-se as grandezas de entrada correlacionadas ou usando-se o conjunto de informações disponíveis sobre a variabilidade correlacionada das grandezas em questão (avaliação Tipo B da covariância). A intuição, baseada em experiência anterior e no conhecimento geral é especialmente requerida quando se estima o grau de correlação entre grandezas de entrada decorrentes do efeito de influências comuns, tais como temperatura ambiente, pressão barométrica e umidade. Felizmente em muitos casos, os efeitos de tais influências têm interdependência desprezível e as grandezas de entrada afetadas podem ser assumidas como não-correlacionadas. Entretanto, se elas não podem ser assumidas como não-correlacionadas, suas próprias correlações podem ser evitadas se influências comuns são introduzidas como grandezas de entrada independentes adicionais.

f) Determinar a incerteza expandida (U)

Embora  $u_i(y)$  possa ser universalmente usada para expressar a incerteza de um resultado, em algumas aplicações comerciais, industriais e regulamentadoras e quando a saúde e segurança estão em questão é, muitas vezes, necessário dar uma medida de incerteza que define um intervalo em torno do resultado de medição com o qual se espera abranger uma extensa fração da distribuição de valores que poderiam ser razoavelmente atribuídos ao mensurando.

A incerteza expandida U é obtida multiplicando-se a incerteza padronizada combinada  $u_i(y)$  por um fator de abrangência k:

$$U = k \cdot u_i(y) \quad [2.9]$$

O resultado de uma medição é, então, convenientemente expresso como  $Y=y\pm U$ , que é interpretado de forma a significar que a melhor estimativa do valor atribuível ao mensurando  $Y$  é  $y$ , e que  $y - U$  a  $y + U$  é o intervalo com o qual se espera abranger uma extensa fração da distribuição de valores que podem ser razoavelmente atribuídos a  $Y$ . Tal intervalo é também expresso como:

$$y - U \leq Y \leq y + U \quad [2.10]$$

- Escolher um fator de abrangência:

Quando a distribuição de probabilidade que caracteriza  $y$  e  $u_c(y)$  é aproximadamente normal, o que ocorre freqüentemente na prática, pode-se assumir que tomando  $k=2$  produz-se um intervalo de confiança tendo um nível de confiança de aproximadamente 95%, e que tomando  $k=3$  produz-se um intervalo tendo um nível de confiança de aproximadamente 99% (aplicações mais críticas).

- Determinação do fator  $k_p$  corrigido

Quando a incerteza tipo A calculada a partir de poucas medições é dominante comparada com as demais do tipo B, determinar o fator  $k_p$  e usá-lo ao invés de  $k$ , no cálculo da incerteza expandida  $U$ .

Utilizar a equação de Welch Satterwaite para calcular o  $v_{\text{eff}}$ .

$$v_{\text{eff}} = \frac{U_c^4}{n \sum_{i=1} (u_i)^4 / v_i} \quad [2.11]$$

Após obter  $v_{\text{eff}}$  selecionando o coeficiente de Student (anexo 5) correspondente ao nível de confiança desejado (em geral 95% ou 99%) para ser usado como  $k_p$  corrigido no lugar de  $k$ .

Observação: na tabela de Student interpolar o valor  $v$  ou usar o valor inteiro imediatamente abaixo de  $v$  para obter “t”.

- g) Relatar a incerteza

Numerosas medições são feitas a cada dia na indústria e no comércio, sem nenhum registro explícito da incerteza. Entretanto, muitas são executadas com instrumentos sujeitos a calibrações periódicas ou inspeção legal. Se é de conhecimento que os instrumentos estão em

conformidade com as especificações ou com os documentos normativos existentes e aplicáveis, as incertezas de suas indicações podem ser inferidas a partir destas especificações ou daqueles documentos normativos.

Embora na prática o montante de informações necessárias para documentar um resultado de medição dependa de sua utilização pretendida, o princípio básico sobre o que é requerido permanece inalterado: quando se registra o resultado de uma medição e sua incerteza, é preferível errar para o lado de um fornecimento exagerado de informações do que fornecer muito poucas. Por exemplo, deve-se:

1. Descrever claramente os métodos utilizados para calcular o resultado de medição e sua incerteza, a partir de observações experimentais e dados de entrada;
2. Listar todos os componentes da incerteza e documentar amplamente como foram avaliados;
3. Apresentar a análise dos dados de tal forma que cada um dos passos importantes possa ser prontamente seguido e que os cálculos do resultado relatado possam ser independentemente repetidos, se necessário;
4. Fornecer todas as correções e constantes utilizadas na análise e suas fontes.

No relatório detalhado que descreve como o resultado da medição e sua incerteza foram obtidos, deve-se:

1. Fornecer o valor de cada estimativa de entrada  $x_i$  e de sua incerteza padronizada  $u(x_i)$  juntamente com uma descrição sobre como eles foram obtidos;
2. Fornecer as covariâncias estimadas ou coeficientes de correlação estimados (preferencialmente ambos) associados com todas as estimativas de entrada que são correlacionadas e os métodos utilizados para obtê-los;
3. Fornecer o grau de liberdade da incerteza padronizada para cada estimativa de entrada e como eles foram obtidos;
4. Fornecer a relação funcional  $Y = f(X_1, X_2, \dots, X_N)$  – a função  $f$  pode ser descrita em termos gerais quando extremamente complexa ou quando não existir especificamente.

No anexo 6 pode-se verificar exemplos de relatórios de calibração emitidos por laboratórios cujo resultado das medições foram efetuados conforme diretrizes do Guia.

#### **2.8.4. Método “Ortodoxo” para determinação da incerteza de medição**

Segundo Theisen, 1997, o método recomendado para os níveis terciários ou industriais é o “Ortodoxo”, que reconhece a existência dos erros sistemáticos e dos aleatórios.

A forma de cálculo do erro aleatório, que neste caso é considerada a própria incerteza da medição, visto que os erros sistemáticos pelo seu comportamento conhecido podem ser eliminados através da aplicação da correção adequada no sentido de compensar o seu efeito sobre o resultado da medida, é sintetizada a seguir.

a) Medida do valor central

É estimada pela média aritmética das leituras  $x_1, x_2, \dots, x_n$ , onde  $n$  é o número de leituras.

$$\bar{x} = 1/n \sum_{i=1}^n x_i \quad [2.12]$$

b) Variância experimental

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1} \quad [2.13]$$

c) Desvio padrão experimental

$$s = \sqrt{s^2} \quad [2.14]$$

d) Incerteza da medição (com distribuição t de Student)

$$IM = t_{n-1, \alpha/2} s/\sqrt{n} \quad [2.15]$$

Observação: como normalmente são feitas poucas repetições das medições, deve-se usar a distribuição t de Student como uma aproximação da distribuição normal.

A incerteza calculada conforme a equação 2.15 pode não representar a incerteza total da medição se o padrão utilizado não possuir uma relação válida em relação ao instrumento que está sendo verificado.

A relação válida aqui considerada é aquela em que a incerteza do padrão é desprezível comparando com a incerteza do instrumento que está sendo verificado e não há necessidade de computarmos a incerteza herdada do padrão no cálculo da incerteza total.

e) Apresentação do resultado da medição (RM)

A incerteza estimada é referente a determinação da média das medições e portanto:

$$RM = \bar{x} \pm IM \quad [2.16]$$

ou ainda

$$\bar{x} - IM \leq \bar{x} \leq \bar{x} + IM \quad [2.17]$$

### 2.8.5. Comparação entre método “Ortodoxo” e método estabelecido pelo “Guia”

A fig.2.7 – Comparação entre método “Ortodoxo” e “Guia” ilustra peculiaridades e características de cada um dos métodos, segundo Theisen, 1997. Muitos metrologistas renomados acreditam que cada método tem seu próprio campo de aplicação, dependendo do uso para o qual o estabelecimento da incerteza é almejado [Theisen, 1997].

Figura 2.7 – Comparação entre método “Ortodoxo” e “Guia”

Parâmetro	Método Ortodoxo	Guia (INMETRO)
Estimativa da incerteza	Super-estima	Sub-estima
Método para determinação da incerteza da medição	Adição linear de todas as principais incertezas	Raiz quadrada da soma dos quadrados de todas as incertezas
Aplicação	Laboratórios industriais e secundários  Método utilizado por metrologistas que trabalham em laboratórios industriais e secundários e que são responsáveis pela exatidão e precisão das calibrações realizadas nos seus laboratórios. Para um tipo particular de calibração, adquirem os equipamentos necessários, treinam operadores e esta-	Laboratórios primários  Método utilizado por metrologistas / pesquisadores que trabalham em laboratórios primários. O trabalho deles está na fronteira da física experimental e é reconhecido internacionalmente. Normalmente estão preocupados com a de-

	<p>belecem os procedimentos do laboratório a ser seguido em cada operação. Adicionalmente, estabelecem e controlam a estabilidade do processo de calibração, através do acompanhamento a longo tempo dos valores médios e da variabilidade dos resultados, utilizando cartas de controle.</p> <p>Normalmente não dispõem de recursos para investigar mais detalhadamente o comportamento dos erros sistemáticos e é comum adotar os limites estabelecidos pelos fabricantes dos padrões envolvidos como sendo erro sistemática introduzido na medição. Esse erro será combinado com o aleatório e formará a incerteza total da medição. Desta forma, o valor verdadeiro do mensurando estará incluso dentro dos limites da incerteza. Assim o usuário do resultado da calibração não precisará se preocupar quando utilizar o relatório de calibração, já que esta é uma posição pessimista em relação à incerteza apresentada.</p>	<p>terminação das constantes físicas, na determinação dos padrões primários, na questão científica da metrologia. O trabalho destes metrologistas / cientistas tem as seguintes características:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Este experimento nunca será desenvolvido novamente utilizando o mesmo instrumento e o mesmo procedimento.</li> <li>– O resultado deste experimento será comparado como resultado de todos os outros experimentos para esta quantidade de interesse, que talvez usem abordagens e teorias completamente diferentes.</li> </ul>
Observações	Usa o termo incerteza para demonstrar “uniformidade” do resultado das repetidas medições.	Usa o termo incerteza como uma medida de comparação para medir “diferenças” entre os resultados das repetidas medições. O avanço da física depende profundamente do entendimento e pesquisa do porque estas diferenças existem. Se a incerteza “Ortodoxa” é usada aqui, muitas destas diferenças poderiam ser camufladas e nenhum ganho significativo se obteria.

A sugestão recomendada por um grande número de metrologistas que defendem que o método do Guia não se aplica a todos os níveis da metrologia é que, para os níveis industriais, devemos continuar utilizando o método “Ortodoxo”, separando os erros em aleatórios e sistemáticos.

Para os laboratórios nacionais e os secundários credenciados na Rede Brasileira de Calibração que tem necessidade da uniformização da expressão da incerteza é fundamental que utilizem o Guia para Expressão da Incerteza de Medição.

## 2.9. AVALIAÇÃO DO SISTEMA DE CONFIRMAÇÃO METROLÓGICA CONFORME ISO 9001

A norma ISO 9001 estabelece a obrigatoriedade de se executar auditorias internas do sistema da qualidade, para verificar se as atividades da qualidade e respectivos resultados estão em conformidade com as disposições planejadas e para determinar a eficácia do sistema da qualidade.



Logicamente o item 4.11 – Equipamentos de Inspeção, Medição e Ensaios deverá ser auditado verificando-se o atendimento aos requisitos definidos na norma ISO 9001e o cumprimento das atividades planejadas e descritas nos procedimentos operacionais. Ações corretivas e preventivas devem ser estabelecidas com base no resultado da auditoria interna.

A seguir exemplos de perguntas típicas que um auditor pode fazer durante auditoria do item 4.11 – Equipamentos de Inspeção, Medição e Ensaios [Moura, Carillo Jr., 1994]:

- Como são identificadas as medições necessárias dos produtos?
- As exigências da exatidão das medições são identificadas?
- Como é selecionado o “software” e equipamento de inspeção?
- Qual o processo para verificar o equipamento de inspeção antes do uso?
- Como as condições ambientais são controladas para assegurar que o “software” e equipamentos de inspeção garantem leituras exatas?
- Como o “software” e equipamentos de inspeção são protegidos contra modificações ou ajustes não autorizados?
- Como o “software” e equipamentos de inspeção que afetam a qualidade do produto são identificados?
- Como é programada a calibração do equipamento e verificação do “software”?
- Como é feita a calibração de cada item do equipamento de inspeção e como é feita a verificação de cada item do software de inspeção?
- Quais são os limites de aceitação da calibração para cada tipo de equipamento de inspeção?
- Como as calibrações são rastreadas com base em padrão nacional ou internacional? Se as calibrações não forem possíveis de rastrear, qual a base para a calibração?
- Todas as calibrações estão atualizadas?
- Como o equipamento de inspeção é identificado em relação à situação da calibração?

- Qual o processo para verificar os resultados do teste do equipamento de inspeção considerado fora dos limites de calibração ou “software” incapaz de verificar a qualidade do produto?

Apesar da obrigatoriedade de se executar auditorias internas, estas devem ser vistas como um mecanismo de melhoria que auxilia a detectar pontos a melhorar. É importante que o auditor interno tenha conhecimentos básicos do que está auditando.

Com relação ao sistema de confirmação metrológica, significa que o auditor deve entender os conceitos básicos mais usuais, tais como, limite de erro permissível, incerteza de medição, calibração entre outros, de modo a questionar adequadamente o sistema e contribuir para a identificação dos pontos a serem melhorados.

A realização da auditoria de certificação é o coroamento de todo trabalho, no qual o organismo certificador audita a empresa e conclui, pela análise dos fatos, se o Sistema da Qualidade é ou não conforme com a norma selecionada [Moura, Carillo Jr., 1994].

Uma vez contratados, os organismos certificadores realizam uma auditoria e, caso os resultados sejam julgados satisfatórios, é fornecido um certificado de conformidade do Sistema da Qualidade da empresa com a norma que serviu como base da auditoria e prazo de validade.

A certificação em si não deve ser objetivo único do projeto. O importante é o que vem junto com ela, ou seja, os bons resultados pelo funcionamento do Sistema da Qualidade.

## 2.10. ANÁLISE DOS SISTEMAS DE MEDIÇÃO (MSA) - QS 9000

Pela sua importância e atualidade, mesmo não sendo objetivo principal deste trabalho, não se pode deixar de apresentar brevemente os requisitos estabelecidos para os instrumentos de medição no módulo “Análise dos Sistemas de Medição (MSA) da norma QS 9000 – 3ª. edição.

A norma QS 9000 é uma norma de sistema da qualidade, criada pela força-tarefa das três maiores montadoras de veículos americanas: Ford, General Motors e Chrysler.

O objetivo do módulo “MSA” é apresentar diretrizes para a seleção de procedimentos para avaliar a qualidade de um sistema de medição (principalmente os sistemas de medição onde as leituras podem ser repetidas em cada peça). A importância desta avaliação está relacionada com a importância cada vez maior dos sistemas de medição. Por exemplo, a decisão

de se ajustar ou não um processo de manufatura é agora comumente baseada em dados de medição. Dados de medição são comparados com os limites de controle estatístico do processo e se a comparação indicar que o processo está fora de controle, faz-se algum tipo de ajuste. Caso contrário, o processo pode continuar produzindo sem ajuste.

Deste modo, os sistemas de medição devem ter certas propriedades estatísticas. Estas incluem:

1. O sistema de medição deve estar sob controle estatístico (variações devido somente a causas comuns e não a causas especiais).
2. A variabilidade do sistema de medição deve ser pequena em comparação com a variabilidade do processo de manufatura e em comparação com os limites de especificação.
3. Os incrementos de medida devem ser pequenos em relação ao que for menor, entre a variabilidade do processo ou os limites de especificação.
4. As propriedades estatísticas do sistema de medição podem mudar à medida que variem os itens que estão sendo medidos. Se isto ocorrer, a maior (pior) variação do sistema de medição deve ser pequena em relação ao menor valor entre a variabilidade do processo ou os limites de especificação.

A avaliação do sistema de medição geralmente é feita em duas fases, chamadas Fase 1 e Fase 2. Na Fase 1, os objetivos são determinar se o sistema de medição possui ou não propriedades estatísticas necessárias antes do sistema ser utilizado pela fábrica e descobrir quais fatores ambientais possuem influência significativa no sistema de medição.

Na Fase 2, o objetivo é verificar se um sistema de medição, uma vez considerado aceitável, continua apresentar as propriedades estatísticas apropriadas. A verificação mais comum é o chamado “Estudo de R&R”.

Os principais tipos de erros ou variações associadas com um sistema de medição são:

1. *Tendência (ou desvio)*: é a diferença entre a média observada das medições e o valor de referência.
2. *Repetitividade*: é a variação nas medidas obtidas com um dispositivo de medição (instrumento de medição) quando usado várias vezes por um operador medindo a mesma característica na mesma peça.

3. *Reprodutibilidade*: é a variação na média das medidas feitas por diferentes operadores utilizando o mesmo dispositivo de medição medindo característica idêntica nas mesmas peças.
4. *Estabilidade (ou desvio)*: é a variação total nas medições obtidas com o sistema de medição medindo uma única característica na mesma peça ou padrão ao longo de um extenso período de tempo.
5. *Linearidade*: é a diferença nos valores da tendência ao longo da faixa de operação esperada do dispositivo de medição.

A metodologia para determinar matematicamente os valores destes tipos de erros pode ser encontrada no Manual de Referência – Análise dos Sistemas de Medição (MSA) ou na literatura.

Basicamente se observa, em relação a norma ISO 9001, um detalhamento dos parâmetros considerados críticos para um sistema de medição muito maior. Os requisitos são bem específicos e requerem uma avaliação estatística do comportamento de um sistema de medição ao longo do tempo não especificado na ISO 9001.

Mesmo para empresas onde contratualmente não há necessidade de se atender os requisitos do módulo MSA pode ser interessante avaliar os principais sistemas de medição por estes requisitos. Uma avaliação criteriosa dos instrumentos de medição em relação as características do produto e /ou processo por estes avaliadas pode trazer informações valiosas para a melhoria de todo sistema de confirmação metrológica e sua integração com o sistema da qualidade.

## CAPÍTULO 3 – ESTUDO DE CASO

O estudo de caso apresentado refere-se a implantação do sistema de confirmação metrológica, conforme critérios da norma ISO 9001, na empresa Andreas Stihl Moto-Serras Ltda. abrangendo as etapas de preparação, orçamentos, definições, implementação, dificuldades, estágio atual do sistema e pontos a serem aprimorados.

### 3.1. APRESENTAÇÃO DA EMPRESA

A empresa Andreas Stihl Moto-Serras Ltda. é conhecida mundialmente pela produção e comercialização de produtos para silvicultura e jardinagem, principalmente motosserras, roçadeiras e motobombas.

No Brasil, a Stihl tem uma planta instalada em São Leopoldo – RS. há 25 anos. A produção anual brasileira é de 200.000 motores, distribuídos e comercializados por uma rede de 800 revendas. A Stihl detém aproximadamente 70% do mercado brasileiro de motosserras.

Os 800 funcionários estão divididos em oito mini-fábricas e áreas administrativas. As mini-fábricas têm um sistema de produção misto (linha e/ou célula), onde são produzidos cerca de 900 itens distintos, desde aqueles necessários para a montagem dos produtos como os necessários para reposição.

A Stihl têm implementado um sistema da qualidade sólido e que faz parte da cultura da empresa, tendo suas metas definidas no planejamento estratégico da empresa. O uso sistemático de ferramentas de melhoria da qualidade como CEP (Controle Estatístico de Processo), FMEA (análise de falhas potenciais e efeitos), ensaios de confiabilidade, TPM (Manutenção Preventiva Total), auditoria de fornecedores, etc. permite a melhoria e introdução de novas abordagens como foi o caso da implantação de um sistema de confirmação metrológica.

### 3.2. OBJETIVOS E METAS A SEREM ATINGIDAS

Em julho de 1995 foi estabelecida a meta de estruturar o Sistema da Qualidade da Stihl de modo que este atendesse os requisitos da norma ISO 9001. O objetivo foi formalizar e melhorar rotinas já existentes e atender exigências da matriz quanto a certificação.

Logicamente o sistema de confirmação metrológica não ficou para trás.

### 3.3. METODOLOGIA DE IMPLANTAÇÃO DA ISO 9001 NA STIHL

A reestruturação do Sistema da Qualidade da Stihl, inclusive do sistema de confirmação metrológica foi realizada e implementada internamente, ou seja, sem o trabalho de consultores e assessores contratados para esta finalidade.

Equipes multifuncionais foram definidas para implementar cada item da norma. Estas foram responsáveis por estruturar, definir recursos necessários, tanto humanos como financeiros, estabelecer e documentar procedimentos necessários, treinar usuários, acompanhar a execução das rotinas definidas pelos executantes, monitorar o resultado obtido, auditar o sistema e estabelecer ações corretivas necessárias.

O prazo estabelecido para estruturar o sistema de confirmação metrológica foi de dez meses, e a etapa de planejamento foi considerada a mais importante e vital. Não haveria tempo para retrabalho e desperdício.

A equipe multifuncional responsável pela etapa de planejamento era composta por um Engenheiro da Qualidade, um Engenheiro de Processo, um Engenheiro de Desenvolvimento de Fornecedores e um Técnico (Metrologista). A execução e implementação foi efetuada diretamente pelos técnicos responsáveis pelo setor “Metrologia”.

### 3.4. ESTRUTURA DOS DOCUMENTOS DO SISTEMA DA QUALIDADE NA STIHL

Para facilitar o entendimento dos documentos referentes ao sistema de confirmação metrológica, estes seguem a estrutura geral dos documentos do sistema da qualidade da Stihl, composta por um Manual da Qualidade, Procedimentos Gerais e Procedimentos Operacionais.

Os registros relativos ao sistema de confirmação metrológica também seguem o estabelecido para o controle de registros e estão inclusos na matriz de registros.

### 3.5. SITUAÇÃO DA METROLOGIA NA STIHL ANTERIOR A IMPLANTAÇÃO DA ISO 9001

Um sistema de codificação e cadastro dos instrumentos estava em operação. Os instrumentos passavam por um processo de calibração periódica, porém estas calibrações não tinham seus procedimentos documentados e a referência para tal eram as informações dos fabricantes ou normas nacionais ou internacionais (tais como: ABNT e DIN). Os registros destas calibrações não permitiam uma adequada rastreabilidade.

Os critérios de aceitação não estavam formalmente definidos, ficando a cargo da equipe responsável pelas calibrações a decisão de aprovar ou não um instrumento após a confirmação metrológica.

A seleção de novos instrumentos era efetuada com base na experiência dos engenheiros de processo, não havendo procedimentos documentados definindo parâmetros e responsabilidades.

O sistema de confirmação metrológica existente antes da implantação do item 4.11 – Equipamentos de Inspeção, Medição e Ensaios era incapaz de atender os requisitos mínimos necessários e garantir a confiabilidade desejada.

O setor “Metrologia” possuía dois técnicos (metrologistas) no seu quadro de funcionários.

### 3.6. CRONOGRAMA DE IMPLANTAÇÃO DO ITEM 4.11 – EQUIPAMENTOS DE INSPEÇÃO, MEDIÇÃO E ENSAIOS

O processo de implantação de um sistema de confirmação metrológica com no mínimo os requisitos do item 4.11 – Equipamentos de Inspeção, Medição e Ensaios da norma ISO 9001 seguiu o cronograma representado na fig. 3.1.

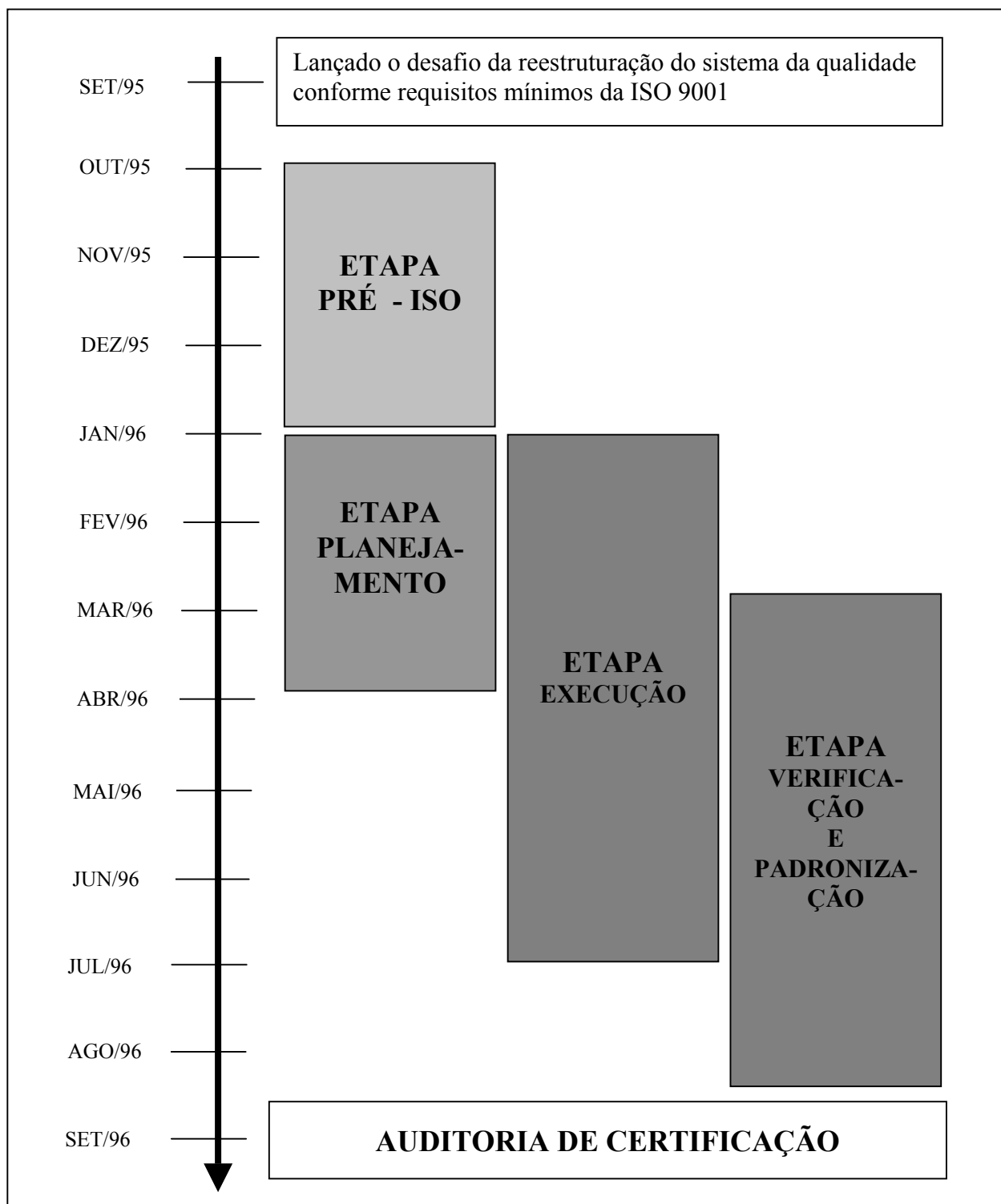


FIGURA 3. 1 – Cronograma de implantação do Sistema de Confirmação Metrológica na Stihl

As principais atividades desenvolvidas em cada etapa estão resumidas a seguir.



a) ***Etapa Pré-ISO (período: de outubro/1995 a dezembro/1995):***

- Consulta e visita a outras empresas certificadas;
- Treinamento da equipe responsável pela implantação do sistema de confirmação metrológica;
- Levantamento geral dos recursos necessários para implantar item 4.11:
  1. Recadastramento de todos os instrumentos de medição da Stihl, codificação e classificação (família e sub-família);
  2. Estimativa da frequência de calibração para cada família de instrumentos de medição;
  3. Estimativa da quantidade de procedimentos operacionais necessários;
  4. Estimativa dos custos necessários (internos e externos) necessários para implantar item 4.11;
  5. Elaboração de procedimentos operacionais provisórios de calibração e de critérios de aceitação para as famílias de instrumentos mais significativas.

b) ***Etapa de Planejamento (período: de janeiro/1996 a março/1996):***

- Definição de responsabilidades para implantação do item 4.11 e execução;
- Reavaliação das características da qualidade a serem medidas com instrumentos pertencentes ao Sistema da Qualidade (Normas Técnicas de Processo, Planos de Teste para Recebimento de Itens Comprados, Check List para Inspeção de Produtos Prontos e Ensaios do Laboratório de Confiabilidade);
- Avaliação dos padrões necessários e dos disponíveis;
- Definição da capacidade requerida de cada medição;
- Definição do método de determinação de incertezas das medições a ser utilizado;

- Definição do sistema de confirmação metrológica a ser utilizado (interno e externo);
- Definição dos critérios de seleção de novos instrumentos, aquisição e desativação dos instrumentos de medição;
- Definição do sistema de codificação dos instrumentos;
- Definição do meio para identificar o status da calibração (selos);
- Definição dos tipos de registros e dados necessários;
- Definição do sistema de controle e localização dos instrumentos de medição;
- Definição do tratamento a ser dado às não conformidades nos instrumentos de medição.

c) ***Etapa de execução (período: de janeiro/1996 a junho/1996):***

- Elaborar plano de calibração;
- Definir critérios de aceitação para cada sub-família de instrumentos e aplicação; definir método de calibração (procedimentos operacionais de calibração e critérios de aceitação);
- Desenvolvimento de software para controle das movimentações e dados sobre as calibrações;
- Efetuar as calibrações;
- Elaborar procedimentos operacionais “genéricos” (definem “o que”, “como”, “quem”, “quando” e “onde” devem ser executadas as atividades relacionadas a confirmação metrológica);
- Treinamento operacional dos usuários dos instrumentos de medição.

d) ***Etapa de verificação e padronização (período: de março/1996 a agosto/1996):***

- Análise das reprovações dos instrumentos de medição (impacto sobre produto, ação imediata sobre instrumentos não conformes);
- Análise da frequência de calibração (plano de calibração);

- Auditoria interna;
- Análise de custos;
- Revisão de procedimentos operacionais de calibração e critérios de aceitação;
- Alteração do plano de calibração;
- Reforço do treinamento operacional;
- Uso de lacre nos instrumentos de medição para evitar recalibração caso não sejam utilizados.

Uma síntese das principais definições estabelecidas, métodos adotados, dificuldades verificadas é apresentada nos tópicos a seguir.

### 3.7. DEFINIÇÃO DOS RECURSOS NECESSÁRIOS

A definição dos recursos necessários é uma das etapas mais importantes e cruciais para implantação do sistema de confirmação metrológica.

Na literatura, pouco trabalho é publicado esclarecendo os pontos mais relevantes de um sistema de confirmação metrológica bem como a interpretação a ser dada a cada tópico do item 4.11 – Equipamentos de Inspeção, Medição e Ensaios.

A troca de experiência com outras empresas já certificadas foi vital e a mais importante fonte de informações nesta etapa da implantação do sistema de confirmação metrológica. Basicamente a definição dos recursos necessários foi elaborada a partir das referências obtidas em empresas de porte similar, do ramo metal-mecânico e com aproximadamente o mesmo número de instrumentos.

O montante de recursos foi estimado nesta fase. O levantamento foi efetuado pelo grupo multifuncional responsável pelo planejamento e estruturação do item 4.11 – Equipamentos de Inspeção, Medição e Ensaios.

A partir da análise crítica do total de recursos previsto para a implementação do sistema de confirmação metrológica, passou-se a questionar a disponibilidade de recursos humanos para executar internamente estas atividades ou a viabilidade de se contratar fornecedores de serviços de calibração para assumir parte das tarefas. O total de recursos estimados apon-

tava um valor elevado, com investimentos em padrões e custos anuais fixos para a manutenção dos mesmos.

### 3.8. SELEÇÃO DE FORNECEDORES DE SERVIÇOS DE CALIBRAÇÃO

A cultura vigente na Stihl, até então, defendia que a execução dos serviços técnicos fosse executada por equipe interna e, estruturar e apresentar uma proposta para terceirização, elaborada pelo grupo responsável pela implantação do item 4.11 – Equipamentos de Inspeção, Medição e Ensaio, foi um rompimento com os padrões até então usuais. No entanto, em função do prazo definido e a partir da estimativa dos recursos necessários a contratação de serviços era uma alternativa que não poderia ser descartada.

As vantagens e desvantagens da contratação dos serviços de calibração foram discutidas com profissionais de outras empresas que operam com serviços contratados de forma bem sucedida e com profissionais de outras empresas que não obtiveram êxito na terceirização bem como com aqueles cuja decisão das empresas foi estruturar e qualificar uma equipe interna para executar estas tarefas.

As principais vantagens da terceirização de serviços metrológicos é que a terceirização permite aproveitar e otimizar conhecimentos, habilidades, equipamentos e recursos que não estariam disponíveis pelos altos investimentos efetuados pelas empresas fornecedoras de serviços. Também a terceirização de serviços metrológicos impõe maior disciplina por parte das equipes internas na determinação dos procedimentos de calibração e na avaliação das calibrações realizadas.

Como desvantagem pode-se citar a desativação de equipes internas, perda de mão de obra qualificada e torna desnecessários equipamentos caros já disponíveis na própria empresa.

Deve ser avaliado, neste contexto, a estratégia que a empresa quer adotar, a qualificação técnica desejada com serviços contratados x internos, flexibilidade exigida, etc.

Cabe salientar que, uma vez que se decide por contratação deste tipo de serviço, os critérios para seleção do fornecedor devem ser muito bem elaborados e uma avaliação periódica do nível de qualidade e atendimento também deve ser efetuada.

Considerando as vantagens e desvantagens citadas, a Stihl optou pela contratação de serviços de calibração.

Como objetivos da contratação de serviços de calibração, a Stihl estabeleceu: buscar agilidade e eficiência sem deslocar recursos qualificados da empresa para esta atividade que, por sua vez, é de vital importância para o sistema da qualidade, mas não agrega valor direto ao produto final (memorando interno da Stihl de 09 de novembro de 1995).

As etapas do processo de seleção foram:

- Levantamento geral do volume de trabalho necessário para atender item 4.11;
- Levantamento dos custos internos com mão de obra, caso fosse estruturada equipe interna para implantar o item 4.11 e dar continuidade aos trabalhos após etapa de implantação;
- Estimativa de custos externos – contato com 6 empresas;
- Levantamento do total de instrumentos a serem calibrados;
- Definição da abrangência das atividades a serem executadas pela Stihl e das atividades a serem executadas pela empresa contratada;
- Orçamento detalhado com 3 empresas pré-selecionadas;
- Visita técnica às 3 empresas pré-selecionadas;
- Definição da empresa a ser contratada;
- Negociação comercial;
- Início das atividades.

A abrangência das atividades a serem executadas pela empresa contratada:

- Calibração a ser executada por pessoal técnico qualificado da contratada nas dependências da Stihl (sempre que viável tecnicamente).
- Emissão de certificado de calibração nos padrões acordados com a Stihl.
- Elaboração de procedimentos de calibração e critérios de aceitação para os equipamentos calibrados pela contratada. Estabelecer padrão de comum acordo com a Stihl.
- Recodificar, quando necessário, os equipamentos de medição e ensaios e efetuar cadastro no CIN.

- Efetuar manutenção dos equipamentos de medição e ensaios quando orçamento proposto for autorizado pela Stihl.
- Empresa contratada deve possuir padrões necessários.

As principais características avaliadas nas empresas participantes do processo de seleção foram:

- Campo de atuação;
- Mercado e principais clientes;
- Corpo técnico;
- Localização;
- Instalações;
- Saúde financeira;
- Preço;
- Sistema da qualidade.

Tão logo definiu-se a empresa a ser contratada, a mesma iniciou as atividades na Stihl a fim de se garantir o atendimento do prazo estabelecido. Um cronograma de trabalho detalhado foi estabelecido de comum acordo entre a Stihl e o fornecedor. O acompanhamento e gerenciamento das atividades do fornecedor foi vital para o atingimento dos objetivos de implantação do item 4.11 e exigiu uma reeducação e disciplina mais rigorosa da equipe do setor “Metrologia”.

### 3.9. ELABORAÇÃO DOS PROCEDIMENTOS GERAIS E OPERACIONAIS

Na chamada “Etapa de Planejamento” houve a necessidade da definição de responsabilidades e de toda a estruturação do sistema de confirmação metrológica. Todas estas definições estão formalizadas no procedimento geral e nos procedimentos operacionais da Stihl.

Na elaboração do procedimento geral, as principais atividades do setor responsável pelo sistema de confirmação metrológica – o setor “Metrologia” e a estrutura deste setor foram definidas, bem como os itens que compõem o sistema de confirmação metrológica, segundo a

norma ISO 9001. Os procedimentos operacionais detalham “como”, “quem”, “onde” e “quando” cada item do sistema de confirmação metrológica deve funcionar.

Surgiu, durante a elaboração dos procedimentos, a necessidade de definição de responsabilidades de outras funções da empresa que interagem direta ou indiretamente com o sistema de confirmação metrológica. A maioria das atividades formalizadas nos procedimentos gerais e operacionais já era executada rotineiramente, porém sem a padronização ou a formalização necessária.

Paralelamente a “Etapa de Planejamento”, a “Etapa de Execução” tinha andamento. Cada atividade já definida era implantada a fim de ser testada e ajustada. Desde modo o desenvolvimento do software para controle da localização e movimentação dos instrumentos de medição e treinamentos diversos foram executados assim que estruturados.

Salienta-se aqui a importância de um sistema da qualidade para a empresa toda, com o comprometimento de todos, pois caso contrário seria extremamente difícil atribuir responsabilidades ou alterar atribuições sem conflitos.

### 3.10. CODIFICAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS DE INSPEÇÃO, MEDIÇÃO E ENSAIOS

A codificação a ser utilizada pela Stihl nos instrumentos foi um dos primeiros itens operacionais a ser definido, até por que cada instrumento adquirido, calibrado, consertado ou movimentado pelo setor “Metrologia” já era cadastrado em função deste código.

O sistema de codificação adotado é formado por um número com seis algarismos sendo que os dois primeiros representam a família a que pertence o instrumento (por exemplo: paquímetro, relógio comparador, etc.) e os quatro últimos são um número seqüencial atribuído a cada família a medida que os instrumentos são cadastrados.

A codificação dos instrumentos segue o modelo da fig. 3.2 – Sistema de Codificação dos Instrumentos de Medição da Stihl. Sempre que possível, a codificação dos instrumentos é efetuada de forma permanente nos mesmos, preferencialmente com lápis elétrico, de modo que não possa ser adulterada ou danificada pelo uso.

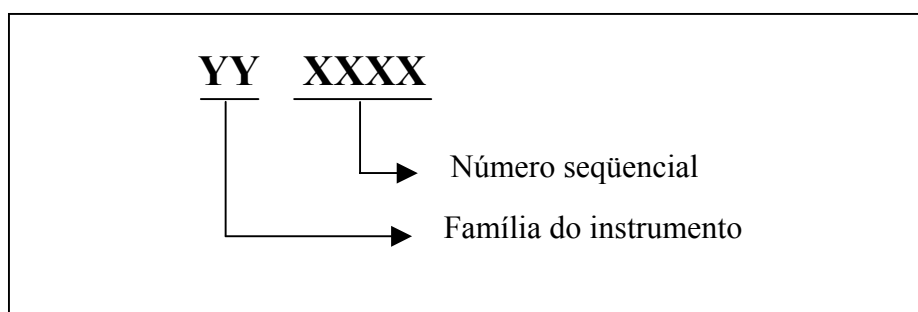


FIGURA 3.2 – Sistema de Codificação dos Instrumentos de Medição da Stihl.

O código atribuído a um instrumento é único e não pode ser reutilizado em outro equipamento a ser incluído no sistema de confirmação metrológica mesmo após a desativação ou sucatamento deste. Este sistema foi adotado para facilitar controle dos registros e rastreabilidade dos instrumentos.

A responsabilidade pela codificação dos instrumentos e cadastro dos mesmos é do instrumentista. Este pode delegar esta tarefa para a empresa contratada, mas deve verificar a correta execução da mesma.

Nesta fase de codificação dos instrumentos de medição sentiu-se a necessidade de medidas que impedissem que instrumentos sem codificação fossem utilizados. Duas atividades relevantes foram realizadas: treinamento de todos usuários e demais funcionários que tivessem correlação com o sistema de confirmação metrológica e a definição, nos procedimentos operacionais de aquisição e desativação de instrumentos, das responsabilidades de compra, recebimento e entrega para o setor “Metrologia”, a fim de evitar que instrumentos fossem entregues para uso por outro setor que não a “Metrologia” e sem codificação.

No anexo 7 – Relação das Famílias de Instrumentos Dimensionais e Torque pode se verificar a classificação das famílias adotada na Stihl.

### 3.11. CONTROLE E LOCALIZAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS DE INSPEÇÃO, MEDIÇÃO E ENSAIOS

A identificação dos equipamentos é vital para permitir a localização dos mesmos. Tem se tornado prática comum nas empresas vincular no cadastro do instrumento, além do código atribuído a este, o posto de trabalho onde este opera (se o uso do mesmo é dedicado ao posto), à célula de trabalho ou até vincular diretamente ao nome do usuário responsável pelo instrumento, uma vez que, a localização é importante não só pelo controle do inventário, mas até por que determinados instrumentos podem ter sido selecionados especificamente para avaliar características com determinado nível de exatidão.

Para o controle e localização dos equipamentos de inspeção, medição e ensaios a Stihl pesquisou os softwares disponíveis no mercado e, por questões de compatibilidade com o



banco de dados geral da empresa, optou por desenvolver um software específico para Stihl para o gerenciamento do sistema de confirmação metrológica.

As informações necessárias para o gerenciamento do sistema tiveram que ser definidas e, passaram a ser utilizadas mesmo antes da implantação total do software CIN (Controle dos Instrumentos).

Todo equipamento de inspeção pertencente ao sistema de confirmação metrológica deve ser codificado conforme fig. 3.2 – Sistema de Codificação dos Instrumentos de Medição da Stihl. No mínimo as seguintes informações devem ser cadastradas no sistema CIN:

- Código e descrição do equipamento;
- Família e sub-família a que pertence o equipamento, definidas conforme as características técnicas de cada equipamento (exemplo: família – paquímetro, sub-família – digital).
- Procedimento operacional relativo à calibração ou critério de aceitação do equipamento. Toda vez que ocorrerem revisões de procedimentos relativos à calibração ou critério de aceitação, atualizar o cadastro do procedimento.
- Centro de custo de locação: é o centro de custo onde o equipamento está alocado. Permite localizar fisicamente o equipamento.
- Data de cadastro: data em que o equipamento foi incluído no sistema CIN.
- Características técnicas do equipamento, tais como: capacidade de medição, resolução, número do desenho (quando se tratar de dispositivos ou equipamentos confeccionados sob desenho, unidade de medida.
- Dados das calibrações, tais como: data da calibração, executante e aprovador da calibração, número de respectivo relatório, incerteza obtida e laudo final (aprovado ou reprovado).

No que se refere ao controle das movimentações dos instrumentos entre postos de trabalho, centros de locação ou estoque, os usuários dos instrumentos não podem movimentar (transferir) qualquer equipamento relacionado ao Sistema da Qualidade para outro centro de custo, máquina, colega, almoxarifado, etc., sem comunicação e autorização da área que efetua a calibração (setor “Metrologia”), inclusive ao se detectar necessidade de se efetuar manutenções nos equipamentos. Para o controle total da localização dos instrumentos, a conscientiza-

ção do usuário é vital. Nota-se aqui, fortemente, a relação deste item com o 4.18 – Treinamento da norma ISO 9001.

Toda vez que ocorrer qualquer movimentação de algum equipamento de inspeção, medição e ensaios, esta deve ser cadastrada no software CIN pelo instrumentista. Os tipos de movimentação que podem ocorrer são:

- Encaminhar equipamento para calibração: equipamento permanece alocado no centro de custo de locação mas encontra-se sob responsabilidade da área que efetua calibração.
- Encaminhar equipamento para manutenção: equipamento permanece alocado no centro de custo de locação mas encontra-se sob responsabilidade da área que efetua manutenção. Somente pode ser encaminhado para manutenção com autorização da área que efetua calibração.
- Retorno do equipamento para centro de custo de locação após calibração e / ou manutenção.
- Movimentação entre centros de custos de locação: nesta movimentação o software verifica se a incerteza da medição verificada na última calibração é compatível com o critério de aceitação estabelecido para a família de instrumentos naquele centro de custo (depende da aplicação do instrumento).
- Sucatamento (sem condições de uso) ou desativamento (equipamento deixou de pertencer ao sistema da qualidade).

O sistema permite ainda que, além do centro de custo de locação, possam ser informados os dados pessoais dos usuários dos equipamentos (tais como: nome, número de cadastro, posto de trabalho). Inicialmente, optou por cadastrar apenas o centro de custo de locação do instrumento, uma vez que os instrumentos na Stihl não são de uso exclusivo de um funcionário, mas normalmente pertencem a um kit vinculado a um determinado processo.

O sistema CIN permite visualizar todas as movimentações efetuadas com o equipamento e permite localizar onde se encontram os equipamentos. Deste modo, pode-se determinar quais instrumentos estavam sendo utilizados em um determinado centro de custo numa data especificada e quais produtos foram medidos e liberados com estes equipamentos.

### 3.12. SELEÇÃO DOS EQUIPAMENTOS DE INSPEÇÃO, MEDIÇÃO E ENSAIOS

O questionamento básico e talvez o mais polêmico envolvendo a estruturação de um sistema de confirmação metrológica é quais os equipamentos de inspeção, medição e ensaios devem ser controlados.

A resposta é complexa porque envolve domínio tecnológico sobre o processo, sobre o produto e custos, mas ao identificar características de projeto que são críticas para o funcionamento apropriado e seguro do produto (por exemplo: requisitos de operação) conforme está definido no item 4.4 – Controle de Projeto e definir as inspeções e ensaios que devem constar no plano da qualidade, tanto para inspeção e ensaios no recebimento, inspeção e ensaios durante o processo e inspeção e ensaios finais, de acordo com item 4.10 – Inspeção e Ensaios da norma ISO 9001, estaremos estabelecendo as características que necessitam ser avaliadas com instrumentos pertencentes ao sistema de confirmação metrológica.

Estes instrumentos devem atender requisitos mínimos estabelecidos no Procedimento Operacional de Seleção dos Equipamentos de Inspeção, Medição e Controle.

Constatou-se na literatura e na troca de informações com outras empresas que não há consenso nem critérios uniformes para uma adequada seleção do instrumento a ser utilizado, considerando a relação custo do instrumento, precisão e resolução, incerteza das medições ou outros parâmetros associados ao mesmo.

O método mais citado na literatura é aquele que considera a relação entre a precisão dos instrumentos e o intervalo de tolerância do produto ou processo a ser monitorado.

Bastante utilizada, a regra 10 : 1 e 4 : 1 pode ser resumida como segue [Bureau Veritas, 1994].

Considerando:

$$\sigma_{\text{obs}}^2 = \sigma_{\text{med}}^2 + \sigma_{\text{prod}}^2, \text{ onde:}$$

$\sigma_{\text{med}}^2$  : é a variância causada por todo o sistema de medidas (operadores, laboratórios, analistas, métodos, etc.);

$\sigma_{\text{prod}}^2$  : é a variância existente entre as várias unidades de um mesmo produto;

$\sigma_{\text{obs}}^2$  : é a variância total do conjunto de dados observados.

Deseja-se um sistema de medições que pouco influencie na variância total observada. Supondo que seja desejável que a parcela do desvio padrão observada, de todo sistema metrológico, seja no máximo de 10 % (dez por cento). Isto equivale dizer:

$$\sigma_{\text{med}}^2 = 0,01 \sigma_{\text{obs}}^2$$

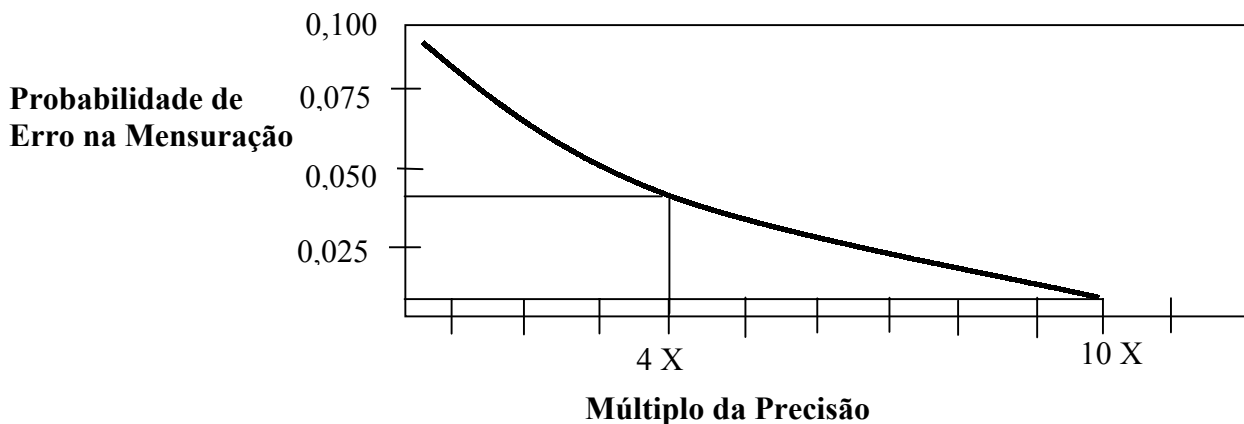
Substituindo-se na equação anterior, tem-se que:

$$\sigma_{\text{prod}} = 0,995 \sigma_{\text{obs}}$$

ou seja, ~ 99% do desvio padrão observado deve-se à variabilidade natural do produto. Daí a regra de que o equipamento utilizado deve ser capaz de dividir a tolerância do produto em 10. No entanto, esta regra não deve ser seguida ao “pé da letra”. Cada caso deve ser estudado separadamente.

Define-se a regra 4 : 1 a partir da probabilidade de erro, ou seja, ao utilizar um instrumento capaz de dividir a precisão desejada em quatro, a probabilidade de erro na leitura é muito pequena. O mesmo vale para a regra 10 : 1, com uma probabilidade menor ainda. A partir deste ponto, a diminuição da probabilidade de erro diminui lentamente. A fig. 3.3 - Precisão do instrumento de medição x probabilidade de erro na mensuração ilustra esta idéia:

FIGURA 3.3 – Probabilidade de erro na leitura x relação entre precisão do instrumento intervalo de tolerância [Bureau Veritas do Brasil, 1994]



Na Stihl, uma proposta inicial de critérios de seleção de instrumentos foi elaborada considerando-se dois aspectos básicos: a resolução do instrumento e o limite de erro permissível do instrumento.

O instrumento de medição deve ter resolução (RE), limite de erro permissível (LEP) e faixa nominal (FN) adequados ao intervalo de tolerância (IT) e valor nominal (VN) do produto, seja qual for a grandeza em questão.

Considera-se a resolução adequada à aplicação do instrumento quando:

- $1/10 IT \leq RE \leq 1/8 IT$  – situação ideal;

- $1/8 IT < RE \leq 1/4 IT$  – situação razoável;
- $1/4 IT < RE \leq 1/2 IT$  – pior situação admissível e somente deve ser aplicada em situações extremas, geralmente quando há limitações tecnológicas ou razões econômicas.

Para o limite de erro permissível ser considerado adequado à aplicação, observar as seguintes relações:

- $1/10 IT \leq LEP \leq 1/6 IT$  – situação ideal;
- $1/6 IT < LEP \leq 1/3 IT$  – situação razoável;
- $1/3 IT < LEP \leq 1/2 IT$  – pior situação admissível e somente deve ser aplicada em situações extremas, geralmente quando há limitações tecnológicas ou razões econômicas.

O termo “limite de erro permissível (LEP)” é genérico e pode incluir limites para vários tipos de erro (erros de medição (EM), erros de repetição (ER), erros de histerese (EH), etc.). Entretanto, para efeito de seleção do instrumento de medição, o limite de erro permissível, de forma geral, se refere apenas ao maior valor tolerado para a soma:

$LEP = EM + IM$ , onde EM são os erros de medição do instrumento de medição e IM é a incerteza das medições da calibração (IM).

Se a família ou sub-família do instrumento de medição ainda não tiver um limite de erro permissível definido (para  $EM + IM$ ), deve-se fazer uma estimativa para seu valor mínimo. Neste caso:

$LEP_{(mínimo)} = EM_e + IM_e$ , onde:

- $EM_e$  é o valor absoluto do erro de medição estimado para o instrumento de medição, que pode ser obtido através das especificações de exatidão dadas pelo fabricante do instrumento ou por valores estabelecidos por alguma norma técnica nacional ou internacional;
- $IM_e$  é o valor absoluto da incerteza das medições estimada para a calibração do instrumento de medição, que pode ser obtido consultando-se o responsável pela calibração do instrumento de medição em questão (depende do procedimento de calibração adotado).

Para o sistema proposto, existem algumas famílias de instrumentos de medição para as quais estas regras não se aplicam:

- Calibradores lisos ou roscados do tipo “passa” – “não-passa”, devendo ser avaliados por normas nacionais ou internacionais específicas.
- Instrumentos que se verificam por atributo em geral (padrões de cor, por exemplo).

Tecnicamente, o método de seleção dos instrumentos de medição foi considerado o mais adequado pela equipe responsável pela implantação do sistema de confirmação metrológica na Stihl. No exemplo do anexo 8 – Seleção de Instrumento de Medição pode se observar que um instrumento que atende os requisitos definidos para resolução não atende os definidos para o limite de erro permissível, não devendo ser, portanto, utilizado.

No entanto, a nível prático, antes do mesmo ser adotado, surgiram diversas dificuldades. Entre elas pode-se destacar:

- a) Uma revisão geral da adequa o de todos os instrumentos pertencentes ao sistema da qualidade deveria ser efetuada, avaliando-se se os mesmos atendem os requisitos propostos para resolução e limite de erro permissível. Esta seria uma atividade bastante extensa e que consumiria uma quantidade de recursos no momento não disponíveis (tanto de pessoal como tempo).
- b) A responsabilidade pela seleção dos instrumentos de medição na Stihl   do técnico e/ou engenheiro que elabora e implementa o plano da qualidade elaborado para as inspeções e ensaios de recebimento, inspeções e ensaios efetuadas durante o processo, do produto pronto e dos ensaios dos laboratórios de confiabilidade. Neste estágio de implantação do item 4.11 – Equipamentos de Inspeção, Medição e Ensaios a equipe de técnicos e engenheiros não possuía conhecimentos suficiente sobre os conceitos básicos associados a definição dos limites de erros permissíveis e incerteza de medição.

A Stihl optou por adotar um sistema mais simplificado e três aspectos justificam esta medida:

- todas as empresas com quais foram trocadas informações utilizam para seleção de instrumentos critérios mais simplificados que avaliam basicamente somente a resolução do instrumento;

- a seleção dos instrumentos de medição na Stihl sempre foi efetuada pelos técnicos e engenheiros responsáveis pelos planos da qualidade e estes sempre consideravam o aspecto resolução, procurando manter uma relação de 10:1 em relação ao intervalo de tolerância a ser avaliado;
- todos produtos da Stihl passam por testes finais onde todas características relativas a segurança do usuário e durabilidade do produto são testadas conforme parâmetros definidos pela matriz. O desempenho final dos produtos manufaturados aqui na unidade da Stihl Brasil é similar ao da matriz.

O critério de seleção dos instrumentos de medição especificada no Procedimento Operacional de Seleção dos Instrumentos de Medição considera que a resolução (RE) do instrumento e a faixa nominal (FN) devem ser adequados ao intervalo de tolerância (IT) e ao valor nominal (VN) do produto.

A resolução (RE) é adequada à aplicação se  $1/10 IT \leq RE \leq 1/4 IT$ . Em situações extremas, quando houver limitações tecnológicas ou econômicas, pode-se admitir ainda uma relação de até  $RE = 1/2 IT$ .

Como já era rotina na Stihl, mesmo antes da formalização dos critérios de seleção dos instrumentos de medição no procedimento, a seleção dos instrumentos de medição baseada na relação entre resolução (RE) e intervalo de tolerância (IT), tem assegurado que os instrumentos de medição em uso na empresa atendem o estabelecido.

O risco de estar utilizando um instrumento que, devido ao seu limite de erro permissível, não seja adequado foi considerado muito pequeno frente ao custo e tempo que seriam gastos para implementar um critério de seleção de instrumentos mais rigoroso.

### 3.13. AQUISIÇÃO E DESATVAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS DE INSPEÇÃO, MEDIÇÃO E ENSAIOS

Estabelecido qual o instrumento a ser utilizado, conforme critérios do Procedimento Operacional de Seleção dos Equipamentos de Inspeção, Medição e Ensaio e outros critérios como custo, manutenção e assistência técnica, definido como este instrumento será codificado e controlado quando a sua localização, é necessário estabelecer e formalizar a rotina a ser adotada para a aquisição de novos instrumentos. Esta rotina deve ser estabelecida de modo a garantir que nenhum instrumento de medição seja adquirido e entregue ao usuário sem autorização do setor “Metrologia”.

Do mesmo modo, quando um instrumento necessita ser desativado ou sucitado, deve-se ter garantia de que o mesmo não retornará indevidamente para uso.

A Stihl estabeleceu e documentou no Procedimento Operacional de Aquisição e Desativação de Equipamentos de Inspeção, Medição e Ensaio as responsabilidades e tarefas a serem executadas para se efetuar a aquisição e desativação de instrumento.

No que se refere a aquisição dos instrumentos de medição, temos:

- Necessidade de adquirir equipamento devido a modificações nos planos da qualidade, modificações em normas ou introdução de novos processos e/ou produtos:
  - a) o técnico ou engenheiro responsável por elaborar os planos da qualidade e/ou normas deve efetuar a seleção dos instrumentos de medição, providenciando desenho e especificações técnicas dos mesmos quando necessário;
  - b) o técnico ou engenheiro também deve emitir o formulário “Inclusão / Exclusão de Equipamentos no Sistema de Controle de Instrumentos de Medição” (conforme modelo do anexo 9), enviando o mesmo para o setor “Metrologia”;
  - c) o técnico ou engenheiro deve providenciar a requisição de compra do instrumento de medição ou a ordem de serviço interno (OSI) no caso de confecção interna (por exemplo, dispositivos de controle);
  - d) o departamento de compras efetua a aquisição dos instrumentos de medição e o setor de recebimento, ao receber os mesmos entrega diretamente ao setor “Metrologia”. No caso de confecção interna, a OSI somente pode ser encerrada com o visto do setor “Metrologia”, quando então o instrumento também é entregue na Metrologia;
  - e) com base nos dados da ficha de “Inclusão e Exclusão de Equipamentos no Sistema de Controle de Instrumentos de Medição” e nas características do equipamento, o mesmo é calibrado, codificado e cadastrado no sistema CIN para, então, ser liberado para o usuário.
- Necessidade de adquirir equipamento similar para reposição:
  - a) neste caso, o setor “Metrologia” é responsável por fazer a seleção do instrumento ou providenciar especificações técnicas e desenhos necessários. Também deve providenciar a ordem de compra ou ordem de serviço interno;



- b) não há necessidade de emitir a ficha de “Inclusão e Exclusão de Equipamentos no Sistema de Controle de Instrumentos de Medição”;
- c) Após compra ou confecção interna do instrumento de medição os instrumentos de medição são entregues para o setor “Metrologia” onde são calibrados, codificados, cadastrados no sistema CIN e liberados para os usuários.

Para a desativação dos instrumentos de medição, temos:

- Necessidade de desativar instrumentos por alteração de processo, produto ou tecnologia:
  - a) nesta situação o técnico ou engenheiro responsável pelo processo e/ou produto deve emitir e encaminhar para o setor “Metrologia” o formulário “Inclusão e Exclusão de Equipamentos no Sistema de Controle de Instrumentos de Medição”;
  - b) o setor “Metrologia” é responsável por recolher o instrumento com o usuário, atualizar cadastros no CIN e verificar se o instrumento de medição tem condições de ser utilizado em outras aplicações.
- Se a necessidade de desativar um instrumento é devido a danos ou problemas técnicos, o setor “Metrologia” efetua a mesma, atualizando cadastro no CIN, não havendo necessidade de preenchimento do formulário.

Ao se adquirir instrumentos novos, antes da liberação dos mesmos para os usuários, é responsabilidade do setor “Metrologia” verificar a necessidade de treinamento dos usuários e providenciar o mesmo quando necessário.

O sistema de formulário para inclusão e exclusão de instrumentos no sistema de confirmação metrológica é burocrático e, com certeza pode ser simplificado. Por exemplo, a solicitação de aquisição e desativação de instrumentos pode estar disponível no próprio software utilizado para controle dos instrumentos.

Mesmo com a implantação do formulário, o uso efetivo do mesmo somente ocorreu após ser constatado em auditorias internas que haviam casos em que o mesmo não foi utilizado. Ressalta-se aqui, novamente a importância do treinamento e conscientização envolvida neste processo.

### 3.14. DETERMINAÇÃO DA INCERTEZA DE MEDIÇÃO

Dando continuidade ao processo de implantação do item 4.11 – Equipamentos de Inspeção, Medição e Ensaio, após a aquisição, codificação e cadastro no sistema de controle CIN e periodicamente, em intervalos definidos, os instrumentos de medição devem ser submetidos a calibração.

Antes de se definir como será a rotina de confirmação metrológica, o método de determinação da incerteza das medições deve ser estabelecido.

A incerteza de medição é o parâmetro, associado ao resultado de uma medição, que caracteriza a dispersão dos valores que podem ser fundamentalmente atribuídos a um mensurando [Vocabulário Internacional de Termos Fundamentais e Gerais de Metrologia – VIM, 1995].

A grande dificuldade que surgiu foi a definição do método a ser utilizado para determinar a incerteza das medições. Um mesmo mensurando pode apresentar diversos valores relativos a incerteza de medição para um mesmo mensurando quando metodologias diferentes para estimativa são utilizadas.

Esta mesma dificuldade é vivenciada nas indústrias com relação a valores de incerteza de medição diferentes para um mesmo mensurando quando o resultado de uma medição é verificado internamente ou obtido por prestadores de serviços de calibração, quando estes utilizam entre si métodos de determinação da incerteza da medição diferentes entre si.

Na ocasião da definição do método da estimativa da incerteza da medição de um mensurando ainda não havia sido publicado o “Guia para Expressão da Incerteza de Medição” cuja primeira edição foi publicada pelo INMETRO em agosto de 1997. Os softwares disponíveis no mercado e a grande maioria das indústrias utilizavam nesta época o chamado método “Ortodoxo” ou pequenas variações destes.

A norma WECC 19 – 1990 – Guidelines for the Expression of the Uncertainty of Measurement in Calibrations foi estudada para verificar que parâmetros devem ser considerados para a estimativa da incerteza da medição por este critério. Diversos fatores, tais como variação do comprimento do instrumento a ser calibrado e do padrão em função do efeito temperatura teriam que ser considerados.

Destes modos, o uso da norma WECC 19 – 1990 foi descartado e o “Processo Expedito Pontual” [Bureau Veritas, 1994] foi adaptado para os instrumentos de medição utilizados na Stihl.

No método proposto pelo Bureau Veritas, 1994 para a estimativa da incerteza de medição, a adequação ao uso de equipamentos e padrões é verificada quando se efetua uma calibração.

Sendo  $V_R$  e  $I_R$  o valor de referência do padrão a ser utilizado e a respectiva incerteza herdada (valor da incerteza de medição do padrão), temos:

- a)  $X_1, X_2, \dots, X_n$  são valores obtidos em cada medição cuja média é expressa pela equação 2.12

$$\bar{X} = 1/n \sum_{i=1}^n x_i \quad [3.1]$$

- b)  $d_1, d_2, \dots, d_n$  é a amplitude obtida em cada medição  $X_i$  em relação ao valor de referência  $V_R$ .

$$d_i = X_i - V_R \quad e$$

$$\bar{d} = |\bar{X} - V_R| \quad [3.2],$$

onde a equação 3.2

- c) A incerteza interna do equipamento (IM) é expressa pela equação 3.3.

$$IM = t_{n-1, \alpha/2} s/\sqrt{n} \quad [3.3],$$

onde  $s$  é o desvio padrão amostral dos  $X_1, X_2, \dots, X_n$  valores obtidos em cada medição.

A exatidão do equipamento é aceitável se:

$$V_R - I_R \leq \bar{X} \leq V_R + I_R \quad [3.4]$$

- d) A adequação ao uso é confirmada se:

$$\bar{d} + t_{\alpha/2; n-1} s/\sqrt{n} + I_R \leq \Delta / x \quad [3.5]$$

Observação:  $\Delta$  é a capacidade requerida da medida (por exemplo: intervalo de tolerância do produto).  $X$  deve ser um valor inteiro entre 3 e 10, de preferência 4 ou 5 por razões de custo x benefício.

A metodologia da determinação da incerteza da medição na Stihl está documentada no Procedimento Operacional de Determinação da Incerteza das Medições e é apresentada a seguir.

1) Abreviaturas utilizadas:

- RM – resultado da medição;
- EM – erro da medição;
- VVC<sub>m</sub> – m-ésimo valor verdadeiro convencional obtido na calibração do instrumento sob calibração;
- VM<sub>m</sub> – m-ésimo valor medido obtido na calibração do instrumento sob calibração;
- IM<sub>p</sub> – incerteza de medição obtida na calibração do padrão;
- IM – incerteza de medição do processo de medição empregado para medir o instrumento sob calibração;
- DM – dispersão das medições;
- ESp – erro sistemático do padrão.

2) Fatores de incerteza: para estimar a incerteza das medições considera-se os fatores de incerteza sistemáticos (associados a erros sistemáticos) e os fatores de incerteza aleatórios (associados a erros aleatórios).

- Fatores de Incerteza Sistemáticos: ESp – erro sistemático do padrão.

O erro sistemático do padrão (ESp) normalmente é associado aos erros de medição (EM) que este apresenta e é estimado pela expressão:

$$ESp = a \cdot EM \quad [3.6]$$

onde “a” é a constante de proporcionalidade que relaciona a unidade do erro de medição (EM) do padrão com a unidade de saída do instrumento sob calibração. Na maioria dos casos a constante “a” é igual a 1 (um), tendo em vista que geralmente a unidade do padrão é a mesma do instrumento sob calibração.

ESp pode ser estimado consultando-se o procedimento operacional de calibração do instrumento sob calibração (os procedimentos operacionais de calibração muitas vezes limitam o valor para o ESp do padrão – pode-se adotar este valor, uma vez que o padrão não pode ultrapassá-lo), o certificado de calibração do padrão ou o limite de erro permissível do padrão.

Quando é utilizado mais de um sistema de medição como padrão, ou seja, são utilizados dois ou mais instrumentos padrões (calibrados individualmente) para realizar uma medição, para obter um valor verdadeiro convencional deve-se determinar os erros sistemáticos individuais de cada padrão e combiná-los para a determinação de ESp.

- Fatores de Incerteza Aleatórios: IMp –incerteza das medições obtidas na calibração do padrão e DM – dispersão das medições.

⇒ IMp pode ser estimada consultando-se o procedimento operacional de calibração do instrumento sob calibração (estes procedimentos operacionais muitas vezes limitam o valor para a incerteza das medições da calibração do padrão (IMp) – pode-se adotar este valor para calcular a estimativa da incerteza das medições (IM) tendo em vista que o padrão utilizado não pode ultrapassá-lo, o certificado de calibração do padrão ou o limite de erro permissível do padrão.

Quando é utilizado mais de um sistema de medição como padrão, ou seja, são utilizados dois ou mais instrumentos padrões (calibrados individualmente) para realizar uma medição, deve-se obter as incertezas de medição individuais (IMp<sub>i</sub>) de cada padrão e combiná-las conforme a relação:

$$IMp = \pm \sqrt{IMp_1^2 + IMp_2^2 + \dots + IMp_j^2} \quad [3.7]$$

onde j é o número de padrões.

⇒ DM, a dispersão das medições, é calculada como segue:

Calcular o resultado das medições (RM) correspondente a cada ponto medido do instrumento sob calibração.

Se o padrão for um instrumento mostrador:

$$RM = (VVC_1 + VVC_2 + \dots + VVC_n) \div n \quad [3.8]$$

Se o padrão for um instrumento de medida materializada:

$$RM = (VM_1 + VM_2 + \dots + VM_n) \div n \quad [3.9]$$

onde n é o número de repetições efetuado em cada ponto medido.

Calcular o desvio padrão experimental (DP) de cada ponto medido no instrumento sob calibração.

Se o padrão for um instrumento mostrador:

$$DP = a \cdot \sqrt{((VVC_1 - RM)^2 + (VVC_2 - RM)^2 + \dots + (VVC_n - RM)^2)/n-1} \quad [3.10]$$

Se o padrão for um instrumento de medida materializada:

$$DP = \sqrt{((VM_1 - RM)^2 + (VM_2 - RM)^2 + \dots + (VM_n - RM)^2)/n-1} \quad [3.11]$$

Calcular a dispersão das medições (DM) usando a relação abaixo:

$$DM = \pm DP \text{ máx} \times t/\sqrt{n} \quad [3.12], \text{ onde}$$

DP máx é o maior DP entre os vários pontos medidos do instrumentos sob calibração;

“t” é o coeficiente de Student para  $v = n-1$  grau de liberdade (anexo 5).

- 3) Estimativa da incerteza da medição: os fatores ESp, DM e IMp são combinados em uma expressão que é utilizada para a estimativa do valor da incerteza da medição.

$$IM = \pm (|ESp| + DM + IMp) \quad [3.13]$$

Deste modo, a estimativa da incerteza das medições é determinada para cada instrumento de medição calibrado. Por ser um método relativamente simples, em uma planilha eletrônica são digitados os valores medidos em cada ponto e a incerteza da medição pode ser conhecida.

Atualmente, quando serviços de calibração são solicitados para laboratórios secundários, normalmente estes expressam a incerteza de medição estimada conforme o Guia para Expressão da Incerteza de Medição e a dificuldade que se tem é a comparação entre os resultados de calibrações diferentes efetuadas em um mesmo instrumento de medição.

Um estudo comparativo entre a estimativa da incerteza das medições para um mensurando usando métodos diferentes deve ser efetuado para que se possa estabelecer uma correlação entre os valores apresentados e se possa também questionar onde está se subestimando ou superestimando uma determinada estimativa da incerteza da medição.

### 3.15. CALIBRAÇÃO E CRITÉRIO DE ACEITAÇÃO

Antes de se iniciar a rotina de confirmação metrológica, que inclui as tarefas de calibrar, identificar o status desta calibração, emitir os registros relativos a estas calibrações, dar o laudo final para o equipamento comparando o resultado da calibração com um critério de aceitação, há necessidade de se estabelecer como devem ser efetuadas estas calibrações.

Na Stihl os procedimentos operacionais de calibração referentes a cada família de instrumentos definem “como” as calibrações devem ser efetuadas e qual o critério de aceitação definido para aprovar ou reprovar o instrumento após a calibração. Quando as calibrações são efetuadas por empresas contratadas e a calibração segue padrões definidos em normas ou outros documentos (por exemplo, calibração de tridimensional), os procedimentos operacionais especificam somente o critério de aceitação estabelecido para aprovar ou reprovar o instrumento de medição após calibração.

Para elaboração dos procedimentos operacionais de calibração, os seguintes aspectos foram observados:

- *Determinação do número de pontos por escala (faixa):*
  - A calibração de um equipamento é realizada escala por escala, sendo que, preferencialmente, cada uma delas deve ser calibrada em separado. Portanto, serão apresentados dados de calibração para cada escala verificada.

- O número de pontos que melhor caracteriza o comportamento da função de transferência (relação entre os dados de entrada e os dados de saída esperados no processo de medição) está entre cinco e doze. Nos casos gerais os pontos são igualmente espaçados ao longo da faixa de operação do sistema de medição. É importante observar que existem casos em que a medição dos pontos da escala conforme definido acima pode não ser economicamente viável ou ainda desnecessária e, portanto, uma análise crítica sempre é indispensável.
- *Determinação do número de ciclos de medição:*
  - Um ciclo de medição corresponde ao levantamento de dados relativos a todos os pontos de calibração programados, segundo uma ordem previamente definida. A realização de vários ciclos destina-se à determinação dos parâmetros ligados a repetibilidade. Para sistemas de medição de boa qualidade, onde as leituras apresentam repetibilidade da ordem da resolução, é satisfatória a realização de três ciclos de medição. Quando as leituras apresentam elevada dispersão, recomenda-se a efetivação de cinco ciclos de medição; em casos extremos, até dez ciclos.
- *Determinação da seqüência da medição:*
  - Existem basicamente duas formas de executar duas maneiras de realizar a leitura de um ciclo de medição:
    - Progressiva – faz-se as operações seqüencialmente a partir do ponto inicial até o ponto final programado para o ciclo.
    - Peregrino total – variação da grandeza de medição até o valor de cada ponto de medição programado e retorno ao zero.
    - Por convenção, adota-se a forma progressiva, exceto nos casos onde a histerese é acentuada, ou seja, dez vezes maior que a resolução.
- *Definição dos padrões a serem utilizados.*
- *Registro das leituras*



- A cada escala ou faixa deve corresponder um registro individual de leituras. Então, para isso, deve-se gerar uma planilha de leitura para cada escala (faixa). O preenchimento completo é importante para futura rastreabilidade do processo e por questões de exigências das auditorias da Qualidade.

Enquanto é desejável que todas calibrações sejam efetuadas sob condições ambientais controladas, nem sempre isto é possível. Muitas vezes é inconveniente ou impossível remover o instrumento do local de sua instalação e, nestes casos, é prática calibrá-los no local. Os procedimentos operacionais de calibração também devem especificar as condições ambientais necessárias durante a calibração.

No Vocabulário de Termos Fundamentais e Gerais de Metrologia – VIM – INMETRO há uma definição mais específica sobre as condições ambientais mínimas pois temos a seguinte definição para laboratório de metrologia:

- *Laboratório de Metrologia:* Ambiente onde são executadas calibrações de determinados instrumentos de medição, dentro do qual devem ser observadas as seguintes condições ambientais:
- temperatura :  $20 \pm 2$  ° C
- umidade relativa do ar: não superior a 60 %.

A norma ISO 9004 – 1/ 1994 – Gestão da Qualidade e Elementos do Sistema da Qualidade / Diretrizes salienta a importância da calibração inicial do instrumento antes do primeiro uso a fim de validar a exatidão (veracidade e precisão) requeridas. Este procedimento é fundamental, embora em algumas empresas há ainda a crença de que os dados sobre exatidão e precisão fornecidos pelo fabricante do instrumento são suficientes para garantir a qualidade do sistema de medição.

É perfeitamente possível já adquirir o instrumento com a calibração inicial efetuada pelo fabricante e neste caso, devem ser verificados se o procedimento de calibração ou normas de calibração atendem os requisitos estabelecidos pela empresa. Esta análise crítica deve ser efetuada antes até da decisão de compra do instrumento já calibrado pois normalmente há um acréscimo de custo nesta aquisição. Os dados referentes ao resultado final desta calibração devem ser verificados nos registros referentes a esta calibração, enviados pelo fornecedor.

Os manuais dos fabricantes, normas internacionais e nacionais, troca de informações entre empresas, sugestões dos prestadores de serviços de calibração são fontes fundamentais a serem pesquisadas para o estabelecimento dos métodos de calibração a serem adotados e condições ambientais usuais, uma vez que não existe uma regra única que possa ser amplamente aplicada a todos os tipos de equipamentos em todas as aplicações.

Para a definição dos critérios de aceitação referentes ao resultado de uma calibração, há necessidade do conhecimento da aplicação do instrumento e, neste caso as áreas responsáveis pela definição das especificações do produto, processo e metrologia devem interagir. Não há regras normalizadas e atenção deve ser dada para que os aspectos custo e qualidade do sistema de medição tenham um bom equilíbrio.

No que diz respeito a frequência das calibrações, na Stihl, adotou-se o controle periódico das calibrações por família de instrumentos conforme definido no “Plano de Calibrações”. Se um instrumento teve uma calibração em uma data diferente da prevista no plano de calibração, na data estabelecida no plano, este será calibrado novamente. O controle fica assim simplificado, mesmo sabendo-se que existem custos de calibração que poderiam ser evitados. O sistema CIN permite listar todos os instrumentos a serem calibrados em um determinado período, conforme o plano de calibração.

Nenhuma técnica estatística foi definida para avaliação dos intervalos de calibração. Esta tem sido efetuada com base na experiência dos metrologistas do setor, sendo que, na maioria das vezes, o intervalo entre as calibrações tem aumentado por não haver nenhuma reprovação em mais de um ciclo de calibrações. Isto mostra que em uma fase inicial de implantação do sistema de confirmação metrológica trabalhou-se a favor da segurança, havendo bastante cautela no estabelecimento destas frequências, mesmo que isso implicasse em um acréscimo de custo.

### 3.16. COMPROVAÇÃO METROLÓGICA DE EQUIPAMENTOS DE INSPEÇÃO, MEDIÇÃO E ENSAIOS

Todos os conceitos principais foram anteriormente definidos para que se possa estabelecer como executar a confirmação metrológica propriamente dita. A comprovação metrológica abrange as atividades de calibração, identificação do status desta calibração e emissão dos registros referentes a estas calibrações.

O “status” do instrumento de medição pode ser identificado pelo relatório de calibração ou certificado de calibração, pelo selo colocado no instrumento ou pelo cadastro disponível no banco de dados CIN. O selo de calibração usado na Stihl indica a data da próxima calibração. O selo de calibração não é obrigatório, mas normalmente é colocado no instrumento quando este é aprovado na calibração, para facilitar ao usuário a visualização do status do mesmo. Para os usuários, o que libera o instrumento para uso é a existência do código de identificação do instrumento e o que não permite o uso de um instrumento de medição é a existência de outras etiquetas no equipamento, tais como: “manutenção”, “sucado”, “teste”. Os modelos de selos de calibração e etiquetas utilizados na Stihl estão apresentados na fig. 3.4.

A escolha adequada do padrão a ser utilizado repercutirá na qualidade das medições executadas e na incerteza total da medição já que a incerteza do padrão contribui decisivamente para o resultado final. Portanto, quanto maior for a relação de incerteza do padrão e do instrumento sob teste, melhor serão as condições de realização da calibração.

A rastreabilidade dos padrões deve ser verificada no momento da confirmação metrológica, seja ela interna ou externa. Na Stihl, estabeleceu-se que os padrões a serem utilizados devem ter rastreabilidade a organismos nacional ou internacionalmente reconhecidos. Entende-se por organismo nacionalmente reconhecido todo aquele que for credenciado à RBC (Rede Brasileira de Calibração) na grandeza em questão ou o próprio INMETRO e por organismo internacionalmente reconhecido, qualquer laboratório estrangeiro que tenha rastreabilidade com o padrão nacional de seu respectivo país, tais como: NIST, NPL, PTB, BIPM, etc.

Com relação ao registro da comprovação metrológica dos equipamentos de inspeção, medição e ensaios, quando se tratar de calibração interna, o registro de calibração é chamado de “relatório de calibração” e quando se tratar de calibração externa, este é chamado de “certificado de calibração”.

O registro da calibração metrológica deve conter as seguintes informações:


- Identificação do instrumento sob calibração, número de série ou código de identificação interno.
- Data em que foi realizada a calibração.
- Identificação dos padrões utilizados.

- Cadeia de rastreabilidade de cada padrão usado na calibração: quando se tratar de calibração interna, os padrões utilizados devem atender ao que foi estabelecido quanto à rastreabilidade dos padrões. No caso de calibrações externas, o certificado de calibração deve informar o número do certificado de cada padrão, a data de emissão e o nome do organismo nacional ou internacional reconhecido que emitiu o certificado.
- Os resultados de medição da calibração obtidos após, e quando relevante, antes de qualquer ajuste e manutenção. Estes resultados devem ser suficientes para que se possa julgar sobre a aprovação do instrumento sob calibração quanto ao seu estado de calibração, de acordo com o procedimento de calibração ou critério de aceitação do instrumento sob calibração em questão.
- Referência do procedimento de calibração utilizado.
- As condições ambientais relevantes (umidade e temperatura) e uma declaração sobre quaisquer correções necessárias para este caso.
- Uma declaração da incerteza das medições da calibração do instrumento sob calibração.
- Identificação da entidade que realizou a calibração no caso de calibração externa.
- O laudo final para a calibração realizada: aprovado ou reprovado.

As atividades de comprovação metrológica realizadas com procedimentos de calibração próprios da Stihl são executadas conforme fluxograma da fig. 3.5. – Fluxograma da Comprovação Metrológica Interna. As atividades de comprovação metrológica realizadas por fornecedores externos devem ser avaliadas conforme fluxograma da fig. 3.6 – Fluxograma da Comprovação Metrológica Externa.

As calibrações podem ser antecipadas ou postergadas em até 1 (um) mês da data estabelecida conforme o plano de calibração sem que este fato se caracterize uma não conformidade. O instrumento que não foi utilizado no intervalo entre duas calibrações (ou seja, que possui lacre – normalmente de cera – que não foi violado) pode ter seu registro de calibração revalidado sem que seja necessária a calibração prevista no plano de calibração. Esta revalidação se dá por meio de um carimbo colocado no registro de calibração após análise crítica do responsável pela calibração do instrumento. Este procedimento foi adotado após o primeiro ciclo de calibrações, onde se observou que muitos instrumentos permaneciam no estoque de reposição do setor “Metrologia” sem uso entre duas calibrações e representou, sem dúvida, uma redução no custo das calibrações.

FIGURA 3.4 – Selos e etiquetas utilizados na Stihl para identificar o status do instrumento de medição

Etiqueta ou Selo	Descrição
	<p><b>“SELO CALIBRAÇÃO - APROVADO”</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• é utilizado para identificar os instrumentos aprovados durante a comprovação metrológica.</li> <li>• o selo de calibração também mostra o prazo de validade da calibração. Os números dispostos ao longo de sua periferia representam os meses do ano. O mês correspondente a data de <u>vencimento</u> da calibração do instrumento é perfurado, e o ano está gravado no centro do selo. O selo pode ser de qualquer cor.</li> </ul>


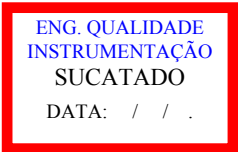
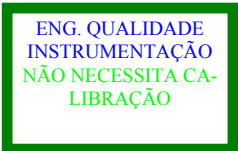
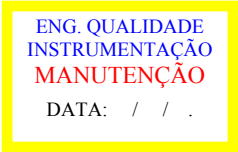
 <p>ENG. QUALIDADE INSTRUMENTAÇÃO TESTE DATA: / / .</p>	<p><b>“TESTE”</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>é utilizado para identificar os instrumentos que estão sob teste. Instrumentos nesta situação não podem ser utilizados para verificar o produto antes de sua validação.</li> </ul>
 <p>ENG. QUALIDADE INSTRUMENTAÇÃO SUCATADO DATA: / / .</p>	<p><b>“SUCATADO”</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>identifica um instrumento que não apresenta mais condições de uso e que não pode ser recuperado por ajustes ou manutenção.</li> </ul>
 <p>ENG. QUALIDADE INSTRUMENTAÇÃO NÃO NECESSITA CA- LIBRAÇÃO DATA: / / .</p>	<p><b>“NÃO NECESSITA CALIBRAÇÃO”</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>identifica um instrumento de medição ou um acessório que não necessita calibração, por não fazer parte do Sistema da Qualidade ou por sua utilização ou concepção dispensar.</li> <li>o uso desta etiqueta não é mandatório para todos os instrumentos ou acessórios que não requerem calibração, geralmente é utilizada naqueles que podem motivar alguma dúvida.</li> </ul>
 <p>ENG. QUALIDADE INSTRUMENTAÇÃO MANUTENÇÃO DATA: / / .</p>	<p><b>“MANUTENÇÃO”</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>identifica <i>instrumentos de medição</i> que não podem ser utilizados por estarem em manutenção. A etiqueta deve ser aplicada tão logo constatar-se que o instrumento está não conforme, e só deve ser removida quando a não conformidade for eliminada.</li> </ul>

FIGURA 3.5 – Fluxograma da comprovação metrológica interna - Stihl

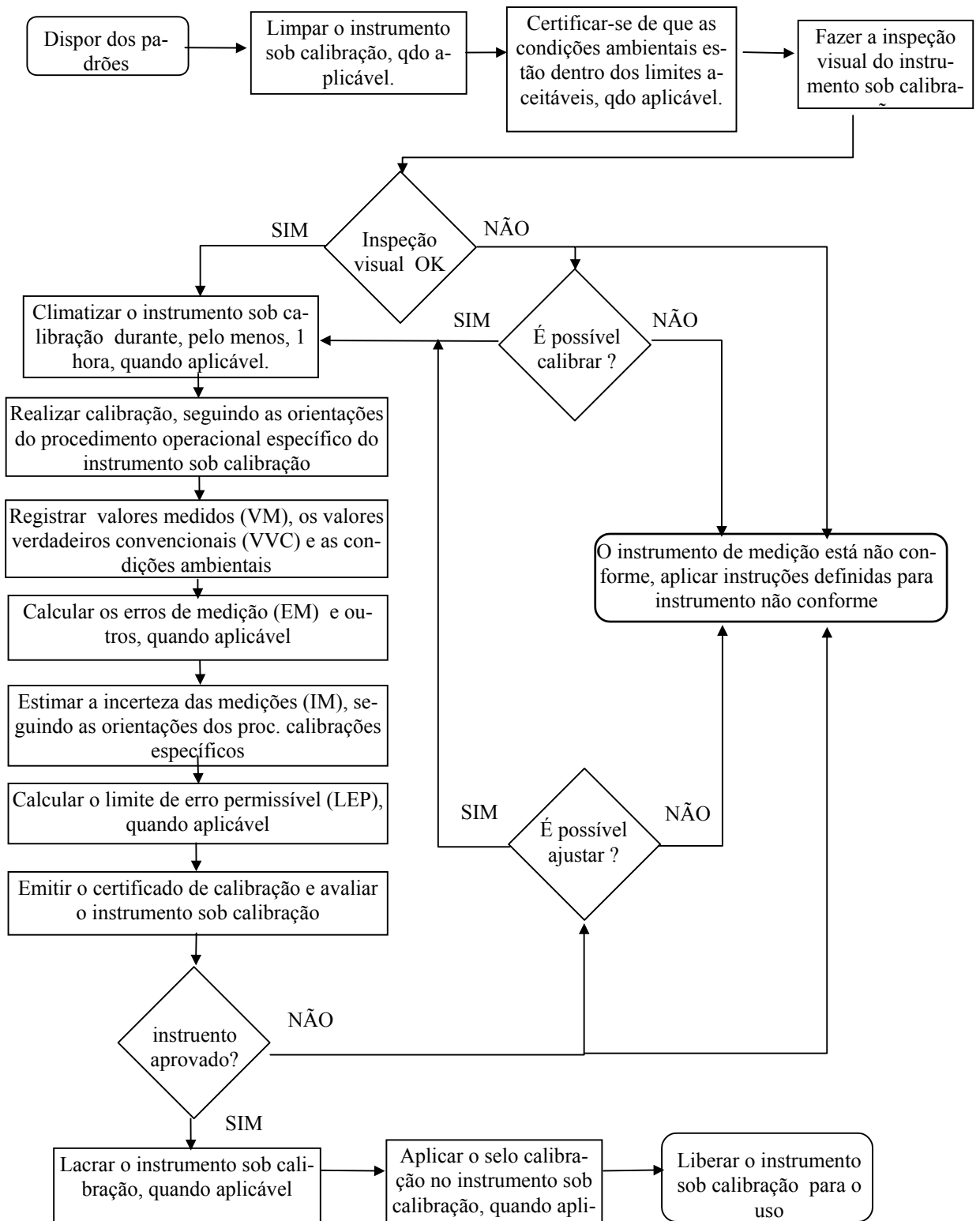
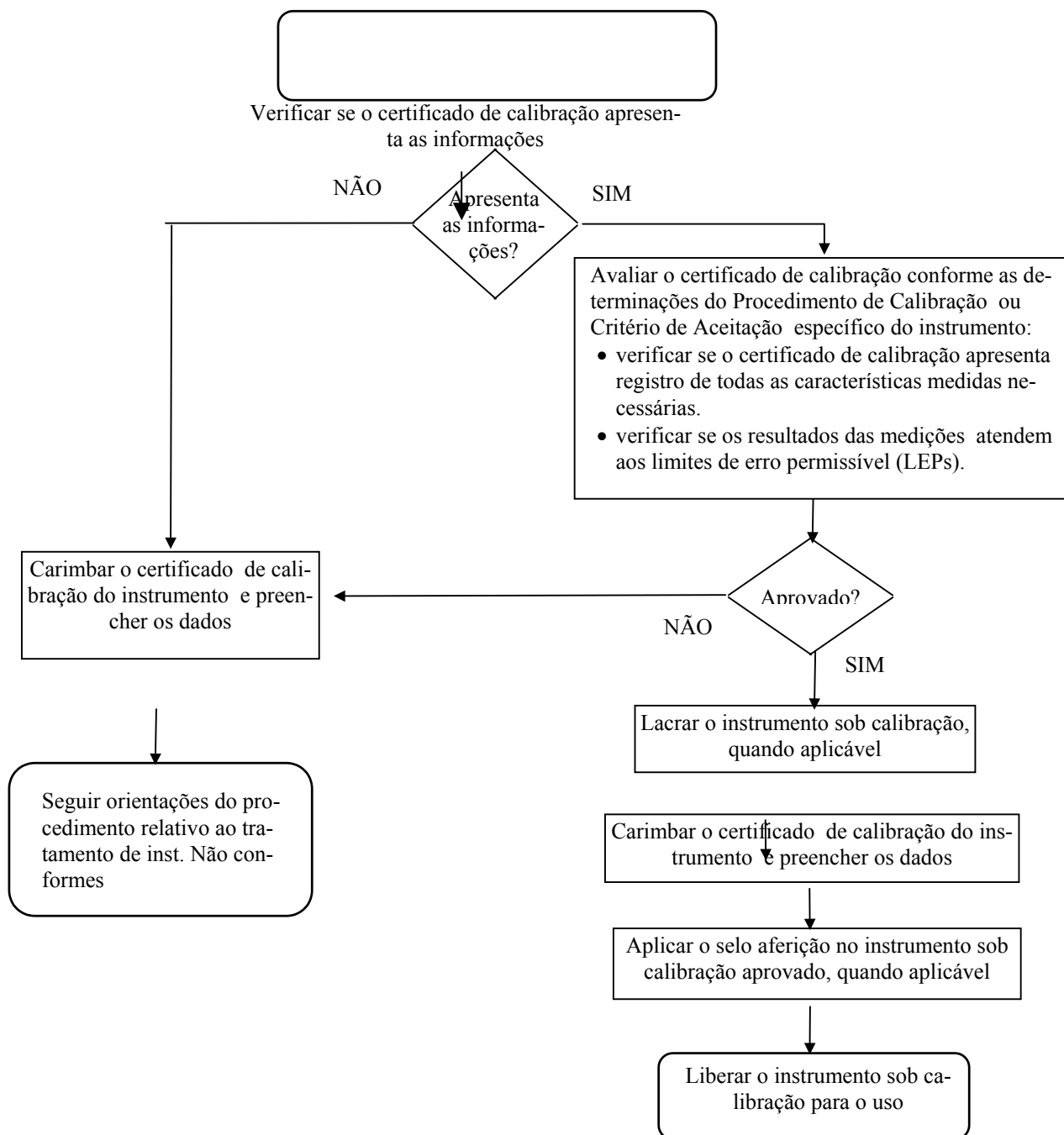


FIGURA 3.6 – Fluxograma da comprovação metrológica externa - Stihl





### 3.17. TRATAMENTO PARA NÃO CONFORMIDADE EM EQUIPAMENTO DE INSPEÇÃO, MEDIÇÃO E ENSAIOS

Conforme descrito no texto da norma ISO 9001 deve-se estabelecer ações a serem tomadas quando os resultados forem insatisfatórios. Isto inclui ações diretas sobre o equipamento ou padrão não conforme na calibração, mas também análise crítica do impacto do uso deste instrumento ou padrão não conforme na medição de produto e processos ou mesmo na calibração de outros instrumentos.

Na literatura foram verificadas as seguintes recomendações com relação a equipamentos não conformes [Bureau Veritas, 1994]:

- a) devem ser primeiramente identificados e segregados;
- b) depois, submetidos a ajuste / reparo, seguido de recalibração;
- c) se ajuste / reparo for impossível, disposição plausível deve ser dado ao equipamento, providenciando-se substituição;
- d) a frequência de confirmação (calibração) deve ser reavaliada e, se alterada, documentada;
- e) o ciclo das ações corretivas deve ser acionado para que as causas sejam levantadas e soluções implementadas para prevenir a reincidência de equipamentos não-conformes como resultado das mesmas causas.

Ainda assim, nenhuma referência é feita com relação ao impacto sobre produtos e processos medidos e liberados com um instrumento não conforme ou instrumentos de medição calibrados com padrões não conformes. A análise crítica deste impacto foi incluída no Procedimento Operacional de Tratamento para Não Conformidade em Equipamento de Inspeção, Medição e Ensaios.

Na Stihl, um instrumento de medição é considerado não conforme quando enquadrar-se em uma das situações descritas na fig. 3.7 – Tipos de Não Conformidade em Instrumento de Medição.

Código	Tipo de Não Conformidade
1	Fora de calibração
2	Sem identificação
3	Com selo de calibração vencido
4	Com falta de itens no relatório de calibração (interno)
5	Com falta de itens no certificado de calibração (externo)
6	Com lacre violado
7	Com alguma avaria que visualmente comprometa seu funcionamento, como por exemplo: <ul style="list-style-type: none"> <li>• traços de divisão de escala apagados;</li> <li>• vidro do mostrador sujo, trincado ou solto;</li> <li>• teclas ou botões faltantes ou soltos;</li> <li>• deformações ou oxidação excessiva em instrumentos de medida materializada;</li> <li>• folgas excessivas;</li> <li>• lâmpadas ou “leds” indicativos queimados;</li> <li>• etc.</li> </ul>
8	Outros, como por exemplo: <ul style="list-style-type: none"> <li>• instrumento em localização diferente da cadastrada;</li> <li>• não localizado o instrumento;</li> <li>• etc.</li> </ul>

FIGURA 3.7 - Tipos de não conformidades em instrumento de medição - Stihl

As orientações para as disposições (que devem ser feitas) e para as ações corretivas e/ou preventivas (que podem ser feitas) aplicáveis a não conformidades ocorridas em instrumentos de medição estão apresentadas na fig. 3.8 – Disposições e Ações Corretivas Aplicáveis ao Instrumento de Medição Não Conforme.

Não Conformidade		Disposição	Ação Corretiva (Sugestões)
Código	Tipo		
1	Fora de Calibração	<p><b>Ajuste</b></p> <p>Buscar com os recursos disponíveis um melhor ajuste para o instrumento e realizar a calibração.</p> <p><b>Manutenção</b></p> <p>Se o ajuste não resolver ou for impossível, providenciar a manutenção e depois, realizar a calibração.</p> <p><b>Segregação</b></p> <p>Se mesmo com ajuste e manutenção, o limite de erro permissível for ultrapassado durante a calibração, o instrumento deve ser segregado.</p>	<p>Avaliar necessidade de :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• treinamento do usuário;</li> <li>• diminuição do intervalo de comprovação.</li> </ul>
2	Sem identificação	<p><b>Inclusão no sistema</b></p> <p>Identificar, cadastrar, calibrar e selar o instrumento.</p>	Identificar e eliminar a causa da ausência do instrumento no sistema.
3	Selo de calibração vencido	<p><b>Calibração</b></p> <p>Realizar a calibração do instrumento.</p>	<p>Verificar causas da não calibração do instrumento.</p> <p>Conscientizar os usuários através de treinamento no sentido de observar o vencimento do selo de calibração.</p>
4	Falta de itens no relatório de calibração (interno)	<p><b>Correção do relatório de calibração</b></p> <p>Verificar se existe a possibilidade de completar ou corrigir os dados faltantes.</p> <p><b>Recalibração</b></p> <p>Se o item faltante for relativo às características medidas, data de calibração ou à identificação do padrão utilizado, o instrumento deve ser recalibrado.</p>	Reciclar o treinamento do metrologista / instrumentista que executa as calibrações.
5	Falta de itens no certificado de calibração (externo)	<p><b>Correção do certificado de calibração</b></p> <p>Verificar se o fornecedor dispõe dos dados faltantes e se existe a possibilidade de completar o certificado.</p> <p><b>Recalibração</b></p> <p>Se o item faltante for relativo às características medidas ou a rastreabilidade dos padrões e o fornecedor não dispor desta informação, o instrumento deve ser recalibrado.</p>	Enviar o critério de aceitação do instrumento e dos certificados de calibração para o fornecedor, antes da execução do serviço.

Não Conformidade		Disposição	Ação Corretiva (Sugestões)
Código	Tipo		
6	Lacre violado	<b>Calibração</b> Realizar a calibração do instrumento.	Treinar usuário para o manuseio do instrumento.
7	Avaria que comprometa o funcionamento	<b>Manutenção</b> Providenciar a manutenção do instrumento e depois, realizar a calibração. <b>Segregação</b> Se não for possível recuperar o instrumento, deve-se Segregá-lo.	Treinar usuário para o manuseio do instrumento.
8	Outros	<b>Calibração</b> Atualizar cadastro ou recolocar instrumento na localização adequada.	Treinar usuário para não movimentar instrumento sem comunicar executante da calibração; Treinar executante da calibração para registrar todas as movimentações.

FIGURA 3.8 – Disposições e ações corretivas aplicáveis ao instrumento de medição não conforme - Stihl

Toda não conformidade detectada nos instrumentos de medição deve ser registrada no Relatório de Não Conformidades em Equipamentos de Inspeção, Medição e Ensaio pelo responsável pela confirmação metrológica do instrumento.

Sempre que a razão da não conformidade for instrumento “fora de calibração” uma análise crítica do impacto do uso deste instrumento sobre produtos e/ou processos com ele liberados deve ser efetuada por um Engenheiro da Qualidade e a disposição a ser dada a estes produtos deve ser estabelecida. O registro desta análise crítica deve ser efetuado no verso do relatório de calibração ou certificado de calibração e quando relevante, uma “Requisição de Ação Corretiva - RAC” deve ser emitida. Nesta RAC devem ser registradas todas ações de contenção aplicadas sobre os produtos e processo e todas as ações corretivas a serem executadas com respectivos responsáveis e prazos.

Com relação ao selo de calibração, mesmo não sendo obrigatório o uso do mesmo, na fase inicial de implantação do sistema de confirmação metrológica, se reforçou muito a importância do mesmo como um mecanismo que permite que o usuário auxilie no controle das calibrações.

Mensalmente, uma análise das principais não conformidades do sistema de confirmação metrológica é efetuada pelo responsável do setor “Metrologia”. Estas informações são apresentadas sob a forma de indicadores da qualidade e pode-se verificar o atendimento das metas e pontos a melhorar.

### 3.18. SOFTWARE PARA CONTROLE DOS INSTRUMENTOS DE MEDIÇÃO

O software desenvolvido CIN, além do controle da movimentação e inventário dos instrumentos de medição já descrito anteriormente, permite o cadastro dos valores medidos em cada calibração, o cálculo da incerteza da medição e a apresentação do status do instrumento de medição em relação a um critério de aceitação preestabelecido.

No entanto, o uso deste módulo disponível no CIN não se mostrou prático em relação ao uso de planilhas elaboradas no Excell – Windows. Atualmente, software novos disponíveis no mercado, são bem mais flexíveis e completos e certamente atendem a estas necessidades.

### 3.19. TREINAMENTO OPERACIONAL

Concluindo a etapa de planejamento e execução, foram efetuados treinamentos operacionais para todos usuários dos instrumentos de medição e treinamentos e discussões com os responsáveis pela seleção, aquisição e desativação dos instrumentos de medição.

O significado do selo, do código gravado no instrumento, os cuidados no manuseio, a responsabilidade pela movimentação foi divulgada em um dos capítulos de um pequeno livro distribuído a todos os funcionários sobre a ISO 9001.

Reforçando este treinamento, uma explanação mais detalhada era efetuada mensalmente a todos usuários dos instrumentos, aproveitando reuniões periódicas dos mesmos com as chefias.

### 3.20. AVALIAÇÃO SISTEMÁTICA DO SISTEMA DE CONFIRMAÇÃO METROLÓGICA

Concluída a implementação do sistema de confirmação metrológica, uma avaliação permanente do mesmo é efetuada sistematicamente. Esta avaliação se dá por auditorias internas e análise dos indicadores de desempenho.

Nas auditorias internas, mesmo imediatamente após a implementação do sistema de confirmação metrológica, não ocorreram não conformidades consideradas “maiores” (uma não conformidade “maior” pode significar que o sistema formalizado não está implantado ou não é executado em diversas áreas ou setores da empresa ou se implantado e executado, não

atende os requisitos da norma ISO 9001). Apenas não conformidades consideradas “menores” (um caso isolado de não atendimento ao sistema) foram relatadas nas auditorias internas.

Estas não conformidades “menores” são do tipo: um instrumento em um universo de vários auditados com localização diferente da cadastrada no CIN ou um instrumento com calibração vencida em uso ou um instrumento não localizado.

Todas as não conformidades são relatadas em documentos e exigem a tomada de ações corretivas.

Não conformidades “potenciais” também são relatadas para que ações preventivas aplicáveis sejam definidas.

Deste modo, pode-se dizer que a implantação do sistema de confirmação metrológica na Stihl atingiu os objetivos estabelecidos e ocorreu com sucesso. Como resultado final deste trabalho, na auditoria de certificação e nas auditorias de manutenção efetuadas pelo organismo certificador nenhuma não conformidade foi constada.

### 3.21. BENEFÍCIOS OBTIDOS COM A IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA DE CONFIRMAÇÃO METROLÓGICA DA STIHL

Os benefícios obtidos com a introdução de um sistema de confirmação metrológica, atendendo os requisitos estabelecidos nas normas ISO da série 9000, podem ser subdivididos em quantitativos e qualitativos.

#### 3.21.1. Ganhos quantitativos

A Stihl adotou os seguintes indicadores de desempenho estabelecidos para monitorar o sistema de confirmação metrológica:

- custos externos com calibração (fig. 3.9);
- percentual de instrumentos não calibrados em relação ao programado;
- pareto dos motivos do atraso das calibrações em atraso (fig. 3.10);
- percentual de não conformidades verificadas nos instrumentos calibrados;
- pareto dos tipos de não conformidades verificadas nas calibrações (fig. 3.11).

O indicador “custo com calibração externa” teve redução significativa sem que se aumentassem as calibrações executadas internamente ou reduzisse o volume de produção anual (menos inspeções).

Todos os indicadores possuem metas estabelecidas, revisadas anualmente. Estes indicadores de desempenho permanecem sendo monitorados desde a implementação do sistema de confirmação metrológica em 1996 até hoje. Não sendo atingidas as metas, ou verificando-se alguma tendência negativa com relação aos valores obtidos, um plano de ações corretivas é estabelecido e implementado de modo a eliminar as causas dos problemas.

No primeiro ano, durante a implantação do sistema de confirmação metrológica, o intervalo entre as calibrações foi definido em favor da segurança. Já a partir do segundo ciclo de calibrações, foi possível aumentar gradativamente estes intervalos sem comprometimento da qualidade do sistema de confirmação metrológica.

Outro fator com contribuição considerável para a redução dos custos com calibração externa foi a análise crítica da real necessidade de certos instrumentos permanecerem disponíveis no posto de trabalho, mesmo quando não estão em uso. Desta análise, ações como a retirada do instrumento do posto de trabalho após o uso e o armazenamento do mesmo em local mais apropriado permitiram prolongar a vida útil dos mesmos (exemplo: menos oxidação dos instrumentos e padrões).

Também foi constatada a existência de instrumentos duplos, com as mesmas características, disponíveis em um mesmo posto de trabalho ou célula. A retirada do instrumento redundante do posto ou célula, deslocando-o para o almoxarifado de instrumentos com o lacre de cera após a calibração comprovou que em muitos casos não havia a necessidade desta duplicidade e reduziu o volume de calibrações efetuadas em cada ciclo.

A aquisição de instrumentos mais flexíveis e versáteis também gerou a substituição de vários instrumentos.

As atividades de calibração externa permanecem sendo executadas com o mesmo fornecedor embora periodicamente efetua-se uma avaliação da situação geral de prestadores de serviços de calibração no mercado. Este trabalho de longo prazo favorece a implantação de ações de melhoria do sistema.

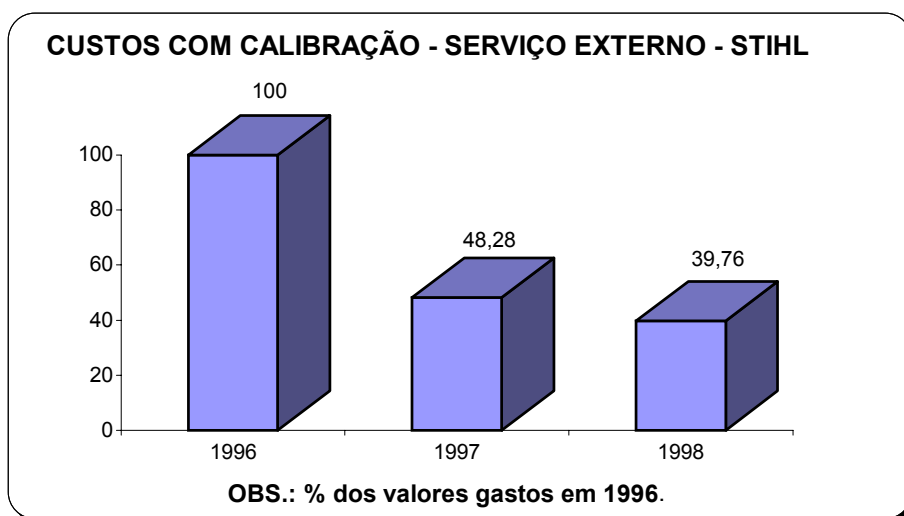


FIGURA 3.9 – Custos com calibração externa - Stihl

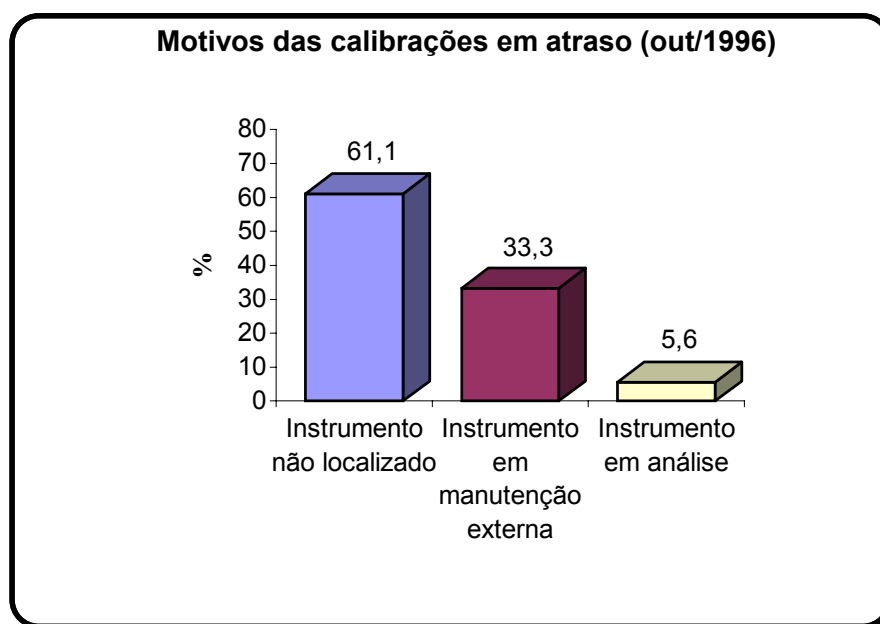


FIGURA 3.10 – Motivos do não cumprimento das calibrações planejadas - Stihl



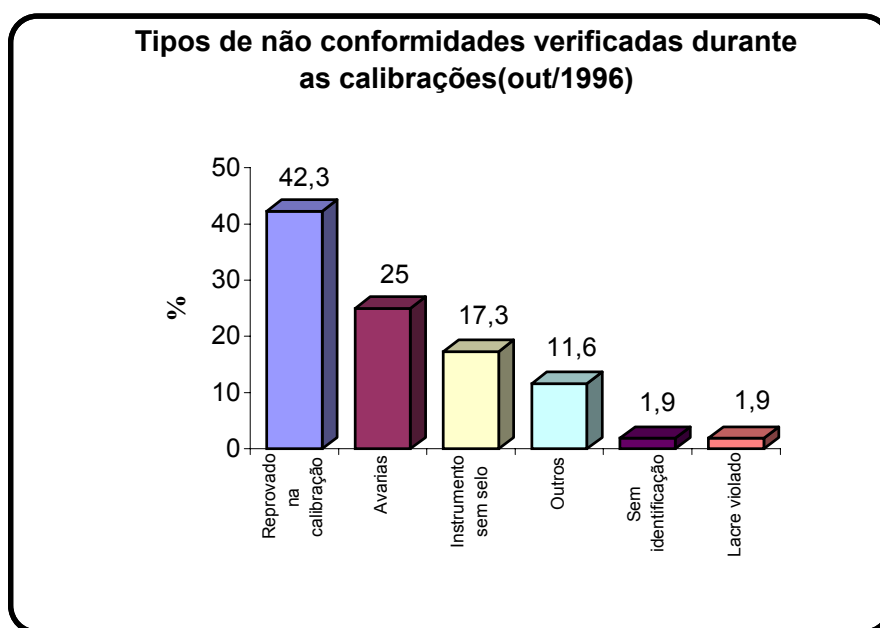


FIGURA 3.11 – Tipos de não-conformidades verificadas nas calibrações - Stihl

### 3.21.2. Ganhos qualitativos

Os benefícios, não mensuráveis, não devem-se somente a implantação do sistema de confirmação metrológica, mas a estruturação geral de todo o sistema da qualidade no qual o controle dos equipamentos de inspeção, medição e ensaios está inserido. O que mais se destaca é a sistematização das rotinas e a constante análise crítica e melhoria das mesmas. O comprometimento da alta direção e o envolvimento de todas as funções na execução dos planos foi fator de sucesso para este projeto.

A confiabilidade com relação ao resultado das medições obteve um grande incremento, principalmente no que se refere a dados e relatórios fornecidos para as demais unidades do grupo Stihl. Atualmente não há mais casos de questionamentos dos resultados apresentados.

A disseminação de conceitos básicos de metrologia para diversas funções da empresa também contribuíram para a melhoria geral do sistema da qualidade.

A metodologia de trabalho com o fornecedor de serviços de calibração, onde a definição de responsabilidades e objetivos é muito clara, também trouxe benefícios no que se refere a troca de experiências. O fornecedor é especialista em metrologia, trazendo e divulgando para a Stihl conhecimentos técnicos fundamentais para a definição do sistema de confirmação metrológica.

## **CAPÍTULO 4 – PROPOSTA PARA ESTRUTURAÇÃO DE UM SISTEMA DE CONFIRMAÇÃO METROLÓGICA**

A proposta apresentada para a estruturação de um sistema de confirmação metrológica que atenda pelo menos os requisitos das normas ISO da série 9000 mostra as considerações gerais e básicas que devem ser avaliadas.

Para que uma empresa implemente adequadamente um sistema de confirmação metrológica eficaz e enxuto é necessária uma definição completa dos objetivos que a mesma deseja com relação a este item. Um cronograma detalhado com responsabilidades, prazos e recursos deve ser estabelecido uma vez que a estruturação completa de um sistema de confirmação metrológica é um projeto complexo, demorado e que pode envolver elevados custos.

Todo projeto, para atingir os objetivos a que se propõe, deve ter um bom planejamento, seguindo-se as etapas de execução, verificação e definição de ações de correção e melhoria contínua. A estruturação de um sistema de confirmação metrológica deve ter, no mínimo, estas etapas. A fig. 4.1 – Estruturação de um Sistema de Confirmação Metrológica ilustra a correlação entre cada etapa. Devem ainda ser consideradas as características gerais da empresa onde será implementado o sistema de confirmação metrológica.

Para um sistema produtivo seriado com grande lotes e pouca variedade de itens os instrumentos podem ser dedicados e os critérios de seleção destes instrumentos considera diretamente a aplicação (intervalo de tolerância) do mesmo. Para um empresa com produção sob encomenda os instrumentos devem atender os requisitos mais apertados de tolerâncias que possam vir a ser necessários, mesmo que na maioria das vezes o uso do mesmo não requeira um instrumento selecionado de modo tão rigoroso.

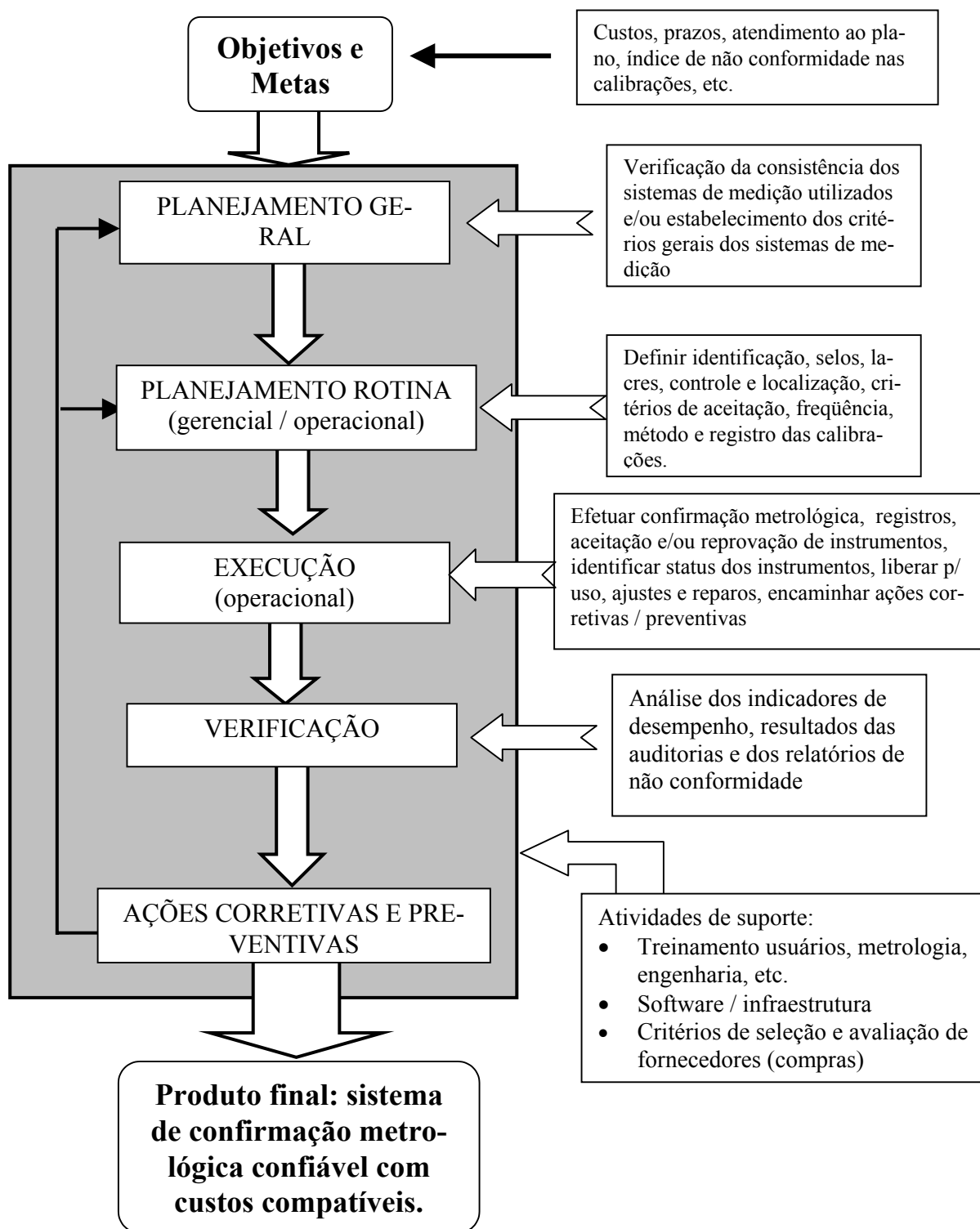


FIGURA 4.1 – Estruturação geral do Sistema de Confirmação Metrológica

O uso de serviços de calibração ou do gerenciamento do sistema de confirmação metrológica ser efetuado por terceiros deve ser avaliado. Empresas com poucos instrumentos, que em geral não possuem uma estrutura de metrologia já implantada, provavelmente contratarão serviços de calibração de terceiros, uma vez que não há recursos disponíveis para serem qualificados e treinados para estas atividades. Empresas maiores, com uma estrutura já existente, devem efetuar uma análise crítica considerando a relação custo x benefício e requisitos necessários.

Segundo pesquisa efetuada pela Fundação Certi (1997) junto a 49 empresas da região sul do país do segmento metal-mecânico de todos os portes e junto a 25 empresas prestadoras de serviços metrológicos é consenso que a terceirização de serviços metrológicos é sempre possível para uma parcela das atividades de calibração de instrumentos e padrões, mas sempre continuará existindo uma atividade de controle e gestão que tem que continuar a ser efetuada dentro da empresa.

#### 4.1. ETAPA DE PLANEJAMENTO GERAL

O atendimento do plano da qualidade definido para cada produto / etapa do processo somente pode ser garantido com o uso de instrumentos e meios de medição adequados. Esta é a principal contribuição do sistema de confirmação metrológica para o sistema da qualidade.

O fluxograma da fig. 4.2 – Etapas de Planejamento Geral do Sistema de Confirmação Metrológica mostra as etapas principais que devem ser definidas e executadas na primeira fase de implantação de um sistema metrológico. Parte-se da premissa que a empresa já possui instrumentos de medição sendo utilizados para verificação de características da qualidade. Caso não seja esta a realidade e, por exemplo, trata-se de uma empresa ou linha de produtos nova em fase de implantação, adaptações neste fluxograma devem ser efetuadas.

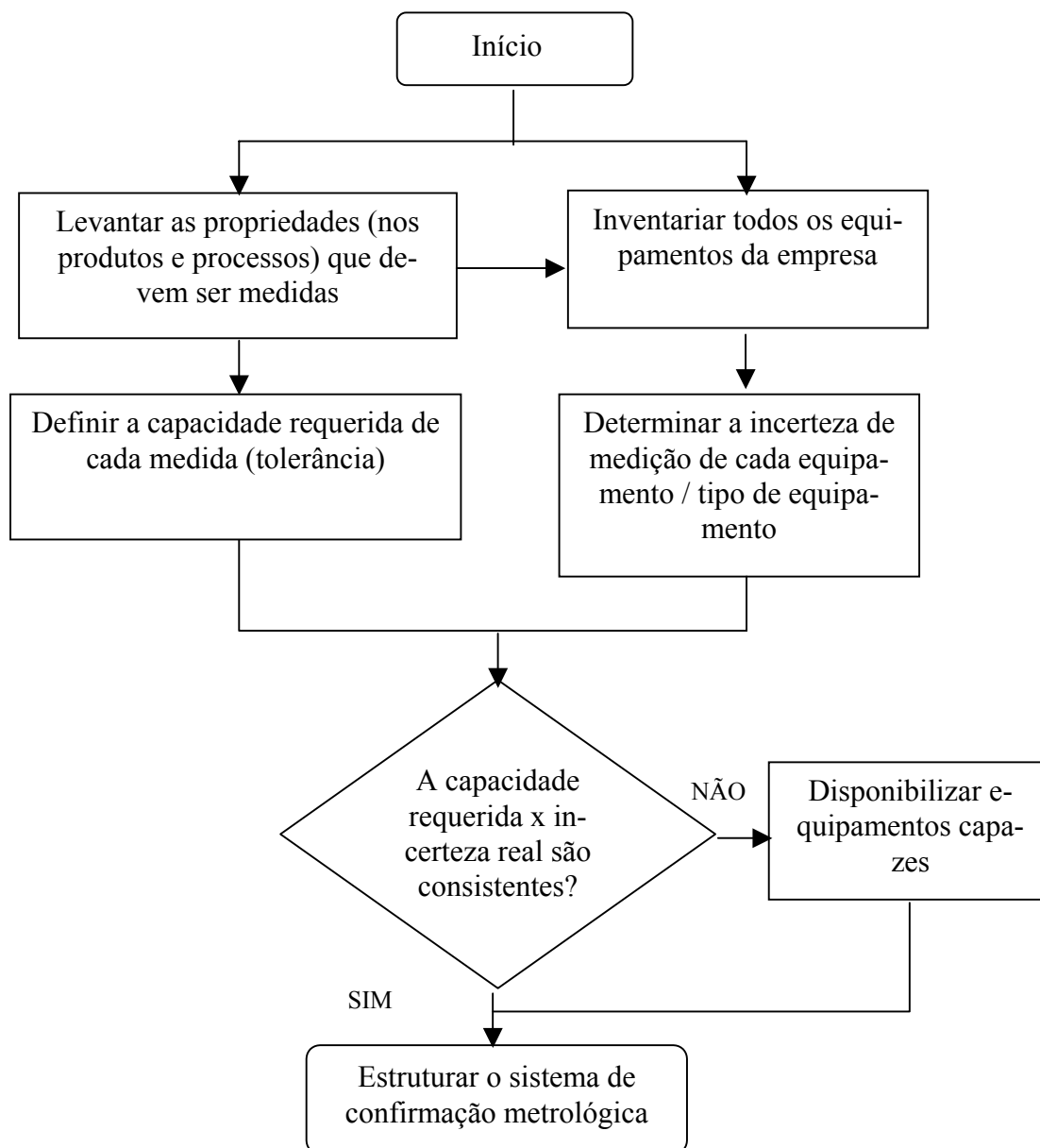


FIGURA 4.2 – Fluxograma das etapas de planejamento geral do Sistema de Confirmação Metrológica

A verificação das propriedades que devem ser medidas conforme estabelecido no plano da qualidade, a respectiva capacidade requerida de cada medição (intervalo de tolerância do produto) confrontada com capacidade dos instrumentos existentes (exatidão, precisão e incerteza de medição) é frequentemente negligenciada durante a implantação do item 4.11 – Equipamentos de Inspeção e Ensaio da norma ISO 9001.

Em uma interpretação mais detalhada da norma ISO 9001 observa-se no item 4.11 – Equipamentos de Inspeção, Medição e Ensaio um foco bastante grande na calibração como

sendo o ponto vital do controle dos equipamentos de inspeção, medição e ensaios. A norma ISO é totalmente alheia sobre definições da incerteza dos resultados das medições e suas contribuições. A incerteza é somente mencionada mas nenhum sistema ou procedimento é referenciado.

Já o módulo MSA (Avaliação dos Sistemas de Medição) da norma QS 9000 no que se refere ao estudo de R&R (repetibilidade e reprodutibilidade) exige uma avaliação da capacidade de medição em relação ao intervalo de tolerância do produto que se deseja medir. Este é apenas mais um ponto que deve ser considerado pela empresa como um possível complemento aos requisitos estabelecidos nas normas ISO da série 9000.

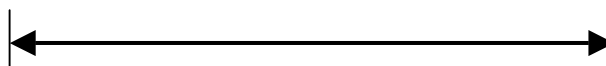
A comparação da capacidade requerida x incerteza real mostra o grau de adequação de um instrumento de medição, conforme ilustrado na fig. 4.3.

Ao se efetuar um levantamento detalhado do plano da qualidade, das capacidades requeridas de cada medição também nota-se a oportunidade de uma grande simplificação em “o que medir” e “como medir”. Essa oportunidade de melhorar o sistema passa despercebida quando essa etapa é suprimida e a empresa opta por já iniciar as calibrações de todos instrumentos de medição existentes sem análise crítica.

Operacionalmente no planejamento geral do sistema de confirmação metrológica deve-se definir o método de determinação da incerteza das medições a ser utilizado. É conveniente que este seja similar ao adotado por cliente e fornecedores ou, se possível, que tenha como referência o Guia para Expressão da Incerteza de Medição.

FIGURA 4.3 – Relação entre intervalo de tolerância do produto e incerteza da medição [CERTI, 1997]

**INTERVALO DE TOLERÂNCIA (PRODUTO)**



## **Reprovação**

Para verificar a consistência do sistema de confirmação metrológico existente na empresa, é preciso determinar a incerteza de medição de uma amostra de cada tipo de instrumento utilizado para cada aplicação. Caso ainda não exista uma área ou setor de metrologia bem estruturado, com padrões disponíveis e pessoal qualificado, é conveniente que estas calibra-



ções sejam efetuadas por empresas prestadoras de serviços de calibração, utilizando-se métodos de calibração definidos em normas (por exemplo, norma NBR 6670 – micrômetros externos com leitura em 0,01mm) e determinando-se a incerteza da medição conforme estabelecido pelo Guia para Expressão da Incerteza da Medição.

Deste modo, avalia-se o grau de consistência do sistema atual. Não havendo instrumentos de medição adequados para atender os requisitos estabelecidos para as verificações definidas no plano da qualidade deve-se primeiramente providenciar novos instrumentos ou meios de medição antes de prosseguir com a estruturação do sistema de confirmação metrológica.

Os critérios considerados para a verificação da consistência do sistema existente em uma empresa são a base para a seleção de novos instrumentos de inspeção e ensaios que se fizerem necessários. Estes critérios devem estar formalizados em procedimento de seleção dos instrumentos de medição.

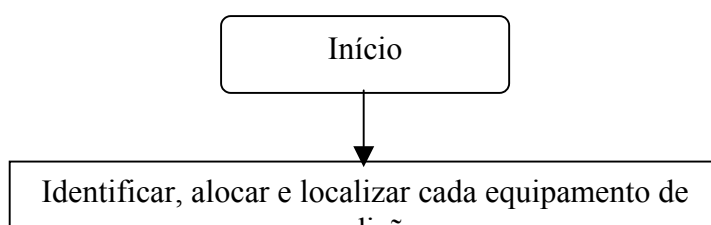
Também na etapa de planejamento geral do sistema de confirmação metrológica devem ser definidas as responsabilidades de cada função com atuação direta e indireta sobre o sistema de confirmação metrológica. Estas responsabilidades devem estar descritas em procedimento ou manual ou outro documento da empresa.

#### 4.2. ETAPA DE PLANEJAMENTO DAS ATIVIDADES DE ROTINA DO SISTEMA DE CONFIRMAÇÃO METROLÓGICA

Após verificação do grau de consistência do sistema de confirmação metrológico existente na empresa há necessidade de se estruturar e definir como devem funcionar as rotinas ligadas a identificação, controle de localização, critérios de aceitação, frequências de calibração, estabelecer métodos para as calibrações e os respectivos registros.

Essas definições de “como” o sistema deve funcionar necessitam estar documentadas em procedimentos da empresa.

O fluxograma da fig. 4.4 – Estruturação do Sistema de Confirmação Metrológica apresenta as etapas a serem seguidas nesta fase.





A descrição de cada etapa da estruturação do sistema de confirmação metrológica é detalhada a seguir.

A tarefa de identificar, alocar e localizar cada instrumento de medição necessita da definição do sistema de codificação a ser adotado e de como serão controladas as localizações e movimentações dos instrumentos. O uso de um software para controle e localização de instrumentos não pode ser desprezado, uma vez que, dependendo do volume de instrumentos, um sistema manual de controle seria inviável.

A definição dos critérios de aceitação para a confirmação metrológica de cada instrumento e padrão deve considerar o resultado obtido na calibração efetuada, bem como a capacidade de medição requerida para o instrumento (principalmente associada a resolução, exatidão ou precisão). Ambas verificações já devem ter sido executadas nas fases de planejamento geral do sistema de confirmação metrológica conforme fig. 4.2 – Fluxograma das Etapas de Planejamento Geral do Sistema de Confirmação Metrológica.

A definição da frequência de calibração a ser estabelecida para cada equipamento ou tipo de equipamento deve considerar a aplicação do mesmo. Uma metodologia para verificação periódica dos intervalos de calibração deve ser estabelecida e documentada, o que geralmente não existe de modo sistemático. Certamente, com o amadurecimento do sistema de confirmação metrológica (que inclui implementações de ações corretivas e preventivas, treinamento dos usuários, redefinição do tipo de instrumentos mais adequados para cada aplicação), os intervalos entre calibrações poderão ser aumentados na maioria dos casos.

A definição das condições ambientais, correções necessárias e métodos de manuseio, armazenamento e embalagem são relativamente simples de serem estabelecidas, dependendo basicamente do meio em que o instrumento é utilizado.

O uso do selo para indicar o status da calibração deve ser definido. Em algumas empresas não se usa mais o selo uma vez que estas conseguem garantir, via treinamento, que qualquer instrumento disponível para o usuário está em conformidade com todos os requisitos do sistema de confirmação metrológica. O uso do selo pode, portanto, ser utilizado em uma fase inicial e ser abolido após um determinado tempo de uso desde que todas as anomalias e não conformidades tenham sido eliminadas.

O uso de lacres e outros rótulos também só deve ser adotado se realmente trazer benefícios tais como não realizar nova calibração em instrumentos reservas cujo lacre não foi removido desde a calibração anterior. Caso contrário somente encarece o processo de controle dos instrumentos.

Deve ser definido o uso de serviços de empresas e laboratórios prestadores de serviços de calibração. Os instrumentos de medição podem ser enviados para o fornecedor de serviços de calibração ou este pode realizar a calibração na empresa contratante ou ainda a execução destas rotinas pode ser efetuadas pela própria empresa. No caso de contratação de empresa para serviços de confirmação metrológica deve ser consensados os métodos de calibração a serem utilizados e os respectivos registros. No caso de execução das calibrações internamente também devem ser definidos os métodos de calibração e registros.

No caso de se optar por contratação de empresas e laboratórios prestadores de serviços de calibração, o critério de seleção destes fornecedores deve ser estabelecido. Acompanhamento periódico, através de auditorias, visitas, análise de indicadores de desempenho necessita ser executado, considerando que este tipo de serviço propicia melhores resultados se realizado em parcerias com longa duração. Uma vez que ambos, contratante e contratado, ajustaram procedimentos e rotinas é um grande transtorno reiniciar novamente com outro parceiro. O mercado de serviços de calibração têm crescido muito e as opções de fornecedores com diversas características facilitam cada vez mais a seleção de empresas com as condições mais adequadas.

Os registros referentes as calibrações podem estar disponíveis em papel ou meio eletrônico. Esta última opção sempre é preferível desde que se garanta a confiabilidade do sistema de armazenamento dos dados. Vários softwares disponíveis no mercado utilizados para controlar a localização e movimentação dos instrumentos permitem arquivar dados relativos às calibrações, assim como determinar a incerteza de medição dos instrumentos uma vez cadastrada as características e metodologia de calibração (por exemplo, número de repetições de uma medição, pontos da escala, etc.) e o método de determinação da incerteza de medição.

A definição das atividades de rotina em um sistema de confirmação metrológica fica deste modo estabelecida.

#### 4.3. ETAPA DE EXECUÇÃO DA ROTINA DE CONFIRMAÇÃO METROLÓGICA

A execução da rotina de confirmação metrológica consiste em cumprir os procedimentos estabelecidos durante a estruturação do sistema.

As rotinas de confirmação metrológicas, que ocorrem a nível operacional (no setor “Metrologia” ou por este administrada), podem ser visualizadas na fig. 4.5 – Fluxograma de Execução das Rotinas de Confirmação Metrológica.

Uma consideração importante refere-se a instrumento reprovado na confirmação metrológica. Sendo este encaminhado para reparo ou ajuste, necessariamente deve haver uma nova calibração. Do mesmo modo, instrumentos novos devem ser calibrados antes de serem colocados a disposição dos usuários. Pode-se adquirir instrumentos calibrados diretamente pelo fornecedor mas, neste caso, os resultados desta calibração devem ser comparados com os critérios de aceitação para que se possa liberar ou não o instrumento para os usuários.

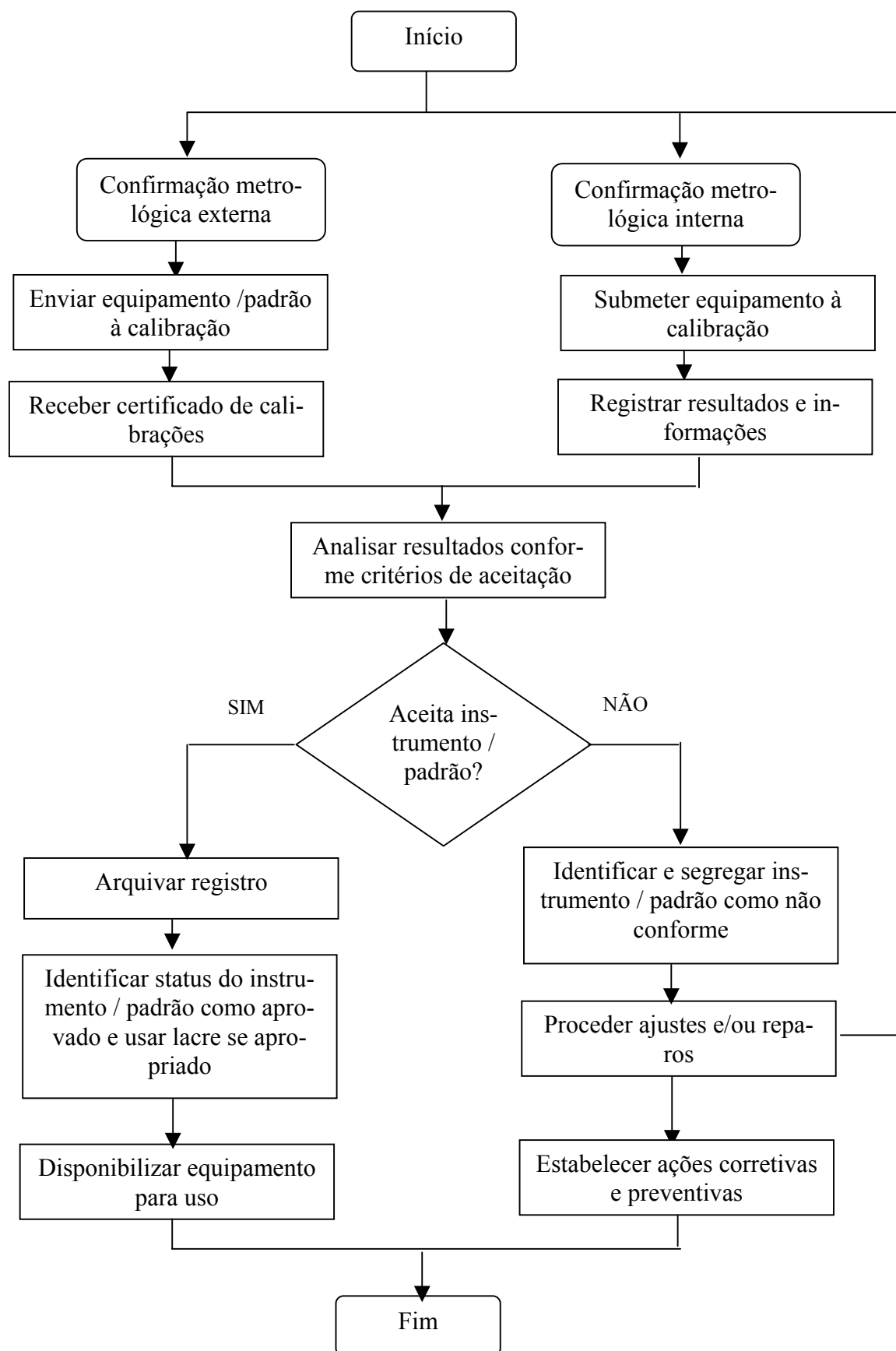


FIGURA 4.5 – Fluxograma para execução das rotinas de confirmação metroológica

#### 4.4. ETAPA DE VERIFICAÇÃO DO SISTEMA DE CONFIRMAÇÃO METROLÓGICA E IMPLANTAÇÃO DE AÇÕES CORRETIVAS E PREVENTIVAS

Verificações periódicas para avaliar o desempenho do sistema de confirmação metrológica devem ser efetuadas por meio da análise de indicadores de desempenho e com base no resultado de auditorias internas e externa. Estas análises devem propiciar o estabelecimento de ações preventivas e corretivas.

Outra origem das ações corretivas é a presença de não conformidades detectadas nos instrumentos de medição e padrões durante a confirmação metrológica ou oriunda de reclamação de clientes.

A fig. 4.6 – Fluxograma para o Tratamento Dado aos Instrumentos de Medição Não Conformes e a fig. 4.7 – Fluxograma para Verificação do Sistema de Confirmação Metrológica e as Respectivas Ações Corretivas e Preventivas detalham os passos necessários para fechar o ciclo de implementação de um sistema de confirmação metrológica.

A grande pressão existente para redução dos custos associados à confirmação metrológica pode ser minimizada por avaliações periódicas do sistema. A análise crítica contínua ajuda a alavancar diversas ações de otimização e simplificação do sistema.

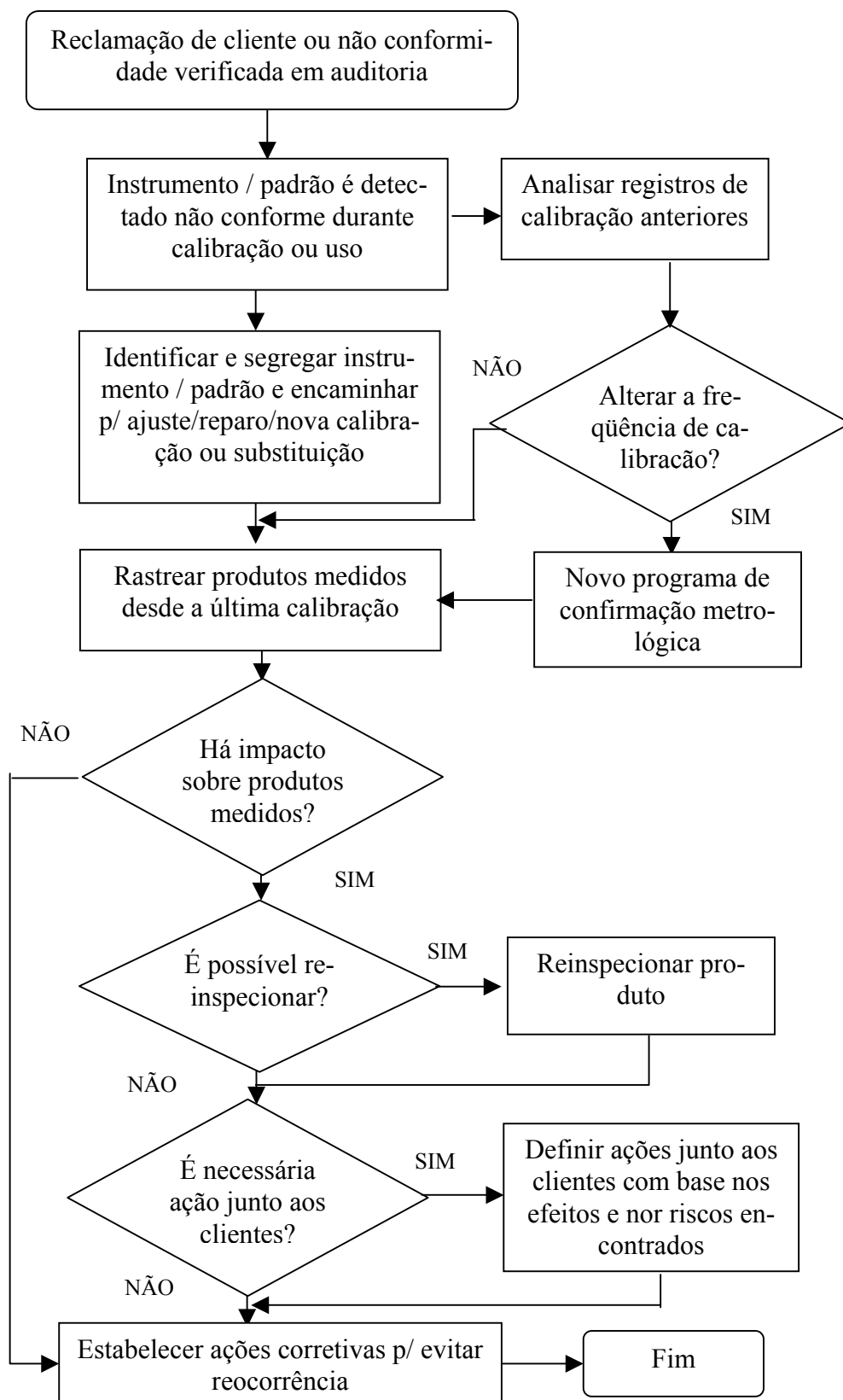


FIGURA 4.6 – Fluxograma para tratamento dado aos instrumentos de medição não conformes



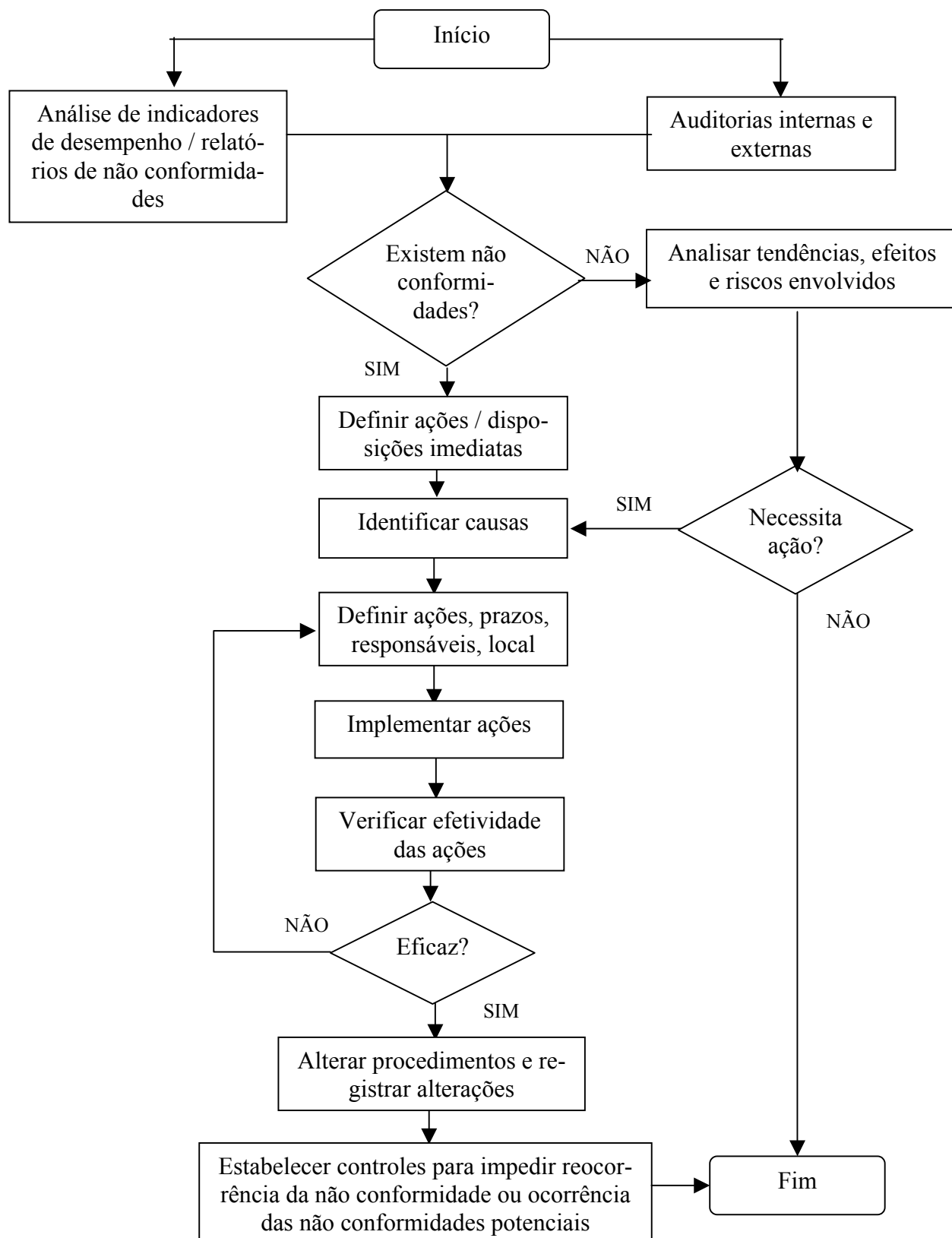


FIGURA 4.7 – Fluxograma para verificação do Sistema de Confirmação Metroológica e as respectivas ações corretivas e preventivas

Após definida e implantada a metodologia para o tratamento a ser dado aos instrumentos não conformes e as ações corretivas e preventivas necessárias ao aprimoramento do sistema de confirmação metrológica, conclui-se a estruturação e implementação do mesmo.

Os indicadores de desempenho, que indicam o grau de atingimento aos objetivos definidos, devem ser estabelecidos e monitorados. Os resultados que os mesmos apresentam em relação as metas indicam os pontos a serem corrigidos ou revisados. Quando necessário, um plano de ações precisa ser definido.

Salienta-se a importância e o comprometimento de outras áreas da empresa como treinamento, infra-estrutura (software, instalações), engenharia (revisão dos planos da qualidade) sem o qual não será possível obter o máximo rendimento do sistema de confirmação metrológica ou a agilidade durante a fase de estruturação e implementação do mesmo.

Os métodos de seleção de instrumentos, formas de codificação, tipos e conteúdo dos registros de calibração, método de determinação da incerteza de medição e demais informações de ordem prática estão disponíveis em literatura ou obtém-se a partir do contato com empresas que já possuem um sistema implantado. A dificuldade maior é definir as etapas e tarefas que realmente são necessárias e com que profundidade. A literatura é escassa neste sentido. Os fluxogramas e explicações apresentadas propõem um roteiro para implementar um sistema de confirmação metrológica que possa ser melhorado e aprimorado continuamente, lembrando sempre que a confirmação metrológica é uma atividade de apoio nas indústrias e não a razão de ser da mesma. Para tanto, a implementação e a operacionalização não podem causar transtornos à produção, que é seu principal cliente.

## CAPÍTULO 5 – CONCLUSÕES FINAIS

Aprimorar o desempenho de um Sistema da Qualidade requer, entre diversas atividades, a verificação do grau de conformidade dos itens produzidos ao longo do processo de manufatura. Este processo se dá por meio de instrumentos que necessitam garantir a confiabilidade das informações sobre o produto em relação as especificações. A metrologia industrial cresce de importância neste contexto, podendo ser considerada a base técnica da qualidade.

Os aspectos básicos da estrutura necessária para a implementação e o gerenciamento de um sistema de confirmação metrológica industrial, que atenda no mínimo os requisitos das normas ISO da série 9000, foram os objetivos estabelecidos para este trabalho.

Na revisão bibliográfica efetuada constatou-se que as normas ISO da série 9000 são totalmente alheias sobre definições da incerteza das medições e suas contribuições. Incerteza das medições é somente mencionado, mas nenhum sistema ou procedimento é referenciado. Isto propicia que empresas e laboratórios apresentem resultados de medição e incertezas distintos e deixe confusa a equipe responsável por estruturar e definir o tipo de confirmação metrológica a adotar. Atualmente, o Guia para Determinação da Incerteza de Medição, 1997 é a norma que fez surgir a discussão em torno dos métodos de determinação da incerteza até então usados tentando buscar sua uniformização neste ponto.

Nota-se, também, que outros critérios como a seleção dos instrumentos de medição adequada a sua aplicação não tem regras claras e bem definidas, sendo em muitos casos, o método adotado na indústria insuficiente para garantir a devida confiabilidade ao resultado da medição. Por exemplo, um instrumento pode a nível de resolução estar adequado ao intervalo de tolerância para o qual será utilizado. No entanto, devido a características construtivas do mesmo ou a aplicação deste, pode apresentar uma incerteza de medição bem maior que a própria resolução do instrumentos, não garantindo deste modo que a medição efetuada seja adequada. Na literatura não há consenso definido quanto aos critérios de seleção dos equipamentos de inspeção, medição e ensaios, onde ora é sugerido que a relação precisão requerida x custo seja avaliada, ora a relação exatidão x custo seja considerada.

O Guia para Expressão da Incerteza de Medição passa a tratar o conceito de incerteza como atributo quantificável, com base em distribuições e modelos matemáticos. Busca atribuir uniformidade e estabelece as bases para se discutir a intercomparabilidade de processos e métodos de medição.

O chamado “Método Ortodoxo” ainda é o mais difundido nos ambientes industriais, pela simplicidade e facilidade de uso. Ainda não há consenso entre metrologistas do método mais adequado para cada aplicação (se o Método Ortodoxo ou o uso do “Guia”).

O estudo de caso efetuado refere-se a implementação de um sistema de confirmação metrológica na empresa Andreas Stihl Moto-Serras Ltda. As metas foram estabelecidas claramente e com prazo definidos. O planejamento das atividades foi considerada atividade primordial, quando todos os itens foram definidos e quantificados. Um equilíbrio entre a situação ideal e o possível de ser executado no prazo desejado e com os recursos disponíveis teve que ser estabelecido, principalmente no que se refere aos critérios de seleção dos equipamentos de inspeção, medição e ensaios e ao método de determinação da incerteza de medição. A dificuldade vivenciada foi a falta de critérios já consagrados que pudessem balizar uma empresa durante a implementação de um sistema de confirmação metrológica.

Os resultados obtidos após a implantação de um sistema de confirmação metrológica foram de uma grande contribuição para a confiabilidade geral de todos os dados relativos ao Sistema da Qualidade da Stihl. Após um período de aprendizado e amadurecimento o sistema de confirmação metrológica atingiu o equilíbrio e atualmente está em constante análise crítica e melhorias. A visualização da evolução destes resultados pode ser verificada pela análise dos indicadores de desempenho bem como pelo resultado das auditorias internas.

Na proposta para estruturação de um sistema de confirmação metrológica reforça-se a importância do planejamento bem estruturado para então seguirem-se as etapas de execução, verificação, correções e melhorias no sistema. Não se pode deixar de salientar a importância do embasamento teórico necessário à equipe responsável por este processo. Conceitos básicos devem ser entendidos plenamente para que as decisões sejam fundamentadas e ponderadas considerando-se perdas e riscos aos quais o sistema de confirmação metrológica está sujeito. Medir os resultados é vital para se monitorar o desempenho do sistema.

Por fim, um ponto a ser considerado para a estruturação e implementação do sistema de confirmação metrológica é a contratação de terceiros para a realização total ou parcial das tarefas relativas a confirmação metrológica. Essa questão deve ser respondida levando em consideração a estratégia geral da empresa, custos envolvidos e a qualificação desejada ou requerida.

O MSA (Avaliação do Sistema de Medição) da norma QS 9000 introduziu requisitos complementares aos requisitos da ISO e que devem ser avaliados ao se estruturar um sistema de confirmação metrológica que vise incrementar o Sistema da Qualidade da empresa.

Como proposta para trabalhos futuros, sugere-se adaptar o modelo apresentado para outros tipos de empresas que utilizam instrumentos de medição, inspeção e ensaios para avaliar grandezas relacionadas a processos químicos, metalúrgicos, elétricos, médicos, etc.

Também, devido a sua importância, um estudo comparando resultados da incerteza da medição obtido determinando a mesma pelo Guia para Expressão da Incerteza de Medição e obtido por outros métodos utilizados nas indústrias é sugerido para se conhecer qualitativamente as diferenças entre eles e qual é efetivamente o mais adequado para uso industrial.

## REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

1. Andrade, Roberto M. *Uma Rota para a Certificação nas Normas da Série ISO 9000*; Controle da Qualidade, Banas, n°. 42, 1995.
2. Arnold, Kenneth L. *O Guia Gerencial para a ISO 9000*, Campos, 1995.
3. Benich, Per. *Dimensional Quality Control and Quality Management in Manufacturing Companies*; Seminário Internacional de Metrologia para Controle da Qualidade, Florianópolis, 1997.
4. Bueno, Júlio. *INMETRO: Importante Papel na Defesa do Consumidor*; Controle da Qualidade, Banas, n°. 48, 1996.
5. Bureau Veritas do Brasil. *Confirmação Metrológica Aplicada à Série ISO 9000*, Divisão de Consultoria em Qualidade (DCQ), 1994.
6. CERTI, Fundação. *Minicurso de Incerteza de Medição em Metrologia Dimensional*, 1997.
7. Doebelin, Ernest. *Measurement Systems – Application and Design*, Mc. Graw-Hill, 1990.
8. Frota, Maurício Nogueira. *Não há qualidade sem metrologia*; Jornal da Rede Metrológica – RS, n°. 10, ano IV, 1996.
9. Frota, Maurício; Saffar, Jorge M. *Metrologia – os Rumos do Setor e seu Impacto no País*; *Controle da Qualidade*, Banas, n°. 67, 1997.
10. INMETRO. *Guia para Expressão da Incerteza de Medição*, 1997.
11. INMETRO. *Vocabulário Internacional de Termos Fundamentais e Gerais de Metrologia – VIM*, Portaria 29, 1995.
12. Juran, J. M. *A History of Managing for Quality (The Evolution, Trends and Future Directions of Managing for Quality)*, ASQC Quality Press, 1995.

13. Kurzmann, Horst. *The Frontiers of Accuracy in Industrial Dimensional Metrology*, Seminário Internacional de Metrologia para Controle da Qualidade, Florianópolis, 1997.
14. Maranhão, Mauriti. *Série ISO 9000 - Manual de Implementação*, Qualitymark, 1994.
15. Moris, Alan S. *Measurement & Calibration for Quality Assurance*, Prentice Hall, 1991.
16. Moura, Reinaldo A.; Carillo Jr., Edson. *Desmistificando a ISO 9000*, IMAM, 1994.
17. NBR ISO 10012 – 1; *Requisitos de Garantia da Qualidade para Equipamentos de Medição – Parte 1: Sistema de Comprovação Metrológica para Equipamento de Medição*; ABNT, 1993.
18. NBR ISO 8402; *Gestão da Qualidade e Garantia da Qualidade – Terminologia*; ABNT, 1994.
19. NBR ISO 9000 – 1; *Normas de Gestão da Qualidade e Garantia da Qualidade – Parte 1: Diretrizes para Seleção de Uso*; ABNT, 1994.
20. NBR ISO 9001; *Sistemas da Qualidade – Modelo para Garantia da Qualidade em Projeto, Desenvolvimento, Produção, Instalação e Serviços Associados*; ABNT, 1994.
21. Oliveira, Marcos A.; Shibuya, Marcelo K. *ISO 9000 – Guia de Implantação e Guia de Auditorias da Qualidade*, Atlas, 1995.
22. *Quality System Requirements – QS 9000 – 1997*.
23. Taylor, Barry N.; Kuyatt, Chris E. *Guidelines for Evaluating and Expressing the Uncertainty of NIST Measurement Results*, NIST Technical Note 1297, 1994.
24. Theisen, Álvaro M. F. *Fundamentos da Metrologia Industrial – Aplicação no Processo de Certificação ISO 9000*, PUC RS, 1997.

## ANEXO 1 - TERMINOLOGIA - GESTÃO DA QUALIDADE E GARANTIA DA QUALIDADE

A norma NBR ISO 8402 / 1994 - *Gestão da Qualidade e Garantia da Qualidade - Terminologia* apresenta uma série termos e definições mencionados nas normas da série ISO 9000.

Para que fique mais clara a interpretação dos requisitos da normas NBR ISO 9001, os principais termos e definições vinculados ao controle de equipamentos de inspeção, medição e ensaios serão apresentados a seguir.

- **Qualidade:** é definido como a totalidade de características de uma entidade que lhe confere a capacidade de satisfazer as necessidades explícitas e implícitas.
  
- **Produto:** é o resultado de atividades ou processos e pode ser tangível ou intangível, ou uma combinação dos dois. Os produtos são subdivididos em quatro categorias genéricas:
  - materiais e equipamentos (por exemplo: peças, componentes, montagens);
  - informações (por exemplo: programas de computadores, procedimentos, dados, informações, registros);
  - materiais processados (matérias-primas, chapas, fios, cabos, sólidos, gases, líquidos);
  - serviços (por exemplo: seguro, bancos, transportes).
  
- **Controle da qualidade:** diz respeito aos meios operacionais utilizados para atender os requisitos da qualidade.
  
- **Garantia da qualidade:** promove a confiança no atendimento dos requisitos da qualidade, tanto internamente para a própria organização, como externamente para os clientes e autoridades.



- **Gestão da qualidade:** inclui o controle da qualidade e a garantia da qualidade, bem como adicionalmente os conceitos da política da qualidade. A gestão da qualidade abrange todo sistema da qualidade. Estes conceitos podem estender-se a todas as áreas de uma organização.
- **Procedimento:** forma especificada de executar uma atividade. Quando um procedimento está documentado freqüentemente usa-se o termo “procedimento escrito” ou “procedimento documentado” na NBR ISO 9001.
- **Serviço:** resultado gerado por atividades na interface fornecedor e cliente, e por atividades internas do fornecedor para atender às necessidades do cliente.
- **Requisitos para a qualidade:** expressão das necessidades ou sua tradução num conjunto de requisitos, explicitados em termos quantitativos ou qualitativos, objetivando definir as características de uma “entidade” a fim de permitir sua realização e seu exame. Observação: entidade; item - todo elemento que pode ser considerado e descrito individualmente, como por exemplo, uma atividade ou um processo, um produto, uma organização ou uma combinação destes elementos.
- **Conformidade:** atendimento a requisitos especificados.
- **Não-conformidade:** não atendimento a um requisito especificado.
- **Defeito:** não atendimento de um requisito especificado de uso pretendido ou de uma expectativa razoável, inclusive quanto à segurança.
- **Inspeção:** atividades tais como: medição, exame, ensaio, verificação com calibres ou padrões, de uma ou mais características de uma entidade, e a comparação dos resultados com requisitos especificados, a fim de determinar se a conformidade para cada uma dessas características é obtida.

- **Validação:** confirmação, por exame e fornecimento de evidência objetiva, de que os requisitos específicos, para um determinado uso pretendido, são atendidos.
- **Plano da qualidade:** documento que estabelece as práticas, os recursos e a seqüência de atividades relativa à qualidade de um determinado produto, projeto ou contrato.
- **Registro:** documento de fornece evidência objetiva de atividades realizadas ou resultados obtidos.
- **Rastreabilidade:** capacidade de recuperação do histórico, da aplicação ou da localização de uma entidade, por meio de identificações registradas.

## ANEXO 2 - NORMAS ISO DA SÉRIE 9000 – EDIÇÃO 1994

O conjunto das normas ISO da série 9000 (edição de 1994) é formado pelas seguintes normas:

- **NBR ISO 9000-1** – Normas de gestão da qualidade e garantia da qualidade – Parte 1: Diretrizes para seleção e uso.
- **NBR ISO 9000-2** – Normas de gestão da qualidade e garantia da qualidade – Parte 2: Diretrizes gerais para aplicação das NBR 19001 (ISO 9001), NBR 19002 (ISO 9002) e NBR 19003 (ISO 9003).
- **NBR ISO 9000-3** – Normas de gestão da qualidade e garantia da qualidade – Parte 3: Diretrizes para a aplicação da NBR 19001 ao desenvolvimento, fornecimento e manutenção de “Software”.
- **NBR ISO 9000-4** – Normas de gestão da qualidade e garantia da qualidade – Parte 4: Guia para gestão do programa de dependabilidade.
- **NBR ISO 9001** – Sistemas da qualidade - Modelo para garantia da qualidade em projeto, desenvolvimento, produção, instalação e serviços associados.
- **NBR ISO 9002** – Sistemas da qualidade – Modelo para garantia da qualidade em produção, instalação e serviços associados.
- **NBR ISO 9003** – Sistemas da qualidade – Modelo para garantia da qualidade em inspeção e ensaios finais.
- **NBR ISO 9004-1** – Gestão da qualidade e elementos do sistema da qualidade – Parte 1: Diretrizes.
- **NBR ISO 9004-2** – Gestão da Qualidade e elementos do sistema da qualidade – Parte 2: Diretrizes para serviços.
- **NBR ISO 9004-3** – Gestão da qualidade e elementos do sistema da qualidade – Parte 3: Diretrizes para materiais processados.
- **NBR ISO 9004-4** – Gestão da qualidade e elementos do sistema da qualidade – Parte 4: Diretrizes para melhoria da qualidade.

Ainda são referenciadas nas normas ISO da série 9000 as seguintes normas:

- ***NBR ISO 8402*** – Gestão da qualidade e garantia da qualidade – Terminologia.
- ***NBR ISO 10011-1*** – Diretrizes para auditoria de sistemas da qualidade – Parte 1: Auditoria.
- ***NBR ISO 10011-2*** – Diretrizes para auditoria de sistemas da qualidade – Parte 2: Critérios para qualificação de auditores de sistema da qualidade.
- ***NBR ISO 10011-3*** – Diretrizes para auditoria de sistemas da qualidade – Parte 3: Gestão dos programas de auditoria.

Todas estas normas, no seu conjunto, devem ser utilizadas como base pelas empresas que visam seguir um modelo de Sistema da Qualidade que atenda os requisitos das normas ISO série 9000.

### ANEXO 3 - NORMA NBR ISO 9001 – EDIÇÃO 1994

A norma NBR ISO 9001 está estruturada como segue:

- Introdução
- 1. Objetivo
- 2. Referência normativa
- 3. Definições
- 4. Requisitos do sistema da qualidade:
  - 4.1 – Responsabilidade da Administração
  - 4.2 – Sistema da qualidade
  - 4.3 – Análise crítica de contrato
  - 4.4 – Controle de projeto
  - 4.5 – Controle de documentos e dados
  - 4.6 – Aquisição
  - 4.7 – Controle de produto fornecido pelo cliente
  - 4.8 – Identificação e rastreabilidade de produto
  - 4.9 – Controle de processo
  - 4.10 – Inspeção e ensaios
  - 4.11 – Controle de equipamentos de inspeção, medição e ensaios
  - 4.12 – Situação de inspeção e ensaios
  - 4.13 – Controle de produto não-conforme
  - 4.14 – Ação corretiva e ação preventiva
  - 4.15 – Manuseio, armazenamento, embalagem, preservação e entrega
  - 4.16 – Controle de registros da qualidade
  - 4.17 – Auditorias internas da qualidade
  - 4.18 – Treinamento
  - 4.19 – Serviços associados
  - 4.20 – Técnicas estatísticas

Anexo A – Bibliografia.

#### ANEXO 4 - NORMA NBR ISO 10012 - REQUISITOS DE GARANTIA DA QUALIDADE PARA EQUIPAMENTO DE MEDIÇÃO

Esta norma contém requisitos de garantia da qualidade para um fornecedor assegurar que medições sejam realizadas com a exatidão pretendida, bem como orientações quanto à implementação destes. Esta norma também especifica as principais características do sistema de comprovação a ser utilizado para os equipamentos de medição do fornecedor.

A norma NBR ISO 10012 descreve ainda os seguintes itens:

- **Sistema de comprovação:** deve-se estabelecer e manter um sistema documentado efetivo para a gestão, comprovação e uso dos equipamentos de medição, incluindo os padrões de medição utilizados para demonstrar a conformidade com os requisitos especificados. Este sistema deve ser projetado para garantir que todos os equipamentos de medição tenham desempenho conforme pretendido. O sistema deve prover a prevenção de erros fora dos limites especificados de erro permissível, pela imediata detecção das deficiências e pronta ação para sua correção.

Nos casos em que algumas ou todas as comprovações de um fornecedor (incluindo calibração) são substituídas ou complementadas por serviços de terceiros, o fornecedor deve garantir que estes terceiros também atendem aos requisitos desta norma na extensão necessária para assegurar a conformidade do fornecedor com os requisitos.

- **Auditoria periódica e análise crítica do sistema de comprovação:** o fornecedor deve executar, ou mandar executar, auditorias periódicas e sistemáticas da qualidade do sistema de comprovação para garantir sua contínua e efetiva implementação e conformidade com os requisitos desta norma. Baseado no resultado destas auditorias, o sistema deve ser analisado criticamente e modificado, quando necessário.

Os planos e procedimentos para a auditoria da qualidade e análise crítica devem ser documentados. A condução da auditoria da qualidade e da análise crítica, bem como das ações corretivas subsequentes, devem ser registradas.

- **Planejamento:** o fornecedor deve analisar criticamente qualquer requisito relevante e requisitos técnicos antes de iniciar o trabalho em produtos e serviços, e deve assegurar que os equipamentos de medição (incluindo padrões de medição) necessários para o desempenho do trabalho estão disponíveis e possuem a exatidão, estabilidade, faixa e resolução adequados para a aplicação pretendida.

**ORIENTAÇÃO:** esta análise deve ser executada o mais cedo possível, de modo a permitir um planejamento abrangente e efetivo do sistema de comprovação do fornecedor.

- ***Incerteza de medição:*** ao efetuar medições e ao relatar e fazer uso dos resultados, o fornecedor deve levar em conta todas as incertezas significativas identificadas no processo de medição, inclusive aquelas atribuíveis ao equipamento de medição (inclusive aos padrões de medição), e aquelas para as quais contribuíram os procedimentos pessoais e o ambiente. Ao estimar as incertezas, o fornecedor deve levar em consideração todos os dados pertinentes, incluindo aqueles disponíveis de qualquer sistema de controle estatístico de processo utilizado pelo ou para o fornecedor.

**ORIENTAÇÃO:** uma vez demonstrado pela calibração que o equipamento de medição tem desempenho correto (dentro das especificações), admite-se normalmente que os erros surgidos durante o uso não excedem os limites especificados de erro permissível. Parte-se do pressuposto de que o equipamento continue assim até a próxima calibração e comprovação. Pode não ocorrer desta forma se o equipamento de medição estiver sob condições de uso freqüentemente bem mais severas, quando comparadas com as condições controladas da calibração. Pode ser pertinente compensar o fato, reduzindo os limites de aceitação do produto.

A utilização de métodos estatísticos é recomendada para monitorar e controlar a incerteza de medição de forma contínua.

- ***Procedimentos de comprovação documentados:*** o fornecedor deve definir e utilizar procedimentos documentados para todas as comprovações realizadas e assegurar que estes procedimentos sejam adequados às suas finalidades. Estes procedimentos devem estar disponíveis, conforme necessário, para a equipe envolvida na execução das comprovações.

### ANEXO 5 – COEFICIENTE “t” DE STUDENT

Valor de  $t_p(v)$  a partir da distribuição “t” para graus de liberdade  $v$  que define um intervalo  $-t_p(v)$  a  $+t_p(v)$  que abrange a fração  $p$  da distribuição.



Graus de liberdade $v$	Fração $p$ em %					
	68,27 (a)	90	95	95,45 <sup>(a)</sup>	99	99,73 <sup>(a)</sup>
1	1.84	6.31	12.71	13.97	63.99	235.80
2	1.32	2.92	4.30	4.53	9.92	19.21
3	1.20	2.35	3.18	3.31	5.84	9.22
4	1.14	2.13	2.78	2.87	4.60	6.62
5	1.11	2.02	2.57	2.65	4.03	5.51
6	1.09	1.94	2.45	2.52	3.71	4.90
7	1.08	1.89	2.39	2.43	3.50	4.53
8	1.07	1.86	2.31	2.37	3.36	4.28
9	1.06	1.83	2.26	2.32	3.25	4.09
10	1.05	1.81	2.23	2.28	3.17	3.96
11	1.05	1.80	2.20	2.25	3.11	3.85
12	1.04	1.78	2.18	2.23	3.05	3.76
13	1.04	1.77	2.16	2.21	3.01	3.69
14	1.04	1.76	2.14	2.20	2.98	3.64
15	1.03	1.75	2.13	2.18	2.95	3.59
16	1.03	1.75	2.12	2.17	2.92	3.54
17	1.03	1.74	2.11	2.16	2.90	3.51
18	1.03	1.73	2.10	2.15	2.88	3.48
19	1.03	1.73	2.09	2.14	2.86	3.46
20	1.03	1.72	2.09	2.13	2.85	3.42
25	1.02	1.71	2.06	2.11	2.79	3.33
30	1.02	1.70	2.04	2.09	2.75	3.27
35	1.01	1.70	2.03	2.07	2.72	3.23
40	1.01	1.68	2.02	2.06	2.70	3.20
45	1.01	1.68	2.01	2.06	2.69	3.18
50	1.01	1.68	2.01	2.05	2.68	3.16
100	1.005	1.660	1.984	2.025	2.626	3.077
$\infty$	1.000	1.645	1.960	2.000	2.576	3.000

(a) – para a grandeza  $z$  descrita por uma distribuição normal com esperança  $\mu$  e desvio padrão  $\sigma$ , o intervalo  $\mu \pm k\sigma$  abrange  $p = 68,27, 95,45$  e  $99,73$  por cento da distribuição para  $k = 1, 2$  e  $3$  respectivamente.

Fonte: Guia para Expressão da Incerteza de Medição, agosto/1997.



## ANEXO 6 – EXEMPLOS DE RELATÓRIOS DE CALIBRAÇÃO

RELATÓRIO DE CALIBRAÇÃO				<b>STIHL®</b>	
CALIBRE TAMPÃO LISO					
INSTRUMENTO (CÓDIGO)	030BD1		PROCEDIMENTO OPERACIONAL	GGA/PO0042 c	
TOLERÂNCIA (PRODUTO)	10,370 10,630		INTERVALO DE COMPROVAÇÃO	6 MESES	
RESOLUÇÃO	não aplicável		PADRÕES (CÓDIGO / EMPRESA)	000163 / STIHL	
MINIFÁBRICA	IPL				
<b>RESULTADOS OBTIDOS (mm)</b>					
	LADO PASSA	(USADO)		LADO NÃO-PASSA	
			RM <sub>passa</sub>		RM <sub>não passa</sub>
	PLANO 1 - POSIÇÃO 1		10,401	PLANO 1 - POSIÇÃO 1	10,630
	PLANO 1 - POSIÇÃO 2		10,402	PLANO 1 - POSIÇÃO 2	10,630
	PLANO 2 - POSIÇÃO 1		10,402	PLANO 2 - POSIÇÃO 1	10,631
	PLANO 2 - POSIÇÃO 2		10,404	PLANO 2 - POSIÇÃO 2	10,630
				IM	0,006
<b>CRITÉRIO DE ACEITAÇÃO</b>			<b>RESULTADO FINAL</b>		
LIMITES DE TOLERÂNCIA (mm)			APROVADO <input checked="" type="checkbox"/>		
IM   0,006			REPROVADO <input type="checkbox"/>		
		LT mín.	LT máx.	DATA JUN / 99	
	LADO PASSA (USADO)	10,380	10,421		
	LADO NÃO-PASSA	10,611	10,649		
<b>CONDIÇÕES AMBIENTAIS</b>					
TEMPERATURA (°C)	19		EXECUTANTE  Rafael M. M. J. AFERTEC		
UMIDADE (%)	60		RESPONSÁVEL  Anderson Haubrich / STIHL		

SENAI  
FIERGS

CENTRO TECNOLÓGICO DE MECÂNICA DE PRECISÃO  
CETEMP

LABORATÓRIO DE METROLOGIA DIMENSIONAL  
Rodovia BR 116 N°3585 - São Leopoldo / RS - Fone: (051) 582-5618 e (051) 582-2240 - Fax: (051) 582-2240  
Laboratório Credenciado pelo INMETRO sob o nº 13

E-mail: cetemp@rh.conex.com.br



**Certificado de Calibração**

**Nº 1476/99**

Folha 1 de 2

**INSTRUMENTO CALIBRADO**

Descrição: Desempeno de ferro fundido  
Dimensão: 740x500mm

Fabricante: Mitutoyo

Número de fabricação: 6400

Autenticação: 110001

**PADRÃO DE REFERÊNCIA**

Descrição: Luneta autocolimadora

Fabricante: Luneta autocolimadora: Rank Taylor Hobson

Número de fabricação: Luneta autocolimadora: modelo TA80 número 142/17 - 065S

Número de autenticação: Luneta autocolimadora: 31-0485

Rastreabilidade: Luneta autocolimadora com certificado de calibração número 17925/99, emitido pelo CETEMP, válido até 03/2001.

**SOLICITANTE**

Protocolo: PSM 18499 26/05/99

Cliente: Afertec Aferições e Calibrações Técnicas Ltda.  
Av. Plínio Brasil Milano, 1115  
Porto Alegre - RS

Solicitado para: Andreas Stihl Moto-Serras Ltda.  
Av. São Borja, 3000  
São Leopoldo - RS

**INFORMAÇÕES GERAIS**

Ambiente de medição: Temperatura de  $(20 \pm 3)^\circ\text{C}$ .  
Umidade relativa do ar:  $(60 \pm 20)\%$ .

Procedimento de calibração: Procedimento interno DSQCS 008-11 de abril de 1998 - edição 3 revisão 0.

Norma de referência: DIN 876/2 de outubro de 1984.

Incerteza de medição: A incerteza expandida relatada é baseada em uma incerteza padronizada combinada multiplicada por um fator de abrangência  $k=2$ , provendo um nível de confiança de aproximadamente 95%.

Data da calibração: 28/05/99

Data de emissão: 01/06/99

Observação: A calibração foi realizada nas dependências da empresa por solicitação da mesma.

José Carlos Paz da Silva  
Coordenador do laboratório

Valdomiro de Lima Soares  
Técnico do laboratório

Este certificado atende aos requisitos de credenciamento do INMETRO, o qual avaliou a competência de medição do laboratório e comprovou sua rastreabilidade a padrões nacionais de medição.

A reprodução deste certificado só poderá ser total e depende da aprovação por escrito do laboratório.

Os resultados deste certificado referem-se exclusivamente ao instrumento submetido à calibração nas condições especificadas, não sendo extensivos a quaisquer lotes.



## ANEXO 7 – RELAÇÃO DAS FAMÍLIAS DE INSTRUMENTOS

FAMÍLIA	INTERVALO DAS CALIBRAÇÕES
00 – Micrômetro Externo - Convencional - Calibração Interna	06 meses
00 – Micrômetro Externo - Digital – Calibração Interna	06 meses
00 – Micrômetro Externo - Convencional - Calibração Externa	24 meses
00 – Micrômetro Externo - Rosca – Calibração Externa	24 meses
00 – Micrômetro Externo - Engrenagem - Calibração Interna	06 meses
00 – Micrômetro Externo - em “V” – Calibração Externa	24 meses
00 – Micrômetro Externo - Lâmina – Calibração Interna	06 meses
00 – Micrômetro Externo - Laser – Calibração Interna	12 meses
00 – Micrômetro Externo - Passa Não-Passa – Calibração Interna	06 meses
00 – Micrômetro Externo - Ponta Cônica - Calibração Interna	06 meses
00 – Micrômetro Externo - para Rasgo - Calibração Interna	06 meses
01 - Paquímetro – Convencional	06 meses
01 - Paquímetro – Digital	06 meses
01 - Paquímetro – Profundidade	06 meses
01 - Paquímetro - Profundidade com Ressalto	06 meses
01 - Paquímetro – Especial	06 meses
01 - Paquímetro - com Relógio	06 meses
02 - Micrômetro Interno – Profundidade	06 meses
02 - Micrômetro Interno – Interno	06 meses
02 - Micrômetro Interno – Borematic	06 meses
03 - Calibre Tampão – Liso	06 meses
03 - Calibre Tampão – Chato	06 meses
03 - Calibre Tampão – Concentricidade	06 meses
03 - Calibre Tampão – Roscado	06 meses
03 - Calibre Tampão – Cônico	06 meses
03 - Calibre Tampão – Especial	06 meses
04 - Calibres – Boca	06 meses
04 - Calibres – Folga	06 meses
04 - Calibres – Raio	06 meses
05 – Rugosímetro	12 meses
06 - Altímetro – Convencional	06 meses
06 - Altímetro – com Contador e Relógio	06 meses
06 - Altímetro – Digital	06 meses
07 – Tridimensional – Mitutoyo	12 meses
07 – Tridimensional – Zeiss	12 meses
08 – Torquímetro – Estalo	06 meses
08 – Torquímetro – Relógio	06 meses
10 - Relógio Comparador – Relógio	06 meses

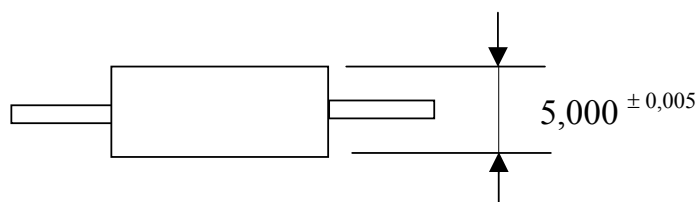
FAMÍLIA	INTERVALO DAS CALIBRAÇÕES
10 - Relógio Comparador - Digital	06 meses
11 - Equip. Aux. de Medição - Desempeno	12 meses
11 - Equip. Aux. de Medição - Transferidor de Grau	06 meses
12 - Projetor de Perfil	12 meses
13 - Medidor de Forma Circular	12 meses
14 - Medidor de Forma Linear	12 meses
15 – Intramess	06 meses
16 - Anel Padrão – Liso	06 meses
16 - Anel Padrão – Roscado	06 meses
16 - Anel Padrão – Cônico	06 meses
16 - Anel Padrão - Passa Não-Passa	06 meses
17 - Bloco Padrão - p/ Calibração	12 meses
17 - Bloco Padrão - p/ Referência	60 meses
18 - Medidor Laser	12 meses
19 - Máq. e Equip. Diversos - Elasticômetro	24 meses
20 - Disp. e Padrões Especiais - Dispositivos	12 meses
20 - Disp. e Padrões Esp. - Padrões Especiais	12 meses
23 - Coluna Pneumática	06 meses
24 - Pino Padrão	06 meses
29 - Relógio Apalpador	06 meses
32 – Controladores de Ambiente - Termômetro	12 meses
32 – Controladores de Ambiente - Higrômetro	12 meses
32 – Controladores de Ambiente - Termo-higrômetro	12 meses
33 - Padrões – Arame Calibrado	12 meses
33 - Padrões – Paralelo Ótico	12 meses
33 - Padrões – Padrão de Rugosímetro	12 meses
33 - Padrões – Esfera de Cristal	60 meses
33 - Padrões – Cilindro Padrão	60 meses
33 - Padrões – Aferidor de Relógio Comparador	12 meses
33 - Padrões – Escala (projetor perfil)	24 meses
33 - Padrões – Esfera Padrão de Tridimensional	60 meses

## ANEXO 8 – SELEÇÃO DOS INSTRUMENTOS DE MEDIÇÃO (CONSIDERANDO RESOLUÇÃO E LIMITE DE ERRO PERMISSÍVEL)

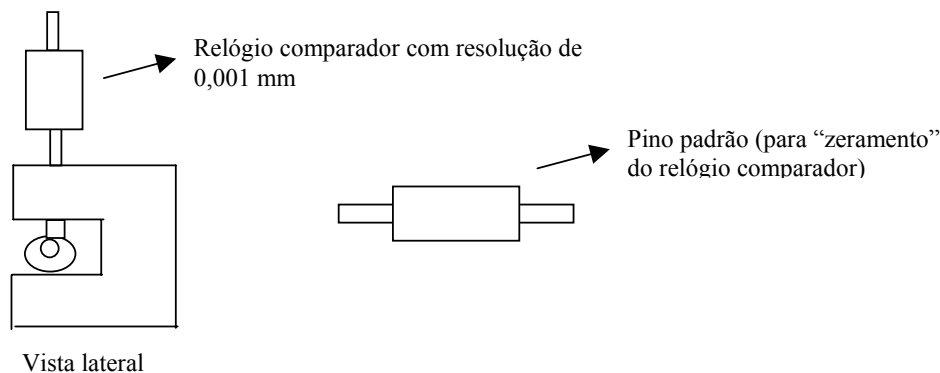
O exemplo ilustrado a seguir apresenta a avaliação efetuada em um sistema de medição no que se refere aos critérios de seleção do mesmo.

Exemplo:

Uma determinada peça apresenta o desenho e a especificação abaixo:



Para verificar a dimensão de 5mm pretende-se utilizar o seguinte dispositivo de controle (que é um sistema de medição composto por instrumentos lineares: um relógio comparador milesimal e um pino padrão):



Consultando-se os procedimentos de calibração do relógio comparador e do pino padrão, utilizados na Stihl, verificam-se os seguintes limites:

	Limite de erro permissível – LEP			Limites de tolerância – LT		
	Relógio comparador	LEP <sub>1</sub>	EM <sub>1</sub> + IM <sub>1</sub>	± 0,005 mm	LT <sub>1</sub>	-
Pino padrão	LEP <sub>2</sub>	EM <sub>2</sub>	± 0,005 mm	LT <sub>2</sub>	IM <sub>2</sub>	± 0,001 mm
		EF <sub>2</sub>	0,0010 mm			

Onde:

EM: erro de medição; IM: incerteza de medição; EF: erro de forma.

Pergunta: o sistema de medição proposto é adequado?

Resposta:

1. Análise da resolução do sistema de medição selecionado.

A tolerância da peça é  $\pm 0,005$  mm, logo o intervalo de tolerância (IT) é:

$$IT = 0,005 - (-0,005) = 0,01 \text{ mm.}$$

Se a resolução do relógio é  $RE = 0,001$  mm, temos:

$$RE / IT = 0,001 / 0,01; RE = 1/10 IT.$$

De acordo com os critérios propostos no procedimento de seleção dos instrumentos onde a resolução em relação ao intervalo de tolerância do produto deve ser avaliada o instrumento é “ideal” para a aplicação.

2. Análise dos Limites de Erro Permissíveis.

Analisando os limites correspondentes aos instrumentos, verifica-se que o relógio comparador apresenta um limite de erro permissível  $LEP_1$  “fechado” para  $EM_1 + IM_1$ , enquanto que o pino apresenta um limite de erro permissível  $LEP_2$  para  $EM_2$  e um limite de tolerância para  $IM_2$ .

Como não é possível separar as parcelas correspondentes a  $EM_1$  e a  $IM_1$  do valor 0,005 mm para compor o LEP do sistema de medição proposto deve ser feita a soma linear dos limites:

$$LEP = (EM_1 + IM_1) + EM_2 + IM_2 \quad \text{relação 1}$$

É importante observar, neste caso específico, uma peculiaridade apresentada pelos relógios comparadores: os relógios podem referenciar medidas a partir de qualquer ponto de sua faixa nominal durante sua utilização. Como os erros de medição do relógio são determinados utilizando-se o início da faixa nominal como referência, podem assumir o valor positivo +0,005 mm e o valor negativo - 0,005 mm ao longo de toda faixa nominal. Portanto, durante a utilização, na pior das hipóteses, pode ser escolhido como ponto de referência do relógio aquele que apresenta o menor erro de medição possível -0,005 mm e o ponto a ser medido pode ser aquele correspondente ao maior erro de medição possível +0,005 mm. Sendo assim, rescreve-se a relação 1 da seguinte forma:

$$\text{LEP} = 2 \times (\text{EM}_1 + \text{IM}_1) + \text{EM}_2 + \text{IM}_2 \quad \text{relação 2}$$

Analisando-se o pino padrão, verifica-se que seu limite de erro permissível  $\text{EM}_2$  é igual a 0,000, o que anula uma das parcelas da relação 2. Entretanto, o pino padrão apresenta um limite de erro permissível para erro de forma  $\text{EF}_2$  igual a 0,0010 mm. Este valor pode ser interpretado como um limite para a ovalização. O valor nominal gravado no pino é uma média entre todos os valores medidos em diferentes posições do pino. Portanto, é razoável supor que haverá uma parcela positiva e uma parcela negativa de erros de forma em torno do valor nominal e que corresponderão, respectivamente, a  $-\text{EF}_2 / 2$  e  $+\text{EF}_2/2$ . Desta forma, a relação 2 pode ainda ser modificada para traduzir melhor os erros que o sistema de medição pode apresentar.

$$\text{LEP} = 2 \times (\text{EM}_1 + \text{IM}_1) + \text{EF}_2 / 2 + \text{IM}_2 \quad \text{relação 3}$$

Finalmente, substituindo-se valores na relação 3 temos:

$$\text{LEP} = 2 \times (0,005) + 0,0005 + 0,002$$

$$\text{LEP} = 0,013 \text{ mm.}$$

Logo, na melhor das hipóteses:

$$\text{LEP} / \text{IT} = 0,013 / 0,01$$

$$\text{LEP} < \frac{1}{2} \text{ IT}$$

Verifica-se que a melhor hipótese para o limite de erro permissível não atende a “pior situação admissível” apresentada inicialmente durante a definição dos critérios de seleção de instrumentos de medição. Portanto, o sistema de medição não é adequado para a aplicação em questão.



**ANEXO 9 – FORMULÁRIO DE INCLUSÃO E EXCLUSÃO DE EQUIPAMENTOS NO SISTEMA DE CONTROLE DOS INSTRUMENTOS DE MEDIÇÃO (CIN)**

<b>INCLUSÃO / EXCLUSÃO DE EQUIPAMENTOS DE INSPEÇÃO E ENSAIOS NO SISTEMA CIN</b>	
<b>INCLUSÃO</b>	
DESCRIÇÃO DO EQUIPAMENTO: _____ _____	
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS: • MENOR INTERVALO DE TOLERÂNCIA A SER MEDIDO (IT): _____ UNID. MEDIDA: _____ • RESOLUÇÃO DO EQUIPAMENTO (RE): _____ • FAIXA NOMINAL (FN): _____ • NÚMERO DO DESENHO: _____ • OUTRAS ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS: _____ _____	
ALOCAÇÃO DE CUSTOS / LOCALIZAÇÃO: • CENTRO DE CUSTO (AQUISIÇÃO): _____ SETOR (AQUISIÇÃO): _____ • CENTRO DE CUSTO (LOCAÇÃO): _____ SETOR (LOCAÇÃO) / CT OU FASE: _____	
<b>AQUISIÇÃO INTERNA:</b> • NÚMERO DA OSI: _____	<b>AQUISIÇÃO EXTERNA:</b> • NÚMERO DA RIC: _____ • FORNECEDOR: _____ • PREÇO ESTIMADO (US\$): _____
<b>PREENCHIMENTO PELO EXECUTANTE DA CALIBRAÇÃO:</b> • CÓDIGO DE CADASTRO NO CIN: _____ DATA: ____/____/____ RESPONSÁVEL: _____	
<b>EXCLUSÃO</b>	
DESCRIÇÃO DO EQUIPAMENTO: _____ _____	
MOTIVO: _____ _____	
• CÓDIGO DE CADASTRO NO CIN: _____ NÚMERO DE DESENHO: _____	
<b>PREENCHIMENTO PELO EXECUTANTE DA CALIBRAÇÃO:</b> • EXCLUIR EQUIPAMENTO DO SISTEMA CIN: ( ) SIM ( ) NÃO RESPONSÁVEL: _____ DATA: ____/____/____	
<b>EMITENTE:</b> _____ <b>SETOR:</b> _____ <b>DATA:</b> ____/____/____	
1ª. VIA: EMITENTE; 2ª. VIA: EXECUTANTE DA CALIBRAÇÃO	

## ANEXO 10 – EXEMPLOS DA OBTENÇÃO DA INCERTEZA PADRONIZADA TIPO B

Exemplos extraídos do Guia para Expressão da Incerteza de Medição, 1997 item 4 – Avaliando a incerteza padronizada.

**Sub-item 4.3.3.** – Se a estimativa  $x_i$  é obtida de uma especificação do fabricante, do certificado de calibração, manual técnico ou outra fonte, e sua incerteza citada é declarada ser um determinado múltiplo de um desvio padrão, a incerteza padronizada  $u(x_i)$  é simplesmente o valor mencionado dividido pelo multiplicador, e a variância estimada  $u^2(x_i)$  é o quadrado do quociente.

Exemplo: um certificado de calibração declara que a massa de um padrão de massa de aço inoxidável  $m_s$  com valor nominal de um quilograma é 1 000,000 325g e que a “incerteza deste valor é de 240 $\mu$ g no nível de três desvios padrão”. A incerteza padronizada do padrão de massa é, então, simplesmente,  $u(m_s) = (240\mu\text{g})/3 = 80\mu\text{g}$ . Isto corresponde a uma incerteza padronizada relativa  $u(m_s)/m_s$  de  $80 \times 10^{-9}$ . A variância estimada é  $u^2(m_s) = (80\mu\text{g})^2 = 6,4 \times 10^{-9} \text{ g}^2$ .

**Sub-item 4.3.4.** – A incerteza citada de  $x_i$  não é necessariamente dada como um múltiplo de um desvio padrão como em 4.3.3. Em vez disso, pode-se encontrar declarado que a incerteza citada define um intervalo tendo um nível de confiança de 90, 95 ou 99 por cento. A não ser quando indicado de outro modo, pode-se supor que foi usada uma distribuição normal para calcular a incerteza citada, e recuperar a incerteza padronizada de  $x_i$  dividindo-se a incerteza citada pelo fator apropriado para a distribuição normal. Os fatores correspondentes aos três níveis da confiança acima são 1,64; 1,96 e 2,58.

Nota: não haveria necessidade de tal suposição se a incerteza tivesse sido dada de acordo com as recomendações do Guia com relação ao relato da incerteza, o que reforça que o fator de abrangência deve ser sempre fornecido.

Exemplo: um certificado de calibração esclarece que a resistência de um resistor padrão  $R_s$  de valor nominal de dez ohms é 10,000742  $\Omega \pm 129 \mu\Omega$  a 23°C e que a “incerteza citada de 129  $\mu\Omega$  define um intervalo tendo um nível da confiança de 99%”. A incerteza padronizada do valor da resistência pode ser tomada como  $u(R_s) = (129 \mu\Omega) / 2,58 = 50 \mu\Omega$ , o que corresponde a uma incerteza padronizada relativa  $u^2(R_s)/R_s$  de  $5,0 \times 10^{-6}$ . A variância estimada é  $u^2(R_s) = (50 \mu\Omega)^2 = 2,5 \times 10^{-9} \Omega^2$ .