

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA

Centro Tecnológico

Pós-graduação em Metrologia Científica e Industrial

**Confiabilidade Metrológica no Contexto da
Garantia da Qualidade Industrial: Diagnóstico e
Sistematização de Procedimentos**

Dissertação submetida à Universidade Federal de Santa Catarina para
obtenção do Grau de Mestre em Metrologia

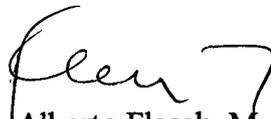
Eng. Luiz Soares Júnior

Florianópolis, Abril de 1999.

Confiabilidade Metrológica no Contexto da Garantia da Qualidade Industrial: Diagnóstico e Sistematização de Procedimentos

Eng. Luiz Soares Júnior

Esta dissertação foi julgada adequada para obtenção do título de
Mestre em Metrologia
e aprovada na sua forma final pelo
Programa de Pós-graduação em Metrologia Científica e Industrial.



Prof. Carlos Alberto Flesch, M. Eng.

Orientador



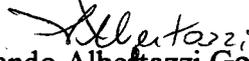
Prof. Armando Albertazzi Gonçalves Jr., Dr. Eng.

Coordenador do Curso de Pós-graduação em Metrologia Científica e Industrial

Banca Examinadora:



Prof. Abelardo Alves de Queiroz, Ph.D.



Prof. Armando Albertazzi Gonçalves Jr., Dr. Eng.



Prof. Nelson Back, Ph.D.

Ao meu irmão

Meton Soares da Cunha Sobrinho (in memoriam)

Ao meu tio

Francisco Soares Cunha (in memoriam)

Aos meus pais

Luiz Soares Cunha

Maria Gomes Soares Feitosa

A

Deus

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Luiz Soares Cunha e Maria Gomes S. Feitosa, pelo apoio e incentivo irrestritos ao longo desses dois anos de trabalho.

Ao professor Carlos Alberto Flesch, pela orientação e pelo sincero empenho para a realização deste trabalho.

À CAPES, pela concessão da bolsa de mestrado.

Ao Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Ceará, pela inestimável oportunidade que me foi dada para o meu crescimento profissional.

Ao LABMETRO e à Fundação CERTI, pelo apoio e estrutura concedidos para a concretização deste trabalho.

Ao IEL/CE - Instituto Euvaldo Lodi, pelo apoio imprescindível para a realização do estudo de casos.

Às empresas participantes do estudo de casos, pela valiosa contribuição neste trabalho.

À PETROBRAS - Petróleo Brasileiro S/A (Unidades de Santa Catarina), pela valiosa oportunidade de aprendizado que me foi concedida.

À Rosana Magali, secretária da Pós-MCI, pela atenção e suporte prestados ao longo deste trabalho.

Aos amigos da pós-graduação, pelas contribuições concedidas através de sugestões e explicações e pelo espírito de companheirismo. Em especial aos amigos,

Alexandre Moraes Barp

Gustavo Donatelli

Jacques Robert Heckmann

Telpe Martins Dias

Aos meus irmãos, Uilna, Neyara, Uilton e João Batista, pelo apoio e incentivo.

SUMÁRIO

Índice de Figuras	viii
Índice de Tabelas	x
RESUMO	xi
ABSTRACT	xii
CAPÍTULO 1	1
INTRODUÇÃO	1
1.1 Cenário atual da relação metrologia e garantia da qualidade industrial	1
1.2 Proposta do Trabalho	3
1.3 Estrutura do Trabalho	4
CAPÍTULO 2	5
A METROLOGIA E O SISTEMA DE GARANTIA DA QUALIDADE SEGUNDO AS NORMAS ISO 9000	5
2.1 Conceitos	5
2.1.1 Garantia da Qualidade	5
2.1.2 Garantia da Qualidade Metrológica	6
2.1.3 Confiabilidade Metrológica	6
2.2 As Normas da Série ISO 9000	7
2.2.1 Modelos de garantia da qualidade	11
2.2.2 NBR ISO 9004/1994 Gestão da qualidade e elementos do sistema da qualidade Parte 1: Diretrizes	12
2.2.3 NBR ISO 9004/1993 Gestão da qualidade e elementos do sistema da qualidade Parte 4: Diretrizes para melhoria da qualidade	12
2.2.4 NBR ISO 8402/1994 Gestão da qualidade e garantia da qualidade: Terminologia	13

2.2.5 NBR ISO 10012-1/1993 Requisitos de garantia da qualidade para equipamento de medição Parte 1: Sistema de comprovação metrológica para equipamento de medição	13
2.2.6 NBR 10011/1993 Diretrizes para auditoria de sistemas da qualidade Parte 1: Auditoria	14
2.3 Sistema de Garantia da Qualidade Metrológica (SGQM) segundo as normas da série ISO 9000	15
2.4 Requisitos metrológicos das normas da série ISO 9000	16
CAPÍTULO 3	20
DIFICULDADES DE IMPLEMENTAÇÃO DE SISTEMAS DE GARANTIA DA QUALIDADE METROLÓGICA	20
3.1 Método de Pesquisa: Estudo de Casos	21
3.2 Resultados do Estudo de Casos	22
3.2.1 Principais dificuldades no processo de certificação ISO 9000	23
3.2.2 Dificuldades relevantes na implementação dos requisitos metrológicos da ISO 9000 e seus documentos complementares	24
3.2.3 Seleção dos sistemas de medição críticos	25
3.2.4 Método de cálculo de incerteza de medição na calibração interna	26
3.2.5 Metodologia para estabelecer o critério de aceitação do sistema ou instrumento de medição calibrado	28
3.2.6 Metodologias para determinação dos intervalos de calibração	29
3.2.7 Ferramentas estatísticas para auxiliar na garantia da confiabilidade metrológica nos processos de medição	31
3.2.8 Uniformização da terminologia utilizada na elaboração dos documentos do sistema da qualidade	32
3.2.9 Necessidades de treinamento em metrologia	32
3.3 Conclusões do estudo de casos	33

CAPÍTULO 4	34
GARANTIA DA QUALIDADE METROLÓGICA: ANÁLISE DE PROBLEMAS E PROPOSTAS DE SOLUÇÕES	34
4.1 Questões Específicas	35
4.1.1 Seleção de sistemas de medição frente aos requisitos de exatidão	35
4.1.1.1 Definição da grandeza específica sob medição (o mensurando)	37
4.1.1.2 A Relação tolerância e incerteza do processo de medição	37
4.1.2 Avaliação da incerteza do processo de medição	40
4.1.2.1 Guia para expressão da incerteza de medição - "ISO-GUM"	42
4.1.2.2 Guia para avaliação de incerteza de medição, na calibração de sistema de medição e na verificação de produto - ISO/TR 14253-2	46
4.1.3 O processo de calibração	51
4.1.3.1 Incerteza de medição na calibração	52
4.1.3.2 Certificado de calibração	56
4.1.4 Avaliação de conformidade	58
4.1.4.1 Conformidade de sistema ou instrumento de medição	60
4.1.4.2 Conformidade de grandeza específica medida (mensurando)	62
4.2 Questões Gerais	64
4.2.1 Recursos humanos em metrologia	64
4.2.2 Elaboração de Procedimentos	66
4.2.2.1 Aplicação dos resultados da calibração	66
4.2.2.2 Identificação do instrumento ou sistema de medição a calibrar	67
4.2.2.3 Seleção do instrumento ou sistema de medição padrão	67
4.2.2.4 Planejamento do experimento	68
4.2.2.5 Execução da calibração	68
4.2.2.6 Processamento dos dados coletados	68
4.2.2.7 Documentação formal da calibração	68

4.2.3 Intervalos de Calibração	69
CAPÍTULO 5	71
PROPOSTA DE METODOLOGIA DE IMPLEMENTAÇÃO DE SISTEMAS DE GARANTIA DA QUALIDADE METROLÓGICA	71
5.1 Objetivo do Guia para Confiabilidade Metrológica.....	71
5.2 Características desejadas	72
5.3 Tópicos do Guia para Confiabilidade Metrológica.....	72
5.3.1 Formação da equipe de implementação	75
5.3.2 Definição das grandezas específicas significativas.....	75
5.3.3 Identificação dos instrumentos de medição disponíveis na empresa	76
5.3.4 Formação da documentação para consulta e referência	77
5.3.5 Definição da tolerância admissível para a grandeza significativa	78
5.3.6 Seleção dos sistemas ou instrumentos de medição	78
5.3.7 Definição do parâmetro para avaliação da conformidade do instrumento ou sistema de medição selecionado	81
5.3.8 Avaliação de conformidade dos sistemas de medição selecionados.....	81
5.3.9 Definição do intervalo inicial de calibração e do método de ajuste.....	83
5.3.10 Atividades independentes da seqüência de implementação do Sistema de Garantia da Qualidade Metrológica - SGQM.....	83
5.3.10.1 Elaboração de procedimentos documentados	83
5.3.10.2 Ferramentas de auxílio à garantia da confiabilidade metrológica ..	84
5.4 Proposta do Guia para Confiabilidade Metrológica na forma de hipertexto.	85
CAPÍTULO 6	88
CONCLUSÕES.....	88
6.1 Propostas para trabalhos futuros	95
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	97
ANEXO: Questionário do estudo de casos.....	104

Índice de Figuras

Figura 2-1 Garantia da qualidade e garantia da qualidade metrológica como elementos em um sistema de qualidade genérico.....	7
Figura 2-2 Estrutura atual da família de normas ISO 9000.....	10
Figura 2-3 Elementos geralmente envolvidos no processo de implementação do SGQM.....	15
Figura 3-1 Composição da amostra pesquisada por setor produtivo.....	22
Figura 3-2 Principais dificuldades encontradas durante o processo de certificação segundo as normas ISO 9000.....	23
Figura 3-3 Principais dificuldades encontradas durante o processo de implementação dos requisitos metrológicos das normas ISO 9000.....	24
Figura 3-4 Metodologias de cálculo de incerteza de medição para calibrações internas.....	26
Figura 3-5 Metodologias aplicadas para determinação dos intervalos de calibração.....	29
Figura 3-6 Ferramentas estatísticas utilizadas pelas empresas pesquisadas.....	31
Figura 4-1 Fluxograma de avaliação e expressão da incerteza de medição pelo "ISO-GUM".....	43
Figura 4-2 Relacionamento do "ISO-GUM" com documentos aplicados na garantia da qualidade.....	45
Figura 4-3 Método PUMA aplicado no gerenciamento de incerteza de medição para uma tarefa e processo de medição definidos.....	47
Figura 4-4 Método PUMA aplicado no gerenciamento de incerteza de medição para desenvolver um procedimento de medição adequado.....	48
Figura 4-5 Relação entre a incerteza do processo de medição (ou calibração) e a tolerância (para grandeza específica) ou erro máximo admissível (para instrumento de medição).....	60
Figura 5-1 Ações para elaboração dos tópicos do Guia para Confiabilidade Metrológica.....	73

Figura 5-2 Planilha 1: exemplo de entrada de dados para estimativa do processo de medição do diâmetro de um eixo usando um micrômetro externo.	79
Figura 5-3 Planilha 2: exemplo de estimativa da incerteza do processo de medição.	80
Figura 5-4 Planilha 3: exemplo de relação obtida entre a faixa de especificação do mensurando e a incerteza estimada do processo de medição.....	80
Figura 5-5 Exemplo de planilha para estimativa do erro máximo avaliado (Emav) na calibração.....	82
Figura 5-6 Estrutura proposta do Guia para Confiabilidade Metroológica em Hipertexto.....	86

Índice de Tabelas

Tabela 4-1 Relações tolerância/incerteza do processo de medição usuais.	38
Tabela 4-2 Regras para decisão sobre a conformidade ou não conformidade de grandezas específicas e de instrumentos ou sistemas de medição com suas especificações.....	64
Tabela 5-1 Tópicos gerais do Guia para Confiabilidade Metrológica – GCM.....	74
Tabela 5-2 "Tabela resumo" com as informações do SGQM.....	84

RESUMO

As exigências quanto à confiabilidade de resultados de medições e à formalidade de procedimentos metrológicos têm aumentado significativamente nos sistemas de garantia da qualidade implementados e certificados segundo as normas ISO 9000.

A falta de cultura metrológica no meio industrial e até mesmo técnico-científico tem dificultado que os sistemas de garantia da qualidade apresentem a devida fundamentação metrológica. As próprias normas da série ISO 9000 abordam seus requisitos metrológicos de uma forma bastante superficial.

Uma análise comparativa entre as exigências nas normas e as atuais práticas metrológicas na indústria é realizada em duas frentes: nas normas e documentos específicos que representam o estado da arte na aplicação da metrologia na garantia da qualidade e nos resultados de uma pesquisa detalhada feita em 15 (quinze) empresas certificadas segundo as normas ISO 9000.

Desse análise, verificou-se a falta de conhecimento adequado de metrologia para fundamentar os procedimentos metrológicos nas empresas pesquisadas. Também não foi identificada uma metodologia geral, que tenha sido publicada, para implementação de Sistemas de Garantia da Qualidade Metrológica.

São propostas soluções, no tocante à metrologia, para as principais dificuldades encontradas na implementação de sistemas de garantia da qualidade. Sempre que julgado possível e aplicável, as soluções propostas são baseadas em documentos formais da ISO

Baseado nas informações da literatura, na pesquisa em empresas e no estudo aprofundado de questões específicas, é proposta uma metodologia de implementação de Sistemas de Garantia da Qualidade Metrológica. Sua viabilidade de aplicação é constatada em estudo de caso real em uma empresa.

A metodologia proposta é estruturada de forma a se constituir na base para elaboração de um “Guia para Confiabilidade Metrológica”. Esse guia se propõe a orientar, nos aspectos metrológicos, os envolvidos com sistemas de garantia da qualidade ISO 9000. A estrutura básica de tal guia, proposta na forma de hipertexto, é apresentada.

ABSTRACT

The requirements for the reliability of measurement results and the formality of measurement procedures have increased significantly since the establishment of ISO 9000 certification. It is well known that many Brazilian companies approach metrology in an inappropriate way. The root of this problem could be understood as a lack of metrological culture in our industries. Also, it's weak in the academic areas the culture to show the industry the role of the metrology as a key for quality. In addition, the ISO 9000 family of standards does not contribute to clarify the metrological subject by itself, i.e., requirements for the ISO 9000 implementation are set without any kind of explanation or justification.

To explore the gap between metrology practices in the Brazilian industry and the standardization in industry, two blocks of information have been compared. Standards, procedures and technical papers have been analyzed to define the state of the art regarding the application of the metrology in quality assurance. A survey has been conducted in fifteen companies certified with the ISO 9000 to define the level of application of metrological knowledge. The result of the above study shows, in many cases, the absence of a methodology for implementation of metrological systems and the lack of adequate knowledge of metrology to establish metrological procedures.

Solutions are proposed to narrow the gap between the actual and the desired states of metrological reliability in the Brazilian industry. Whenever it is possible, the solutions are based on formal documents issued by the ISO. In order to simplify their application in actual industrial situations, a methodology for the implementation of metrological quality assurance has been proposed. Its feasibility has been tested by means of a real case study.

This methodology provides the basis for a "Guide to Metrological Reliability", designed to support metrology management in ISO 9000-certified companies. The basic structure of such Guide is presented in this dissertation as a hypertext, which can be used to diffuse the concept among the whole Brazilian territory using the Internet.

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1 Cenário atual da relação metrologia e garantia da qualidade industrial

A necessidade de padronização dos procedimentos metrológicos e a contínua implementação de ações que garantam confiabilidade metrológica, cresceram sobremaneira com a disseminação da implantação de programas de garantia da qualidade.

Exige-se, atualmente, um enfoque mais formal da metrologia. A aplicação correta de procedimentos metrológicos para garantir e demonstrar a confiabilidade dos resultados de medições nas avaliações de conformidade com especificação, constitui-se requisito exigido nos Sistemas de Garantia da Qualidade Metrológica.

A despeito da grande importância da aplicação de procedimentos metrológicos confiáveis na garantia da qualidade industrial, constata-se uma significativa diferença entre as ações exigidas nas normas de garantia da qualidade e as práticas metrológicas no meio industrial.

Particularmente para os sistemas de garantia da qualidade metrológica baseados nas normas ISO 9000, o processo de implementação pressupõe atendimento aos requisitos metrológicos definidos nos modelos de garantia da qualidade NBR ISO 9001/2/3 e nos requisitos metrológicos específicos para o sistema de comprovação metrológica definidos na NBR ISO 10012-1.

Esses requisitos metrológicos exigem a implementação de atividades fundamentais para a confiabilidade metrológica de resultados de medições tais como: seleção adequada de instrumentos de medição, avaliação de incertezas de medição, avaliação de conformidade com especificações, dentre outros. Tais requisitos apresentam-se de uma forma bastante superficial nessas normas, contribuindo sobremaneira para que ocorra interpretação equivocada tanto por parte das indústrias quanto dos auditores de entidades certificadoras.

Outros requisitos importantes no contexto da confiabilidade metrológica, como a avaliação de incertezas para as medições críticas em chão de fábrica e a determinação de

intervalos iniciais de calibração, não estão claros nas atuais normas de garantia da qualidade.

Essas questões também não estão sendo devidamente abordadas na nova norma ISO 9001 para o ano 2000. Os requisitos metrológicos são basicamente os mesmos apresentados nas normas atuais (1994) e não há qualquer referência a documentos importantes como o Vocabulário Internacional de Metrologia - VIM ou o Guia para expressão da incerteza de medição - "ISO-GUM".

Aliado à forma lacônica de apresentação dos requisitos metrológicos nas normas ISO 9000, tem-se a questão da deficiência de recursos humanos em metrologia nas indústrias. A transformação dos requisitos metrológicos em ações efetivas, dentro do Sistema de Garantia da Qualidade implementado, exige conhecimentos básicos em pelo menos três áreas: metrologia, estatística e processos de produção.

As dificuldades das indústrias em transformar os preceitos metrológicos estabelecidos nas normas em ações efetivas podem ser constatadas no dia-a-dia.

Falta atualmente uma metodologia geral para auxiliar o processo de implementação de Sistemas de Garantia da Qualidade Metrológica. Pois existem muitos procedimentos, oriundos de reconhecidas organizações internacionais, que podem contribuir para uma maior padronização no tratamento da questão.

A observação desse panorama motivou o aprofundamento da análise das principais dificuldades enfrentadas pelas indústrias no processo de implementação dos seus Sistemas de Garantia da Qualidade Metrológica.

Dessa análise resultara contribuições efetivas para o tratamento formal da metrologia dentro dos sistemas de garantia da qualidade.

1.2 Proposta do Trabalho

O presente trabalho tem como objetivos:

- identificar e analisar o tratamento formal das principais questões metrológicas relacionadas com os sistemas de garantia da qualidade em empresas certificadas ISO 9000;
- propor a estrutura de um guia, denominado de **Guia para Confiabilidade Metrológica - GCM**, contendo recomendações para auxiliar as empresas em seus processos de implementação de Sistemas de Garantia da Qualidade Metrológica, como os baseados nos requisitos exigidos pelas normas da série ISO 9000.

Os meios para o desenvolvimento do trabalho foram:

- a) levantamento e estudo de normas e documentos atuais que relacionam metrologia e qualidade;
- b) pesquisa, aplicando a metodologia de estudo de casos, em 15 (quinze) empresas de médio e grande porte certificadas segundo as normas ISO 9000;

A pesquisa teve como principais objetivos:

- conhecer as dificuldades reais enfrentadas pelas empresas durante o processo de implementação dos requisitos metrológicos exigidos no sistema de garantia da qualidade;
 - auxiliar na definição da estrutura proposta do Guia para Confiabilidade Metrológica - GCM.
- c) estudo detalhado das principais dificuldades constatadas no estudo de casos e proposição de soluções com base, preferencialmente, em normas e documentos de referência;
 - d) proposição dos tópicos gerais do Guia para Confiabilidade Metrológica - GCM e sua aplicação em um caso real.

1.3 Estrutura do Trabalho

No capítulo 2 é feita uma revisão sobre os conceitos de garantia da qualidade, de garantia da qualidade metrológica e de confiabilidade metrológica. É apresentada de uma forma sucinta, a família de normas da série ISO 9000 e as prováveis mudanças decorrentes do processo de revisão das normas até o ano 2000. São transcritos os requisitos metrológicos da norma contratual NBR ISO 9001 e adicionalmente feitos comentários acerca dos aspectos importantes.

No capítulo 3 são apresentados e analisados os principais resultados do estudo de casos realizado em 15 (quinze) empresas de médio e grande porte, localizadas na região industrial da cidade de Fortaleza/CE, certificadas ISO 9000. Um resumo sobre as principais dificuldades enfrentadas pelas empresas no processo de certificação é apresentado.

No capítulo 4 faz-se um estudo aprofundado das questões relativas à garantia da qualidade metrológica, especialmente as apresentadas no capítulo 3, propondo-se soluções e aplicação de documentos e normas atuais que podem ser usados como referência para os procedimentos formais do sistema de garantia da qualidade.

No capítulo 5 propõem-se uma metodologia de implementação de Sistema de Garantia da Qualidade Metrológica (Guia para Confiabilidade Metrológica - GCM) com recomendações para cada etapa de implementação e exemplos da aplicação do GCM em um caso real. A aplicação do Guia para Confiabilidade Metrológica – GCM, na forma de hipertexto, é proposta e justificada.

No capítulo 6 são apresentadas as conclusões do trabalho. São resumidas as principais dificuldades relacionadas com a garantia da qualidade metrológica nas empresas certificadas segundo as normas ISO 9000 e as soluções propostas utilizando-se normas e documentos de referência. Adicionalmente são apresentadas sugestões para a realização de futuros trabalhos que relacionem metrologia e sistemas de garantia da qualidade.

CAPÍTULO 2

A METROLOGIA E O SISTEMA DE GARANTIA DA QUALIDADE SEGUNDO AS NORMAS ISO 9000

A metrologia exerce papel fundamental dentro do Sistema de Garantia da Qualidade, dando a base técnica para a tomada de decisões corretas nas atividades de avaliação dos produtos e dos processos. A garantia e a demonstração da confiabilidade dos resultados de medições nas avaliações de conformidade são requisitos fundamentais exigidos nos Sistemas de Garantia da Qualidade baseados nas normas da série ISO 9000.

Neste capítulo, apresentam-se os conceitos gerais sobre garantia da qualidade, garantia da qualidade metrológica e confiabilidade metrológica, localizando os dois primeiros conceitos dentro de um sistema da qualidade genérico. Enfatiza-se a importância da metrologia na garantia da qualidade dos resultados das medições e aborda-se a estrutura atual das normas da série ISO 9000, suas prováveis alterações na revisão até o ano 2000 e os requisitos metrológicos atualmente exigidos.

2.1 Conceitos

2.1.1 Garantia da Qualidade

Formalmente, define-se garantia da qualidade como o conjunto de atividades planejadas e sistemáticas, implementadas no sistema da qualidade e demonstradas como necessárias, para prover confiança adequada de que a entidade atenderá os requisitos para a qualidade [1].

A comprovação de que os requisitos de qualidade são cumpridos, realizada pela avaliação direta do cliente ou por organismo independente¹, serve para prover confiança à administração da empresa e aos clientes externos satisfazendo questões contratuais.

¹ Organismos independentes ou de terceira parte [9] são entidades competentes, normalmente credenciadas pelo INMETRO, para certificar os sistemas de garantia da qualidade implementados pelas empresas.

2.1.2 Garantia da Qualidade Metrológica

Diariamente decisões importantes são tomadas nas empresas, tendo como base resultados de inspeção, medição e ensaios. Dessa forma, garantir resultados de medições confiáveis é fator decisivo para a sobrevivência da empresa. Algumas dessas decisões incluem [2]:

- a) liberar ou segregar um lote produzido após ensaios finais realizados;
- b) adquirir um sistema de medição (por exemplo uma máquina de medição por coordenadas - MMC) com base nos resultados de ensaios realizados;
- c) climatizar setores da fábrica onde são realizadas medições, inspeções ou ensaios, baseada em estudos experimentais envolvendo medições e ensaios.

A definição de garantia da qualidade no item 2.1.1, aplica-se também para a garantia da qualidade metrológica. Nesse caso, o conjunto de atividades planejadas e sistematicamente implementadas no sistema de garantia da qualidade, demonstradas como necessárias para garantir e comprovar a confiabilidade dos resultados das medições, é denominado neste trabalho de **Sistema de Garantia da Qualidade Metrológica – SGQM**.

Justifica-se o uso desse termo ao invés de "Sistema de comprovação metrológica para equipamento de medição" definido na NBR ISO 10012-1 [3], para enfatizar que a garantia da qualidade dos resultados de medições é uma atividade mais abrangente, e que vai além do controle sobre o instrumento ou sistema de medição.

2.1.3 Confiabilidade Metrológica

Genericamente confiabilidade refere-se à capacidade de um item (produto, processo ou sistema) desempenhar uma função requerida sob condições preestabelecidas em um período de tempo definido [4].

No contexto da garantia da qualidade industrial, confiabilidade metrológica significa a capacidade do Sistema de Garantia da Qualidade Metrológica - SGQM desempenhar conforme requisitos definidos, a "função garantia da qualidade das medições".

Essa capacidade é avaliada por exemplo através de auditorias, programas interlaboratoriais [5], entre outros. Alcançar a condição de confiabilidade metrológica para

um sistema metrológico, em uma empresa, envolve muitos fatores, tais como: garantia de sistemas ou instrumentos de medição calibrados; operadores qualificados; uso efetivo de métodos para o controle da qualidade metrológico; cultura metrológica na empresa; entre outros.

Para um sistema, ou instrumento de medição, confiabilidade metrológica refere-se à sua capacidade de fornecer resultados de medições confiáveis conforme condições de utilização definidas.

Independente do sistema da qualidade implementado, esse deve conter um sistema de garantia da qualidade. O Sistema de Garantia da Qualidade Metrológica- SGQM, contém requisitos necessários para garantir e comprovar a confiança nos resultados das medições.

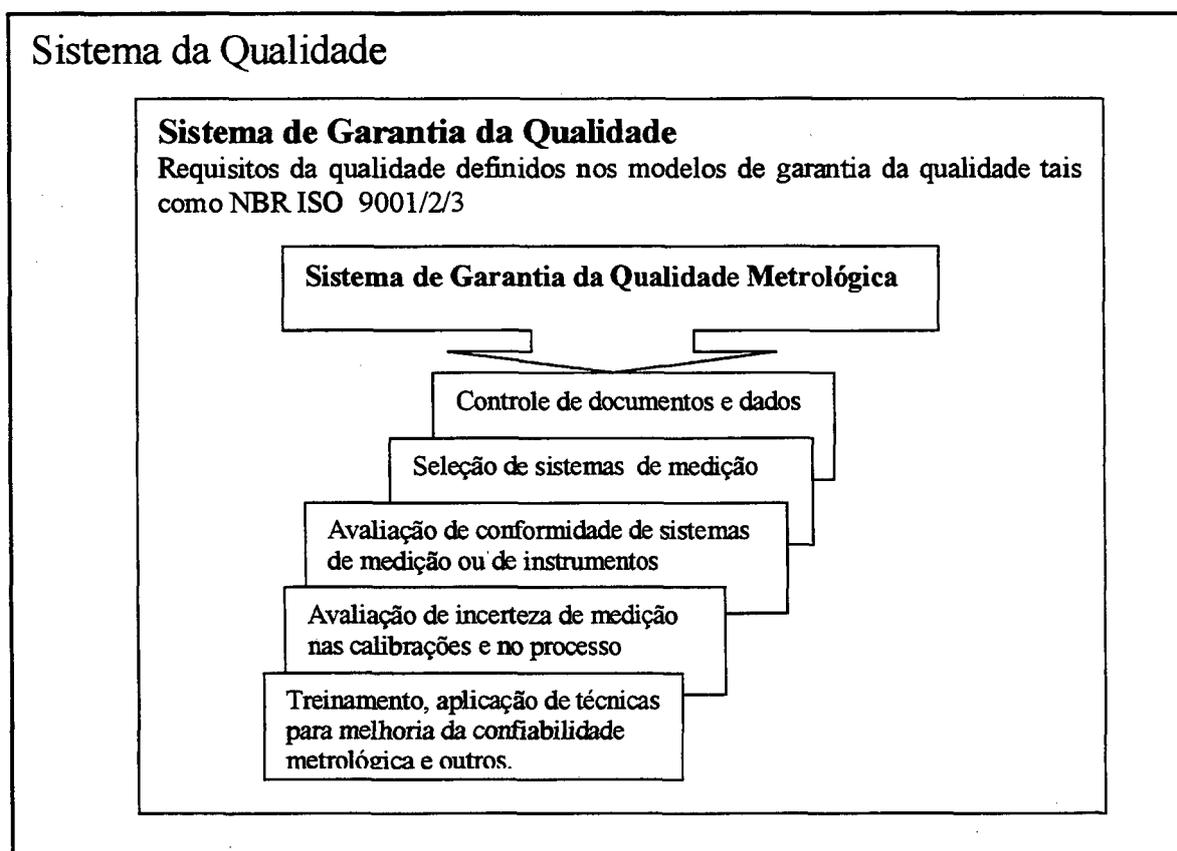


Figura 2-1 Garantia da qualidade e garantia da qualidade metrológica como elementos em um sistema de qualidade genérico.

2.2 As Normas da Série ISO 9000

A preocupação em garantir a qualidade do produto acabado data do século XVIII. A qualidade do que se produzia dependia totalmente da experiência e habilidade dos

artesões e artífices sob a supervisão dos mestres do ofício. A inspeção, quando realizada, era informal e quando o produto satisfazia os requisitos de qualidade isso era visto como resultado natural da confiança nos artífices qualificados para todos os aspectos do projeto, da produção e do serviço [5].

Com o surgimento da produção em série e da necessidade de peças intercambiáveis, vieram também as formas de inspeção dos produtos, primeiro com a "inspeção 100%" e posteriormente a "inspeção por amostragem", essa última baseada em princípios estatísticos.

No final da década de 50 surgiram as primeiras normas relacionadas ao tema sistema da qualidade e eram especificamente orientadas para os seguimentos industriais bélicos e de energia nuclear. Eram normas pouco flexíveis e tornavam-se muito rigorosas em aplicações de menores exigências [6].

Na década de 70, a Inglaterra, por intermédio do *British Standard Institute* (BSI), publicou a série de normas BS 5750, que eram uma evolução das normas de garantia da qualidade desenvolvidas para o setor militar. Finalmente, em 1987, a ISO (*International Organization for Standardization*) oficializou a série ISO 9000 a partir de pequenas mudanças na BS 5750 [5]. Maiores detalhes sobre a evolução histórica das normas de sistemas da qualidade podem ser encontrados em [6].

A partir da década de 90, houve um grande impulso na aplicação e reconhecimento das normas da série ISO 9000 devido à Comunidade Econômica Européia ter adotado procedimentos que favoreciam produtos e serviços de empresas certificadas ISO 9000.

Atualmente sistemas da qualidade baseados nas normas da série ISO 9000 são os mais difundidos em todo mundo. Diversos são os benefícios gerados com a implementação de um sistema da qualidade baseado na normas de garantia da qualidade ISO 9000, podendo-se citar como principais [7]:

- melhoria da imagem institucional da empresa;
- padronização da atividades;
- introdução da cultura voltada ao melhoramento contínuo.

As normas da série ISO 9000 também servem de base para sistemas da qualidade específicos como é o caso do "QS 9000" direcionado para empresas automotivas. Esse

sistema da qualidade contempla os requisitos da série ISO 9000, complementados pelos requisitos específicos do setor automotivo.

Atualmente a família de normas ISO 9000 está em processo de revisão, que deverá ser concluída até o ano 2000. Dentre as melhorias esperadas pelos usuários dessas normas, segundo uma pesquisa [8] realizada pela Comitê 176 da ISO (*International Organization for Standardization*), destacam-se:

- simplificação da linguagem e uniformização da terminologia;
- facilidade de integração das normas dentro do sistema de garantia da qualidade;
- enfoque na melhoria contínua;
- compatibilização com normas de outros sistemas de garantia da qualidade;
- enfoque na satisfação do cliente.

No Brasil, a ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) é representante oficial da ISO e responsável pela divulgação das normas da série ISO 9000 no país. Essas normas são registradas no INMETRO (Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial) e identificadas pela sigla NBR.

Segundo a ISO/ABNT NBR 9000-1/1994 [9], a família NBR ISO 9000 atualmente é composta de:

- todas as normas numeradas NBR ISO 9000 a NBR ISO 9004, inclusive suas Partes;
- todas as normas numeradas NBR ISO 10001 a NBR ISO 10020, inclusive suas Partes;
- a NBR ISO 8402.

A Figura 2-2 apresenta a estrutura atual da família de normas da série ISO 9000.

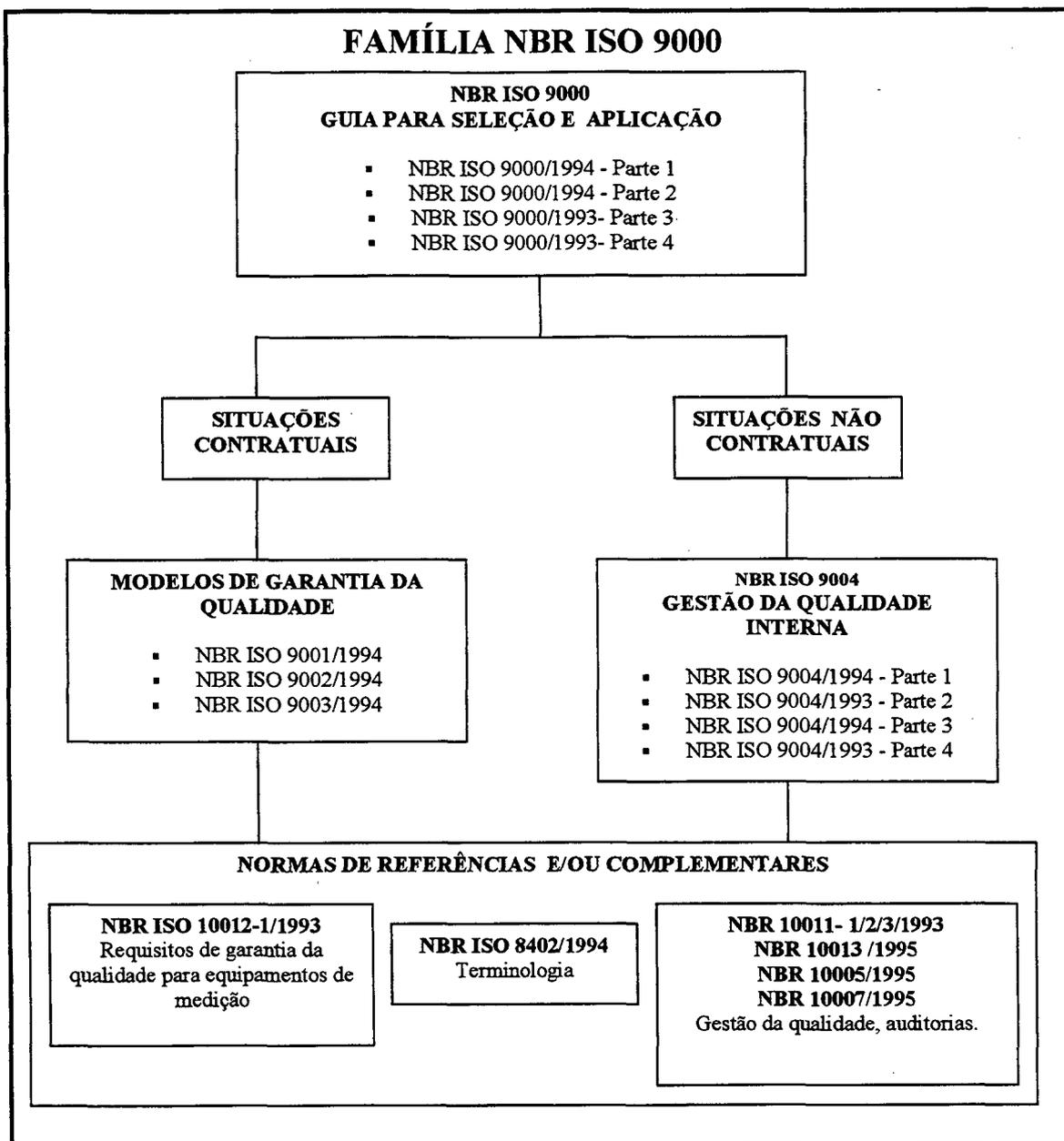


Figura 2-2 Estrutura atual da família de normas ISO 9000.

Vale ressaltar que a estrutura apresentada na Figura 2-2 será alterada após a conclusão do processo de revisão das normas da série ISO 9000 prevista para o segundo semestre do ano 2000. Optou-se apresentar um resumo apenas das normas que estão previstas para se tornarem as novas normas ISO 9000 até o ano 2000 e que incorporarão o conteúdo do restante das normas apresentadas na Figura 2-2. Adicionalmente cita-se, para cada norma abordada, as prováveis alterações referentes aos aspectos metrológicos, quando pertinente.

2.2.1 Modelos de garantia da qualidade

São três as normas que tratam de aspectos contratuais entre fornecedores e clientes:

- NBR ISO 9001/1994 Sistemas da qualidade - Modelo para garantia da qualidade em projeto, desenvolvimento, produção, instalação e serviços associados;
- NBR ISO 9002/1994 Sistemas da qualidade - Modelo para garantia da qualidade em produção, instalação e serviços associados;
- NBR ISO 9003/1994 Sistemas da qualidade - Modelo para garantia da qualidade em inspeção e ensaios finais.

Essas normas especificam requisitos de sistema da qualidade que podem ser utilizados para fins de garantia da qualidade externa. A diferença entre as três normas encontra-se na abrangência de cobertura, sendo a NBR ISO 9001 [10] a mais abrangente das três.

Portanto o modelo de garantia da qualidade apresentado na NBR ISO 9001 [10] é adequado para a empresa que tem que demonstrar sua capacidade de projetar, desenvolver, produzir, e instalar seus produtos conforme requisitos especificados e para avaliação dessa capacidade por organismos independentes. O modelo de garantia NBR ISO 9002 [11] não contempla projeto nem desenvolvimento; a NBR ISO 9003 [12] abrange apenas inspeção e ensaios finais.

Com a revisão atual das normas da série ISO 9000, o conteúdo das normas NBR ISO 9002 e 9003 foram incorporados à nova ISO CD1 9001/2000 [13]. As empresas que já são certificadas ISO 9002 ou ISO 9003 poderão usar a nova versão da ISO 9001/2000 limitando o escopo de aplicação ou reduzindo os requisitos exigidos.

Pretende-se com a revisão das normas até o ano 2000, que a ISO/CD1 9001/2000 [13] que trata da garantia da qualidade e a ISO CD1 9004/2000 que trata da gestão da qualidade, tornem-se um "par consistente" [13].

A principal mudança, do ponto de vista metrológico, refere-se ao item 8 da nova versão da norma, que trata de "Medição, análise e melhoria". Nesse item, nota-se a preocupação não apenas na garantia da qualidade para o sistema ou instrumento de medição mas do processo de medição como um todo. O item referente ao controle de equipamentos de inspeção, medição e ensaios passa a ser o 8.2.4 [13] e não apresenta modificação com relação ao item 4.11 da versão atual.

Apesar do enfoque sobre o processo de medição, o projeto de norma ISO CD1 9001/2000 [13] é bastante superficial nos aspectos metrológicos. Não há qualquer referência sobre métodos de avaliação de incertezas. Também não é dito que métodos estatísticos são recomendados para análise de dados, por exemplo na inspeção de características de produtos.

As principais mudanças incluídas no item 8 da ISO/CD1 9001/2000 [13] em relação à versão atual da NBR ISO 9001/94 resumem-se em:

- a) amplia o conceito de controle para o processo de medição e não apenas para o sistema ou instrumento de medição;
- b) enfatiza o uso do resultado da medição e sua análise, para determinar oportunidades de melhorias no sistema de gerenciamento da qualidade;

2.2.2 NBR ISO 9004/1994 Gestão da qualidade e elementos do sistema da qualidade Parte 1: Diretrizes

Fornece orientações sobre gestão da qualidade e elementos do sistema da qualidade adequados para uso no desenvolvimento e na implementação de um sistema da qualidade interno. Esta norma não se destina a fins contratuais e portanto não é passível de certificação. A ISO CD1 9004/2000 incorpora o conteúdo da versão atual da NBR ISO 9004/94 complementando a ISO CD1 9001/2000 sob o aspecto da gestão da qualidade [14].

2.2.3 NBR ISO 9004/1993 Gestão da qualidade e elementos do sistema da qualidade Parte 4: Diretrizes para melhoria da qualidade

Fornece um conjunto de diretrizes de gestão da qualidade destinados à implementação da melhoria contínua da qualidade numa organização. Seu conteúdo está incorporado nas ISO CD1 9001/2000 [13] e ISO CD1 9004/2000.

2.2.4 NBR ISO 8402/1994 Gestão da qualidade e garantia da qualidade:

Terminologia

Define os termos fundamentais básicos relativos aos conceitos de qualidade aplicáveis a todas as áreas para elaboração e utilização de normas sobre garantia da qualidade e gestão da qualidade. A NBR ISO 8402/94 e as cláusulas 4 e 5 da versão atual da NBR ISO 9000-1 [9] estão contempladas na nova ISO CD1 9000/1998 [14].

A ISO CD1 9000/1998 [14] introduz os conceitos fundamentais sobre sistemas de gestão da qualidade (caráter informativo) e estabelece os termos relativos à qualidade e definições específicas (caráter normativo). Quanto aos termos relacionados à metrologia, não há qualquer referência nesse projeto de norma sobre o uso do Vocabulário Internacional de Metrologia - VIM/1997 [15].

2.2.5 NBR ISO 10012-1/1993 Requisitos de garantia da qualidade para equipamento de medição Parte 1: Sistema de comprovação metrológica para equipamento de medição

A norma contém requisitos mínimos de garantia da qualidade para que um fornecedor possa comprovar aos seus clientes que o sistema de comprovação metrológica implementado é capaz de demonstrar a conformidade do produto com a especificação dentro da exatidão pretendida. A norma atual enfatiza o controle apenas sobre os sistemas de medição.

Outros componentes do processo de medição tais como: operador, método de medição e condições ambientais são tratados nos documentos ABNT ISO/IEC GUIA 25 [16], NBR ISO 9004-1 [17] e NBR ISO 10012-2².

Quanto ao emprego de termos metrológicos, a norma faz referência ao "*International vocabulary of basic and general terms in metrology*" editado em 1984. Segundo [18], a NBR ISO 10012-1/1993 [3] está em processo de revisão pelo Comitê Técnico 176 da ISO (TC 176), com previsão de término para o primeiro semestre de 1999.

² Esta norma, elaborada pelo comitê técnico da ISO (TC 176), está em fase de discussão como ISO/DIS 10012-2/1995: *Quality assurance for measuring equipment - Part 2: Guidelines for control of measurement processes* [5].

Sendo as normas NBR ISO 10012 Parte 1 e Parte 2 complementares, pretende-se integrá-las em uma única norma ISO 10012 até o ano 2000. Segundo [18], as principais mudanças previstas para a NBR ISO 10012-1 resumem-se em:

- a) introduz o conceito de uso pretendido, erro máximo permitido e incerteza de medição de uma forma integrada e que conduz à racionalização e otimização sobre o controle dos sistemas ou instrumentos de medição;
- b) associa o controle dos sistemas ou instrumentos de medição com o uso pretendido, com ganhos reais no controle e aprimoramento do produto, pois impõe um estudo sobre as contribuições das incertezas ou erros dos sistemas de medição e seu impacto sobre as especificações do produto ou processo que se está controlando;
- c) inclui novos requisitos (tais como características metrológicas do sistema ou instrumento de medição) e fornece maiores detalhes de cada requisito exigido.

Com respeito a nova NBR ISO 10012-2, as principais contribuições são:

- a) ampliação do conceito de medição para um processo mais abrangente, considerando a influência do operador, o método de medição empregado, as condições ambientais de medição e outros elementos que possam influenciar na qualidade dos resultados de uma medição;
- b) enfatiza o uso de métodos de controle e de avaliação dos processos de medição utilizados para detectar problemas com repetitividade, variações não usuais na operação de medição, e para prover documentação necessária para os requisitos de garantia da qualidade.

2.2.6 NBR 10011/1993 Diretrizes para auditoria de sistemas da qualidade Parte 1: Auditoria

Apresenta os princípios básicos, critérios e práticas de uma auditoria e fornece diretrizes para estabelecer, planejar, executar e documentar as auditorias de sistema da qualidade. As normas 10011-1/2/3 terão seus conteúdos incorporados à nova norma ISO 10011 até o ano 2000.

2.3 Sistema de Garantia da Qualidade Metroológica (SGQM) segundo as normas da série ISO 9000

O Sistema de Garantia da Qualidade Metroológica - SGQM é fundamental dentro do sistema da qualidade. Sua implementação normalmente envolve uma grande quantidade de requisitos e informações decorrentes da interação das atividades metroológicas com as diversas atividades integrantes do sistema de garantia da qualidade, tais como [2]: a garantia da qualidade na produção, no recebimento, entre outras.

Deve-se atentar para a forma com que é abordada a questão da garantia da qualidade metroológica nas normas contratuais NBR ISO 9001/2/3. Verifica-se o enfoque no controle dos sistemas de medição usados na demonstração de conformidade do produto ou processo, aliado a forma lacônica com que são abordados os requisitos metroológicos.

Numa análise mais criteriosa dos requisitos metroológicos das normas ISO 9001/2/3 e da NBR ISO 10012-1 [3], pode-se concluir que a garantia de resultados de medições confiáveis envolve também outros elementos significativos como mostra a Figura 2-3.

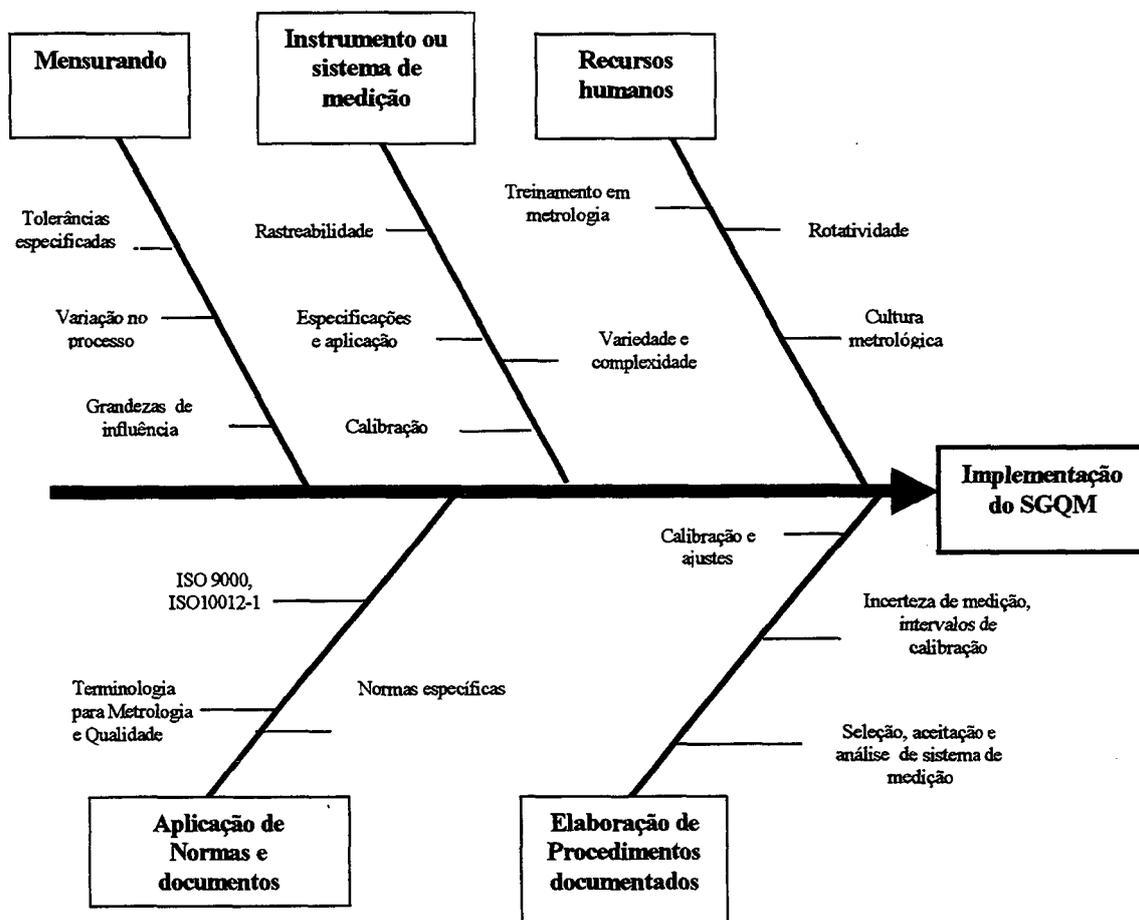


Figura 2-3 Elementos geralmente envolvidos no processo de implementação do SGQM.

2.4 Requisitos metrológicos das normas da série ISO 9000

Apresentam-se os requisitos metrológicos (do item 4.11) transcritos das normas ISO 9001/2/3, incluindo-se, quando necessário, comentários de aspectos importantes.

a) "4.11.1 Generalidades

O fornecedor deve estabelecer e manter procedimentos documentados para controlar, calibrar e manter os equipamentos de inspeção, medição e ensaios (incluindo "software" de ensaio) utilizados pelo fornecedor 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 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, e devem ser reconferidos a intervalos preestabelecidos. O fornecedor deve estabelecer a extensão e a frequência de tais verificações e deve manter registros como evidência de 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 requeridos pelo cliente ou seu representante, para a verificação da adequação funcional dos equipamentos de inspeção, medição e ensaios."

Aspectos importantes:

- necessidade de elaboração de procedimentos formais para controle, calibração e manutenção somente para aqueles sistemas ou instrumentos de medição (incluindo "software" para ensaios) que demonstrem a conformidade de produtos ou processos com os requisitos especificados;
- para os sistemas ou instrumentos de medição utilizados para demonstrar conformidade, devem ser avaliadas as incertezas de medição envolvidas no processo de medição e que essas sejam adequadas às tolerâncias definidas para as grandezas significativas medidas;

- para o caso de "software" de ensaio ou planilha de cálculo (comumente desenvolvida em aplicativos como Excel®) utilizados como meio de provar a aceitabilidade de um produto ou processo, faz-se necessário estabelecer formalmente um processo de validação a intervalos preestabelecidos.

b) "4.11.2 Procedimento de controle

O fornecedor deve:

a) determinar as medições a serem feitas e a exatidão requerida, e selecionar os equipamentos apropriados para inspeção, medição e ensaios com exatidão e precisão necessárias;"

Aspectos importantes:

- medir apenas as grandezas específicas significativas (normalmente são aquelas que estão especificadas em projeto ou que definem a qualidade do produto ou processo);
- selecionar corretamente os sistemas de medição, levando em consideração as tolerâncias das grandezas específicas significativas e a incerteza do processo de medição com o sistema ou instrumento de medição selecionado.

" 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 o processo empregado para a calibração de equipamentos de inspeção, medição e ensaios, incluindo detalhes como: tipo do equipamento, identificação única, localização, frequência de conferência, método de conferência, critérios de aceitação e a ação a ser tomada quando os resultados forem insatisfatórios;"

Aspectos importantes:

- procedimentos de calibração, cálculo de incertezas, intervalos de calibração e critérios de aceitação, preferencialmente referenciados por normas;
- procedimentos formais para ações preventivas e corretivas de não conformidades.

"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 ou ensaios forem encontrados fora de aferição;"

Aspecto importante:

- estabelecer formalmente uma sistemática de avaliação dos resultados de medições, com pessoal tecnicamente qualificado e infra-estrutura para medições e ensaios adicionais.

"g) assegurar que as condições ambientais sejam adequadas para as calibrações, inspeções, medições e ensaios que estejam sendo executados;"

Aspecto importante:

- avaliar os efeitos das condições ambientais sobre a incerteza do processo de medição ou calibração, considerando aspectos como custos e nível de incerteza requerida para a medição. Recomenda-se a documentação dos resultados da avaliação.

"h) assegurar que o manuseio, preservação e armazenamento dos equipamentos de inspeção, medição e ensaios sejam tais, que a exatidão e adequação ao uso sejam mantidas;"

Aspectos importantes:

- estabelecer formalmente programas de treinamento em metrologia e áreas afins;
- possuir infra-estrutura adequada de pessoal e de instalações para o uso e guarda corretos dos sistemas ou instrumentos de medição e acessórios.

"i) proteger as instalações de inspeção, medição e ensaios, incluindo tanto materiais e equipamentos como "softwares" para ensaios, contra ajustes que possam invalidar as condições de calibração."

Aspecto importante:

- elaborar procedimentos documentados para a garantia da inviolabilidade dos sistemas de medição e "*softwares*" utilizados, e a garantia de confidencialidade dos resultados de medições, inspeções e ensaios, quando apropriado.

Verifica-se, pelo que foi exposto neste capítulo, que o processo de implementação de um Sistema de Garantia da Qualidade Metrológica exige habilidade no trato de questões relacionadas com:

- a capacidade de planejamento e gerenciamento das diversas informações e requisitos envolvidos na implementação do SGQM;
- a correta aplicação dos conhecimentos de metrologia e áreas afins, e o profundo conhecimento do processo de produção envolvido.

CAPÍTULO 3

DIFICULDADES DE IMPLEMENTAÇÃO DE SISTEMAS DE GARANTIA DA QUALIDADE METROLÓGICA

A implementação de Sistemas de Garantia da Qualidade Metrológica - SGQM segundo as normas da série ISO 9000 pressupõe o atendimento aos requisitos metrológicos definidos nos seus modelos de garantia da qualidade e aos requisitos metrológicos específicos para o “sistema de comprovação metrológica” definidos na NBR ISO 10012-1[3].

Esses requisitos metrológicos aparentam simplicidade para sua implementação devido, principalmente, à forma superficial com que são apresentados nas normas da série ISO 9000. Entretanto, na prática, requisitos como seleção de instrumentos de medição, avaliação de incertezas de medição, entre outros, se não completamente entendidos, podem dificultar o processo de implementação do Sistema de Garantia da Qualidade Metrológica.

Pesquisas [19,20] realizadas por instituições envolvidas com atividades metrológicas reforçam a importância da metrologia no contexto da qualidade industrial e a necessidade de ações para facilitar o seu entendimento e aplicação.

Apesar dos principais problemas ligados às questões metrológicas na indústria serem supostamente conhecidos das pessoas que lidam com as áreas de metrologia e qualidade industrial, realizou-se uma pesquisa em 15 (quinze) empresas certificadas segundo as normas ISO 9000. O objetivo principal da pesquisa, foi a investigação mais detalhada desses problemas e sua confirmação. Além disso, a pesquisa contribuiu para a definição da forma de abordagem e dos tópicos do Guia para Confiabilidade Metrológica - GCM proposto neste trabalho.

Neste capítulo apresenta-se uma breve descrição do método adotado na pesquisa, os principais resultados obtidos e, finalmente, as conclusões do estudo de casos.

3.1 Método de Pesquisa: Estudo de Casos

Segundo Yin em [21], o método de estudo de casos se propõe a investigar um fenômeno contemporâneo dentro do seu contexto real, onde os limites entre o fenômeno e o contexto não são claramente percebidos, através do uso de fontes múltiplas de evidência: entrevistas, arquivos, documentos, observações, entre outros.

Concordando com [21], que afirma ser o estudo de casos adequado a uma fase exploratória da investigação, vê-se a adequação desse método de pesquisa aos objetivos deste trabalho: conhecer detalhadamente os principais problemas encontrados na etapa de implementação de Sistemas de Garantia da Qualidade Metroológica em empresas certificadas segundo as normas ISO 9000 e propor soluções.

O método de aplicação da pesquisa caracterizou-se pela associação da metodologia de aplicação de questionário com perguntas fechadas a um analista, proposta por Yin e Heald em [21], com o uso de folhas de anotações.

Dessa forma, a pesquisa desenvolveu-se com a aplicação pelo mestrando de entrevista com o uso de questionário e folha de anotações para cada empresa selecionada. O entrevistado foi a pessoa responsável pelo Sistema de Garantia da Qualidade Metroológica da empresa, o que propiciou maior confiabilidade da pesquisa e racionalização do processo de coleta de dados.

A amostra pesquisada constituiu-se de 15 (quinze) empresas industriais de médio e grande porte localizadas no Estado do Ceará, caracterizando-se como um estudo de casos múltiplos. Segundo [21], a vantagem da aplicação de estudo de casos múltiplos reside no fato de que esses proporcionam evidências inseridas em diferentes contextos, o que acaba tornando a pesquisa como um todo mais robusta. Nesse sentido, a amostragem da pesquisa conteve empresas com atividades industriais diferentes como apresentado na Figura 3-1.

A realização da pesquisa no Estado do Ceará deu-se, principalmente, devido o apoio das seguintes instituições:

- IEL/CE - Instituto Euvaldo Lodi
- FIEC - Federação das Indústrias do Estado do Ceará
- UFC - Universidade Federal do Ceará

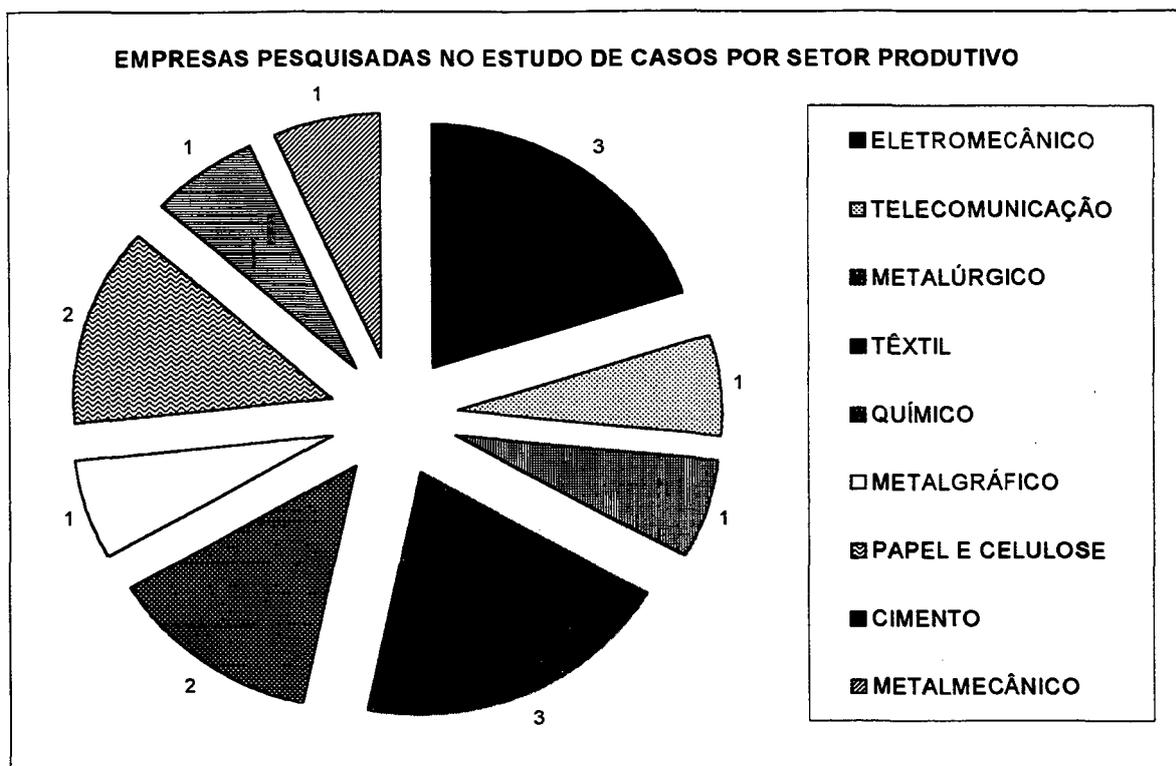


Figura 3-1 Composição da amostra pesquisada por setor produtivo.

3.2 Resultados do Estudo de Casos

Neste trabalho apresentam-se apenas os resultados do estudo de casos que mais contribuíram para o desenvolvimento do Guia para Confiabilidade Metroológica - GCM, optando-se, por questão de espaço, em não apresentar na forma gráfica os itens 3.2.3; 3.2.5; 3.2.8 e 3.2.9. A análise de todos os resultados do estudo de casos, onde as 15 (quinze) empresas pesquisadas foram classificadas em médias e grandes empresas consta em [7].

Os resultados apresentados são resultantes da análise dos questionários coletados na pesquisa e das informações registradas nas folhas de anotações. Nos gráficos apresentados, está indicado o **número relativo de ocorrências de respostas sobre o total de empresas pesquisadas**. A exceção ocorre no item 3.2.4 onde o total de empresas pesquisadas é 09 (nove).

Optou-se em apresentar para cada rótulo próximo a sua respectiva coluna, seus valores na forma relativa e na forma fracionária, para evitar interpretação equivocada dos gráficos.

3.2.1 Principais dificuldades no processo de certificação ISO 9000

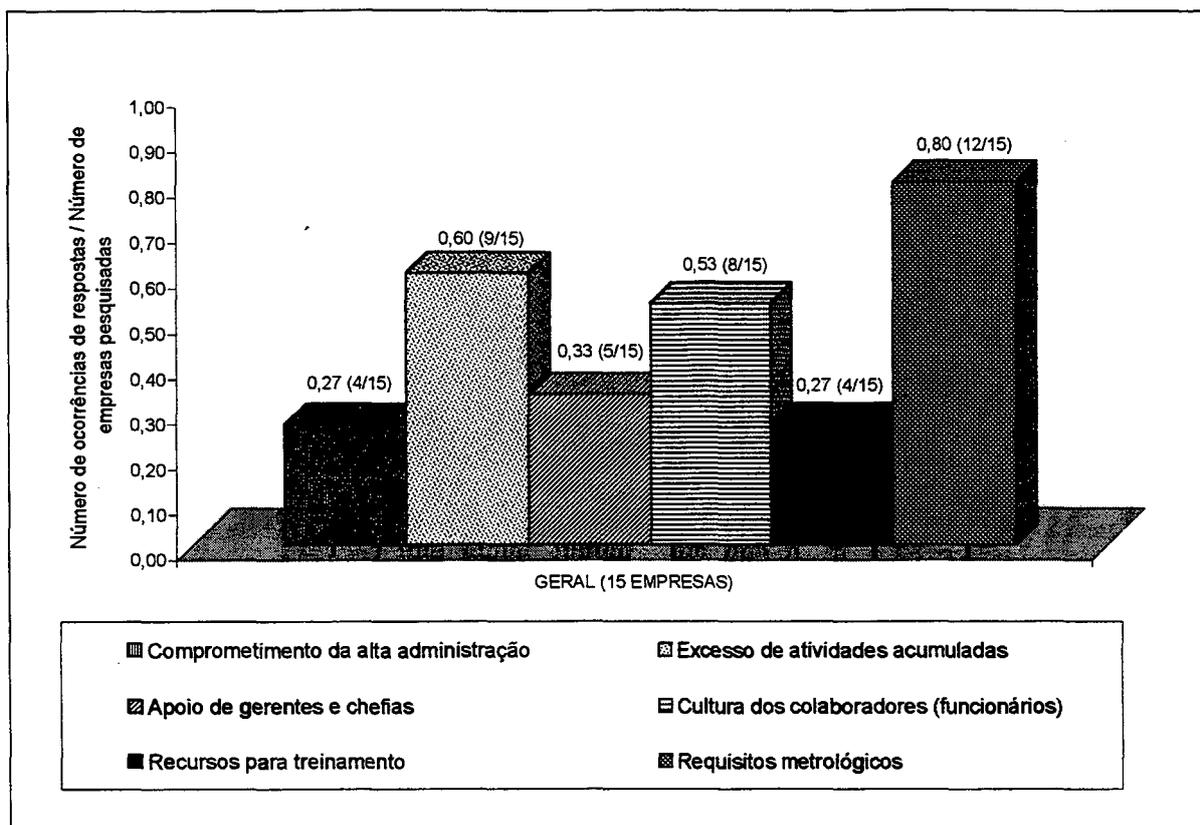


Figura 3-2 Principais dificuldades encontradas durante o processo de certificação segundo as normas ISO 9000.

Os dados da pesquisa indicam que o item **requisitos metrológicos**, citado por 80% (12/15) das empresas pesquisadas, é um dos principais problemas no processo de certificação. A forma lacônica de apresentação dos requisitos metrológicos nas normas ISO 9000 e o conhecimento inadequado de metrologia do pessoal da empresa contribuem para esse elevado percentual (item 3.2.2). Outras duas dificuldades citadas na Figura 3-2: **excesso de atividades acumuladas e cultura dos colaboradores** refletem respectivamente, a forma dispersa e ineficiente das ações tomadas para implementação dos requisitos metrológicos e a falta de conhecimento sobre metrologia e sua importância na garantia da qualidade do produto ou processo.

3.2.2 Dificuldades relevantes na implementação dos requisitos metroológicos da ISO 9000 e seus documentos complementares

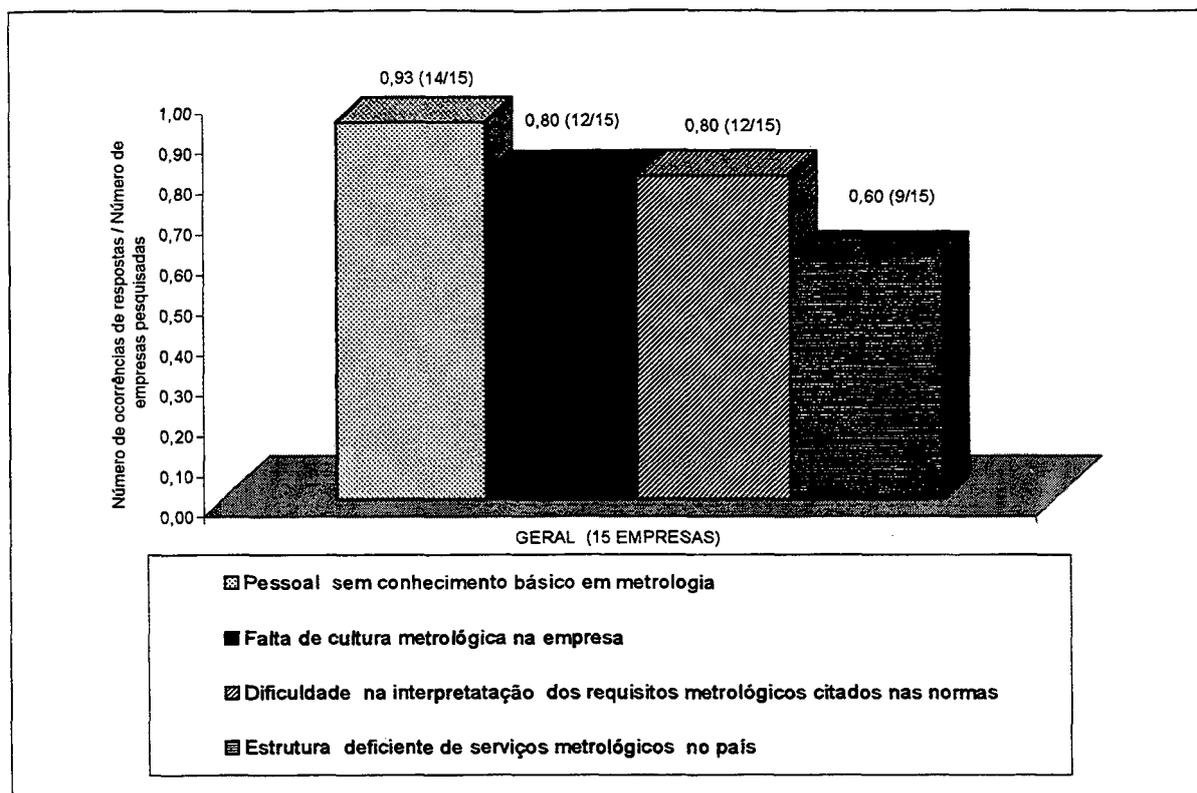


Figura 3-3 Principais dificuldades encontradas durante o processo de implementação dos requisitos metroológicos das normas ISO 9000

Os resultados apresentados na Figura 3-3 confirmam a suposição que a base de um Sistema de Garantia da Qualidade Metroológica bem implementado é a formação adequada em metrologia do pessoal da empresa. Outras pesquisas realizadas no âmbito da metrologia e qualidade [19,20], reforçam essa suposição.

Quatorze das quinze (14/15) empresas pesquisadas afirmam que o **pessoal sem conhecimento básico em metrologia** é a principal dificuldade constatada no processo de implementação dos requisitos metroológicos.

Constata-se a necessidade de programas de formação de recursos humanos em metrologia, especialmente em metrologia industrial básica, de modo a incentivar a formação de uma **cultura metroológica nas empresas**, contribuindo, entre outras coisas, para a redução das **dificuldades na interpretação dos requisitos metroológicos citados nas normas ISO 9000**.

3.2.3 Seleção dos sistemas de medição críticos

Apesar da etapa de seleção de sistemas ou instrumentos de medição ser uma das mais importantes na garantia da qualidade metrológica de uma empresa, a pesquisa revelou que 60% (9/15) das empresas pesquisadas indicaram que não se utilizam de procedimentos documentados na seleção de seus sistemas ou instrumentos de medição. Faz-se a seleção informalmente, ou seja, não se tem documentação estabelecendo os requisitos formais. Entretanto, segundo informações dos entrevistados, três fatores são levados em consideração para a seleção informal:

- a experiência do instrumentista;
- as informações contidas nos catálogos dos fabricantes;
- o custo de aquisição do instrumento de medição e sua assistência técnica no país.

O restante, seis das quinze (6/15) empresas pesquisadas, afirmaram que possuem procedimentos documentados para seleção dos sistemas ou instrumentos de medição. Pôde-se constatar, pela análise dos procedimentos, que a seleção formal de sistemas de medição está definida dentro do procedimento geral denominado frequentemente de "Controle de Equipamentos de Inspeção, Medição e Ensaio" como um item desse procedimento. Verificou-se também, que a seleção baseia-se nas seguintes relações:

- a **tolerância** do processo ou produto e o **erro máximo admissível** do sistema ou instrumento de medição;
- a **tolerância** do processo ou produto e o **valor de uma divisão** do sistema ou instrumento de medição.

Constatou-se, pela análise dos procedimentos, que nenhuma empresa pesquisada realiza uma estimativa da incerteza do processo de medição (na qual estará inserida o sistema ou instrumento de medição selecionado) e nem apresentam fundamentação para o emprego das relações indicadas acima.

A análise dos procedimentos indicou que o erro máximo admissível do sistema ou instrumento de medição é definido através de informações de catálogos de fabricantes, critérios de normas ou uma fração arbitrada da tolerância da grandeza que se deseja medir.

3.2.4 Método de cálculo de incerteza de medição na calibração interna

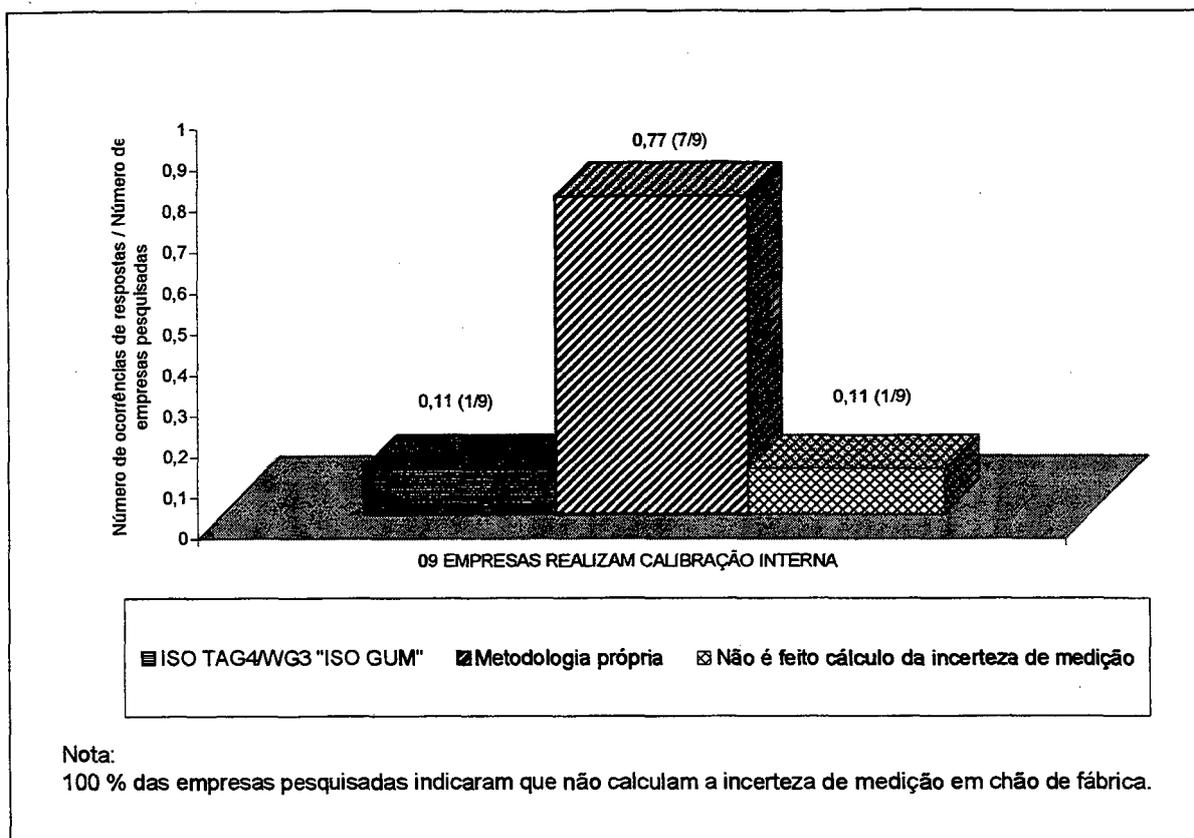


Figura 3-4 Metodologias de cálculo de incerteza de medição para calibrações internas.

No questionário usado no estudo de casos, aplicou-se dois quesitos sobre metodologia de cálculo de incerteza de medição: o primeiro para medições em chão de fábrica ou medições no processo, e o segundo para cálculo nas calibrações internas.

Confirmando suposições prévias, as incertezas de medição para medições críticas em chão de fábrica não são calculadas em nenhuma das quinze (15) empresas pesquisadas. Constatou-se em todas as empresas pesquisadas, que o requisito, cálculo de incerteza, é entendido como obrigatório apenas nas tarefas de calibração.

Para a incerteza de medição nas calibrações internas, sete das nove (7/9) empresas que realizam calibração interna, afirmaram que possuem **metodologia própria** para o cálculo. Dessas sete (7) empresas, apenas uma não evidenciou a forma de cálculo. A análise dos procedimentos internos das seis (6) empresas que avaliam incertezas na calibração, pôde-se verificar duas formas distintas de cálculo de incertezas:

- **Incerteza de medição em três das seis (3/6) empresas que evidenciaram a forma de cálculo:**

$$U_{95\%} = \pm (s_x^2 + I_{hp}^2)^{1/2} \cdot 2 \quad (3.1)$$

onde:

s_x é o desvio padrão experimental das indicações;

I_{hp} é a incerteza herdada do padrão de medição usado;

O fator multiplicativo 2 (dois) para se relatar a incerteza em um nível da confiança de 95%.

- **Incerteza de medição no restante (3/6) das empresas que evidenciaram a forma de cálculo:**

$$U_{95\%} = \pm \left[\left(\frac{t \cdot s}{\sqrt{n}} \right)^2 + I_{hp}^2 \right]^{1/2} \quad (3.2)$$

onde:

s é o desvio padrão experimental das indicações;

t é o fator *t student* para um nível da confiança de 95%;

n é o número de medições realizadas;

I_{hp} é a incerteza herdada do padrão de medição usado.

A metodologia em ambas as situações não é baseada no "ISO-GUM" [22]. Além da dispersão das indicações e da incerteza herdada do padrão, outros componentes de incerteza tais como: a resolução do sistema ou instrumento de medição a calibrar, os efeitos das grandezas de influências, entre outras, não são considerados na expressão final da incerteza de medição na calibração.

Quanto ao uso da metodologia estabelecida no ISO GUM [22], apenas uma empresa procurou aplicá-la no cálculo da incerteza de medição nas calibrações internas. Entretanto, pela análise do procedimento fornecido pela empresa, verificou-se que a metodologia não foi bem assimilada e muitos erros conceituais foram cometidos.

3.2.5 Metodologia para estabelecer o critério de aceitação do sistema ou instrumento de medição calibrado

Outro importante requisito metroológico exigido em um Sistema de Garantia da Qualidade Metroológica, é o critério de aceitação do sistema ou instrumento de medição selecionado. A pesquisa indicou que cerca de 87% (13/15) das empresas pesquisadas possuem uma metodologia para aceitar (comprovar a conformidade) ou não aceitar (comprovar a não conformidade) dos sistemas ou instrumentos de medição calibrados.

Constatou-se, em quase todas as empresas pesquisadas, que o critério de aceitação resume-se na **relação de um "parâmetro" do sistema ou instrumento de medição, resultante da calibração, com a tolerância do mensurando (grandeza específica a medir) do processo ou produto.** Esse "parâmetro" tem várias denominações nos procedimentos documentados analisados, são eles: "incerteza total", "exatidão admissível", "erro total", "erro total quadrático" e a "incerteza de medição total".

A determinação desse "parâmetro" nos procedimentos analisados dá-se de diversos modos:

$$\bullet \text{ "Parâmetro"} = (T_d^2 + U_{95\%}^2)_{\text{máx}}^{1/2} \quad (3.3)$$

onde:

T_d é a tendência máxima constatada no certificado de calibração do instrumento;

$U_{95\%}$ é a incerteza correspondente à tendência máxima.

$$\bullet \text{ "Parâmetro"} = [(T_d + U_{95\%})_{\text{máx}} + I_{hp}] \quad (3.4)$$

onde:

T_d é a tendência máxima constatada no certificado de calibração do instrumento;

$U_{95\%}$ é a incerteza correspondente à tendência máxima;

I_{hp} é a incerteza herdada do padrão usado na calibração.

$$\bullet \text{ "Parâmetro"} = U_{\text{máx}95\%} \quad (3.5)$$

onde:

$U_{\text{máx}95\%}$ é a incerteza de medição máxima relatada no certificado de calibração.

A tendência é denominada nos procedimentos analisados de: "desvio", "erro" ou "erro sistemático". A incerteza $U_{\text{máx } 95\%}$ é calculada conforme as equações 3.1 ou 3.2.

Verificou-se portanto uma variedade de fórmulas de cálculo do "parâmetro" resultante da calibração e novamente a tolerância do processo ou produto foi utilizada (ao invés do erro máximo admissível) na relação para efeito de aceitação ou não do sistema ou instrumento de medição calibrado. Nota-se também a redundância cometida pelas empresas que usam a equação 3.4. A incerteza herdada do padrão (I_{hp}) já está considerada na avaliação da incerteza $U_{95\%}$ (equações 3.1 e 3.2).

3.2.6 Metodologias para determinação dos intervalos de calibração

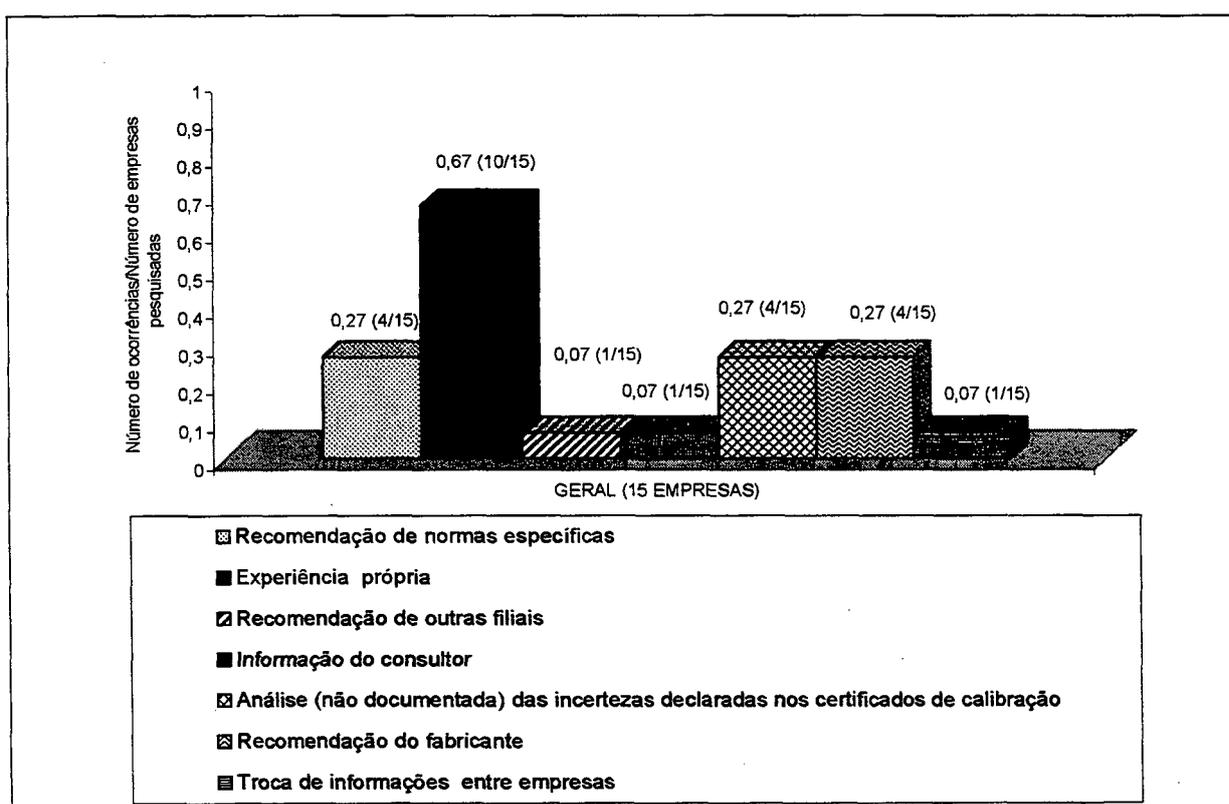


Figura 3-5 Metodologias aplicadas para determinação dos intervalos de calibração.

A definição de uma metodologia única que estabeleça intervalos ótimos de calibração tem sido um objetivo constante entre os especialistas em metrologia. Uma grande quantidade de fatores influencia a frequência com que deva ocorrer a calibração dos sistemas ou instrumentos de medição.

Confirmando a afirmativa relatada no anexo A: "Diretrizes para determinação de intervalos de comprovação para equipamentos de medição" da NBR ISO 10012-1/93 [3], de que a base para o estabelecimento de um intervalo inicial de calibração é

invariavelmente a "intuição técnica", a pesquisa revelou que cerca de 67% (10/15) das empresas pesquisadas utilizam a **experiência própria** para estabelecer os intervalos de calibração dos sistemas ou instrumentos de medição da empresa.

Em segundo lugar, figuram com aproximadamente 27% (4/15) das empresas pesquisadas, as opções:

- recomendação de normas específicas;
- recomendação de fabricantes e;
- análise (não documentada) das incertezas declaradas nos certificados de calibração.

Segundo as informações dos entrevistados, a análise não documentada das incertezas caracteriza-se pelo acompanhamento das incertezas relatadas nos certificados sem um critério preestabelecido formalmente.

Verifica-se pela Figura 3-5, uma diversidade de métodos (ou combinação desses) adotados pelas empresas para estabelecerem os intervalos de calibração. O estabelecimento do intervalo inicial de calibração através da "experiência do metrologista" ou de especificações de normas e catálogos é usual e recomendado por normas [3]. Entretanto o uso de métodos para ajustar o intervalo inicial para uma condição de equilíbrio entre o custo das calibrações e a confiabilidade dos resultados das medições entre os intervalos de comprovação é essencial.

3.2.7 Ferramentas estatísticas para auxiliar na garantia da confiabilidade metrológica nos processos de medição

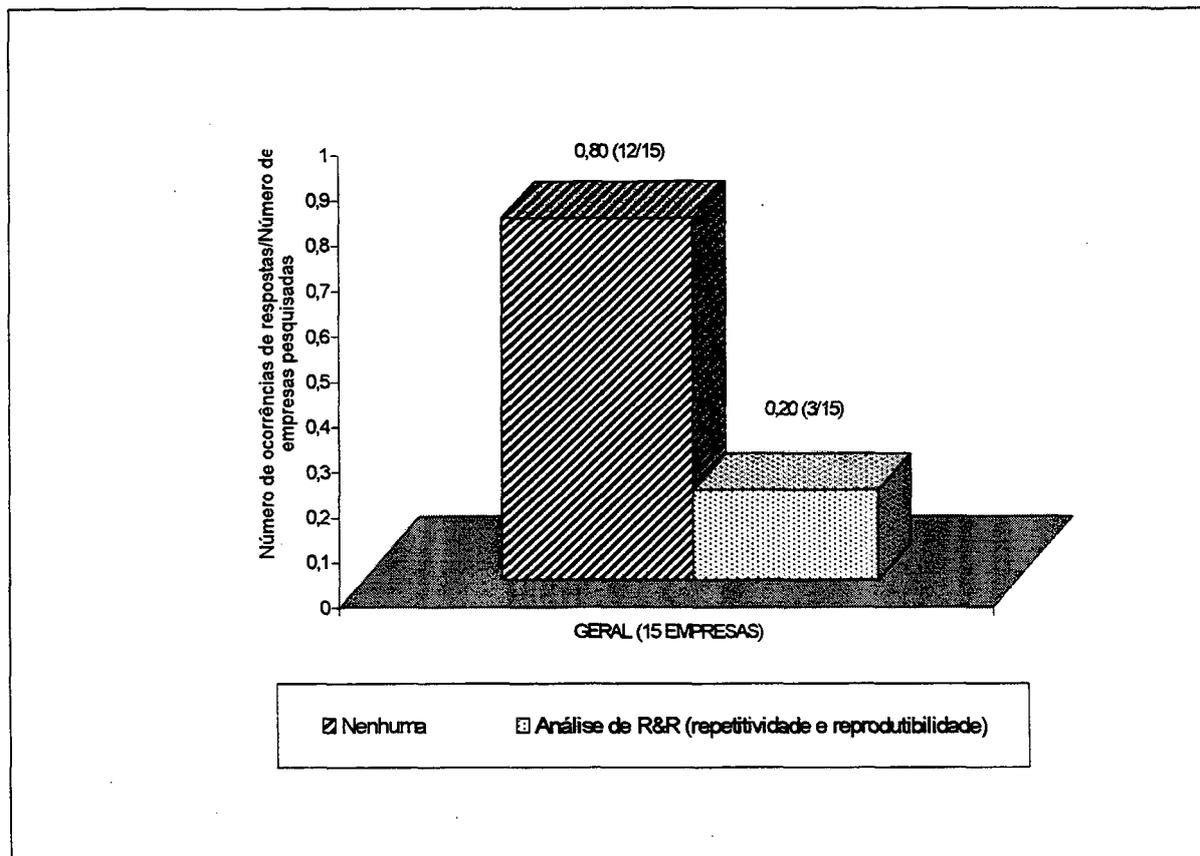


Figura 3-6 Ferramentas estatísticas utilizadas pelas empresas pesquisadas.

Existe uma grande quantidade de ferramentas estatísticas úteis para melhoria da confiabilidade nos processos de medição, tais como: a análise de repetitividade e reprodutibilidade (R&R), o controle estatístico (CEP) aplicado ao processo de medição, a análise de regressão, os experimentos fatoriais, entre outros.

No entanto o estudo de casos revelou que apenas três das quinze (3/15) empresas pesquisadas utilizam-se, dentre as ferramentas existentes, a análise de repetitividade e reprodutibilidade (R&R) para auxiliar na garantia da confiabilidade metrológica dos processos de medição críticos.

A metodologia utilizada na análise de repetitividade e reprodutibilidade (R&R) é a estabelecida no manual de referência do "QS 9000" denominado de Análise dos Sistemas de Medição (MSA) [23].

3.2.8 Uniformização da terminologia utilizada na elaboração dos documentos do sistema da qualidade

A questão da uniformização de termos utilizados nos procedimentos documentados do sistema da qualidade, particularmente dos termos metrológicos, ainda carece de atenção especial. Termos como **exatidão**, **precisão** e **aferição** são frequentes nos procedimentos documentados. Segundo alguns entrevistados, esses termos continuam sendo utilizados porque são bastante conhecidos entre o pessoal de nível técnico das empresas, além do que, as normas de garantia da qualidade vigentes e catálogos de fabricantes ainda conservam os termos acima.

A pesquisa revelou que 60% (9/15) das empresas pesquisadas uniformizaram a terminologia utilizada nos documentos do sistema da qualidade, usando como documentos de referência, a NBR ISO 8402/1994 [1] e a NBR ISO 10012-1/1993 [3].

Constatou-se que todas as empresas pesquisadas desconhecem a versão atual do Vocabulário Internacional de Termos Fundamentais e Gerais de Metrologia - VIM/1997 [15], apesar de terem (60% das empresas) usado a NBR ISO10012-1/1993 [3] que tem o VIM de 1984 como documento de referência para os termos metrológicos.

3.2.9 Necessidades de treinamento em metrologia

Apesar de ser um requisito (item 4.18) da NBR ISO 10012-1 e das normas contratuais ISO 9001/2/3, verificou-se a pouca importância dada para o treinamento em metrologia e ferramentas estatísticas aplicada à metrologia. Apenas 33% (5/15) das empresas pesquisadas incluíram metrologia dentro da sua programação de treinamento.

Segundo as empresas pesquisadas, as principais dificuldades para qualificação de pessoal na área metrológica são: a pouca oferta de cursos específicos, o tempo exigido para os treinamentos e os custos dos treinamentos. A primeira dificuldade citada tem uma forte influência do contexto geográfico onde a pesquisa foi realizada.

3.3 Conclusões do estudo de casos

As dificuldades relatadas estão fundamentadas nas informações oriundas da pesquisa através de estudo de casos em 15 (quinze) empresas de médio e grande porte certificadas ISO 9000; no acompanhamento do processo de certificação em uma empresa de grande porte em Santa Catarina e num vasto levantamento de informações em normas e documentos de referência que correlacionam metrologia e qualidade.

Resumidamente, as principais dificuldades para implementação de Sistemas de Garantia da Qualidade Metrológica devem-se à:

- a) falta de uma metodologia geral para implementação do Sistema de Garantia da Qualidade Metrológica - SGQM nas empresas;
- b) baixa qualificação de pessoal na área metrológica;
- c) formação inadequada em metrologia da grande maioria dos auditores de sistemas da qualidade de organizações certificadoras;
- d) falta fundamentação metrológica para os procedimentos documentados utilizados na:
 - d.1) seleção de sistemas ou instrumentos de medição;
 - d.2) avaliação de conformidade dos sistemas ou instrumentos de medição calibrados;
 - d.3) avaliação de incerteza da medição em laboratório e em chão de fábrica;
 - d.4) escolha do intervalo inicial de calibração e otimização deste.
- e) pouca aplicação de ferramentas para auxiliar na garantia da confiabilidade metrológica.

CAPÍTULO 4

GARANTIA DA QUALIDADE METROLÓGICA: ANÁLISE DE PROBLEMAS E PROPOSTAS DE SOLUÇÕES

No capítulo 3 foram apresentadas as principais dificuldades relacionadas com as atividades metrológicas constatadas pelo estudo de casos realizado junto a empresas de médio e grande porte certificadas ISO 9000 [7]. As dificuldades constatadas concordam em menor ou maior grau com as dificuldades enfrentadas pela maioria das empresas certificadas segundo as normas ISO 9000 no Brasil. Essa afirmação está baseada nos contatos mantidos com auditores de sistemas da qualidade de reconhecidas organizações certificadoras, na experiência do mestrando e do orientador deste trabalho no trato das questões relacionadas com a garantia da qualidade, no estudo de caso realizado numa empresa de grande porte no Estado de Santa Catarina e na análise dos resultados de pesquisas sobre metrologia e ISO 9000, realizadas pelo INMETRO (Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial) [20] e pela Rede Metrológica do Rio Grande do Sul [19].

Neste capítulo analisam-se e propõem-se soluções para as principais questões relacionadas com a garantia da qualidade metrológica, divididas em questões específicas e gerais. Justifica-se essa divisão pelo seguinte:

Para as questões específicas,

- foram perfeitamente identificadas no estudo de casos [7] e têm uma pequena dependência da região pesquisada;
- são problemas delimitados, e para os quais as soluções propostas têm caráter de aplicação geral e representam uma significativa contribuição ao estado da arte;

Para as questões gerais,

- pela sua abrangência não foi possível identificar com especificidade essas questões no estudo de casos [7];
- sofrem uma maior influência da região pesquisada;
- existem muitas soluções particularizadas para essas questões, de modo que são apresentadas neste trabalho apenas recomendações gerais.

4.1 Questões Específicas

4.1.1 Seleção de sistemas de medição frente aos requisitos de exatidão

A seleção correta dos sistemas ou instrumentos de medição é fator essencial dentro dos objetivos da garantia da qualidade metrológica de uma empresa. A tarefa de selecionar adequadamente os sistemas de medição, inspeção e ensaios, exige conhecimentos sobre o processo de medição e suas condições de contorno, o fator custo (de aquisição e operacional), o grau de automatização necessário, o processo produtivo (em série ou produção unitária), entre outros [24].

O objetivo deste item é analisar o processo de seleção considerando o que é exigido nas normas de garantia da qualidade ISO 9000; ou seja: que o instrumento ou sistema de medição seja selecionado considerando os aspectos de exatidão. Dessa forma, analisa-se o uso da relação entre a incerteza do processo de medição e tolerância especificada do mensurando, como critério para seleção adequada do instrumento ou sistema de medição.

Diversos fatores podem influenciar no processo de seleção tais como: o custo de aquisição, o método de medição, o procedimento de medição, o grau de automatização e outros; entretanto não são abordados neste trabalho.

No capítulo 3 - item 3.2.3 - pôde-se constatar, para aquelas empresas que selecionam formalmente seus sistemas de medição, que o critério de seleção adotado foi baseado na relação da **tolerância** do mensurando com o **erro máximo admissível**³ ou com o **valor de uma divisão**⁴ do sistema de medição.

Esses critérios são comuns no meio industrial e se destacam pela sua "praticidade" na obtenção dos parâmetros envolvidos: a tolerância, normalmente definida nas especificações de projetos, e o erro máximo admissível ou o valor de uma divisão, usualmente determinados nas especificações técnicas de fabricantes [7,25].

³ Verificou-se o uso dos termos **exatidão**, **precisão**, **erro do equipamento** e **erro máximo**, para expressar o termo **erro máximo admissível**. Constatou-se também, uma tendência a estimar o **erro máximo admissível** através das especificações dos fabricantes do que por normas específicas ou pela experiência própria.

⁴ Os termos **menor divisão** e **resolução** foram usados como sinônimos para o termo **valor de uma divisão**.

Entretanto a "praticidade" pode ser conflitante com a confiabilidade metrológica do sistema ou instrumento de medição quando usado nas condições reais de utilização.

Os critérios acima até podem ser aplicados desde que se conheça profundamente o comportamento metrológico e operacional do sistema ou instrumento de medição na sua condição real de uso, o que na prática é muito raro [26].

Considerar a relação entre a **tolerância** do mensurando e o **erro máximo admissível** como critério de seleção pode levar à falsa conclusão de que o instrumento ou sistema de medição é capaz para avaliar a conformidade da grandeza medida. Isso pode ocorrer por exemplo quando o erro máximo admissível não coincide com a incerteza de medição no processo (chão de fábrica). Essa é uma situação freqüente, uma vez que o erro máximo admissível usualmente refere-se às condições básicas de utilização do sistema de medição (condições de referência).

A relação **tolerância** e **erro máximo admissível** do sistema ou instrumento de medição só pode ser usada na situação particular em que todos os componentes de incerteza do processo de medição são comprovadamente desprezíveis em relação ao erro máximo admissível que, nesse caso, representa a própria incerteza do processo de medição.

Com respeito à relação entre **tolerância** do mensurando e **valor de uma divisão**, ou **tolerância** do mensurando e **resolução** do sistema ou instrumento de medição, a situação pode ser ainda mais crítica. Por exemplo, para sistemas ou instrumentos de medição digitais, a incerteza de medição nas condições reais de uso pode ser centenas de vezes maior que a sua resolução, caracterizada pelo incremento digital [26].

Verifica-se que o uso dessas relações "práticas" podem levar a decisões equivocadas no processo de seleção de instrumentos ou sistema de medição. O conhecimento do processo de medição é fundamental.

Dessa forma a seleção do sistema ou instrumento de medição inicia-se a partir de uma perfeita definição do processo de medição. Isso implica caracterizar o que será medido (o mensurando) e todos os outros aspectos importantes que revestem o processo de medição [24,27].

A NBR ISO 9001 [10] no item - 4.11.2 a - estabelece: "O fornecedor deve determinar as medições a serem feitas e a exatidão requerida, e selecionar os equipamentos apropriados de inspeção, medição e ensaios com exatidão e precisão necessárias".

Identifica-se nesse item da norma dois requisitos importantes para o processo de seleção de instrumentos ou sistemas de medição:

- a) a definição do mensurando e sua tolerância especificada admissível;
- b) a relação adequada entre a incerteza do processo de medição do mensurando e sua tolerância especificada.

4.1.1.1 Definição da grandeza específica sob medição (o mensurando)

A definição clara do mensurando compreende basicamente identificar o que será medido, seus limites de variação dentro do processo e os limites de tolerância especificados. Tem-se portanto:

- a) Tipo do mensurando;

É a primeira informação a ser levantada quando de se deseja selecionar um instrumento ou sistema de medição, podendo ser o requisito mais restritivo [24]. Para a área dimensional pode-se citar a grandeza específica comprimento externo ou interno ou, na área de medição de pressão, a pressão absoluta ou a pressão manométrica, como exemplos.

- b) limites de variação do mensurando;

O conhecimento dos valores extremos que o mensurando pode assumir no processo serve para definir a faixa de medição (ou faixa de trabalho) necessária para o instrumento ou sistema de medição. É necessário que essa faixa definida de medição contenha toda a faixa de valores que o mensurando possa assumir, ou, se for o caso, seu valor nominal [24].

- c) tolerância do mensurando.

Tolerância refere-se a diferença entre os limites de tolerância inferior e superior [28]. Esta informação está normalmente contida nas especificações de projetos, especificações técnicas de fabricantes, em normas de especificação ou de ensaio e em regulamentos legais.

4.1.1.2 A Relação tolerância e incerteza do processo de medição

A relação entre tolerância (T) do mensurando e a incerteza do processo de medição (U) não é única. Ela deve ser determinada para cada aplicação particular, ponderando-se entre o que é realizável e o que é necessário [24]. Várias relações têm sido estabelecidas, umas mais conservativas outras menos, como mostrado na Tabela 4-1.

Tabela 4-1 Relações tolerância/incerteza do processo de medição usuais.

$\frac{T}{U_{95\%}} \leq 10$	[25,29]
$\frac{T}{U_{95\%}} \leq 5$	[30]
$3 \leq \frac{T}{U_{95\%}} \leq 5$	[31]

A relação é aplicada nos casos de especificações de tolerâncias bilaterais (limites superior e inferior de especificação). Para os casos de especificações unilaterais, uma forma prática de contornar o problema mas que exige total conhecimento das variações do mensurando é estimar seus limites extremos com base no histórico de medições reais do processo produtivo.

As especificações dos limites de tolerância do mensurando estão normalmente definidas nos documentos formais da empresa ou em normas específicas. Para a incerteza de medição, sua determinação é feita a partir da estimativa dos componentes de incertezas envolvidos no processo de medição.

O documento ISO/TR 14253-2 - Guia para avaliação de incerteza de medição, na calibração de sistema de medição e na verificação de produto [32], pode ser bastante útil na estimativa da incerteza do processo de medição.

Esse documento é baseado no Guia para Expressão da Incerteza de Medição - "ISO-GUM" [22] e as justificativas para o uso do ISO/TR 14253-2 na indústria são dadas no item 4.1.2.2.

O uso da relação entre tolerância (T) do mensurando e a incerteza do processo de medição (U) é justificada nas seguintes considerações:

- a) A relação pode ser utilizada como um indicativo da capacidade do processo de medição de controlar o processo produtivo e juntamente com o índice de capacidade do processo de produção, prover maior confiança nas decisões sobre a conformidade ou não do produto ou processo. A condição requerida, nessa situação, é que o processo produtivo esteja sob controle estatístico [24].

- b) A relação é mais conservativa e consistente do que as relações entre a tolerância e erro máximo admissível ou a tolerância e valor de uma divisão do sistema de medição constatadas no estudo de casos [7]. Os parâmetros valor de uma divisão e resolução são apenas componentes considerados na avaliação da incerteza do processo de medição.
- c) Ao se estimar a incerteza do processo de medição (U), satisfaz-se o requisito exigido nas normas contratuais ISO 9000 sobre a expressão da incerteza de medição para medição no chão de fábrica. Essa estimativa de incerteza de medição só é garantida se os componentes da incerteza mantiverem-se sob controle.
- d) Existência de normas atuais que consideram os parâmetros tolerância e incerteza do processo de medição para avaliação de conformidade de produtos ou sistema de medição [28], e para avaliação de incerteza de medição no chão de fábrica [32].
- e) A relação entre tolerância e incerteza do processo de medição como requisito para seleção de sistemas de medição é consistente com a filosofia ocidental de produção, onde é aceitável que a variabilidade do processo de produção seja igual à tolerância especificada do mensurando [24].

Sendo a relação tolerância e incerteza do processo de medição uma decisão da empresa, algumas questões importantes devem ser consideradas para auxiliar na tomada de decisão. São elas:

- a) A primeira questão é de ordem subjetiva e está relacionada diretamente com a política de qualidade da empresa. Recomenda-se estabelecer uma escala de prioridades para todos aqueles processos de medição críticos. Os que afetam diretamente a política de qualidade da empresa são considerados críticos, estabelecendo-se relações tolerância e incerteza mais conservativas. Processos que medem grandezas que quando fora de controle causam prejuízos ao meio ambiente ou danos físicos aos funcionários, são exemplos de processos críticos.
- b) Outra questão refere-se ao quanto a empresa está disposta a errar nas decisões de aceitação ou rejeição do que produz. Aspectos econômicos e técnicos devem ser considerados, sendo necessário adotar relações mais conservativas quando os custos associados às operações de retrabalho são elevados ou adotar relações menos conservativas quando limitações técnicas para produção ou medição são evidenciadas.
- c) Para processos produtivos sob controle estatístico, ou seja, variabilidade decorrente apenas de causas normais, as informações sobre a localização da média real do

processo de produção e seu índice de capacidade podem auxiliar na determinação da relação adequada entre a tolerância e a incerteza do processo de medição.

Verifica-se que a definição adequada da relação entre a tolerância do mensurando e a incerteza requerida para o seu processo de medição, envolve o conhecimento sobre o processo de produção e as principais fontes de incertezas envolvidas no processo de medição.

4.1.2 Avaliação da incerteza do processo de medição

O principal indicativo da qualidade de um resultado de uma medição é a sua incerteza, do que se deduz a necessidade de se utilizar procedimentos confiáveis e representativos para sua determinação [31]. Nesse sentido, recomenda-se adotar como base referencial para os procedimentos formais do sistema de garantia da qualidade (procedimentos de seleção, avaliação de conformidade, incerteza de medição, entre outros), as normas e documentos de referência elaborados por organizações internacionais reconhecidas como é o caso da ISO (*International Organization for Standardization*) e do BIPM (*Bureau International des Poids et Mesures*).

Apesar das normas de garantia da qualidade ISO 9000 e do documento de referência complementar NBR ISO 10012-1 [3] exigirem a avaliação e expressão da incerteza de medição através de procedimentos documentados, não há qualquer recomendação nessas normas e nem na nova versão da ISO 9001, a ISO CD1 9001/2000 [13], de qual método deva ser utilizado para essa avaliação.

A necessidade de avaliação e expressão da incerteza da medição para qualquer resultado de medição (e não apenas nas calibrações) só está evidenciada na NBR ISO 10012-1 [3] item 4.6.

No capítulo 3 mostrou-se como é encarada a questão da avaliação de incerteza de medição em 15 (quinze) empresas de médio e grande porte certificadas ISO 9000. Pôde-se constatar que a metodologia de avaliação e expressão de incerteza de medição estabelecida no documento do BIPM (*Bureau International des Poids et Mesures*), o "ISO-GUM" [22], está pouco disseminada no meio industrial e que a estimativa de incerteza de medição em medições no chão de fábrica não é realizada.

A metodologia ideal para avaliação e expressão de incerteza de medição, seja nas atividades de calibração ou nas medições no processo ou chão de fábrica, deve possuir as seguintes características:

- a) a metodologia deve ser **universal**, ou seja, aplicável a todas as espécies de medições e a todos os tipos de dados de entrada usados nas medições;
- b) o método deve fornecer um **intervalo em torno da estimativa do valor do mensurando** com o qual se espera abranger, com um **nível da confiança definido**, grande porção dos valores que podem ser razoavelmente atribuídos ao mensurando;
- c) a grandeza usada para expressar esse intervalo em torno da estimativa do valor do mensurando, ou seja, a incerteza, deve ser **internamente consistente**. Isso significa que a grandeza deve ser derivável dos componentes que contribuem para sua determinação, independentemente da forma com que esses componentes são agrupados ou decompostos em subcomponentes;
- d) a grandeza utilizada para expressar a incerteza de medição deve ser **transferível**. Portanto o método deve permitir que a incerteza avaliada de um resultado de medição seja usada diretamente como componente na avaliação de incerteza de outra medição na qual o primeiro resultado é utilizado.

A falta de consenso na forma de avaliar e expressar a incerteza de medição gerou até a década de 80, diversas formas de avaliação e expressão da incerteza de medição entre laboratórios metrológicos desde o nível primário até os industriais. A metodologia denominada de "ortodoxa" [5,33] é um exemplo.

Considerações sobre a forma de tratamento dos componentes de incertezas no método "ortodoxo" e as diferenças com relação ao método do Guia para expressão da incerteza de medição, estão em [33], [22].

Reconhecendo a falta de consenso internacional acerca da avaliação de incerteza de medição, o BIPM (*Bureau International des Poids et Mesures*) juntamente com organizações internacionais publicaram, em 1993, o documento denominado "*Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement*", recomendando regras gerais para avaliação e expressão da incerteza de medição.

Diversos documentos ou guias específicos baseados nesse documento têm sido desenvolvidos para aplicações em áreas específicas. É o caso do EURACHEM [34], do NIS 80 [35] e do ISO/TR 14253-2 [32].

A seguir são analisados os métodos de avaliação de incertezas definidos no Guia para expressão da incerteza de medição- "ISO-GUM" [22], e no documento ISO/TR 14253-2 [32].

4.1.2.1 Guia para expressão da incerteza de medição - "ISO-GUM"

O "ISO-GUM" [22] estabelece 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 a pesquisa fundamental.

No Brasil, "O Guia" ou "ISO-GUM" como é comumente denominado, teve sua primeira versão em português publicada em agosto de 1997 [36], e mais recentemente, em 1998, sua segunda versão [22] com revisão de alguns termos adotados na versão anterior.

A fundamentação do "ISO-GUM" baseia-se na recomendação INC-1 de 1980 elaborada pelo BIPM (*Bureau International des Poids et Mesures*), que estabelece procedimentos estatísticos para avaliação da incerteza de medição [22]. Os fundamentos são apresentados a seguir:

- a) Os componentes de incertezas provenientes de efeitos aleatórios e de correções para efeitos sistemáticos são tratados indistintamente. Todos são combinados utilizando-se a lei de propagação das incertezas. A classificação do método de avaliação desses componentes em Tipo A (avaliados por meios estatísticos) e Tipo B (avaliado por outros meios) é desnecessária operacionalmente [22].
- b) Os componentes de incertezas avaliados pelo método Tipo A são caracterizados pelas variâncias estimadas (ou desvios padrão estimados) e o número de graus de liberdade. Os componentes avaliados pelo método Tipo B também são caracterizados por variâncias estimadas (ou desvios padrão estimados) de distribuições de probabilidade assumidas. As covariâncias, quando houver componentes correlacionados, devem ser fornecidas.
- c) A combinação das variâncias pela teoria da propagação das incertezas (combinação dos desvios padrão das distribuições de probabilidades assumidas) deve apresentar o resultado dessa combinação (incerteza padrão combinada) e seus componentes

(incertezas padrão), na forma de desvio padrão. Havendo a necessidade de se expressar a incerteza padrão combinada como uma incerteza expandida com nível da confiança maior que 68%, o fator multiplicador (fator de abrangência) deve ser informado.

A metodologia usada no "ISO-GUM" [22] é apresentada de uma forma resumida na Figura 4-1. Maiores detalhes sobre a avaliação de incertezas de medição podem ser encontrados em [22,25,26,29,32,34].

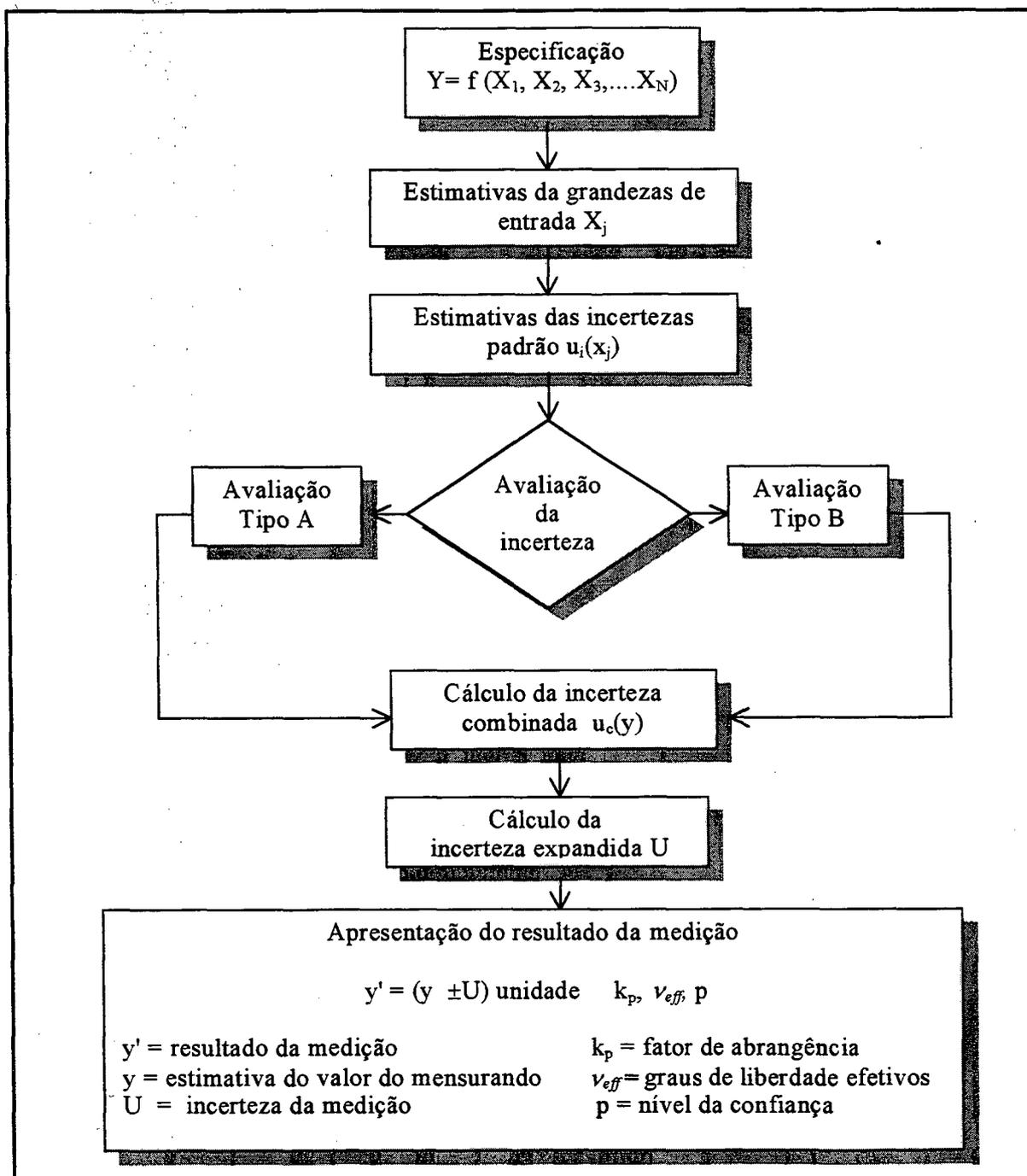


Figura 4-1 Fluxograma de avaliação e expressão da incerteza de medição pelo "ISO-GUM".

A utilização da metodologia estabelecida no "ISO-GUM" [22] está bastante disseminada entre os laboratórios de calibração, especialmente nos que integram a Rede Brasileira de Calibração - RBC.

No meio industrial, a situação é inversa. Na pesquisa [7] realizada em 15 (quinze) empresas certificadas ISO 9000, constatou-se que apenas 01 (uma) empresa introduziu os conceitos básicos do "ISO-GUM" em seus procedimentos de calibração, ainda assim, foram cometidos erros conceituais.

As opiniões entre os metrologistas, com respeito à aplicabilidade do "ISO-GUM" [22] na indústria são divergentes. Theisen [5] defende o uso do método "ortodoxo" para aplicações industriais, afirmando que esse método satisfaz o nível de incerteza requerido nos processos de medição industriais. Essa mesma opinião é compartilhada por Pérez [31].

Outros metrologistas [37-39] porém, reconhecem a possibilidade de aplicação do "ISO-GUM" [22] nas medições e nas avaliações de aceitação de testes na indústria.

Zingales [38] entretanto alerta para o risco da aplicação não crítica dos princípios do "ISO-GUM" [22] no meio industrial e atribui para isso a forma de apresentação do documento como um "texto científico", cujas bases, procedimentos e conclusões aparentam ser rigorosamente conectadas e inquestionáveis.

Os fatos de o "ISO-GUM" ser pouco difundido no meio industrial [7], ao mesmo tempo que é aplicável na indústria [22], são justificados a seguir:

a) Pouco difundido no meio industrial:

- a.1) a forma de avaliação de incerteza de medição definida no "ISO-GUM" é muito recente se comparada com o tempo de existência dos métodos tradicionais como o "ortodoxo". Desse modo, é plenamente justificável que laboratórios metrológicos, principalmente os industriais, sintam dificuldades para adoção da nova metodologia que ainda, segundo [26], não é consenso entre os metrologistas;
- a.2) aliado ao fato anterior, tem-se a questão histórica de que as normas de garantia da qualidade (como as da série ISO 9000 e seus documentos complementares) são lacônicas nos aspectos metrológicos por elas exigidos [40]. A NBR ISO 10012-1 [3] no item 4.6 e a NBR ISO 9001 [10] no item 4.11.1, exigem a avaliação de incertezas de medição mas não recomendam que método deve ser aplicado;

a.3) a forma de apresentação do "ISO-GUM" [22] como um "texto científico" [38], pode contribuir para uma falsa impressão de que o mesmo é direcionado apenas para aplicações em laboratórios de referência ou para a pesquisa científica.

b) Aplicável nas indústrias:

b.1) o rigor na aplicação do "ISO-GUM" [22] nas medições industriais depende do nível da incerteza requerido para o processo de medição; ponderando-se dessa forma, entre o rigor no levantamento dos componentes de incertezas e os recursos disponíveis de tempo, material e de pessoal da empresa;

b.2) os procedimentos de cálculo e os registros das informações são atualmente bastante facilitados pelo uso de programas computacionais disponíveis ou pela aplicação de planilhas de cálculo como por exemplo a do aplicativo Excel® (*Microsoft Co.*);

b.3) o "ISO-GUM" [22] relaciona-se com diversos documentos ou normas aplicados no contexto da garantia da qualidade, sendo fácil de integrá-lo como um documento de referência para os procedimentos do Sistema de Garantia da Qualidade Metroológica.

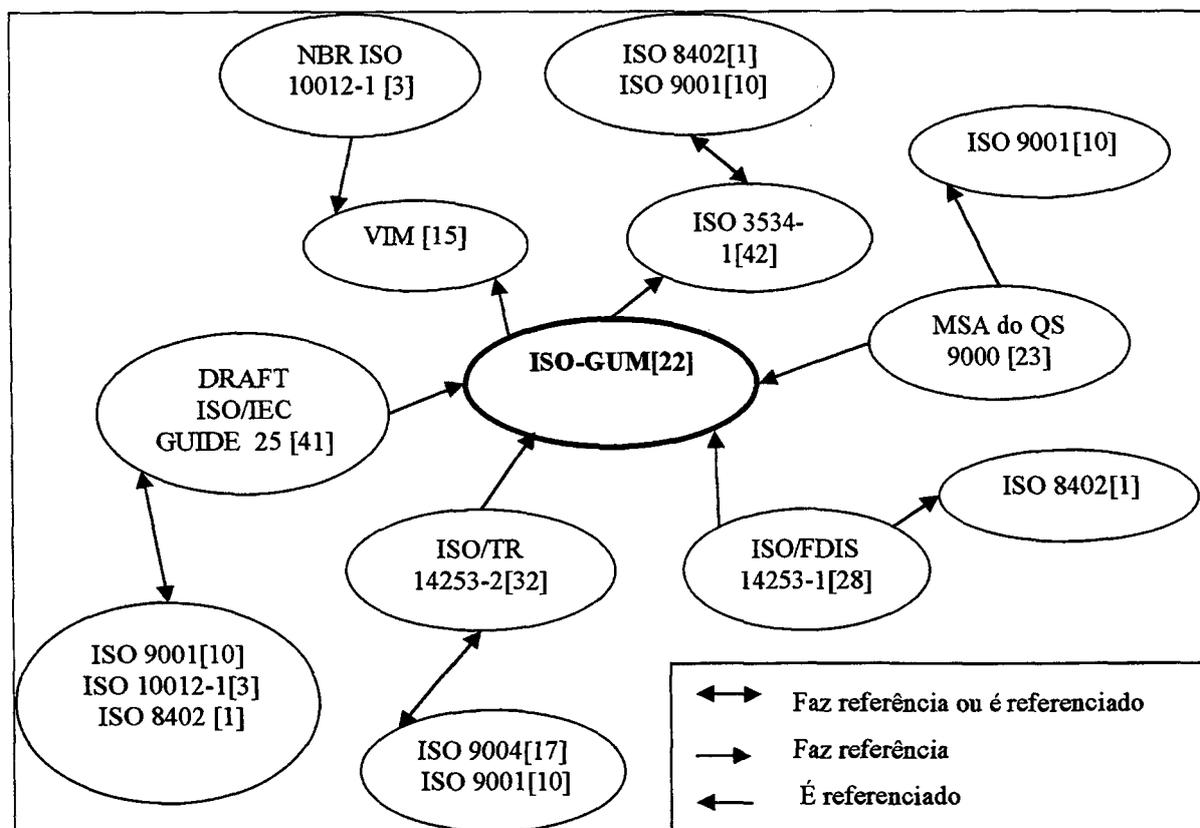


Figura 4-2 Relacionamento do "ISO-GUM" com documentos aplicados na garantia da qualidade.

O outro documento recomendado para avaliação de incertezas de medição seja nas medições em chão de fábrica ou nas calibrações internas na empresa, é o ISO/TR 14253-2 [32].

4.1.2.2 Guia para avaliação de incerteza de medição, na calibração de sistema de medição e na verificação de produto - ISO/TR 14253-2

O ISO/TR 14253-2 [32] é um relatório técnico, publicado em abril de 1997 pelo comitê técnico 213 da ISO (*International Organization for Standardization*) na área de especificações geométricas de produtos - GPS (*Geometrical Product Specifications*). O documento apresenta uma metodologia para avaliação, expressão e documentação de incertezas de medição nas calibrações e nas medições no processo produtivo.

A metodologia iterativa e simplificada denominada de PUMA (*Procedure for Uncertainty Management*) [32] apresentada no ISO/TR 14253-2 é direcionada para aplicação no meio industrial e está baseada nas recomendações do "ISO GUM"[22]. O método iterativo PUMA tem dois propósitos de aplicação [32]:

a) Gerenciamento da incerteza de medição para um resultado de um dado processo de medição

Nesse tipo de aplicação, tanto a tarefa de medição (quantificação do mensurando de acordo com sua definição) quanto o processo de medição (princípio de medição, método de medição, procedimento de medição e as condições de medição), já estão definidos e portanto fixados. A análise dá-se sobre os componentes de incertezas do processo de medição e uma incerteza requerida U_R para o processo pode ser dada ou decidida.

A metodologia aplicada com esse propósito permite aprimorar um processo de medição existente, através da avaliação iterativa da incerteza de medição estimada U_E (incerteza estimada em cada iteração), considerando fatores como custos, riscos, relação tolerância e incerteza requerida para o processo, entre outros. A Figura 4-3 apresenta a forma de aplicação do método.

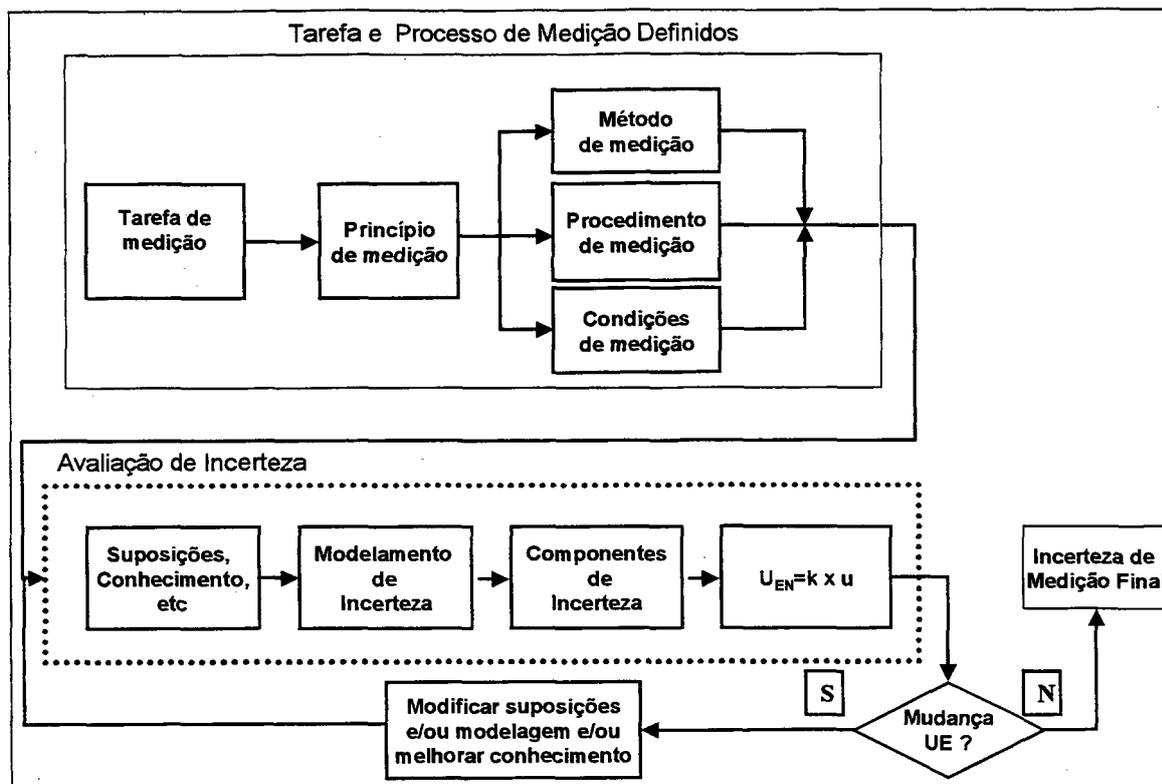


Figura 4-3 Método PUMA aplicado no gerenciamento de incerteza de medição para uma tarefa e processo de medição definidos.

b) Gerenciamento da incerteza de medição para desenvolver um procedimento de medição adequado.

Nesse caso a metodologia é aplicada para uma tarefa de medição definida e uma incerteza alvo U_T (incerteza de medição definida como ótima para a tarefa de medição). Tanto a tarefa de medição quanto a incerteza alvo U_T são decididas com base na política da empresa [32].

O princípio de medição é definido com base na experiência e nos instrumentos ou sistemas de medição disponíveis. O método de medição, o procedimento de medição e as condições de medição são estabelecidas com base na experiência e nos limites técnicos e econômicos da empresa.

Um requisito importante do método PUMA (*Procedure for Uncertainty Management*), é que todas as informações importantes sobre os componentes de incerteza avaliados devem ser documentadas.

A condição desejada nessa avaliação de incertezas é que a incerteza estimada U_E (incerteza estimada em cada iteração) seja menor ou igual a incerteza alvo U_T . Realiza-se a

primeira iteração estimando "grosseiramente" a incerteza expandida (Incerteza estimada U_E).

Se a incerteza estimada for muito menor que a incerteza alvo, o processo de medição é tecnicamente aceitável, entretanto a um custo elevado. Pode-se nesse caso fazer mudanças no método ou no procedimento de medição.

Se a incerteza estimada for maior que a incerteza alvo, isso indica que o processo de medição nessas condições não é adequado tecnicamente e uma nova iteração é necessária, analisando-se os componentes significativos de incerteza envolvidos. A Figura 4-4 apresenta a forma de aplicação do método.

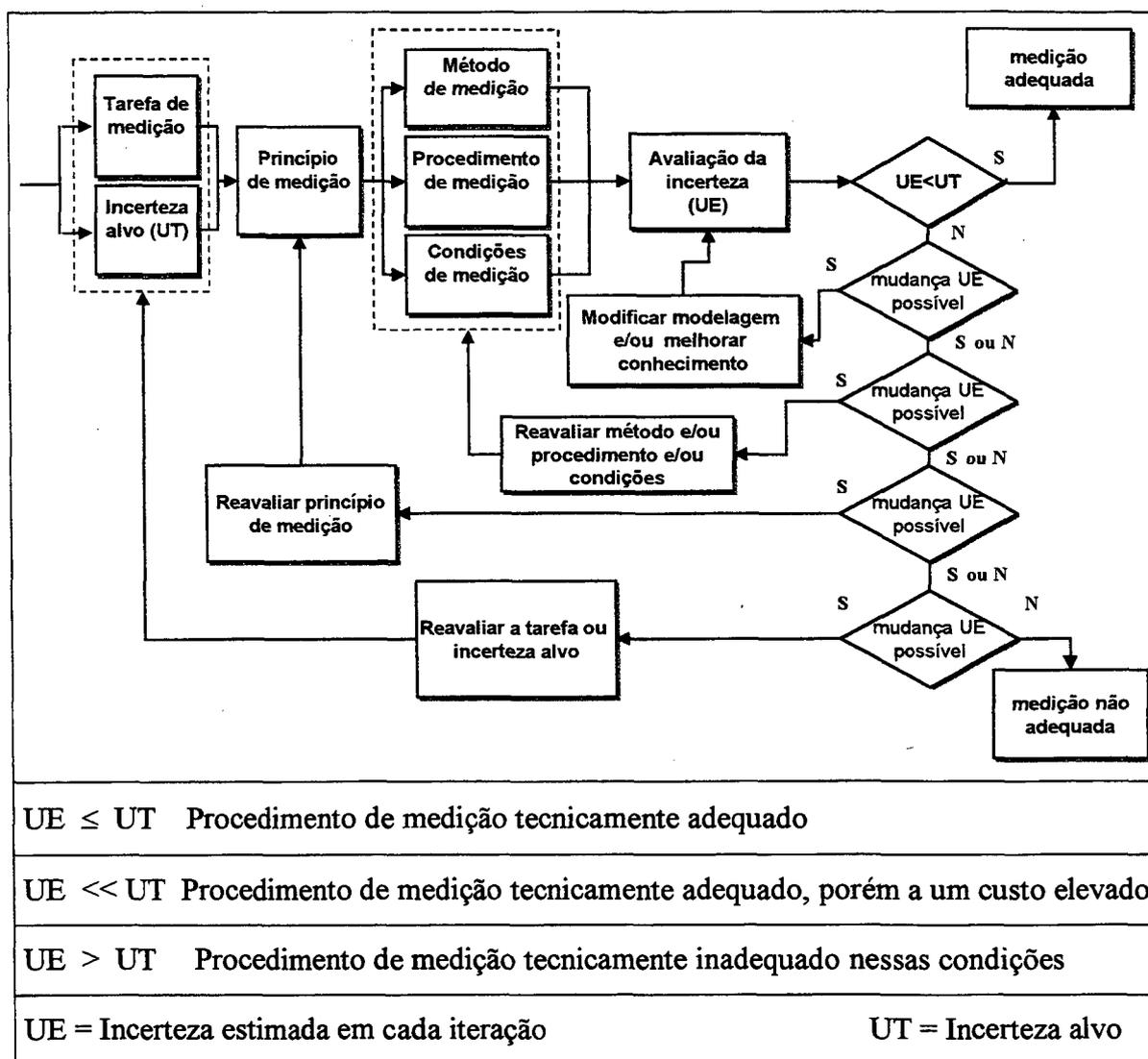


Figura 4-4 Método PUMA aplicado no gerenciamento de incerteza de medição para desenvolver um procedimento de medição adequado.

As principais características da metodologia proposta no ISO/TR 14253-2 [32] são resumidas nos tópicos seguintes:

- a) a metodologia é baseada nos conceitos do "ISO-GUM" [22];
- b) é um método conservador. Ou seja, ele superestima os componentes de incertezas de medição para o "piores caso" [32];
- c) a metodologia para estabelecer um processo de medição e avaliar incertezas de medição é iterativa e denominada de PUMA (*Procedure for Uncertainty Management*);
- d) não há o cálculo dos graus de liberdade efetivos, como no "ISO-GUM" [22], de forma que a incerteza expandida é determinada multiplicando a incerteza padrão combinada por um fator de abrangência (k) igual a 2 (dois);
- e) o método recomenda a avaliação Tipo B dos componentes de incertezas. Como a incerteza é superestimada e é usado um k igual a 2 (dois) o nível da confiança (apesar de não citado no ISO/TR 14253-2) é maior ou igual a 95% [43];
- f) na dúvida se as grandezas não são correlacionadas, o método recomenda considerá-las todas correlacionadas, usando o fator de correlação 1 ou -1;
- g) o método considera suficiente para avaliação de incertezas na indústria, os tipos de distribuições: normal, retangular e tipo "U".

As justificativas para adoção do ISO/TR 14253-2 [32] como documento de referência nos procedimentos formais do Sistema de Garantia da Qualidade Metrológica SGQM são:

- a) é um documento direcionado para as atividades de garantia da qualidade na indústria, especialmente a avaliação de incertezas de medição. Ele referencia, mesmo que indiretamente, as normas de garantia da qualidade ISO 9000 com o "ISO-GUM" (Figura 4.2);
- b) pode ser aplicado em outras áreas da metrologia industrial além da área de especificações geométricas de produtos - GPS (*Geometrical Product Specifications*) [32];
- c) o método iterativo PUMA (*Procedure for Uncertainty Management*) permite a documentação e a otimização dos componentes de incerteza envolvidos no processo de medição ou calibração, considerando critérios técnicos e/ou econômicos [32];

- d) com o método iterativo PUMA, é possível:
- d.1) desenvolver procedimentos de medição e de calibração;
 - d.2) selecionar o sistema ou instrumento de medição e a montagem para uma tarefa de medição específica;
 - d.3) demonstrar a capacidade do sistema ou instrumento de medição para uma tarefa de medição específica.

Recomenda-se neste trabalho a aplicação da metodologia estabelecida no "ISO-GUM"[22] ou no ISO/TR 14253-2 [32] como referência nos documentos do Sistema de Garantia da Qualidade Metrológica - SGQM.

A avaliação de incertezas pelo método do "ISO-GUM" [22] exige o estudo detalhado por exemplo, das distribuições de probabilidades e dos graus de liberdade para cada componente de incerteza considerado e do coeficiente de correlação quando se suspeita de correlação entre grandezas de entrada. Normalmente a aplicação do método exige pessoal com conhecimento aprofundado em metrologia.

Quanto ao método estabelecido no relatório técnico ISO/TR 14253-2 [32], esse apresenta simplificações importantes que facilitam sua aplicação no meio industrial. Por exemplo, não são determinados os graus de liberdade para os componentes considerados na avaliação de incerteza, atribuindo-se o fator de abrangência k igual a 2 (dois) para a incerteza expandida U .

O método incentiva a avaliação tipo B sempre que possível para os componentes de incertezas. Isso concorda bem com a realidade nas empresas, onde usualmente as informações de normas e de especificações técnicas de fabricantes são preferidas à realização de experimentos para estimativa de incertezas em um particular processo de medição.

Com respeito ao método denominado de "ortodoxo", este trabalho desaconselha seu uso como método de referência para os procedimentos do Sistema de Garantia da Qualidade Metrológica. Esse método não segue os princípios do "ISO-GUM" [22], que é atualmente o mais completo documento sobre avaliação de incertezas de medição, adotado pelas principais organizações metrológicas nacionais e internacionais.

A decisão de usar o "ISO-GUM" [22] ou o ISO/TR 14253-2 [32] depende de vários fatores, podendo-se destacar: o nível de qualificação do pessoal; as informações

disponíveis sobre o processo de medição; o nível de incerteza requerido e os recursos materiais e financeiros disponíveis. A metodologia estabelecida no "ISO-GUM" [22] é, a princípio, a recomendada por este trabalho.

4.1.3 O processo de calibração

A calibração é uma atividade fundamental nos procedimentos de garantia da confiabilidade metrológica de instrumentos ou sistemas de medição. Se efetuada a intervalos de tempo criteriosamente definidos, pode-se garantir confiabilidade dos resultados medidos e rastreabilidade aos padrões nacionais ou internacionais reconhecidos.

A exigência de procedimentos de calibração formalmente documentados e de sua aplicação a intervalos de tempo preestabelecidos, está fortemente manifestada nas normas de garantia da qualidade como a NBR ISO 10012-1 [3] e na NBR ISO 9001 [10].

A calibração também é uma atividade onerosa que normalmente demanda muito tempo, exige pessoal qualificado e reduz a disponibilidade do instrumento ou sistema de medição no processo produtivo [24]. Nesse sentido, o perfeito entendimento dos objetivos da calibração e da aplicação de seus resultados é essencial.

Segundo [25,26], os resultados de uma calibração normalmente destinam-se:

- a) obter a curva e/ou tabela com as características metrológicas do instrumento ou sistema de medição visando determinar se nas condições em que foi calibrado o mesmo está em conformidade com uma norma, especificação legal ou um erro máximo adotado pela empresa;
- b) obter a curva e/ou tabela com valores de tendência e sua incerteza, com o objetivo de corrigir efeitos sistemáticos visando reduzir a incerteza do resultado da medição;
- c) analisar o comportamento operacional e metrológico do sistema ou instrumento de medição, nas suas fases de desenvolvimento, aperfeiçoamento e comprovação de adequação, incluindo o estudo dos efeitos das grandezas de influência sobre seu comportamento.

Através da análise dos procedimentos coletados no estudo de casos [7] pôde-se identificar deficiências nas seguintes atividades relacionadas com o processo de calibração:

- elaboração de procedimento de calibração;
- avaliação de incerteza na calibração;

- conteúdo do certificado de calibração;
- intervalo adequado de calibração.

A **elaboração de procedimentos** e a **definição do intervalo adequado de calibração**, são abordados no item 4.2 que trata de questões gerais. A justificativa está dada no início deste capítulo.

4.1.3.1 Incerteza de medição na calibração

A expressão da incerteza associada ao resultado de uma calibração é fundamental. Ela pode expressar a qualidade das medições realizadas permitindo, dentre outras coisas, a comparação entre resultados de calibrações (se esses possuem a mesma metodologia de cálculo de incerteza) e a comparação dos resultados com valores de referência adotados de especificações ou normas.

A metodologia estabelecida no "ISO-GUM" [22] ou no documento ISO/TR 14253-2 [32], apresentadas em 4.1.2.1 e 4.1.2.2 respectivamente, são recomendadas para avaliação e expressão da incerteza de medição nas calibrações.

Nos métodos de avaliação de incertezas de calibrações internas constatados no estudo de casos [7] (capítulo 3, item 3.2.4), apenas dois componentes de incerteza foram considerados na avaliação: o desvio padrão experimental ou o desvio experimental da média e a incerteza herdada do padrão usado.

Esses métodos são inadequados sob os seguintes aspectos:

- a) se o objetivo da calibração for a avaliação da conformidade do instrumento ou sistema de medição com sua especificação, as informações resultantes da calibração não permitem a comparação consistente com o erro máximo admissível adotado como critério de aceitação;
- b) a incerteza de medição avaliada nesses métodos não considera componentes de incertezas normalmente significativos provenientes por exemplo da resolução dos instrumentos, condições ambientais, entre outros.

A informação apenas da **tendência ou correção e sua incerteza associada** (incerteza da tendência ou da correção) nos certificados de calibração é prática comum nos laboratórios de metrologia desde os industriais até os pertencentes à Rede Brasileira de Calibração – RBC [7,44]

Para a prática da correção da tendência do instrumento ou sistema de medição em um processo de medição, essas informações podem ser úteis se as condições de utilização do instrumento são as mesmas da calibração.

No entanto, no meio industrial, é mais freqüente o uso das informações do certificado de calibração para decidir quanto à aceitação ou rejeição do instrumento ou sistema de medição calibrado (avaliação de conformidade) [7].

A decisão dá-se, usualmente [7], pela comparação do parâmetro resultante da combinação entre a tendência e sua incerteza (capítulo 3, item 3.2.5), com o erro máximo admissível adotado de normas ou com a tolerância do mensurando. Essa última com mais freqüência.

O erro máximo admissível define uma faixa de valores, normalmente centrada em torno do zero, onde, com uma probabilidade definida, deve conter o maior erro de indicação do instrumento ou sistema de medição (considerando **erros sistemáticos e aleatórios**) ao longo de sua faixa de medição e nas condições de referência. [25].

Verifica-se, portanto, que as informações apresentadas atualmente nos certificados de calibração são insuficientes para o propósito de avaliação de conformidade do instrumento ou sistema de medição.

Nesses certificados, somente a estimativa do erro sistemático caracterizada pela tendência do instrumento e sua incerteza são determinados. Falta portanto a estimativa do erro aleatório do instrumento, caracterizada pela repetitividade e sua incerteza.

Vale ressaltar que esses dois parâmetros, tendência e repetitividade, são características próprias do instrumento ou sistema de medição e possuem incertezas associadas às suas determinações.

Somente após estimado o erro sistemático e aleatório do instrumento e a incerteza dessa estimativa, é possível, de forma consistente, comparar o resultado da combinação desses parâmetros, denominado neste trabalho de Erro máximo avaliado (**Emav**), com o erro máximo admissível (**Emad**).

Uma forma adequada de avaliar a incerteza de medição e expressar os resultados da calibração (para se poder avaliar conformidade com a especificação) é a apresentação dos parâmetros **tendência e repetitividade** e a **incerteza associada à estimativa desses**

parâmetros. A avaliação de incertezas deve está baseada no "ISO-GUM" [22] ou ISO/TR 14253-2 [32].

Desse modo, é proposta deste trabalho que os resultados da calibração sejam os seguintes:

- a) a tendência do instrumento e sua incerteza (incerteza da tendência) para cada ponto calibrado;
- b) a repetitividade do instrumento para o nível da confiança geralmente de 95% e sua incerteza em cada ponto calibrado;
- c) a incerteza de medição para cada ponto calibrado, associada ao resultado da combinação da tendência e repetitividade. O máximo resultado dessa combinação é denominado neste trabalho de erro máximo do instrumento (**Emáx**).

O erro máximo **Emáx** (em módulo) do instrumento somado à sua incerteza associada é denominado neste trabalho de erro máximo avaliado (**Emav**). Esse parâmetro é o que deve ser comparado com o erro máximo admissível (**Emad**) que foi adotado de informações de fabricante ou de norma quando da avaliação da incerteza do processo de medição.

As definições e simbologia para erro máximo do instrumento e erro máximo avaliado são propostas deste trabalho, já que não constam no Vocabulário Internacional de Metrologia VIM [15].

Tem-se portanto a seguinte expressão:

$$Emáx = \pm (|Td| + t.s)_{máx} \quad (4.5)$$

Td é tendência do instrumento de medição;

t.s é a repetitividade do instrumento de medição.

A expressão para o erro máximo avaliado (**Emav**) é portanto:

$$Emav = \pm (Emáx + U_{Emáx}) \quad (4.6)$$

Emav é o erro máximo avaliado do instrumento nas condições de referência;

$U_{Emáx}$ é a incerteza expandida do erro máximo do instrumento (usualmente com nível da confiança de aproximadamente 95%).

Faz-se algumas considerações sobre o método apresentado:

- a) A composição dos parâmetros: tendência, repetitividade e incerteza do erro máximo, informados separadamente no certificado de calibração para formar o **Emav**, é bastante simples.
- b) A metodologia de avaliação de incertezas é baseada no "ISO-GUM" [22] ou no ISO/TR 14253-2 [32].
- c) Da mesma forma que na avaliação de incerteza de uma medição qualquer, o metrologista deve analisar todos os possíveis componentes de incertezas associados à determinação da tendência, da repetitividade e a possibilidade de correlação entre as grandezas que afetam esses parâmetros.
- d) A forma de apresentação dos resultados mostrado na equação 4.6 pode ser facilmente aplicada na avaliação de conformidade pelo método estabelecido na ISO/FDIS 14253-1 [28]. A Tabela 4-2 demonstra a aplicação.
- e) Não há alteração na forma atual de coleta de dados (realização da calibração).

A limitação do método proposto ocorre quando o número de ciclos de medição é reduzido e a dispersão dos valores medidos é significativa. Pela equação 4.5 verifica-se que na situação particular descrita, o valor do erro máximo do instrumento (**Emáx**) pode tornar-se bastante elevado, principalmente pelo fator *t de student* que aumenta à medida que o número de ciclos de medição diminui para o mesmo nível da confiança.

Dessa forma a comparação do erro máximo avaliado (**Emav**) com o erro máximo admissível (**Emad**) pode ser inadequada. Felizmente a tendência atual é a redução do erro de repetitividade especialmente para os instrumentos ou sistemas de medição digitais.

Um método alternativo proposto, também neste trabalho, para a avaliar incerteza de medição, expressar os resultados da calibração e também aplicável na avaliação da conformidade com a especificação, foi aplicado em uma empresa de Santa Catarina.

O método é baseado no "ISO-GUM" [22] e considera a repetitividade avaliada do instrumento. O certificado de calibração apresenta a tendência, sua incerteza e o erro máximo avaliado (**Emav**).

O erro máximo avaliado é determinado da seguinte forma:

$$Emav = \pm (|Td| + U'_{95\%})_{máx} \quad (4.7)$$

onde:

$Td_{m\acute{a}x}$ é a tendência máxima do instrumento de medição;

$U_{95\%}$ é a incerteza resultante da combinação da repetitividade do instrumento com os componentes de incerteza da calibração.

A incerteza $U_{95\%}$ é determinada como se segue:

$$U_{95\%} = (s_i^2 + \sum_{i=1}^n u_i^2)^{1/2} \cdot k \quad (4.8)$$

onde:

s é o desvio padrão experimental das indicações do instrumento de medição. (equivale numericamente a repetitividade com nível da confiança de aproximadamente 68%);

$\sum u_i^2$ é a somatória dos componentes de incertezas provenientes dos efeitos sistemáticos não corrigidos da calibração;

k é o fator de abrangência, função dos graus de liberdade efetivos e do nível da confiança desejado para $U_{95\%}$.

Esse método demonstrou ser de fácil aplicação, notadamente com o uso de planilhas de cálculo onde a comparação entre o erro máximo avaliado e o erro máximo admissível se deu de forma automática.

O uso do resultado do erro máximo avaliado ($Emav$), pelo método alternativo proposto, com as regras da ISO/FDIS 14253-1 [28] pode resultar em duas situações distintas com respeito à avaliação de conformidade do instrumento ou sistema de medição: ou está conforme ou não conforme uma dada especificação. A tabela 4.2 no item 4.1.4.2 demonstra as duas situações possíveis.

4.1.3.2 Certificado de calibração

Documentar formalmente os resultados da calibração é importante não somente porque é um requisito das normas de garantia da qualidade, mas porque permite formar uma base de dados dos instrumentos ou sistemas de medição calibrados para subsidiar:

- no aprimoramento dos procedimentos de calibração;
- na otimização dos intervalos de calibração estabelecidos inicialmente;
- na aplicação dos resultados para possíveis compensações de tendências;

- na solução de eventuais impasses entre fornecedor e cliente.

As informações contidas em um certificado de calibração dependem, a princípio, do destino dos resultados. No item 4.1.3.1 discutiu-se a deficiência de informações nos certificados de calibração quando o objetivo é a avaliação da conformidade do instrumento de medição.

Nesse sentido, o solicitante do serviço de calibração deve ter bem definido que informações ele precisa e como utilizá-las.

Este trabalho recomenda que um certificado de calibração, seja interno ou externo à empresa, satisfaça pelo menos os seguintes requisitos:

- a) utilize a terminologia recomendada no Vocabulário Internacional de Termos Fundamentais e Gerais de Metrologia - VIM de 1995 [15];
- b) use as unidades do SI (Sistema de Internacional de Unidades) ou por ele aceita;
- c) relate o valor da tendência ou da correção do instrumento de medição para cada ponto calibrado e a incerteza associada;
- d) informe o valor da repetitividade do instrumento de medição para cada ponto calibrado e a sua incerteza associada;
- e) declare a incerteza de medição para cada ponto calibrado associada ao resultado da combinação da tendência e repetitividade, denominado neste trabalho de erro máximo do instrumento ($E_{m\acute{a}x}$);
- f) todas as incertezas relatadas na mesma unidade dos resultados apresentados ou na forma de valores relativos, com o nível da confiança definido e o correspondente fator de abrangência k .

Pode-se fazer simplificações nos certificados emitidos internamente pela empresa, relatando-se apenas o E_{mav} , se não há interesse na correção da tendência do instrumento de medição ou uso dos dados para otimização do intervalo de calibração.

Outras informações importantes que devem constar em um certificado ou relatório de calibração são definidas na norma NBR ISO 10012-1 [3].

No caso de certificados emitidos pelos laboratórios pertencentes à RBC (Rede Brasileira de Calibração) ou laboratórios não pertencentes à RBC (mas com padrões rastreados), deve-se, além dos recomendados neste trabalho, exigir, quando pertinente, as

informações definidas na versão em vigor do documento RBC 002/97 [45] do INMETRO (Instituto Nacional de Metrologia e Normalização e Qualidade Industrial) e no documento ABNT ISO/IEC GUIA 25 [16].

4.1.4 Avaliação de conformidade

A avaliação de conformidade caracteriza-se como qualquer atividade incumbida na determinação (direta ou indireta) de que os requisitos relevantes especificados estão sendo cumpridos [46].

Na indústria, a maior parte das atividades metrológicas se concentram em comprovar que o valor do mensurando se encontra dentro, ou fora, da tolerância especificada [31]. É necessário, portanto, medir para se decidir sobre a conformidade com os limites de tolerância especificados. Toda medição sempre traz consigo uma incerteza associada. Para se evitar decisões erradas sobre a conformidade do produto ou processo baseada nos resultados da medição é absolutamente necessário conhecer e considerar nos cálculos, a incerteza associada ao processo de medição como um todo [43].

Dentre as atividades de avaliação de conformidade, a calibração, a inspeção e os ensaios são as mais comuns [47]. A calibração é a atividade normalmente utilizada para avaliar se um sistema ou instrumento de medição está conforme sua especificação, sendo usualmente realizada sob condições de referência (temperatura controlada, operador qualificado, entre outras.) [29]. Dessa forma os erros máximos do sistema de medição, avaliados na calibração, devem ser comparados com os erros máximos admissíveis adotados de uma norma, especificação de fabricante ou regulamento legal.

Nos procedimentos do Sistema de Garantia da Qualidade Metrológica - SGQM, a questão da avaliação de conformidade dos sistemas ou instrumentos de medição calibrados é freqüentemente denominada de "critérios de aceitação" [7], podendo ser um item do documento geral normalmente denominado de "Controle de equipamentos de inspeção, medição e ensaios"[7].

No estudo de casos [7] pôde-se observar a predominância da comparação dos resultados da calibração com a tolerância do mensurando (de um produto ou processo), negligenciando-se do erro máximo admissível (**Emad**) que é um parâmetro inerente ao instrumento de medição e que pode caracterizar seu comportamento metrológico.

A metodologia para avaliação de conformidade com a especificação, seja para um mensurando (de um produto ou processo) ou para instrumento de medição, deve levar em conta as seguintes características:

- a) ser a uma metodologia geral. Portanto aplicável para todo tipo de especificação;
- b) considerar a incerteza estimada do processo de medição (ou calibração);
- c) poder ser formalmente adotada dentro do sistema de garantia da qualidade como método para comprovação da conformidade nas relações fornecedor e cliente.

O documento denominado de ISO/FDIS 14253-1 [28], elaborado pelo comitê técnico 213 da ISO (*International Organization for Standardization*) e direcionado para área GPS (*Geometrical Product Specification*), contempla os requisitos definidos acima.

Esse documento está (dezembro de 1998) na situação de projeto final de norma e apresenta regras para se determinar quando as características de uma grandeza específica ou de um instrumento de medição estão em conformidade ou não conformidade com uma dada tolerância (mensurando) ou limites de erros máximos admissíveis (para instrumento ou sistema de medição), considerando-se a incerteza do processo de medição avaliada (U).

Dentro do sistema de garantia da qualidade, o ISO/FDIS 14253-1 [28] pode ser um documento contratual entre as partes (cliente/fornecedor), definindo a forma de avaliação de conformidade dos produtos. Essa recomendação se aplica muito bem nas situações onde a empresa define suas tolerâncias conforme as recomendações das normas da série ISO/GPS (*Geometrical Product Specification*) e não existem condições legais ou regulamentos definindo o critério de avaliação de conformidade [43].

Os princípios gerais do ISO/FDIS 14253-1 [28] podem ser resumidos em:

- a) a incerteza de medição é avaliada conforme o "ISO-GUM"[22] ou o 14253-2 [32] e refere-se à incerteza expandida (U) com fator de abrangência (k) tipicamente igual a 2;
- b) para provar conformidade com a especificação, o fornecedor deve usar a incerteza real do seu processo de medição. A mesma regra vale para o cliente e para o revendedor;
- c) as regras definidas no ISO/FDIS 14253-1 [28] aplicam-se para outras especificações além da GPS (*Geometrical Product Specification*).

4.1.4.1 Conformidade de sistema ou instrumento de medição

Para uma característica metrológica importante do sistema ou instrumento de medição como por exemplo seu erro máximo admissível, o processo de avaliação de conformidade, realizado normalmente através da calibração, associa componentes de incertezas à característica avaliada provenientes de diversas fontes como operador, padrões utilizados, procedimento, entre outros.

A faixa dos limites de erros máximos admissíveis ($\pm E_{mad}$) é reduzida da faixa de incerteza de medição na calibração ($2U_{Emax}$). A faixa restante representa os valores de $E_{máx}$ (erro máximo do instrumento, conforme definição e nomenclatura usadas no item 4.1.3.1).

Como as regras de avaliação de conformidade são as mesmas para grandezas específicas medidas (mensurandos) e sistemas de medição, e por questão de espaço neste trabalho, a Figura 4-5 mostra os fundamentos da avaliação de conformidade do documento 14253-1 [28] para os dois casos.

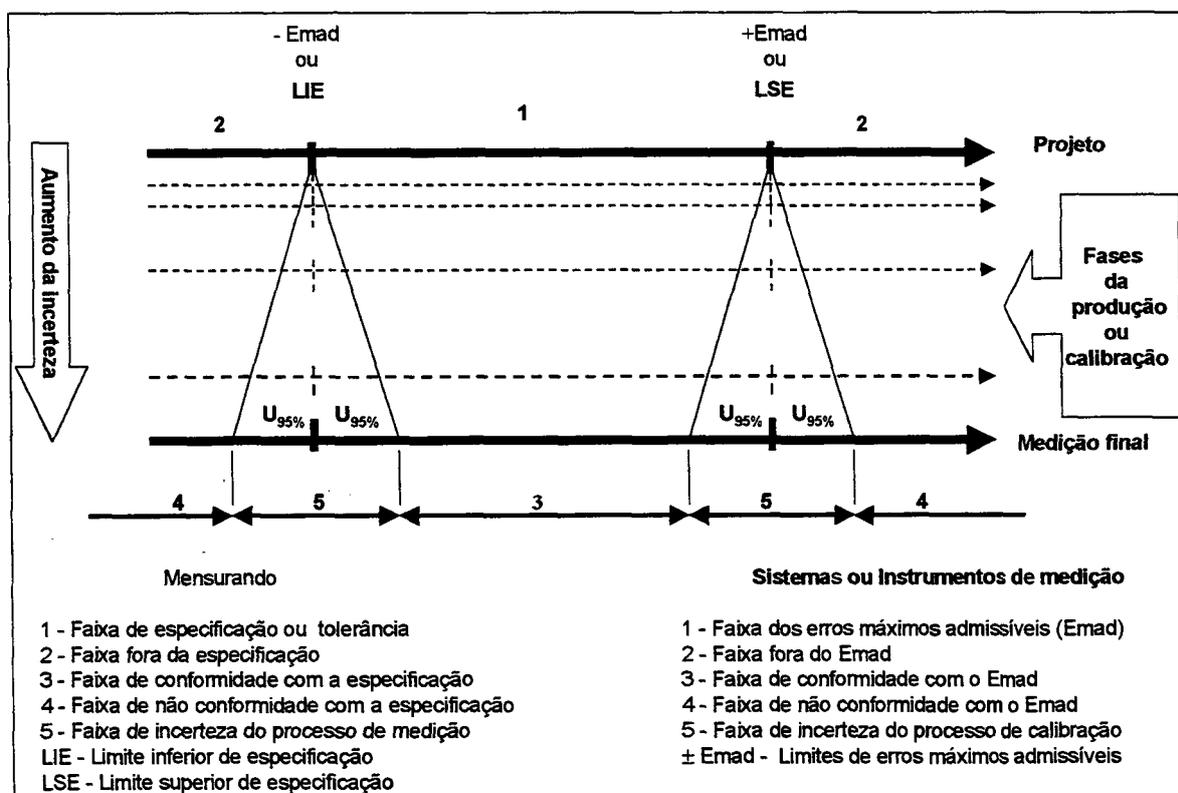


Figura 4-5 Relação entre a incerteza do processo de medição (ou calibração) e a tolerância (para grandeza específica) ou erro máximo admissível (para instrumento de medição).

A incerteza de medição utilizada na avaliação de conformidade do sistema ou instrumento de medição é a incerteza estimada de $E_{máx}$ conforme abordado no item 4.1.3.1. Portanto quanto menor ela for, maior será a faixa de conformidade com o erro máximo admissível (E_{mad}) especificado.

Nota-se que a faixa de incerteza de $E_{máx}$ (número 5 na Figura 4-5) pode ser variável a cada resultado de calibração, o que implica que a faixa de conformidade com o erro máximo admissível especificado (número 3 na Figura 4-5) também varia.

Além da questão citada no item 4.1.3.1 sobre a insuficiência de informações nos certificados de calibração para avaliação de conformidade, outra questão importante no contexto da garantia da qualidade metrológica refere-se à possibilidade de erros na avaliação de conformidade de um instrumento de medição se existirem variações significativas de resultados entre calibrações.

Sabe-se que duas medições realizadas mesmo que em curto intervalo de tempo e sob as mesmas condições podem ter resultados diferentes basicamente pelo efeito aleatório existente em qualquer processo de medição. No entanto alerta-se para a possibilidade de resultados ou incertezas de medição serem avaliados com valores bastante diferentes em decorrência do uso de procedimentos de calibração não padronizados.

As normas e especificações técnicas que definem erros máximos admissíveis para instrumentos ou sistemas de medição deveriam fornecer todas as informações necessárias para se executar o experimento de comprovação do parâmetro informado. Cita-se como exemplo a norma ABNT NBR 11968/89 [48], que estabelece o método de avaliação das características de manômetros com elemento elástico, mas não define o número de ciclos de medição para a calibração.

Se a repetitividade do manômetro for uma parcela bastante significativa frente às outras parcelas de incertezas, procedimentos de calibração com ciclos bastante diferentes podem resultar em diferenças consideráveis de incerteza. O usuário final dessa informação pode estar aprovando ou reprovando seus instrumentos de medição indevidamente.

A avaliação da conformidade pelo método estabelecido na 14253-1 [28] pode resultar em três situações distintas:

- a) comprovação da conformidade;
- b) comprovação de não conformidade;

c) situação na qual não se pode decidir sobre conformidade ou não conformidade da grandeza específica medida. Essas situações são apresentadas na tabela 4-2.

A recomendação prática neste trabalho, para comprovação da conformidade ou não conformidade do instrumento de medição, resume-se na determinação do valor erro máximo avaliado (E_{mav}) entre todos os resultados apresentados no certificado de calibração e sua comparação com o erro máximo admissível (E_{mad}) previamente adotado.

Tem-se portanto o seguinte critério para comprovação da conformidade:

$$|E_{mav}| < |E_{mad}| \quad (4.9)$$

onde:

- E_{mav} é o erro máximo avaliado na calibração determinado pelas equações 4.6 ou 4.7;
- E_{mad} é o erro máximo admissível especificado em normas ou catálogos de fabricantes e usualmente é simétrico em torno do zero.

O critério acima é uma forma simples e prática de decidir acerca da conformidade do sistema ou instrumento de medição calibrado.

A Tabela 4-2 apresenta as regras para decisão acerca da conformidade de sistemas ou instrumentos de medição calibrados para as duas formas de determinação do erro máximo avaliado (E_{mav}) definidos nas equações 4.6 e 4.7 no item 4.1.3.1.

4.1.4.2 Conformidade de grandeza específica medida (mensurando)

Analogamente ao item 4.1.4.1, uma grandeza específica de um item⁵ (fenômeno, corpo ou substância) apresenta na sua fase de projeto, limites de especificação superior e inferior (quando especificação bilateral) ou apenas um dos limites, para as especificações unilaterais. Nessa fase, idealmente, não há incerteza associada aos valores especificados.

Quando o item passa para a fase de produção, os valores especificados do mensurando são compostos de incertezas provenientes das diversas etapas decorrentes dos processos de produção e medição do item, culminando na fase de medição final na qual a

⁵ Um item pode ser por exemplo um eixo e a grandeza específica, o seu diâmetro

faixa de especificação ou de tolerância especificada (T) está reduzida da faixa de incerteza estimada ($2U$) associada ao processo de medição final. A faixa restante representa a faixa de conformidade com a tolerância especificada. Essa configuração é também mostrada na Figura 4-5.

A incerteza estimada do processo de medição (U) é composta dos erros máximos admissíveis dos instrumentos ou sistemas de medição envolvidos (se não há correção da tendência) e todos os componentes de incertezas julgados significativos. Isso pode incluir por exemplo, a estimativa da reprodutibilidade dos operadores envolvidos, efeitos das condições ambientais sobre o instrumento e sobre o mensurando, entre outros.

Se existe correção da tendência, apenas a parcela de repetitividade e sua incerteza associada é incluída na estimativa da incerteza de medição, juntamente com todos os outros componentes significativos envolvidos.

A avaliação de incertezas, seja pelo método do "ISO-GUM" [22] ou ISO/TR 14253-2 [32], deve garantir a relação adequada entre a tolerância e incerteza, de modo que o processo de medição seja capaz de discriminar mensurando conforme ou não conforme dentro dos riscos de erros definidos pela empresa.

Da mesma forma que no item 4.1.4.1, a avaliação da conformidade de grandezas específicas pelo método da ISO/FDIS 14253-1 pode resultar em três situações possíveis mostradas na Tabela 4-2. Quando não for possível decidir sobre a conformidade ou não conformidade da grandeza específica medida ou instrumento de medição através dos resultados medidos, faz-se necessário estabelecer nos procedimentos do sistema da qualidade critérios de tomada de decisão

Tabela 4-2 Regras para decisão sobre a conformidade ou não conformidade de grandezas específicas e de instrumentos ou sistemas de medição com suas especificações.

SITUAÇÕES POSSÍVEIS	PARA GRANDEZAS ESPECÍFICAS MEDIDAS (MENSURADO)	PARA SISTEMA OU INSTRUMENTO DE MEDIÇÃO	
		Emav calculado pela equação 4.6 item 4.1.3.2	Emav calculado pela equação 4.7 item 4.1.3.2
COMPROVAÇÃO DE CONFORMIDADE COM A ESPECIFICAÇÃO	$LIE + U < y < LSE - U$ (Região 3 na Figura 4.5)	$- Emad + U < Emáx < Emad - U$ (Região 3 na Figura 4.5)	$- Emad < Emav < Emad$ (Região 1 na Figura 4.5)
COMPROVAÇÃO DE NÃO CONFORMIDADE COM A ESPECIFICAÇÃO	$y < LIE - U$ ou $y > LSE + U$ (Regiões 4 na Figura 4.5)	$Emáx < - Emad - U$ ou $Emáx > Emad + U$ (Regiões 4 na Figura 4.5)	$Emav < - Emad$ ou $Emav > Emad$ (Regiões 4 na Figura 4.5)
NÃO É POSSÍVEL COMPROVAR CONFORMIDADE OU NÃO CONFORMIDADE COM A ESPECIFICAÇÃO	$LIE - U < y < LIE + U$ ou $LSE - U < y < LSE + U$ (Regiões 5 na Figura 4.5)	$- Emad - U < Emáx < - Emad + U$ ou $Emad - U < Emáx < Emad + U$ (Regiões 5 na figura 4.5)	Não aplicável
<p>y é o valor medido</p> <p>U é a incerteza expandida da medição ($\cong 95\%$)</p> <p>LIE é o limite inferior de especificação</p> <p>LSE é o limite superior de especificação</p>		<p>Emáx é o erro máximo do instrumento.</p> <p>Emav é o erro avaliado do instrumento na calibração</p> <p>$\pm Emad$ são os limites de erros máximos admissíveis do instrumento de medição</p> <p>U é a incerteza associada ao erro máximo Emáx</p>	

4.2 Questões Gerais

4.2.1 Recursos humanos em metrologia

Estudo de casos [7] revelou que cerca de 67% (10/15) das empresas pesquisadas não possuem um sistema de levantamento de necessidades em treinamento em metrologia, apesar de afirmarem que "pessoal sem os conhecimentos básicos em metrologia" representou um dos principais problemas no processo de certificação ISO 9000. Outras pesquisas sobre metrologia e qualidade [19,20] reforçam a necessidade do treinamento específico em metrologia para o pessoal que lida com medição, inspeção e ensaios nas empresas.

A exigência de treinamento ao pessoal técnico está claramente definida nas normas de garantia e gestão da qualidade ISO 9000 [10,17], especialmente no tocante a técnicas estatísticas.

Os aspectos que revestem o problema da falta de pessoal com conhecimentos básicos em metrologia são bastante diversos. A falta de oferta de cursos específicos de metrologia na região pesquisada, o baixo nível de escolaridade dos funcionários e os custos dos treinamentos, destacam-se entre as justificativas apresentadas [7] pelas empresas pesquisadas.

Não há como propor um programa de capacitação de recursos humanos em metrologia que contemple todas as particularidades existentes nas empresas. A própria atividade produtiva da empresa modifica o enfoque do treinamento em metrologia e áreas afins, exigindo uma formação específica.

Dessa forma este trabalho apresenta recomendações gerais para formação básica em metrologia do pessoal na empresa. As recomendações são:

- a) conscientização de todos na empresa sobre a importância da metrologia no contexto do sistema de garantia da qualidade implementado;
- b) disseminação dos fundamentos da metrologia e estatística para todas as pessoas envolvidas com atividades de medição, inspeção e ensaios;
- c) promover a formação de pessoal na área metrológica possibilitando o profissional no mínimo:
 - c.1) interpretar corretamente características metrológicas e operacionais em normas, catálogos, regulamentos legais, entre outros;
 - c.2) interpretar corretamente os resultados de medições e de calibrações;
 - c.3) aplicar os fundamentos da metrologia e estatística nas avaliações de incerteza de medição, conformidade, intervalos de calibração, entre outros;
 - c.4) usar ferramentas para auxiliar na confiabilidade metrológica nos processos de medição.

4.2.2 Elaboração de Procedimentos

Procedimento é uma forma especificada de executar uma atividade [1]. Dentro do Sistema de Garantia da Qualidade Metrológica, freqüentemente uma grande quantidade de procedimentos documentados (ou escritos) são gerados; se mal elaborados contribuem para a ineficiência do sistema implementado.

Os procedimentos do Sistema de Garantia da Qualidade Metrológica podem ser classificados em gerais e específicos.

Procedimentos gerais normalmente apresentam diretrizes sobre "o que", "porque" e "quando" realizar ações dentro do sistema metrológico. Os procedimentos específicos definem basicamente "como" as ações devem ser implementadas. Dentre os procedimentos específicos no sistema metrológico implementado o mais importante, é o de calibração.

Frente às deficiências constatadas pelas análises de procedimentos nas empresas pesquisadas [7] as seguintes recomendações são apresentadas para os procedimentos gerais:

- a) uniformizar os termos metrológicos e a formatação dos procedimentos;
- b) empregar a terminologia oficial e atual estabelecida no VIM [15];
- c) citar os documentos de referência adotados nos procedimentos elaborados ;
- d) ter um completo entendimento sobre atividades metrológicas como por exemplo a avaliação de conformidade e a avaliação de incertezas;
- e) ter esmero na redação dos procedimentos, tornando-os de fácil interpretação.

Para os procedimentos de calibração, as mesmas recomendações acima são válidas. A equipe de elaboração de procedimentos antes de decidir que informações e estrutura o procedimento de calibração deve ter, faz-se necessário uma análise criteriosa dos seguintes aspectos [25,26]:

4.2.2.1 Aplicação dos resultados da calibração

- a) os dados gerados servirão para ajustes ou regulagens (definições no VIM [15]). Nesse caso normalmente o número de pontos medidos na faixa de medição são reduzidos;
- b) realizar futuras correções de erros sistemáticos do instrumento ou sistema de medição no processo. Nesse caso deve-se, definida as condições de utilização, programar a

calibração para que ela apresente incerteza compatível com a incerteza máxima admissível após a correção;

- c) se o objetivo da calibração for avaliar a conformidade do instrumento ou sistema de medição segundo uma norma específica, os requerimentos dessa norma devem ser seguidos no procedimento de calibração para que se possa validar as conclusões obtidas;
- d) quando o objetivo da calibração for avaliar o desempenho metrológico do sistema de medição em diferentes condições de utilização (temperatura, vibrações e outras), essas condições devem ser claramente definidas no procedimento de calibração.

4.2.2.2 Identificação do instrumento ou sistema de medição a calibrar

A análise das informações contidas nos manuais e catálogos de fabricantes, normas e literatura complementar, serve principalmente aos seguintes propósitos:

- a) caracterizar o sistema de medição completamente (fabricante, número de série, modelo, entre outros) e identificar as características metrológicas e operacionais desejadas;
- b) conhecer o modo de operação do instrumento ou sistema de medição a calibrar.

4.2.2.3 Seleção do instrumento ou sistema de medição padrão

As informações obtidas sobre o instrumento ou sistema de medição a calibrar servem para auxiliar na seleção do instrumento ou sistema de medição padrão. Deve-se considerar que:

- a) a faixa de medição (definição no VIM [15]) do instrumento ou sistema de medição padrão deve abranger toda a região de interesse da faixa de medição do instrumento ou sistema de medição a calibrar. No caso de se usar mais de um instrumento de medição padrão, a composição das faixas de medição deve satisfazer a condição acima;
- b) a incerteza do instrumento ou sistema de medição padrão seja preferencialmente 1/10 (um décimo) da incerteza do instrumento ou sistema de medição a calibrar [25]. A relação entre as incertezas não é única. Por exemplo, a norma NBR ISO 10012-1 [3] recomenda não usar uma relação menor do que 1/3 (um terço) e sugere o uso da relação de 1/10 (um décimo). As normas MIL STD-45662A [49] e a IEEE-498/1990 [50] consideram como suficiente uma relação de 1/4 (um quarto).

4.2.2.4 Planejamento do experimento

Antes da execução do levantamento dos dados da calibração é fundamental planejar o experimento e as operações complementares, considerando a estrutura necessária para a realização da calibração.

4.2.2.5 Execução da calibração

A calibração deve seguir o que está escrito no procedimento de calibração. As condições da calibração devem ser monitoradas e registradas ao longo do experimento.

4.2.2.6 Processamento dos dados coletados

O processamento dos dados envolve normalmente uma série de cálculos, que embora de natureza simples, são trabalhos demorados e sujeitos à falha humana. Desse modo, este trabalho recomenda a utilização de um sistema computacional, que com auxílio de um programa dedicado para calibração, uma planilha ou de outro programa de processamento matemático e estatístico, permita realizar todos os cálculos de maneira rápida e confiável.

Segundo a NBR ISO 9001/2/3, esses programas devem ser conferidos a intervalos preestabelecidos para demonstrar que são capazes avaliar a conformidade com a especificação.

4.2.2.7 Documentação formal da calibração

Os documentos principais são o registro dos dados da calibração e o certificado ou relatório de calibração. No meio industrial normalmente o certificado ou relatório de calibração interna apresenta um parecer sobre a conformidade do instrumento ou sistema de medição calibrado.

Para os certificados emitidos pelos laboratórios que não fazem parte da RBC (Rede Brasileira de Calibração), a apresentação de um parecer dá-se geralmente por solicitação da empresa requisitante do serviço.

Para os laboratórios da RBC (Rede Brasileira de Calibração), em casos especiais [45], é possível o laboratório emitir um parecer segundo uma norma ou especificação.

4.2.3 Intervalos de Calibração

Intervalo de calibração é definido como o período de tempo compreendido entre duas calibrações consecutivas de um determinado sistema ou instrumento de medição [24].

A pesquisa realizada em 15 (quinze) empresas certificadas ISO 9000 [7] indicou uma diversidade de métodos usados para estabelecer os intervalos de calibração (capítulo 3, item 3.2.6). A "experiência própria" foi o método preferido.

Na prática, além da experiência do metrologista, as especificações de fabricantes, as especificações de normas técnicas ou as informações de laboratórios de calibração, são utilizados para se estabelecer o intervalo inicial de calibração [3,25].

Os principais fatores que influenciam na definição do intervalo inicial de calibração podem ser resumidos nos seguintes:

- a) condições e frequência de uso do sistema ou instrumento de medição [51];
- b) recomendações técnicas de normas ou de fabricantes;
- c) características construtivas do sistema de medição[51];
- d) nível de incerteza requerido para a medição [51].

Apesar da escolha inicial do intervalo de calibração ser na maioria das vezes de natureza subjetiva (experiência do metrologista) é muito importante que a escolha seja a mais consistente possível.

Justifica-se tal afirmação pelo fato de que usualmente esse intervalo selecionado permanece constante nas primeiras calibrações, já que uma mudança adequada do intervalo só é possível após um razoável conhecimento das características metrológicas do sistema de medição através da análise dos dados históricos das calibrações [24].

É necessária a revisão contínua do intervalo de calibração. Basicamente três fatores contribuem para isso:

- a) aumentar a confiabilidade entre os intervalos (redução do risco de não conformidade) e minimização dos custos com as calibrações periódicas;
- b) possibilidade de alterações das características metrológicas do sistema ou instrumento de medição ao longo do tempo;

- c) possibilidade de mudanças das condições de utilização do sistema ou instrumento de medição ao longo de sua vida útil.

Existe uma gama de métodos propostos para ajustes dos intervalos iniciais de calibração. Recomenda-se as referências [24,51,51-56] para um estudo mais detalhado sobre o assunto.

A norma NBR ISO 10012-1 [3] apresenta no seu anexo A: "Diretrizes para determinação de intervalos de comprovação para equipamentos de medição", 5 (cinco) métodos de ajustes de intervalos iniciais de calibração independentemente do sistema ou instrumento de medição utilizado. Como não existe um método ideal aplicável à toda gama de sistemas de medição, cabe à empresa estudar o método, ou métodos, que sejam adequados às suas necessidades.

CAPÍTULO 5

PROPOSTA DE METODOLOGIA DE IMPLEMENTAÇÃO DE SISTEMAS DE GARANTIA DA QUALIDADE METROLÓGICA

Nos capítulos anteriores foram apresentadas as principais dificuldades defrontadas por um conjunto de empresas certificadas segundo as normas da série ISO 9000, analisadas mais detalhadamente essas dificuldades e propostas soluções fundamentadas em normas e documentos específicos reconhecidos internacionalmente.

As conclusões do estudo de casos (capítulo 3 - item 3.3) indicam essencialmente a falta de uma metodologia geral para implementação de Sistemas de Garantia da Qualidade Metrológica e de fundamentação para as atividades metrológicas no sistema implementado.

A fundamentação das atividades metrológicas (seleção, avaliação de conformidade, calibração, entre outras) dentro do Sistema de Garantia da Qualidade Metrológica - SGQM foi demonstrada, no capítulo 4, através da possibilidade de aplicação de documentos específicos como o "ISO-GUM" [22], VIM [15], 14253-1 [28] e 14253-2 [32], além das normas usuais da família ISO 9000.

Propõe-se neste capítulo uma forma sistematizada de implementação do Sistema de Garantia da Qualidade Metrológica - SGQM, apresentando-se para esse propósito os tópicos gerais do **Guia para Confiabilidade Metrológica - GCM**, a ser elaborado. Portanto a estrutura de tópicos apresentada constitui-se no "projeto do GCM" e as informações e recomendações em cada tópico, num modelo para o conteúdo do Guia para Confiabilidade Metrológica - GCM.

Uma proposta de aplicação do GCM na forma de hipertexto é apresentada.

5.1 Objetivo do Guia para Confiabilidade Metrológica

O Guia para Confiabilidade Metrológica - GCM, caracterizado pela sistematização de informações resultantes da pesquisa em normas, documentos de referência, literatura específica, dos estudos de casos e da experiência do mestrando, tem o propósito de auxiliar as empresas na etapa de implementação dos seus Sistemas de Garantia da

Qualidade Metrológica, satisfazendo e fundamentando os requisitos metrológicos exigidos em normas como as da série ISO 9000.

5.2 Características desejadas

Como características desejadas para o Guia para Confiabilidade Metrológica - GCM, destacam-se:

- a) que aborde e proponha soluções para os principais problemas enfrentados pelas empresas no processo de implementação dos seus Sistemas de Garantia da Qualidade Metrológica baseados nas normas da série ISO 9000;
- b) seja facilmente entendido pelas pessoas responsáveis pela implementação do Sistema de Garantia da Qualidade Metrológica na empresa;
- c) aplicável em qualquer empresa, independente do porte e setor produtivo;
- d) consistente com normas e/ou documentos de referência que correlacionam metrologia e qualidade.

5.3 Tópicos do Guia para Confiabilidade Metrológica

Considerando as características desejadas descritas no item 5.2, os tópicos preliminares do GCM foram elaborados através de informações coletadas de especialistas em metrologia e/ou qualidade, do levantamento de informações em normas e documentos de referência e da aplicação numa empresa no Estado de Santa Catarina do questionário preliminar para o estudo de casos e da experiência do mestrando.

A análise dos resultados do estudo de casos [7] realizado no Estado do Ceará e o acompanhamento do processo de certificação ISO 9002 de uma empresa no Estado de Santa Catarina contribuíram de forma significativa na definição dos tópicos do Guia para Confiabilidade Metrológica.

A Figura 5-1 apresenta a seqüência de ações para a definição dos tópicos gerais do GCM.

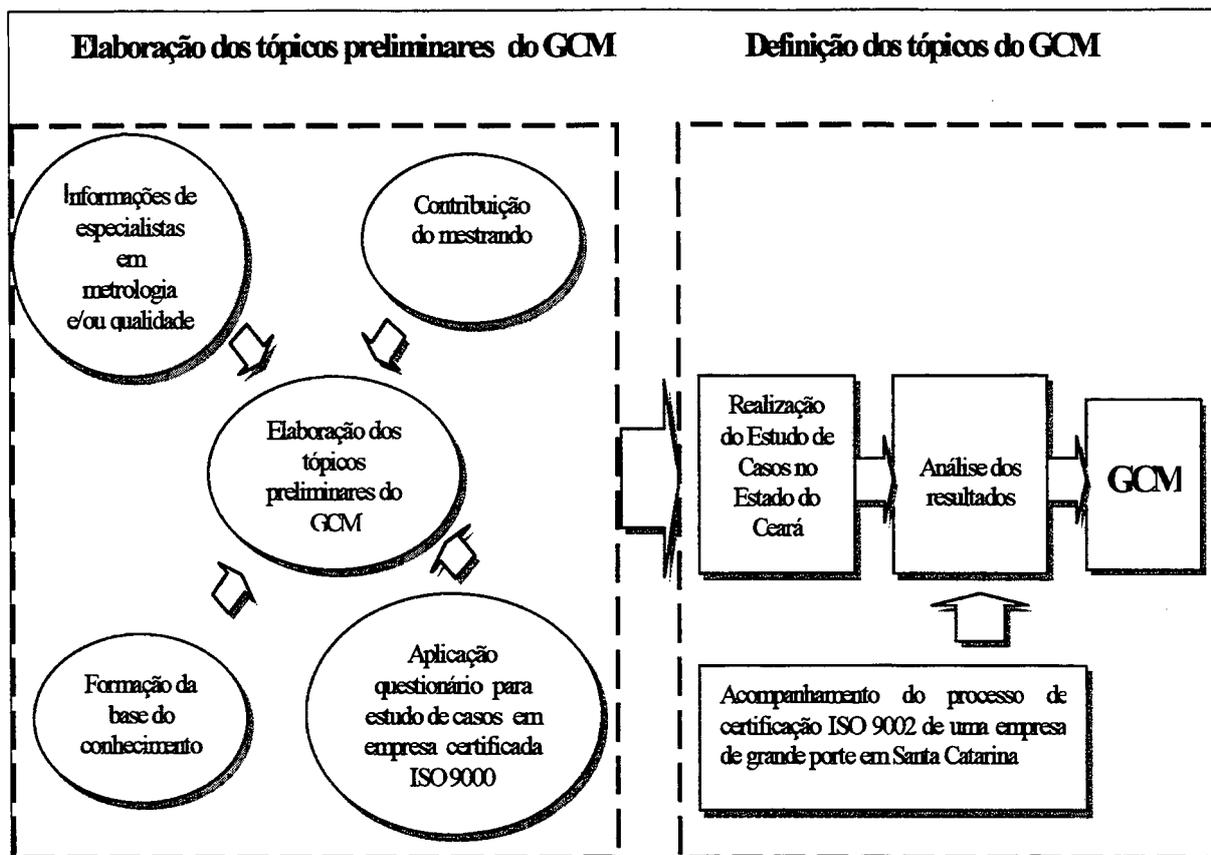


Figura 5-1 Ações para elaboração dos tópicos do Guia para Confiabilidade Metrológica.

A seguir apresenta-se na Tabela 5-1 a seqüência proposta para implementação do Sistema de Garantia da Qualidade Metrológica e uma referência cruzada entre os tópicos do GCM e os itens das normas NBR ISO 9001 [10], NBR ISO 10012-1 [3] e capítulo 4 deste trabalho.

Vale ressaltar que o modelo recomendado no Guia para Confiabilidade Metrológica - CGM não representa a única forma de implementação de Sistemas de Garantia da Qualidade Metrológica; de modo que o usuário do GCM pode modificar por exemplo a seqüência de ações para a implementação, satisfazendo situações particulares.

Tabela 5-1 Tópicos gerais do Guia para Confiabilidade Metrológica – GCM

Seqüência proposta no GCM para implementação do Sistema de Garantia da Qualidade Metrológica SGQM		Referência cruzada		
		Requisitos da NBR ISO 9001	Requisitos da NBR ISO 10012-1	Itens do capítulo 4
Elaboração dos procedimentos ↓ Aprovação dos procedimentos	Formação da equipe de implementação	(4.18) (4.11.1)	(4.7) (4.18)	(4.2.1)
	Identificação das grandezas significativas	(4.11.2a)	---	---
	Identificação dos sistemas ou instrumentos de medição disponíveis na empresa	(4.11.2b)	(4.8)	---
	Formação da documentação para consulta e referência	(4.11.1)	(4.8)	---
	Definição das tolerâncias admissíveis para as grandezas significativas	(4.11.2a)	---	---
	Seleção dos sistemas ou instrumentos de medição	(4.6.1) (4.11.2a)	(4.5)	(4.1.1)
	Definição do parâmetro para avaliação da conformidade do sistema ou instrumento de medição selecionado	(4.11.2a)	(4.2)	(4.1.4)
	Avaliação de conformidade e de incertezas de medição	(4.11.1) (4.11.2a) (4.11.2c)	(4.6);(4.16)	(4.1.2) (4.1.3) (4.1.4)
	Definição dos intervalos iniciais de calibração e da otimização destes	(4.11.1) (4.11.2c)	(4.11)	(4.2.3)
	Ferramentas de auxílio à confiabilidade metrológica podem ser usadas, se necessárias, independentemente da seqüência acima.		(4.11.2e;f;g;h;i; 4.18;4.20)	(4.17)

A forma como estão estruturados os tópicos gerais do Guia para Confiabilidade Metrológica - GCM coincide com a seqüência proposta neste trabalho para implementação do Sistema de Garantia da Qualidade Metrológica nas empresas.

Desse modo são detalhados os tópicos conforme apresentado na Tabela 5-1, excetuando-se as atividades de **elaboração de procedimentos e aplicação de ferramentas de auxílio à confiabilidade metrológica**, que são apresentadas como itens à parte pois independem da seqüência de implementação.

5.3.1 Formação da equipe de implementação

A formação da equipe responsável pela implementação do Sistema de Garantia da Qualidade Metrológica - SGQM na empresa é fundamental para um bom desenvolvimento do trabalho. A administração superior da empresa deve indicar formalmente os integrantes da equipe dando-lhes total apoio e respaldo para as decisões tomadas. A quantidade de integrantes da equipe e o número de equipes formadas irão depender, em princípio, do porte e diversidade de áreas de atuação da empresa. Normalmente encontra-se uma ou no máximo duas pessoas como responsáveis pelo processo de implementação do SGQM [7].

Baseado nos estudos de casos realizados (no Ceará e em Santa Catarina) em empresas certificadas ISO 9000, pode-se resumir os requisitos desejados para uma equipe de implementação em:

- a) bom conhecimento de metrologia, estatística básica e do processo de produção;
- b) possuir o apoio da alta administração e tempo reservado para os trabalhos relacionados ao processo de implementação;
- c) bom relacionamento com todas as pessoas da empresa;
- d) senso de organização e planejamento.

5.3.2 Definição das grandezas específicas significativas

Grandezas específicas significativas são aquelas definidas para os produtos ou processos tal que seus valores medidos mantenham-se dentro de limites admissíveis especificados, sob pena do produto ser rejeitado ou uma ação sobre o processo ser necessária.

A definição das grandezas que afetam a qualidade do produto ou do processo pode envolver os setores de produção, projeto e garantia da qualidade. Não há uma regra única

para definir o que deve ser medido (controlado ou monitorado). Quanto mais se conhece do processo de produção ou de medição, mais claro está a definição de que grandezas específicas devem ser medidas (mensurando).

Considerações sobre os seguintes aspectos podem auxiliar na definição de que grandezas devem ser medidas:

- a) o custo associado à medição da grandeza, e o risco da grandeza quando fora de controle afetar a qualidade final do produto ou tornar incapaz um processo de produção ou colocar em risco requisitos de segurança, saúde e meio ambiente;
- b) a exigência legal da medição de grandezas específicas de um produto ou de um processo. A medição do volume de combustível entregue pelas empresas distribuidoras de derivados de petróleo é um exemplo.

Os principais benefícios de uma correta definição das grandezas significativas à medir são:

- a) redução de custos com operações de medição, inspeção e ensaios, realizando essas atividades apenas onde é necessário;
- b) o conhecimento correto das grandezas específicas significativas do processo (de produção ou medição) e suas correlações, podem facilitar a estimativa da incerteza de medição do mensurando.

5.3.3 Identificação dos instrumentos de medição disponíveis na empresa

Nessa etapa do processo de implementação identifica-se todos os sistemas ou instrumentos de medição disponíveis na empresa independente de estarem ou não em uso. A identificação deve conter pelo menos as seguintes informações:

- a) tipo de instrumento ou sistema de medição;
- b) nome do fabricante e o registro de identificação única do instrumento ou sistema de medição;
- c) localização do instrumento ou sistema de medição na empresa e o seu estado de uso;
- d) aplicação atual e quais grandezas específicas significativas são medidas com o instrumento ou sistema de medição.

Essa etapa dá subsídios para o levantamento de informações detalhadas de cada sistema ou instrumento de medição usado nas medições de grandezas específicas significativas e para a etapa de seleção desses.

5.3.4 Formação da documentação para consulta e referência

Essa etapa consiste do levantamento formal e documentado de informações para racionalizar e fundamentar o processo de implementação do Sistema de Garantia da Qualidade Metrológica.

A racionalização dá-se pela redução de esforços despendidos na busca de informações sobre características metrológicas dos instrumentos de medição, tolerâncias especificadas dos mensurandos, termos metrológicos, entre outros, uma vez que essas informações são disponibilizadas para a equipe de implementação para discussão e análise.

A fundamentação do Sistema de Garantia da Qualidade Metrológica ocorre pela comprovação através de normas, documentos específicos, catálogos, entre outros, das informações contidas nos procedimentos documentados.

O levantamento de informações pode ser dividido em três grupos de documentos:

a) Normas do sistema da qualidade ISO 9000 e seus documentos complementares;

Basicamente compõe-se:

- da norma de garantia da qualidade na qual a atividade da empresa se enquadra;
- das normas de gestão da qualidade, especialmente as NBR ISO 9004 parte 1 e 4 ;
- e dos documentos complementares NBR ISO 8402 [1] para os termos relativos à qualidade e a NBR ISO 10012-1 [3] para o “sistema de comprovação metrológico”.

b) Normas e documentos específicos;

Têm-se basicamente:

- os documentos específicos e normas recomendados no capítulo 4 como referências para os procedimentos do SGQM. São eles: “ISO-GUM”; ISO/TR 14253-2; ISO/FDIS 14253-1 e o Vocabulário Internacional de Metrologia – VIM/1995;
- normas consensuais como as da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) e outras utilizadas para referenciar procedimentos de inspeção, medição e ensaios;
- regulamentos legais e especificações internas da empresa.

c) Documentos diversos.

Tipicamente referem-se às especificações técnicas de fabricantes e catálogos.

5.3.5 Definição da tolerância admissível para a grandeza significativa

Tolerâncias admissíveis para grandezas significativas de produtos ou processos quando não definidas por imposições legais (âmbito da metrologia legal) ou por normas consensuais (normas da ABNT- Associação Brasileira de Normas Técnicas, por exemplo), são estabelecidas pela própria empresa.

Os limites de tolerâncias admissíveis devem ser definidos com clareza, usando-se o Sistema Internacional de Unidades (SI). A fonte de referência (que faz parte da documentação para consulta e referência) deve ser indicada formalmente.

5.3.6 Seleção dos sistemas ou instrumentos de medição

O processo de seleção define o conjunto de instrumentos ou sistemas de medição que são controlados (usualmente através da calibração). A tarefa de seleção envolve normalmente além dos aspectos metrológicos, diversos fatores tais como: custos de aquisição e operação, assistência técnica, grau de automatização possível, entre outros. Esses fatores são também importantes e devem ser considerados no processo de seleção.

Entretanto, sob o aspecto do cumprimento dos requisitos exigidos pelas normas da série ISO 9000, a empresa deve proceder a seleção dos instrumentos ou sistemas de medição de modo a garantir e comprovar que esses são capazes de avaliar a conformidade das grandezas significativas medidas (mensurandos).

As normas ISO 9001/2/3 exigem que seja garantida uma relação adequada entre a exatidão requerida do mensurando e as características de exatidão do instrumento ou sistema de medição selecionado [10].

A recomendação deste trabalho é que com as informações levantadas nas etapas anteriores (itens 5.3.2 a 5.3.5) seja possível definir a relação adequada entre a tolerância do mensurando e a incerteza estimada do processo de medição. Essa incerteza estimada baseada no "ISO-GUM" [22] ou ISO/TR 14253-2 [32] deve considerar as características metrológicas do instrumento (erro máximo admissível (**Emad**)), os efeitos das condições ambientais e de todas as demais fontes significativas de incertezas.

Se a relação tolerância e incerteza estimada é satisfeita, o instrumento de medição é portanto selecionado para medição no processo produtivo.

A capacidade do instrumento de medição selecionado de avaliar a conformidade com a especificação somente é garantida se todos os componentes significativos de incertezas forem mantidos dentro dos limites aceitáveis considerados na estimativa da incerteza do processo de medição.

Durante o acompanhamento de certificação ISO 9002 em uma empresa de grande porte no Estado de Santa Catarina, desenvolveu-se, para essa empresa, um conjunto de planilhas que contemplam a metodologia proposta neste item. As Figuras 5-2 a 5-4 ilustram essas planilhas.

ESTIMATIVA DA INCERTEZA NO PROCESSO DE MEDIÇÃO BASEADA NO ISO GUM									
ENTRADA DE DADOS						DATA:	25/10/98		
DADOS GERAIS									
MENSURANDO			Diâmetro externo do eixo número 5			UNIDADE	mm		
LIMITES DE ESPECIFICAÇÃO		Nominal	25,00	Afast. Inferior	-0,025	Afast. Superior	0,025	FONTE	Projeto
LIMITES DE ESPECIFICAÇÃO INFERIOR (LSL)			24,975		LIMITES DE ESPECIFICAÇÃO SUPERIOR (USL)			25,025	
MÍNIMA RAZÃO DESEJADA ENTRE A FAIXA DOS LIMITES ESPECIFICADOS E A FAIXA DE INCERTEZA DE MEDIÇÃO DO PROCESSO								3,0	
LOCAL DA MEDIÇÃO			Usinagem			SETOR RESPONSÁVEL	Fabricação		
COMPONENTES ENVOLVIDOS NO PROCESSO DE MEDIÇÃO DO MENSURANDO									
DESCRIÇÃO						INFORMAÇÃO COMPLEMENTAR			
1	EMAD do Micrômetro externo (0 a 25) mm Valor de uma divisão: 0,001 mm					ISO 3611/78			
2	Reprodutibilidade dos operadores					Relatório de Experimento			
3	Repetitividade do micrômetro					Relatório de Experimento			
4	Variação da temperatura referência (20 °C)					Relatório de Experimento			
5	Diferença temperatura instrumento/peça					Relatório de Experimento			
6	Desvios de forma do mensurando					Relatório de Experimento			
7									
8									
9									
10									
OBSERVAÇÕES									
Este exemplo está baseado nos dados do anexo A.2-A do ISO/TR 14253-2/1997 página 43									

Figura 5-2 Planilha 1: exemplo de entrada de dados para estimativa do processo de medição do diâmetro de um eixo usando um micrômetro externo.

ESTIMATIVA DA INCERTEZA NO PROCESSO DE MEDIÇÃO BASEADA NO ISO GUM									
PLANILHA DE CÁLCULO						DATA: 25/10/98			
Diâmetro externo do eixo número 5			mm	Usinagem		Fabricação			
ESTIMATIVA DA INCERTEZA EXPANDIDA ($U_{95\%}$) DO PROCESSO DE MEDIÇÃO DA VARIÁVEL CRÍTICA							N. CONFIANÇA = 95%		
FONTES DE INCERTEZA	ESTIMATIVA DA FONTE DE INCERTEZA	UNIDADE	DISTRIBUIÇÃO	Coefficiente de sensibilidade	DIVISOR	INCERTEZA PADRÃO	GRAUS DE LIBERDADE	% de u_c^2	
1	EMAD do Micrômetro externo (0 a 25) mm	0,00300	mm	Retangular	1	1,732	0,00173	INFINITO	21,0
2	Reprodutibilidade dos operadores	0,00200	mm	Normal	1	1	0,00200	14	28,1
3	Repetitividade do micrômetro	0,00120	mm	Normal	1	1	0,00120	14	10,1
4	Variação da temperatura referência (20 °C)	15,0	°C	Retangular	0,00003	1,732	0,00025	INFINITO	0,4
5	Diferença temperatura instrumento/peça	10,0	°C	Retangular	0,00029	1,732	0,00166	INFINITO	19,3
6	Desvios de forma do mensurando	0,00300	mm	Retangular	1	1,732	0,00173	INFINITO	21,0
7	0						0,00000		0,0
8	0						0,00000		0,0
9	0						0,00000		0,0
10	0						0,00000		0,0
						u_c 68% em mm □	0,00378		
Graus de liberdades efetivos (ν_{eff}): 158			k = 2,00		U _{95%}		0,008 mm		
OBSERVAÇÕES									
Este exemplo está baseado nos dados do anexo A.2-A do ISO/TR 14253-2/1997 página 43									

Figura 5-3 Planilha 2: exemplo de estimativa da incerteza do processo de medição.

ESTIMATIVA DA INCERTEZA NO PROCESSO DE MEDIÇÃO BASEADA NO ISO GUM									
RESULTADOS						DATA: 25/10/98			
Diâmetro externo do eixo número 5			mm	Usinagem		Fabricação			
INCERTEZA PROCESSO DE MEDIÇÃO ($U_{95\%}$)		0,008							
FAIXA DE ESPECIFICAÇÃO DO MENSURANDO									
MÍNIMO	24,975	MÁXIMO	25,025						
FAIXA DE CONFORMIDADE DO MENSURANDO									
MÍNIMO	24,983	MÁXIMO	25,017						
RESULTADOS EM:			mm						
RELAÇÃO MÍNIMA DESEJADA ENTRE A FAIXA DOS LIMITES DE ESPECIFICAÇÃO E À FAIXA DE INCERTEZA DE MEDIÇÃO DO PROCESSO						3,0			
RELAÇÃO OBTIDA ENTRE A FAIXA DOS LIMITES DE ESPECIFICAÇÃO E À FAIXA DE INCERTEZA DE MEDIÇÃO DO PROCESSO						3,3			
OBSERVAÇÕES									
Este exemplo está baseado nos dados do anexo A.2-A do ISO/TR 14253-2/1997 página 43									

FAIXA DE CONFORMIDADE E INCERTEZA DO PROCESSO DE MEDIÇÃO EM RELAÇÃO A FAIXA DE ESPECIFICAÇÃO DO MENSURANDO

15,1% 69,8% 15,1%

Faixa de Especificação

■ INCERTEZA DO PROCESSO U_{95%} □ FAIXA DE CONFORMIDADE ZC

Figura 5-4 Planilha 3: exemplo de relação obtida entre a faixa de especificação do mensurando e a incerteza estimada do processo de medição.

5.3.7 Definição do parâmetro para avaliação da conformidade do instrumento ou sistema de medição selecionado

A proposta deste trabalho é que o parâmetro utilizado para avaliação da conformidade com a especificação seja o **erro máximo admissível (Emad)**. Os itens 4.1.3 e 4.1.4 do capítulo 4 abordam o uso desse parâmetro na avaliação de conformidade. Portanto o erro máximo admissível (**Emad**), componente na estimativa da incerteza do processo de medição (item 5.3.6), é comparado com seu valor estimado no processo de calibração (erro máximo avaliado (**Emav**)).

Podem existir situações nas quais o erro máximo admissível do sistema ou instrumento de medição não esteja definido em nenhum documento formal; ou a situação na qual apenas uma característica metrológica específica como por exemplo a histerese seja a mais significativa em um dado processo de medição.

Para a primeira situação, recomenda-se a realização de experimentos (uma calibração por exemplo) para que seja estimado o erro admissível do instrumento de medição. O registro formal dos resultados obtidos é fundamental para comprovação junto às auditorias.

Na segunda situação descrita, a característica metrológica deve ser claramente definida e determinada através, por exemplo, de um procedimento de calibração. Nesse caso a histerese admissível do instrumento definida para as condições de referência é o erro máximo admissível.

5.3.8 Avaliação de conformidade dos sistemas de medição selecionados

Essa etapa compreende a avaliação do instrumento ou sistema de medição, usualmente realizada por meio da calibração, e a comparação dos resultados obtidos com os erros admissíveis adotados pela empresa.

Propõe-se que as recomendações apresentadas no capítulo 4 - itens 4.1.3 e 4.1.4 - sejam aplicadas para a avaliação de conformidade. O documento ISO/FDIS 14253-1 [28] é recomendado neste trabalho como referência quando não existir uma regulamentação legal definindo o critério de conformidade ou um acordo específico entre fornecedor e cliente.

Foi desenvolvido e aplicado, para a mesma empresa em Santa Catarina, um modelo de planilha para a estimativa da incerteza no processo de calibração, considerando o método alternativo proposto no item 4.1.3.1 do capítulo 4. A Figura 5.5 ilustra a planilha.

CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO						FTI-03
SISTEMA DE MEDIÇÃO DE TEMPERATURA						INSTRUMENTAÇÃO
						FL 01/01
Nº Certificado	0001/98		TAG do equipamento			
O.S. Número			Solicitante :			
Instrução (IM)			Data da calibração:	03/05/98		
Local			Próxima calibração :	03/05/99		
Transdutor	PT-100	Nº série			Tipo	Classe B
Dispo. Mostrador	Digital	Nº série			Unidade	°C
Valor de uma divisão	0,1	Faixa de medição	(10 a 40) °C		Emad. (°C)	0,3
Padrão utilizado	Fabricante	Nº Certificado	Valor de uma divisão	Faixa de medição	Próxima calibração	Incerteza do Padrão
	INCOTERM	21.110	0,1	(0 a 50)°C	21/11/98	0,05
Valor indicado no padrão em °C			10,0	20,0	30,0	40,0
Correção do Valor indicado no padrão			0,0500	0,0000	0,0000	0,0500
Valor indicado no instrumento em °C						
1º Ciclo	Crescente		10,1	20,1	30,0	40,1
	Decrescente		10,0	19,9	29,9	40,0
2º Ciclo	Crescente		10,1	19,9	30,0	40,0
	Decrescente		10,0	19,9	29,9	40,0
3º Ciclo	Crescente		10,1	20,0	30,0	40,1
	Decrescente		9,9	19,9	29,9	39,9
Média das indicações (MI)			10,0333	19,9000	29,9000	40,0167
Desvio padrão das indicações			0,0816	0,0837	0,0548	0,0753
Tendência do Transdutor			-0,0167	-0,0500	-0,0500	-0,0333
CÁLCULO DA INCERTEZA BASEADO NA ISO TAG4/WG3 (ISO-GUM)						
Fontes						
Dispersão das Indicações			0,0816	0,0837	0,0548	0,0753
Resolução adotada no padrão			0,0408	0,0408	0,0408	0,0408
Incerteza do padrão (Ip)			0,0500	0,0500	0,0500	0,0500
Resolução do Indicador (Ri)			0,0577	0,0577	0,0577	0,0577
Incerteza combinada			0,1118	0,1133	0,0940	0,1072
Graus de liberdade efetivo			18	17	43	21
Fator de abrangência (k)			2,11	2,12	2,02	2,09
Incerteza de medição expandida (U95%)			0,24	0,24	0,19	0,22
Erro máximo avaliado (Emav)			0,25	0,29	0,24	0,26
DECISÃO (BASEADA NO CRITÉRIO DE ACEITAÇÃO Emav < Emad)			APROVADO	APROVADO	APROVADO	APROVADO
Executado por			Aprovado por			
Matrícula			Matrícula			
Assinatura			Assinatura			
Fórmulas: 1-Incerteza padronizada combinada (u _c) = $\sqrt{(u_{Rc})^2 + (u_{Ip})^2 + \dots + (u_{Ri})^2}$ 2-Incerteza expandida (U95%) = u _c x k 3-Erro máximo avaliado (Emav) = ([Td] · U95%) Para um nível de confiança 95%, ES em módulo. 4-Observação: O critério para aceitação para o equipamento de medição calibrado é o seguinte: Emav < Emest.						
Os resultados apresentados neste relatório de calibração referem-se exclusivamente ao equipamento de medição acima descrito						
Este documento não pode ser reproduzido parcialmente.						

Figura 5-5 Exemplo de planilha para estimativa do erro máximo avaliado (Emav) na calibração.

5.3.9 Definição do intervalo inicial de calibração e do método de ajuste

A determinação do intervalo de calibração através de informações de normas, especificação do fabricante ou da experiência própria é recomendada como uma estimativa inicial. No entanto, a análise contínua desses intervalos é fundamental quando se deseja reduzir custos com as operações de calibração e garantir a confiabilidade do instrumento ou sistema de medição entre os intervalos de calibração estabelecidos.

Este trabalho recomenda que sejam estudados os métodos de ajustes de intervalos iniciais de calibração recomendados na NBR ISO 10012-1 [3]. As metodologias aplicadas para definição do intervalo inicial e para o ajuste desse intervalo devem ser formalmente documentadas.

5.3.10 Atividades independentes da seqüência de implementação do Sistema de Garantia da Qualidade Metrológica - SGQM

5.3.10.1 Elaboração de procedimentos documentados

Propõem-se que as recomendações sobre elaboração de procedimentos específicos ou gerais dentro do Sistema de Garantia da Qualidade Metrológica - SGQM apresentadas no capítulo 4 - item 4.2.2 - sejam consideradas ao longo de todo processo de elaboração e revisão de procedimentos do SGQM.

É comum [7] incluir dentro do procedimento geral denominado usualmente "Controle de equipamentos de inspeção, medição e ensaios" uma tabela com informações resumidas sobre o mensurando, sua tolerância, o instrumento de medição usado para medir esse mensurando e o critério de aceitação do instrumento de medição.

Dentre as vantagens dessa prática, destaca-se o poder de síntese da tabela sobre as informações do Sistema de Garantia da Qualidade Metrológica - SGQM facilitando sobremaneira a análise e demonstração das informações nas auditorias periódicas, por exemplo.

Uma tabela modelo resumindo as informações resultantes das etapas de implementação do SGQM propostas no Guia para Confiabilidade Metrológica - CGM é apresentada na Tabela 5-2. Ressalta-se que a tabela proposta é apenas orientativa, devendo ser analisado caso a caso a conveniência de adotar, modificar ou acrescentar as recomendações sugeridas.

Tabela 5-2 "Tabela resumo" com as informações do SGQM

Produto ou Processo	Mensurando			Sistema de Medição		Relação Tol. U95%	Incerteza do processo de medição U95%	Critério de aceitação (Emav < Emad)
	Descrição	Tolerância	Fonte de informação	Descrição	Faixa de medição			

5.3.10.2 Ferramentas de auxílio à garantia da confiabilidade metrológica

As informações de componentes de incerteza do processo de medição, na maioria das vezes estimadas teoricamente, podem ser avaliadas de uma forma mais realística realizando-se estudos sobre o comportamento do sistema ou instrumento de medição na sua condição real de uso.

A avaliação e o acompanhamento de características metrológicas de sistemas ou instrumentos de medição no processo produtivo constituem-se de procedimentos eficientes para auxiliar na garantia da confiabilidade metrológica nos processo de medição. Diversas ferramentas, estatísticas ou matemáticas, podem ser úteis para esse propósito.

A NBR ISO 9004-1 [17] (item 20.2), recomenda ferramentas estatísticas que podem ser aplicadas nas atividades dentro do SGQM. Algumas dessas ferramentas como por exemplo a análise de variância (ANOVA) e projetos de experimentos, são estudadas, sob o enfoque metrológico, na referência [52].

No estudo de casos [7] constatou-se somente o uso do estudo de repetitividade e reprodutibilidade (R&R) para instrumento ou sistema de medição do Manual de Referência do Sistema da Qualidade QS 9000, denominado de MSA - Análise de Sistema de Medição (*MSA- Measurement System Analysis*) [23].

Este trabalho recomenda o estudo dos procedimentos estabelecidos nesse manual para estimativa de valores de características metrológicas envolvidas na avaliação de incertezas do processo de medição.

A avaliação de sistemas de medição pelo MSA - Análise de Sistema de Medição (*MSA-Measurement System Analysis*) [23] dá-se através da aplicação de procedimentos estatísticos ou matemáticos analisados por meio da técnica de cartas de controle estatístico que é considerada uma excelente ferramenta para avaliar a qualidade

das medições [57]. Outras técnicas gráficas como os gráficos de dispersão, os gráficos X-Y, as cartas de seqüências, podem ser utilizadas para análise dos dados.

As premissas exigidas para aplicação das ferramentas do controle estatístico de processo (CEP) tradicional (para o processo de produção) são igualmente requeridas na aplicação em processos de medição.

O documento MSA (Análise de Sistema de Medição) focaliza importantes propriedades ou características relacionadas com o sistema ou instrumento de medição. São elas: tendência, estabilidade, linearidade, repetitividade e reprodutibilidade.

O estudo da magnitude e forma de variação dessas características metrológicas quando o sistema ou instrumento de medição interage no ambiente no qual é utilizado, permite conhecer que características influenciam significativamente os resultados da medição e sua incerteza.

5.4 Proposta do Guia para Confiabilidade Metrológica na forma de hipertexto

Como afirmado no item 5.1, o Guia para Confiabilidade Metrológica - GCM é o resultado da sistematização de informações de diversas fontes. Essas informações e suas fontes de referência (documentos de referência) estão organizadas (mas não hierarquizadas) na forma de "blocos" dentro do GCM proposto e relacionadas em maior ou menor grau entre si.

Se o GCM proposto fosse elaborado na forma escrita (papel) e na situação, por exemplo, em que o usuário estivesse interessado apenas no estudo de uma de suas partes ou em um assunto específico, a pesquisa dentro do GCM poderia tornar-se inconveniente.

A aplicação da tecnologia de hipertexto⁶ no Guia para Confiabilidade Metrológica facilita a pesquisa dentro do documento uma vez que as informações são relacionadas entre si através de "*links*"⁷ permitindo a leitura de uma forma não seqüencial.

⁶ Hipertexto é um sistema de escrita e leitura não seqüencial aplicado à informática, principalmente à multimídia e às "*home pages*" na internet.

⁷"*links*" são conexões entre informações ou blocos de informações dentro do hipertexto.

O GCM proposto na forma de hipertexto é composto de 4 (quatro) módulos de documentos e informações relacionados entre si por meio de "*links*". Dentro de cada módulo também existem "*links*" entre documentos e informações de modo que o usuário pode construir sua própria trajetória em busca das informações de interesse. A Figura 5-6 mostra a estrutura proposta do GCM na forma de hipertexto.

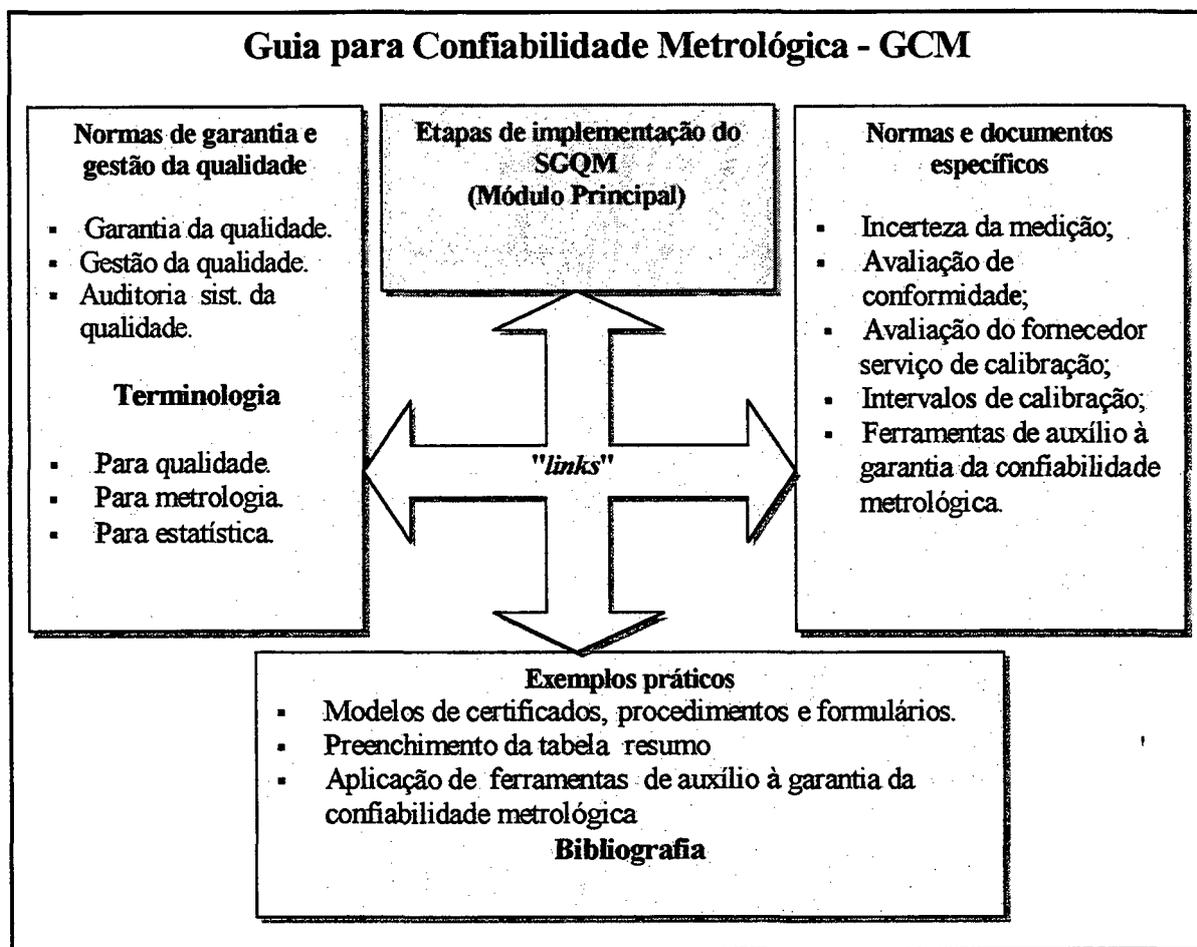


Figura 5-6 Estrutura proposta do Guia para Confiabilidade Metrológica em Hipertexto.

Na Figura 5-6 o módulo principal refere-se às etapas de implementação do Sistema de Garantia da Qualidade Metrológica - SGQM. O restante dos módulos fundamentam as informações apresentadas no módulo principal, através de normas e documentos de referência comentados e de exemplos práticos.

Além da facilidade de exploração do conteúdo do Guia para Confiabilidade Metrológica - GCM, pode-se indicar outras vantagens do seu uso na forma de hipertexto. São elas:

- uso de recursos de multimídia, potencializando o entendimento do GCM e a sua aplicação em atividades de treinamento;
- aplicação na "*internet*" (rede mundial de computadores) ou numa "*intranet*" (rede privativa de computadores que se baseia nos "padrões" de comunicação da "*internet*");
- facilmente atualizável.

Um modelo simplificado do Guia para Confiabilidade Metrológica na forma de hipertexto foi implementado utilizando-se o processador de texto *Word®* da *Microsoft Corporation*. Os módulos de documentos e informações conforme apresentado na Figura 5-6 constituem-se de subdiretórios do diretório principal denominado de "CGM Hipertexto".

Dentre as vantagens de uso desse processador de texto, cita-se:

- os arquivos podem ser facilmente convertidos em arquivos para *internet* (arquivos com extensão HTML - *Hipertext Markup Language*);
- pode-se fazer "*links*" com outros aplicativos comuns da *Microsoft®*;
- exige recursos computacionais mínimos como um computador pessoal (PC) com processador 486 ou superior e memória mínima de 8 (oito) *megabytes*.

A limitação do aplicativo *Word®* consiste em não apresentar recursos de animação de figuras e nem de criação de "*help*" (auto ajuda), além de eventuais perdas de formatação do texto na conversão para arquivos com extensão HTML - *Hipertext Markup Language*.

CAPÍTULO 6

CONCLUSÕES

Independentemente do sistema metrológico implementado, esse necessita de procedimentos metrológicos confiáveis e fundamentados, preferencialmente, em normas e documentos de referência reconhecidos.

Desenvolveu-se ao longo deste trabalho um estudo sobre as principais dificuldades enfrentadas pelas empresas durante o processo de implementação dos requisitos metrológicos segundo as normas da série ISO 9000. Com base nesse estudo foram propostos procedimentos sistematizados (GCM - Guia para Confiabilidade Metrológica) para auxiliar as empresas na implementação dos seus Sistemas de Garantia da Qualidade Metrológica - SGQM.

A realização do estudo de casos e a análise detalhada das informações resultantes possibilitaram a identificação de uma gama considerável de dificuldades reais envolvidas na implementação do sistema metrológico nas empresas.

No estudo aprofundado das principais dificuldades identificadas constatou-se generalizada falta de fundamentação metrológica na elaboração dos procedimentos formais implementados nas empresas. Constatou-se também que, grande parte da desejável fundamentação metrológica pode ser alcançada pelo uso correto de documentos existentes, tais como: o Guia para expressão da incerteza de medição - "ISO-GUM", o Vocabulário Internacional de Metrologia - VIM e os documentos de referência ISO/FDIS 14253-1 e ISO/TR 14253-2.

Dentre as ferramentas de auxílio à garantia da confiabilidade metrológica nos processos de medição, constatou-se, pelo estudo de casos, apenas o uso da análise de repetitividade e reprodutibilidade (R&R) baseada no Manual de Referência do QS 9000 denominado de Análise dos Sistemas de Medição (MSA).

Destacam-se, adicionalmente, as seguintes conclusões agrupadas pelo critério de afinidade com o tópico relatado:

a) Família de normas da série ISO 9000

- As normas atuais abordam de uma forma superficial os requisitos metroológicos por elas exigidos. A norma não ressalta requisitos importantes para garantia da qualidade das medições como por exemplo, a avaliação de incerteza do processo de medição (inclusive no chão de fábrica) e sua relação com a tolerância do mensurando. Essa forma superficial de abordagem também contribui para a interpretação equivocada dos requisitos metroológicos.
- Os projetos de normas ("*drafts*") da série ISO 9000 para o ano 2000 não apresentam (dezembro/1998), com relação às versões atuais (1994), nenhuma modificação no item que trata dos requisitos metroológicos. Também não há referência à documentos importantes como o Vocabulário Intencional de Metrologia - VIM e o Guia para expressão da incerteza de medição - "ISO-GUM".
- Da forma superficial com que as questões metroológicas estão sendo abordadas nas novas normas ISO 9000 para o ano 2000, é importante, para um melhor entendimento dos requisitos metroológicos, a publicação das normas complementares ISO NBR 10012 parte 1 e 2 em consonância com documentos atuais sobre incerteza de medição e terminologia.

b) Terminologia

- A terminologia metroológica oficial no país, estabelecida pelo INMETRO (Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial) com base no Vocabulário Internacional de Metrologia - VIM/1993 é praticamente desconhecida entre as empresas pesquisadas.
- De uma forma geral não há uniformização de termos metroológicos entre as normas de garantia da qualidade e as normas consensuais da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas).
- Verificou-se, com frequência, o uso de termos como **aferição**, **precisão** e **exatidão** (no sentido quantitativo) nos procedimentos documentados das empresas pesquisadas. A terminologia para qualidade e metrologia constantes respectivamente nas normas NBR ISO 8402/1994 e a NBR ISO 10012-1/1993 foram usadas.

c) Seleção de sistema de medição

- Procedimento de seleção de instrumentos ou sistemas de medição é realizado, na grande maioria dos casos, de uma forma inadequada. Critérios como a relação entre tolerância do mensurando e valor de uma divisão ou tolerância e erro máximo admissível podem levar à conclusão equivocada a respeito da capacidade do instrumento de medição de avaliar a conformidade do mensurando com sua especificação.
- Os critérios acima podem até ser aplicados quando se tem um profundo conhecimento do comportamento metrológico e operacional do sistema ou instrumento de medição na sua condição real de uso, o que na prática se mostrou muito raro.
- Um critério para seleção de instrumentos de medição proposto neste trabalho, consiste em estabelecer qual a **incerteza do processo de medição** que é admissível com relação à **tolerância do mensurando**.
- A avaliação da incerteza do processo de medição, que não é atualmente realizada nas empresas, deve considerar as informações sobre as características metrológicas do instrumento de medição e todos os demais componentes significativos de incertezas.

d) Calibração

- Os métodos de avaliação de incertezas em calibrações internas nas empresas pesquisadas (capítulo 3, item 3.2.4), não estão baseados no Guia para expressão da incerteza de medição - "ISO-GUM".
- Os métodos usados pelas empresas pesquisadas consideram apenas dois componentes de incerteza: o desvio padrão experimental ou o desvio padrão experimental da média e a incerteza herdada do padrão usado. O resultado da calibração resume-se na informação da tendência e a incerteza da tendência. Esses métodos são inadequados sob os seguintes aspectos:
 - a incerteza de medição avaliada nesses métodos não considera outros componentes de incertezas que podem ser até mais significativos no balanço geral de incertezas;
 - se o objetivo da calibração for a avaliação da conformidade do instrumento ou sistema de medição com sua especificação, as informações resultantes da calibração

(tendência e sua incerteza) não permitem a comparação consistente com o erro máximo admissível adotado como critério de aceitação, porque falta a estimativa da repetitividade do instrumento e sua incerteza;

- Para o propósito de avaliação de conformidade do instrumento ou sistema de medição, as informações apresentadas atualmente nos certificados de calibração (inclusive dos laboratórios da RBC - Rede Brasileira de Calibração) são insuficientes.
- Propôs-se neste trabalho duas formas de apresentação dos resultados da calibração, considerando os parâmetros **tendência e repetitividade** e as **incertezas associadas à estimativa desses parâmetros** (capítulo 4, item 4.1.3.1). A forma de apresentação indicada na equação 4.7 do capítulo 4 foi aplicada em um caso real e demonstrou-se bastante prática.

e) Avaliação de incerteza de medição

- Não é feita avaliação de incertezas para as medições em chão de fábrica, nas empresas pesquisadas.
- O Guia para expressão da incerteza de medição - "ISO-GUM" e o ISO/TR 14253-2 podem ser usados como documentos de referência para os procedimentos do Sistema de Garantia da Qualidade Metroológica nas empresas. Aplicou-se o método do "ISO-GUM" em um caso real na avaliação de incerteza na calibração e incerteza no processo de medição. Faz-se as seguintes considerações à respeito:
 - o levantamento dos componentes de incerteza envolvidos no processo de medição exige pessoal com conhecimentos em metrologia, estatística e no processo de produção;
 - os procedimentos de cálculo e os registros das informações são atualmente bastante facilitados pelo uso de programas computacionais comercialmente disponíveis ou de planilhas de cálculo (figuras 5.2 a 5.4 no capítulo 5);
 - dentre as vantagens da aplicação do "ISO-GUM", cita-se a padronização do método e a possibilidade de comparação de resultados, o uso dos dados registrados das avaliações como históricos para análise e melhoria do processo de medição.

- O método estabelecido no relatório técnico ISO/TR 14253-2, apresenta simplificações com relação ao "ISO-GUM" que facilitam sua aplicação no meio industrial (item 4.1.2.2 do capítulo 4).

f) Avaliação de conformidade com a especificação

- critério de aceitação, em quase todas as empresas pesquisadas, resume-se na relação de um "parâmetro" (combinação da tendência do instrumento de medição e sua incerteza) com a tolerância do mensurando. Esse procedimento é inadequado sob dois aspectos:
 - para efeito de aceitação ou não do instrumento de medição calibrado, a comparação do resultado da calibração deve ser feita com seu erro máximo admissível que é um parâmetro próprio do instrumento de medição e que pode caracterizar seu comportamento metrológico;
 - a determinação do "parâmetro" deve considerar a repetitividade do instrumento de medição, o que não ocorre atualmente nas empresas.
- Neste trabalho propôs-se a utilização do documento ISO/FDIS 14253-1 como referência para os procedimentos de aceitação de instrumento de medição e grandezas específicas medidas. Em ambas as situações, a incerteza do processo de medição é considerada e avaliada com base no ISO/TR 14253-2 ou o "ISO-GUM".
- As formas de apresentação de resultados sugerida neste trabalho, item 4.1.3.1 do capítulo 4, são facilmente aplicadas utilizando-se a método do ISO/FDIS 14253-1.
- Ações no sentido de harmonizar a definição de que características do instrumento compõe o erro máximo admissível e a padronização da forma de avaliação desse parâmetro, deveriam ser envidadas entre fabricantes, órgãos de normalização e metrologistas.

g) Intervalo de calibração

- A pesquisa realizada nas empresas certificadas ISO 9000 (capítulo 3, item 3.2.6) indicou uma diversidade de métodos usados para estabelecer os intervalos iniciais de calibração. A "experiência do metrologista" destacou-se entre os métodos usados.

- Além da "experiência do metrologista", as especificações de fabricantes, as especificações de normas técnicas ou as informações de laboratórios de calibração, são utilizados para se estabelecer o intervalo inicial de calibração.
- Pela quantidade de fatores que influenciam a determinação do correto intervalo de calibração não foi possível propor um método de aplicação geral. Desse modo, os métodos constatados no estudo de casos aliados ao bom senso podem ser úteis. Para o ajuste dos intervalos de calibração (que devem ser continuamente avaliados) recomenda-se o estudo dos métodos propostos na NBR ISO 10012-1.

h) Recursos humanos em metrologia

- A base de um Sistema de Garantia da Qualidade Metrológica bem implementado envolve necessariamente pessoal com conhecimentos básicos em metrologia. Essa conclusão está fundamentada nos resultados do estudo de casos realizado nas empresas certificadas ISO 9000.
- Pôde-se concluir que existem muitos fatores envolvidos na questão da formação de recursos humanos em metrologia nas empresas. A atividade produtiva da empresa e o contexto geográfico no qual a empresa está inserida são exemplos de fatores que influenciam essa questão. Em função disso, foram apresentadas recomendações gerais para a formação básica em metrologia (item 4.2.1 do capítulo 4).
- Pelos resultados do estudo de casos pode-se afirmar que a formação em metrologia dos auditores de sistemas da qualidade é ainda deficiente. Para os objetivos de garantia da qualidade, somente a comprovação (através da auditoria) do cumprimento do que está escrito em um procedimento não é suficiente. Faz-se necessária a avaliação da consistência dos procedimentos metrológicos.

i) Guia para Confiabilidade Metrológica - GCM

- Com base no estudo de casos concluiu-se que falta uma metodologia geral para auxiliar o processo de implementação de Sistemas de Garantia da Qualidade Metrológica.

- Por limitação de tempo, aplicou-se a seqüência de implementação de Sistemas de Garantia da Qualidade Metrológica - SGQM proposta no Guia para Confiabilidade Metrológica - GCM numa empresa de grande porte já certificada ISO 9002. Conclui-se o seguinte:
 - O GCM também é uma excelente ferramenta para análise crítica do Sistema Metrológico implementado. Analisou-se os procedimentos metrológicos da empresa, aplicando, quando necessário, as soluções propostas no GCM. Constatou-se, através de duas auditorias externas, melhorias substanciais na fundamentação e consistência do Sistema Metrológico.
- Pela análise dos procedimentos das 15 (quinze) empresas participantes do estudo de casos verificou-se que o GCM pode ser aplicado em diversas questões analisadas, indicando sua utilidade e aplicabilidade geral.

j) Estudo de casos

- Apesar do enorme esforço despendido na aplicação da entrevista pessoal com questionário (52 questões) e folha de anotações em cada uma das 15 (quinze) empresas participantes do estudo de casos, essa metodologia demonstrou-se extremamente eficiente na exploração das questões abordadas.
- O planejamento detalhado da pesquisa e a experiência de instituições que fazem a ligação entre Universidade e Empresas, são essenciais para a eficiência de pesquisas dessa natureza.
- As dificuldades constatadas concordam em menor ou maior grau com as dificuldades enfrentadas pela maioria das empresas certificadas segundo as normas ISO 9000 no Brasil. Fundamenta-se essa afirmação nos contatos mantidos com auditores de sistemas da qualidade, na experiência do mestrando e do orientador deste trabalho no trato das questões sobre garantia da qualidade industrial, no estudo de casos realizado em empresas certificadas ISO 9000 nos estados de Santa Catarina e Ceará, e na análise dos resultados de pesquisas sobre metrologia e ISO 9000, realizadas pelo INMETRO (Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial) e pela Rede Metrológica do Rio Grande do Sul.

6.1 Propostas para trabalhos futuros

A extensão do conjunto de questões relacionadas com a confiabilidade metrológica no contexto da garantia da qualidade industrial é bastante grande. As questões estudadas neste trabalho e a proposta de uma metodologia de implementação de Sistemas de Garantia da Qualidade Metrológica representam uma importante iniciativa no sentido de demonstrar a aplicação de procedimentos formais da metrologia dentro dos sistemas de garantia da qualidade. Propõem-se como temas de trabalhos a serem desenvolvidos para contribuir com o estado da arte estudado neste trabalho:

- a) Aprofundar o estudo sobre a avaliação da incerteza de medição e da expressão dos resultados da calibração nos certificados, considerando a aplicação dos resultados na avaliação de conformidade.

Propôs-se neste trabalho (item 4.1.3.1 e 4.1.3.2 do capítulo 4) a apresentação adicional da repetitividade avaliada do instrumento, nos certificados de calibração. Uma contribuição para esse tema seria o estudo aprofundado da avaliação dos componentes de incertezas envolvidos na determinação tanto da tendência, quanto da repetitividade e as possíveis correlações existentes.

- b) Avaliar a seqüência de implementação proposta no Guia para Confiabilidade Metrológica em outras empresas.

Aplicou-se o GCM em uma empresa de grande porte e já certificada segundo a norma ISO 9002. Uma importante contribuição para o GCM seria sua avaliação em empresas de diferentes portes e atividades produtivas e na fase inicial de certificação.

- c) Avaliar a aplicabilidade da metodologia de avaliação de conformidade do ISO/FDIS 14253-1 em especificações de diferentes setores produtivos;

Embora tenha-se avaliado a possibilidade de aplicação nas empresas pesquisadas, aplicou-se efetivamente o ISO/FDIS 14253-1 em apenas um setor produtivo específico.

- d) Estudar e sistematizar as informações, na forma de uma guia prático, sobre os métodos disponíveis para estabelecimento de intervalos iniciais de calibração e respectivos ajustes periódicos.

Apesar de identificado neste trabalho as formas usuais nas quais as empresas definem os intervalos iniciais de calibração, não foi possível propor um método de aplicação geral.

- e) Fazer um estudo aprofundado das ferramentas de avaliação de sistemas de medição do documento *MSA* do manual de referência do Sistema da Qualidade QS 9000;

O documento foi proposto mas não estudado com profundidade neste trabalho. As ferramentas constantes no *MSA* analisam importantes características metrológicas do sistema de medição, podendo ser bastante úteis no acompanhamento da incerteza de um processo de medição particular.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ISO/ABNT NBR 8402 - *Gestão da qualidade e garantia da qualidade - Terminologia* - ABNT, 12-1994, Rio de Janeiro, RJ.
- [2] ARAÚJO, Elinaldo B. - *A Organização da Função Garantia da Qualidade e o Papel da Metrologia* - Dissertação defendida na UFSC, 10-1995, Florianópolis, SC.
- [3] ISO/ABNT NBR 10012-1 - *Requisitos de garantia da qualidade para equipamentos de medição - Parte 1: Sistema de comprovação metroológica para equipamento de medição* - ABNT, 11-1993, Rio de Janeiro, RJ.
- [4] WADSWORTH, Harrison M.; et alii. - *Modern Methods for Quality Control and Improvement* - John Wiley & Sons, Inc., 1985, New York, USA.
- [5] THEISEN, Álvaro M. F. - *Fundamentos da Metrologia Industrial: aplicação no processo de certificação ISO 9000* - Livro, RH-METROLOGIA, Primeira Edição, 1997, Porto Alegre, RS.
- [6] STEPHENS, Kenneth S. - *ISO 9000 and TOTAL QUALITY - Journal Quality Management-QMJ*, p. 57-71, 1994,
- [7] UFC; et alii. - *Metrologia e a Certificação ISO 9000 no Estado do Ceará* - Pesquisa de estudo de casos na fase final de análise dos resultados, com previsão de publicação para o primeiro semestre de 1999., 6-1998, Fortaleza, CE.
- [8] SEAVER, Matt - *TC 176 surveys ISO 9000 user requirements for Year 2000 revisions* - Artigo recuperado da página da internet www.iso.ch/presse/user.htm, 4-1998, Wexford, Ireland.
- [9] ISO/ABNT NBR 9000-1 - *Normas de gestão da qualidade e garantia da qualidade Parte 1: Diretrizes para seleção e uso* - ABNT, 1994, Rio de Janeiro, RJ.

- [10] ISO/ABNT NBR 9001 - *Sistemas da Qualidade - Modelo para garantia da qualidade em projeto, desenvolvimento, produção, instalação e serviços associados* - ABNT, 12-1994, Rio de Janeiro, RJ.
- [11] ISO/ABNT NBR 9002 - *Sistemas da Qualidade - Modelo para garantia em produção, instalação e serviços associados* - ABNT, 1994, Rio de Janeiro, RJ.
- [12] ISO/ABNT NBR 9003 - *Sistemas da Qualidade - Modelo para garantia da qualidade em inspeção e ensaios finais* - ABNT, 1994, Rio de Janeiro, RJ.
- [13] ISO/CD1 9001:2000 - *Quality Management Systems - Requirements* - ISO/TC 176/SC 2/N 415, 7-1998, Genève, Switzerland.
- [14] ISO/CD1 9000:1998 - *Conceitos e Terminologia* - Documento recuperado da página da internet http://www.calidad.org/s/iso_cd19000_1998.htm, ISO/TC 176/SC 1, 1998, Genève, Switzerland.
- [15] INMETRO - *Vocabulário internacional de Termos Fundamentais e Gerais de Metrologia* - Versão Brasileira do "Vocabulary of basic and general terms in metrology" publicado em 1993 pela ISO/IEC/OIML/BIPM, 3-1995, Rio de Janeiro, RJ.
- [16] ABNT ISO/IEC GUIA 25 - *Requisitos gerais para a capacitação de laboratórios de calibração e de ensaios* - Primeira edição, ABNT, 1993, Rio de Janeiro, RJ.
- [17] ISO/ABNT NBR 9004-1 - *Gestão da qualidade e elementos do sistema da qualidade Parte 1: Diretrizes* - ABNT, 12-1994, Rio de Janeiro, RJ.
- [18] THEISEN, Álvaro M. F. - *Modificações e tendências para os sistemas de controle dos equipamentos de medição com as novas normas ISO 9000 no ano 2000* - 3º Seminário Internacional de Metrologia Elétrica - III SEMETRO, 9-1998, Rio de Janeiro, RJ.

- [19] JORNADA, João A. H.; et alii. - *Limitações metrológicas para a certificação ISO 9000* - Pesquisa realizada pela Rede Metrológica RS, PUC do RS - LABELO, MKS Engenharia da Qualidade e UFRS. Seminário Internacional de Metrologia para Controle da Qualidade SI-MpCQ-96 UFSC/CERTI, 8-1996, Florianópolis, SC.
- [20] MICT/INMETRO - *Brasil e a Certificação ISO 9000* - Pesquisa realizada pelo INMETRO, 1996, Rio de Janeiro, RJ.
- [21] LAZZARINI, Sérgio G. - *Estudos de Caso: Aplicabilidade e Limitações do Método para Fins de Pesquisa* - Revista Econ. Empresa, Volume 2, Número 4, p. 17-26, 1995, São Paulo, SP.
- [22] BIPM; et alii. - *Guia para Expressão da Incerteza de Medição* - Segunda edição Brasileira do "Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement", Programa RH-Metrologia, 1998, Rio de Janeiro, RJ.
- [23] CHRYSLER; et alii. - *Análise dos Sistemas de Medição (MSA) - Manual de Referência* - Primeira edição Brasileira. Tradução da segunda edição Americana do "Measurement Systems Analysis Reference Manual" publicado em Fevereiro de 1995., 6-1997, São Paulo, SP.
- [24] FLESCHE, C. A.; FRANÇA, L. R. G. - *Sistema de Gerenciamento de Instrumentos de Controle Geométrico: Caracterização e Desenvolvimento de um Protótipo* - Anais do Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica V.3, p. 1551-1554, 12-1993, Brasília, DF.
- [25] GONÇALVES JR., A. A. - *Metrologia - Parte I* - Apostila utilizada no curso de Pós-Graduação em Metrologia Científica e Industrial da UFSC, 1997, Florianópolis, SC.
- [26] FLESCHE, C. A. - *Metrologia* - Apostila aplicada no Curso de Engenharia Mecânica UFSC-LABMETRO, 7-1998, Florianópolis, SC.

- [27] CERTI - *Requisitos de Garantia da Qualidade para Instrumentos de Medição* - Apostila do Curso CM-068 CMCQ, 5-1998, Florianópolis, SC.
- [28] ISO/FDIS 14253-1 - *Geometrical Product Specifications (GPS) - Inspection by measurement of workpieces and measuring equipment Part 1: Decision rules for proving conformance or non-conformance with specification* - 1997, Genève, Switzerland.
- [29] CERTI - *Calibração e Certificação de Instrumentos da Metrologia Dimensional* - Apostila do Curso CM-072 CMCQ, 7-1998, Florianópolis, SC.
- [30] PFEIFER, Tilo; TORRES, Fernando - *Gestión Integral de La Calidad* - Ediciones Gestión 2000, 3-1998, Barcelona.
- [31] PÉREZ, A. M. S. - *La metrología como soporte básico de los sistemas de calidad industriales* - VI Congreso Nacional de Ingeniería Mecánica, 1999,
- [32] ISO/TR 14253-2 - *Geometrical Product Specifications (GPS) - Inspection by measurement of workpieces and measuring equipments - Part 2: Guide to the estimation of uncertainty of measurement in calibration of measuring equipment and product verification* - 1997, Genève, Switzerland.
- [33] VOULO, J. H. - *Fundamentos da Teoria dos Erros* - Livro 2ª Edição Revisada, p. 227-232, 1996, São Paulo, SP.
- [34] EURACHEM - *Quantifying Uncertainty in Analytical Measurement* - First edition in English ISBN 0-948926-08-2, 1995, UK.
- [35] NAMAS - *Guide to the Expression of Uncertainties in Testing* - NIS 80 General Principles and Guidance for Estimation and Reporting Uncertainties of Measurement in Testing First Edition, p. 1-15, 9-1994, England.
- [36] BIPM; et alii. - *Guia para Expressão da Incerteza de Medição* - Primeira edição Brasileira do "Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement", Programa RH-Metrologia, 8-1997, Rio de Janeiro, RJ.

- [37] WECKENMANN, A.; KNAUER, M. - *Causes and Consequences of Measurement Uncertainty in Production Metrology* - IMEKO, 1998, Nuremberg, Germany.
- [38] ZINGALES, G. - *The Evaluation of Uncertainties in Industrial Measurements for Quality* - Technology Conference IEEE Instrumentation and Measurement, 6-1996, Brussels, Belgium.
- [39] NIELSEN, H. S. - *Using the ISO "Guide to the Expression of Uncertainty in Measurements" to determine calibration requirements* - National Conference of Standards Laboratories Workshop & Symposium, 1997, USA.
- [40] BENNICH, Per - *Dimensional Quality Control and Quality Management in Manufacturing Companies* - Seminário Internacional para Controle da Qualidade SI-MpCQ-97 UFSC/CERTI, 10-1997, Florianópolis, SC.
- [41] ISO/IEC GUIDE 25 - *General requirements for the competence of testing and calibration laboratories* - Draft revision for comments of CASCO members Fourth edition Documento recuperado da internet www.nrlm.go.jp/knmac69/ISOIECall.html, 1997, Genève, Switzerland.
- [42] ISO 3534-1 - *Statistics - Vocabulary and symbols Part 1: Probability and general terms* - ISO, 1993, Genève, Switzerland.
- [43] BENNICH, Per - *The Assessment of Conformance to Geometrical Product Specifications* - Seminário Internacional para Controle da Qualidade SI-MpCQ-97 UFSC/CERTI, 8-1997, Florianópolis, SC.
- [44] CERTI - *Procedimento Geral para Elaboração de Documentação de Resultados* - Procedimento Administrativo PA-026 Revisão 002, 6-1997, Florianópolis, SC.
- [45] MICT/INMETRO - *Procedimento para elaboração dos certificados emitidos pelos laboratórios da RBC* - Documento RBC N°002 Revisão 08, 5-6-1997, Rio de Janeiro, RJ.

- [46] KEY, P. J. - *Metrology in Conformity Assessment* - Seminário Internacional de Metrologia para Controle da Qualidade SI-MpCQ-96 UFSC/CERTI, 8-1996, Florianópolis, SC.
- [47] FARÁR, P.; BREZINA, I. - *Calibration - the primary requirement of accurate measurements* - 1998,
- [48] ABNT NBR 11968 - *Manômetro - Verificação das Características - Método de ensaio*, 7-1989, Rio de Janeiro, RJ.
- [49] MILITARY STANDARD - *MIL-STD-45662A Calibration Systems Requirements* - 8-1-1988, Washington, DC.
- [50] IEEE STANDARD - *IEEE Std. 498 Requirements for the Calibration and Control of Measuring and Test Equipment Used in Nuclear Facilities* - 6-1990, New York, USA.
- [51] FLESCH, C. A.; SCAVONE, Renato - *Aplicacion de Sistemas Expertos para Determinar Intervalos de Calibracion de Instrumentos de Medicion en Bancos de Ensayo* - Informacion Tecnologica - Revista Internacional - Separata Vol. 9 N° 2 ISSN 0716-8756, 1998, Chile.
- [52] SCAVONE, Renato - *Técnicas de Auxílio à Garantia da Confiabilidade Metrológica em Bancadas Automatizadas de Ensaio* - Dissertação defendida na UFSC, 11-1994, Florianópolis, SC.
- [53] SCHUMACHER, R. B. F. - *Keys to Optimum Calibration Intervals* - Standards Laboratory Conference NBS Special Publication 335, p. 57-64, 1970, Washigton, D.C.
- [54] SCHUMACHER, R. B. F. - *Recalibration Cycles and Goals at Rockwell International Corporation in Anaheim* - Document X86-935/101, june 1986.
- [55] GREB, Donald J. - *Optimizing Calibration Intervals* - Standards Laboratory Conference NBS Special Publication 335, p. 73-79, 1970, Washington, D.C.

- [56] FLESCH, C. A.; CAMARANO, D. M. - *Intervalo de calibracion de termopares, termo-resistencias y termistores* - Informacion Tecnologica - Revista Internacional - Vol. 7 N° 2 ISSN 0716-8756, p. 177-184, 1996, Chile.
- [57] SCHUMACHER, R. B. F. - *Systematic Measuring Errors* - Journal of Quality Technology Vol. 13 N° 1, January 1981.

ANEXO: QUESTIONÁRIO DO ESTUDO DE CASOS

DATA :

IDENTIFICAÇÃO DA EMPRESA (favor anexar o cartão da empresa)

NOME DA EMPRESA / RAZÃO SOCIAL : _____

RAMO DE ATIVIDADE : _____ Nº DE FUNCIONÁRIOS _____

NOME DO ENTREVISTADO(S) : _____

CARGO : _____

_____**QUALIDADE**

1. O Sistema da Qualidade está baseado nos requisitos da norma:

 ISO 9001 ISO 9002 ISO 9003

2. Qual o organismo de certificação credenciado que sua empresa utilizou para o processo de certificação?

 ABNT ABS DNV RWTUV BVQI BRTUV LRQA BSI SGS FCAV Outros. Especificar

3. O organismo de certificação foi escolhido em função de:

 Âmbito de aceitação do organismo certificador; Credibilidade do organismo certificador; Custo do processo de certificação; Âmbito de aceitação e custos; Ser o mesmo do(s) nosso(s) principal(is) cliente(s); Outros. Especificar.*INFORMAÇÃO ADICIONAL: Especificar outros motivos na folha de anotações.*

4. Qual a abrangência da certificação?

 Nacional Internacional Ambos

5. Sua empresa utilizou para implantação do Sistema da Qualidade:

 Equipe própria; Equipe própria com treinamento externo; Equipe própria com treinamento e consultoria externa; Consultoria externa. Especificar

6. Que motivos levaram sua empresa a implementar um Sistema da Qualidade segundo as normas da série ISO 9000?

- Necessidade de sobrevivência;
- Estratégia de marketing;
- Exigência dos clientes;
- Pressão dos concorrentes;
- Outros. Especificar.

INFORMAÇÃO ADICIONAL: Especificar outros motivos na folha de anotações.

7. Que benefício(s) o Sistema da Qualidade trouxe à empresa?

- Melhoria da imagem institucional da empresa;
- Padronização das atividades;
- Aumento da produtividade;
- Introdução da cultura voltada ao melhoramento contínuo;
- Garantia da confiabilidade do produto ou serviço;
- Melhoria no cumprimento dos prazos;
- Outros. Especificar.

INFORMAÇÃO ADICIONAL: Especificar outros benefícios na folha de anotações.

8. Qual a duração do processo de certificação do Sistema da Qualidade?

- Até 1 ano;
- De 1 a 2 anos;
- De 2 a 3 anos;
- Acima de 3 anos.

9. Quais as principais dificuldades encontradas no processo de implementação do Sistema da Qualidade?

(marque mais de uma alternativa se necessário)

- Comprometimento da alta administração;
- Excesso de atividades acumuladas;
- Apoio de gerentes e chefias;
- Cultura dos colaboradores (funcionários);
- Recursos para treinamento;
- Requisitos metrológicos;
- Outros. Especificar.

INFORMAÇÃO ADICIONAL: Especificar outras dificuldades citadas na folha de anotações.

10. A empresa utiliza que ferramentas para a melhoria contínua da qualidade?

- | | |
|------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| <input type="checkbox"/> Programa 5 S; | <input type="checkbox"/> QFD; |
| <input type="checkbox"/> CCQ; | <input type="checkbox"/> Taguchi; |
| <input type="checkbox"/> Análise de Valor; | <input type="checkbox"/> Kanban; |
| <input type="checkbox"/> CEP; | <input type="checkbox"/> Células de Manufatura; |
| <input type="checkbox"/> ANOVA; | <input type="checkbox"/> Avaliação de Fornecedores; |
| <input type="checkbox"/> MAS (Análise Sistema de Medição); | <input type="checkbox"/> CAD/CAM; |
| <input type="checkbox"/> FEMEA; | <input type="checkbox"/> CNC; |
| <input type="checkbox"/> MASP; | <input type="checkbox"/> CLP; |
| <input type="checkbox"/> Medição da Satisfação do Cliente; | <input type="checkbox"/> Experimentos Fatorais. |

INFORMAÇÃO ADICIONAL: Especificar outras ferramentas na folha de anotações.

ATIVIDADES GERENCIAIS

11. Assinale os itens do Sistema da Qualidade de sua empresa que utilizam software específico:

- Controle de documentos e dados;
- Controle e produto fornecido pelo cliente;
- Identificação e rastreabilidade do produto;
- Controle de equipamentos de medição, inspeção e ensaio;
- Inspeção e ensaios;
- Controle de produto não conforme;
- Ação corretiva e ação preventiva;
- Controle de registros da qualidade;
- Treinamento;
- Controle de projeto;
- Técnicas estatísticas.

INFORMAÇÃO ADICIONAL: Verificar o grau de informatização (registrar na folha de anotações).

12. A empresa utiliza procedimento documentado para análise crítica de contrato?

- Não
- Sim

INFORMAÇÃO ADICIONAL: Especificar cargo e setor na folha de anotações.

13. De que forma a empresa verifica a conformidade do produto adquirido com sua especificação?

- Realiza ensaios na amostra do produto;
- Solicita ensaio do fornecedor e compara os resultados com os requisitos especificados;
- Não verifica;
- Outros. Especificar.

INFORMAÇÃO ADICIONAL: Especificar outras formas na folha de anotações.

14. De que forma a empresa realiza avaliação dos seus fornecedores?

- Envio de questionário (chek list);
- Visita ao fornecedor;
- Ambos (questionário/visita);
- Não realiza;
- Outros. Especificar.

INFORMAÇÃO ADICIONAL: Especificar outras formas na folha de anotações.

15. A empresa possui um sistema documentado de levantamento das necessidades de treinamento em metrologia?

- Sim
- Não

INFORMAÇÃO ADICIONAL: Verificar de que forma a empresa realiza o levantamento das necessidades de treinamento.

16. Quais os serviços associados que sua empresa aplica?

- Assistência técnica;
- SAC-Serviço de Assistência ao Consumidor;
- Avaliação da satisfação do cliente;

- Treinamento para os clientes;
- Nenhum;
- Outros. Especificar.

INFORMAÇÃO ADICIONAL: Especificar outros serviços na folha de anotações.

ATIVIDADES METROLÓGICAS

17. A empresa realiza inspeção e ensaio:
(marque mais de uma opção se necessário)

- Para o produto recebido (matéria prima);
- Ao longo do processo de produção;
- No produto final;
- Não realiza inspeção e ensaio.

18. Caso tenha marcado para produto recebido, de que forma realiza?

- Inspeção e ensaio em laboratório próprio;
- Inspeção e ensaio em laboratório externo;
- Solicita ao fornecedor laudo de inspeção e ensaio e compara com requisitos especificados;
- Outra forma. Especificar.

19. Caso tenha marcado ao longo do processo de produção, de que forma realiza?

- Inspeção e ensaio na linha de produção;
- Inspeção e ensaio em laboratório;
- Outra forma. Especificar.

20. Caso tenha marcado para produto final, de que forma realiza?

- Inspeção e ensaio em laboratório próprio;
- Inspeção e ensaio em laboratório externo;
- Outra forma. Especificar.

INFORMAÇÃO ADICIONAL: Verificar e registrar na folha de anotações se no processo de implementação do sistema da qualidade a empresa optou por estruturar e/ou implementar um laboratório de metrologia interno para suas calibrações.

Especificar outras formas de realização de ensaios (para as questões 18, 19, 20) na folha de anotações.

21. Que grandezas são determinantes para a qualidade do produto e/ou serviço da sua empresa?
(marque mais de uma opção se necessário)

- | | |
|---------------------------------------|-----------------------------------------------|
| <input type="checkbox"/> Geométrica; | <input type="checkbox"/> Massa; |
| <input type="checkbox"/> Força; | <input type="checkbox"/> Vazão; |
| <input type="checkbox"/> Pressão; | <input type="checkbox"/> Outras. Especificar. |
| <input type="checkbox"/> Temperatura; | |

INFORMAÇÃO ADICIONAL: Especificar outras grandezas na folha de anotações.

22. Os equipamentos de inspeção, medição e ensaio (inclusive os padrões) de sua empresa estão rastreados aos padrões dos laboratórios da RBC?

- Sim diretamente;
- Sim indiretamente (via laboratório não credenciado mas rastreado à RBC);
- Ambas as situações (direta e indiretamente);
- Não.

INFORMAÇÃO ADICIONAL: Relação de laboratórios fornecedores de serviços (registrar na folha de anotações).

23. A empresa sente/sentiu dificuldade em manter seus equipamentos de inspeção, medição e ensaio (inclusive os padrões) calibrados pelos laboratórios da RBC e/ou laboratórios rastreados à RBC?

Sim

Não

Caso afirmativo, assinale as três mais relevantes dificuldades:

Custo da calibração elevado;

Prazo do serviço de calibração excessivo;

Inexistência de laboratório da RBC na região;

Inexistência da oferta do serviço;

Falta de informação sobre os laboratórios da RBC disponíveis;

Outros. Especificar.

INFORMAÇÃO ADICIONAL: Identificar se as dificuldades apresentadas referem-se aos laboratórios da RBC ou laboratórios rastreados à RBC. Especificar outras dificuldades na folha de anotações.

24. Na implementação dos requisitos metrológicos constantes nas normas da série ISO 9000 e seus documentos complementares, assinale as três maiores dificuldades encontradas:

Pessoal sem conhecimento básico em metrologia;

Falta de cultura metrológica na empresa;

Dificuldade na interpretação dos requisitos metrológicos citados nas normas;

Estrutura deficiente de serviços metrológicos no país;

Outros. Especificar.

INFORMAÇÃO ADICIONAL: Coletar as soluções adotadas pela empresa, para as dificuldades citadas. (registrar na folha de anotações)

25. Para atender às questões metrológicas (serviços de calibração, consultorias, etc.) a empresa recorre a:

(marque mais de uma opção se necessário)

Laboratório de Metrologia UFC/NUTEC;

Instituições/empresas da região sul/sudeste;

Empresas de engenharia no Ceará;

SENAI/CE;

ETFCE;

Instituições/empresas no exterior;

Tecnologia/pessoal da própria empresa;

Outros. Especificar.

INFORMAÇÃO ADICIONAL: Tipos de serviços solicitados para o Ceará e outros Estados. Especificar outras instituições na folha de anotações.

26. Quanto à qualificação de pessoal na área metrológica, que dificuldades são mais relevantes (marque mais de uma opção se necessário)

Baixo nível de escolaridade dos funcionários;

Custo dos treinamentos;

Tempo disponível;

Falta de estrutura interna;

Falta de oferta de cursos específicos;

Pouca importância dada pelos gerentes e chefias;

Outras. Especificar.

INFORMAÇÃO ADICIONAL: Especificar outras dificuldades relevantes na folha de anotações.

27. Dentre as normas e/ou documentos abaixo, assinale aqueles que foram consultados para elaboração dos procedimentos do Sistema da Qualidade.

- Vocabulário Internacional de Termos Fundamentais e Gerais de Metrologia-VIM INMETRO1995;
- Dicionário da Qualidade e da Produtividade ISO/ABNT - Fórum Nacional da Normalização;
- NBR ISO 8402: Gestão da Qualidade e Garantia da Qualidade – Terminologia 1994;
- Guia para Expressão da Incerteza de Medição (Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement ISO TAG4/WG3 “ISO GUM”) Agosto 1997;
- NBR ISO 10012-1: Requisitos de Garantia da Qualidade para Equipamentos de Medição – Parte 1 – Sistema de Comprovação Metrológica para Equipamento de Medição. Novembro, 1993;
- NBR ISO/IEC GUIA 25 - Requisitos Gerais para Capacitação de Laboratórios de Calibração e de Ensaios 1993;
- Manuais da QS 9000 – MAS, CEP, FEMEA;
- ISO/FDIS 14253-1 Geometrical Product Specifications (GPS) Part 1: Decision rules for proving conformance or non-conformance with specification - 1997;
- ISO/DTR 14253-2 Geometrical Product Specifications (GPS) Part 2: Guide to estimation of uncertainty of measurement, in calibration of measuring equipment and product verification - 1997.

INFORMAÇÃO ADICIONAL: Ver a norma e/ou documento assinalado.

28. Que metodologia é usada para o cálculo da incerteza de medição em medições no chão de fábrica?

- ISO TAG4/WG 3 “ISO GUM”;
- Metodologia própria;
- Não é feito cálculo da incerteza de medição;
- Outra. Especificar.

INFORMAÇÃO ADICIONAL: Adquirir uma cópia não controlada da metodologia usada pela empresa. (anexar à folha de anotações).

29. Que metodologia é usada para o cálculo da incerteza de medição nas calibrações internas realizadas pela empresa?

- ISO TAG4/WG3 “ISO GUM”;
- Metodologia própria;
- Não é feito cálculo da incerteza de medição;
- Outra. Especificar.

INFORMAÇÃO ADICIONAL: Adquirir uma cópia não controlada da metodologia usada pela empresa. (anexar à folha de anotações).

30. Que metodologia é utilizada para o critério de aceitação do equipamento de inspeção, medição e ensaio calibrado?

- Baseada na ISO/FDIS 14253-1;
- Metodologia própria;
- A empresa não possui metodologia;
- Outro. Especificar.

INFORMAÇÃO ADICIONAL: Adquirir uma cópia não controlada da metodologia usada pela empresa. (anexar à folha de anotações)

31. Que metodologia a empresa utiliza para determinar o intervalo de calibração dos equipamentos de inspeção, medição e ensaio?

- Ajuste automático ou “escalonado”;

- Gráfico de controle;
- Histórico;
- Tempo em uso;
- Ensaio “em serviço” ou de “caixa preta”;
- Recomendação do fabricante;
- Outro. Especificar.

INFORMAÇÃO ADICIONAL: Adquirir uma cópia não controlada da metodologia usada pela empresa e a relação dos instrumentos críticos e seus intervalos de calibração (anexar à folha de anotações).

32. O procedimento de solicitação de serviço de calibração de sua empresa estabelece requisitos formais para a calibração dos equipamentos de inspeção, medição e ensaio? (norma a ser utilizada, pontos de calibração, condição ambiente).

- Sim
- Não

INFORMAÇÃO ADICIONAL: Adquirir uma cópia não controlada de procedimento típico usado pela empresa (anexar à folha de anotações).

33. A empresa possui procedimento documentado para seleção dos equipamentos de inspeção, medição e ensaio?

- Sim
- Não

INFORMAÇÃO ADICIONAL: Adquirir uma cópia não controlada de procedimento típico usado pela empresa (anexar à folha de anotações).

34. A empresa possui procedimento documentado para qualificação (calibração) dos equipamentos de inspeção, medição e ensaio?

- Sim
- Não

INFORMAÇÃO ADICIONAL: Adquirir uma cópia não controlada de procedimento típico usado pela empresa (anexar à folha de anotações).

35. Existe em documento do Sistema da Qualidade ou outro meio, a descrição (por exemplo na forma de diagrama de blocos) do relacionamento entre todos os documentos (manual da qualidade, procedimentos, instruções de trabalho, etc.) elaborados para o Sistema da Qualidade?

- Sim
- Não

INFORMAÇÃO ADICIONAL: Adquirir uma cópia não controlada do documento (anexar à folha de anotações).

36. A empresa possui procedimento documentado que indique quem são as pessoas responsáveis em garantir que as calibrações dos equipamentos de inspeção, medição e ensaio estão sendo executadas conforme definido nos procedimentos do Sistema da Qualidade?

- Sim
- Não

INFORMAÇÃO ADICIONAL: Registrar nome, cargo e formação na folha de anotações.

37. A empresa possui documentada a estrutura hierárquica dos padrões de medição que definem a cadeia de rastreabilidade dos equipamentos de inspeção, medição e ensaio da empresa?

- Sim
 Não

INFORMAÇÃO ADICIONAL: Adquirir cópia não controlada da estrutura hierárquica dos padrões da empresa (anexar à folha de anotações).

38. A empresa mantém arquivados os registros (manuais, relatórios técnicos, etc.) de todos os equipamentos de inspeção, medição e ensaio considerados críticos?

- Sim
 Não

INFORMAÇÃO ADICIONAL: Evidenciar a informação caso a resposta seja positiva.

39. A empresa somente utiliza os novos equipamentos de inspeção, medição e ensaio adquiridos, após realização da calibração?

- Sim
 Não

INFORMAÇÃO ADICIONAL: Solicitar uma cópia não controlada do procedimento que evidencie a resposta positiva (anexar à folha de anotações).

40. É realizada análise sobre os dados históricos de calibrações dos equipamentos de inspeção, medição e ensaio (inclusive os padrões de medição) da empresa?

- Sim
 Não

INFORMAÇÃO ADICIONAL: identificar que ferramenta de análise é realizada. Anexar à folha de anotações, uma cópia não controlada de um estudo (análise) sobre os dados históricos de calibração de um equipamento de medição calibrado.

41. Existem procedimentos documentados para a medição das características críticas do produto ou do processo?

- Sim
 Não

INFORMAÇÃO ADICIONAL: Solicitar cópia não controlada de um procedimento típico de medição. (anexar à folha de anotações)

42. Existem procedimentos documentados para as calibrações internas dos equipamentos de inspeção, medição e ensaio da empresa?

- Sim
 Não

INFORMAÇÃO ADICIONAL: Solicitar cópia não controlada de um procedimento típico de calibração interna. (anexar à folha de anotações)

43. A empresa realiza estudo para conhecer as reais condições ambientais (conhecer as grandezas de influência) nos processos de medição em chão de fábrica?

- Sim
 Não

INFORMAÇÃO ADICIONAL: Evidenciar a informação caso a resposta seja positiva.

44. A empresa possui procedimento documentado que contemple o manuseio, conservação e guarda dos equipamentos de inspeção, medição e ensaio?

- Sim
 Não

INFORMAÇÃO ADICIONAL: Evidenciar a informação caso a resposta seja positiva.

45. Do volume total de recursos financeiros investidos na implementação do Sistema da Qualidade e sua certificação, que percentual (uma estimativa) é atribuído às questões metrológicas?

_____ % do volume total de recursos financeiros investidos.

Deste percentual atribuído às questões metrológicas, assinale o que mais contribuiu:

- Treinamento em metrologia;
 Aquisição de equipamentos de inspeção, medição e ensaio;
 Outros. Especificar.

INFORMAÇÃO ADICIONAL: Especificar outras questões metrológicas que contribuíram no percentual apresentado. (registrar na folha de anotações)

46. A empresa possui procedimento documentado que garanta a inviolabilidade dos equipamentos de inspeção, medição e ensaio?

- Sim
 Não

INFORMAÇÃO ADICIONAL: Evidenciar a informação caso a resposta seja positiva

47. A empresa preocupou-se em uniformizar conceitos, terminologia e nomenclatura utilizados na elaboração dos documentos do Sistema da Qualidade?

- Sim
 Não

INFORMAÇÃO ADICIONAL: Solicitar a relação das normas ou documentos de referência que foram utilizados. (registrar na folha de anotações)

48. Em que situação é realizada a correção da tendência (Td) do equipamento de inspeção, medição e ensaio?

- Nas calibrações realizadas no laboratório da empresa;
 Nas medições realizadas no chão de fábrica;
 Em ambas as situações (laboratório e chão de fábrica);
 Em nenhuma das situações;
 Em situações específicas definidas em procedimento documentado;
 Outra. Especificar.

INFORMAÇÃO ADICIONAL: Especificar outras situações na folha de anotações.

49. Que critérios a empresa utilizou para definir quais os equipamentos de inspeção, medição e ensaio, são considerados críticos?

- Fora de controle, afeta a qualidade final do produto;
 Fora de controle, causa prejuízo ao meio ambiente;
 Fora de controle, causa prejuízo ao cliente;
 Fora de controle, existe o risco de danos físicos aos funcionários;
 Fora de controle, causa parada da produção;
 Outros. Especificar.

INFORMAÇÃO ADICIONAL: Especificar outros critérios na folha de anotações.

50. Com relação ao total de equipamentos de inspeção, medição e ensaio críticos que a empresa possui, qual a distribuição em percentual (%) destes equipamentos considerando a classificação abaixo:

- Equipamentos de medição da área de controle geométrico _____ %;
- Equipamentos de medição da área elétrica _____ %;
- Equipamentos de medição da área de pressão _____ %;
- Equipamentos de medição da área de temperatura _____ %;
- Equipamentos de medição da área de força _____ %;
- Outros. Especificar.

INFORMAÇÃO ADICIONAL: Especificar o percentual de outros grupos de equipamentos na folha de anotações.

51. Das ferramentas estatísticas abaixo, assinale aquelas que a empresa utiliza para garantir a confiabilidade metrológica nos processos de medição.

- Análise de R&R (repetitividade e reprodutibilidade);
- Análise de capacidade para equipamentos de medição;
- Projeto de experimentos fatoriais;
- Análise de variância (ANOVA) em processos de medição;
- Controle estatístico para processos de medição;
- Outros. Especificar.

INFORMAÇÃO ADICIONAL: Especificar outras ferramentas utilizadas e registrar na folha de anotações.

52. O Guia para Confiabilidade Metrológica – GCM, parte integrante da dissertação, pretende orientar as empresas que desejam implementar um Sistema da Garantia da Qualidade Metrológica, de uma forma sistemática e consistente com os requisitos exigidos nas normas da série ISO 9000 e seus documentos complementares. O GCM abordará:

- O papel da metrologia na garantia da qualidade do produto ou processo.
- Estrutura básica de um sistema de garantia da qualidade metrológica em uma empresa.
- Implementação dos requisitos metrológicos:
 - principais normas e documentos complementares úteis na garantia da qualidade metrológica;
 - uniformização da terminologia, conceitos e nomenclatura conforme normas da ISO;
 - critérios para definição dos equipamentos de inspeção, medição e ensaio críticos;
 - seleção dos equipamentos de inspeção, medição e ensaio;
 - qualificação dos equipamentos de inspeção, medição e ensaio (calibração);
 - hierarquia e rastreabilidade dos equipamentos de inspeção, medição e ensaio;
 - critérios para determinação dos intervalos de calibração dos equipamentos de inspeção, medição e ensaio;
 - procedimentos de cálculos de incertezas;
 - ferramentas estatísticas para garantia da confiabilidade metrológica.

Com respeito ao que foi exposto acima, responda:

52.1. Existe interesse da empresa em um guia que aborde de forma detalhada as questões acima?

- sim
- não

52.2. A empresa acredita que o GCM auxiliará na implementação dos requisitos metrológicos?

- sim
- não

52.3. Que outros assuntos a empresa acha importante serem abordados no Guia para Confiabilidade Metrológica – GCM?

INFORMAÇÃO ADICIONAL: Especificar outros assuntos importantes para serem abordados no GCM e registrá-los na folha de anotações.