

UNIVERSIDADE PAULISTA – UNIP

**A METROLOGIA COMO ELEMENTO
BÁSICO PARA A QUALIDADE**

WILSON DONIZETI FERNANDES

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção da Universidade Paulista – UNIP para a obtenção do título de mestre em Engenharia de Produção.

**SÃO PAULO
2010**

UNIVERSIDADE PAULISTA – UNIP

**A METROLOGIA COMO ELEMENTO BÁSICO PARA A
QUALIDADE**

WILSON DONIZETI FERNANDES

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Paulista – UNIP como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Engenharia de Produção

Área de concentração: Engenharia de Produção
Orientador: Profº Dr. Pedro Luiz de Oliveira Costa Neto

SÃO PAULO
2010

Fernandes, Wilson Donizeti

A metrologia como elemento básico para a qualidade / Wilson Donizeti Fernandes – São Paulo, 2010.
266 f.:il. Color.

Dissertação (mestrado) – Apresentada ao Instituto de Ciências Exatas e Tecnologia da Universidade Paulista, São Paulo, 2010.

Área de Concentração: Gestão de sistemas de operação
“Orientação: Prof. Dr. Pedro Luiz de Oliveira Costa Neto”

1. Calibração. 2. Rastreabilidade. 3. Confiabilidade metrológica. 4. Incerteza da medição. I. Título.

DEDICATÓRIA

À minha família, pela compreensão nos momentos em que estive ausente. Aos meus amigos, pelo apoio e incentivo dados em cada etapa do curso.

AGRADECIMENTOS

Em especial, ao Prof. Dr. Pedro Luiz de Oliveira Costa Neto, pela imensa dedicação, paciência e sabedoria em suas orientações e aulas.

Ao Prof. Dr. Oduvaldo Vendrametto, pela seriedade demonstrada em todas as fases do curso.

Ao gerente do Departamento de Automação Industrial, da Faculdade de Tecnologia “Mariano Ferraz”, Senhor José Ricardo da Silva, pela colaboração e grande incentivo.

A todo corpo docente do Programa de Mestrado da UNIP que, de alguma forma, transmitiu ensinamentos e experiências importantes para a minha formação profissional.

À bibliotecária do Senai, Dulceni Maria Paglione de Oliveira pelas importantes orientações.

A todo Departamento Técnico SENAI que, em alguns momentos, proveu subsídios para o desenvolvimento do meu trabalho.

“Crescer significa mudar e mudar envolve riscos, uma passagem do conhecido para o desconhecido”

Autor desconhecido

ÍNDICE

Resumo	XI
Abstract	X
Lista de Figuras	XI
Lista de Quadros	XIII
Lista de Gráficos	XIV
Lista de Abreviaturas e Siglas	XV
CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO	17
1.1 Apresentação do Trabalho.....	17
1.2 Justificativa	19
1.3 Objetivo Geral	21
1.3.1 Objetivos Específicos	21
1.4 Metodologia	21
1.5 Estrutura	22
CAPÍTULO 2 – METROLOGIA	25
2.1 Histórico da Metrologia	25
2.1.1 Primeiras Medidas de Comprimento	25
2.1.2 Definição do Metro	29
2.1.3 A Convenção do Metro	31
2.1.4 O Surgimento de Outras Unidades	35
2.2 Estrutura da Metrologia	40
2.2.1 Estrutura Mundial da Metrologia	40
2.2.2 Estrutura Nacional da Metrologia	42
2.2.3 Acordos de Reconhecimento Mútuo	45
2.3 Sistema Internacional de Unidades – SI	47
2.3.1 Múltiplos e Submúltiplos das Unidades do SI	50
2.4 Vertentes da Metrologia	51
2.4.1 Metrologia Científica	51
2.4.2 Metrologia Legal	53
2.4.3 Metrologia Industrial	55
2.5 Como a Metrologia Chega ao Processo	57
2.5.1 Controle da Qualidade	60
2.5.2 Erros de Medição	62
2.6 A Importância da Calibração	66
2.7 Seleção de Sistemas de Medição	71
2.8 Confiabilidade Metrológica	75
2.9 Incerteza da Medição e a Rastreabilidade	80

2.9.1 Conceitos de Incerteza da Medição	80
2.9.2 Conceitos de Rastreabilidade Metrológica	84
CAPÍTULO 3 – QUALIDADE	88
3.1 Histórico da Qualidade	88
3.2 Conceitos da Qualidade	95
3.3 Abordagem Econômica da Qualidade	99
3.4 Qualidade e Produtividade	106
3.5 Controle da Qualidade	110
3.6 Qualidade em Serviços	112
3.6.1 Classificação dos Serviços	116
3.6.2 Dimensões da Qualidade em Serviços	118
3.6.3 Clientes e Serviços	120
3.7 Intercambiabilidade, Padronização e Normalização	122
3.7.1 Intercambiabilidade	122
3.7.2 Padronização e Normalização	125
3.8 Sistemas de Gestão da Qualidade	129
3.8.1 Princípios da Gestão da Qualidade	131
CAPÍTULO 4 – METODOLOGIA	137
4.1 Metodologia da Pesquisa	137
4.1.1 Métodos de Pesquisa	137
4.1.1.1 Pesquisa Qualitativa	137
4.1.1.2 Pesquisa Quantitativa	138
4.1.1.3 Pesquisa Exploratória	138
4.2 Técnicas de Pesquisa	139
4.2.1 Pesquisa de Campo	139
4.2.2 Pesquisa Bibliográfica	140
4.2.3 Estudo de Caso	140
4.2.4 Pesquisa-Ação	141
4.2.5 Pesquisa Participante	141
4.2.6 Entrevista	141
4.2.7 Questionário	142
4.3 Considerações sobre as amostras utilizadas	142
4.4 Delineamento da Presente Pesquisa	143
CAPÍTULO 5 – PESQUISA DE CAMPO	145
5.1 Pesquisa Junto à RBC	145
5.1.1 Resultados da Pesquisa na RBC	145
5.2 Pesquisa Junto às Empresas	151

5.2.1 Resultado da Pesquisa nas Empresas	152
5.3 Considerações	174
5.4 Relacionamento entre as Dimensões da Qualidade e a Metrologia	178
CAPÍTULO 6 – CONCLUSÃO	181
6.1 Quanto ao Objetivo Geral	181
6.2 Quanto aos Objetivos Específicos	182
6.3 Contribuições da Pesquisa e Considerações Finais	184
6.4 Sugestões de Trabalhos Futuros	186
REFERÊNCIAS	188
ANEXOS.....	196
Anexo A	196
Anexo B	198
Anexo C	209
Anexo D	211
Anexo E	215
Anexo F	219
Anexo G	223
Anexo H	226

RESUMO

A Metrologia, definida como a ciência da medição, tem como foco principal prover confiabilidade, credibilidade e universalidade às medidas. Como as medições estão presentes, direta ou indiretamente, em quase todos os processos de produção industrial de tomada de decisão, a abrangência da Metrologia é imensa, envolvendo a indústria, o comércio, a saúde, a segurança, a defesa e o meio ambiente, entre outros. Estima-se que cerca de 4 a 6% do PIB nacional dos países industrializados sejam dedicados aos processos de medição. Um dos principais fatores de competitividade das empresas produtoras de bens de consumo está no seu processo produtivo. O objetivo principal deste trabalho foi pesquisar a interface entre os conceitos, princípios e ferramentas da Qualidade e a prática da Metrologia, buscando-se caracterizar a contribuição da Metrologia para se atingir a Qualidade nos sistemas produtivos. Realizou-se uma pesquisa sobre a cultura metrológica dentro das empresas e suas relações com a Qualidade na conformação de produtos, com ênfase em três importantes elementos-chave da Metrologia: a Calibração, a Rastreabilidade Metrológica e a Incerteza da Medição. Para tanto, foi conduzida uma pesquisa por amostragem em dois universos: o das instituições acreditadas pelo Inmetro, pertencentes à RBC – Rede Brasileira de Calibração, mediante um questionário aberto respondido por especialistas, visando a consolidação de conceitos, e o das empresas, mediante um questionário fechado respondido por profissionais ligados às áreas de Metrologia e Qualidade. Este segundo questionário, respondido por 60 entrevistados, mostrou que 55 das empresas asseguram confiabilidade nas medições através da calibração. Relacionado a esse resultado, 43% das empresas procuram a RBC para realizar a calibração de seus instrumentos e sistemas de medição, o que reforça a importância da Rastreabilidade Metrológica para as organizações. Em relação à Rastreabilidade Metrológica, 45 dos pesquisados atribuíram a ela importância alta e muito alta. A pesquisa também constatou o uso de diversas ferramentas usuais da Qualidade na interface com as atividades da Metrologia, com destaque para o CEP – Controle Estatístico do Processo, o FMEA – *Failure Mode and Effect Analysis* e o MSA – *Masurement Systems Analysis*. Os resultados da pesquisa permitem inferir que a utilização dos controles metrológicos confiáveis, denominados neste trabalho de sistemas e instrumentos de medição, reduz os custos com trabalho e retrabalho e influencia diretamente na qualidade dos produtos e serviços, além de agregar credibilidade para as empresas que os adotam.

Palavras-chaves: Metrologia, Qualidade, Calibração, Rastreabilidade e Incerteza da Medição.

ABSTRACT

Metrology, defined as the science of measurement, is focused to provide reliability, credibility and universality of the measures. As the measurements are present, directly or indirectly, in virtually all industrial production processes of decision making, the scope of Metrology is immense, involving industry, trade, health, safety, defense and environment, among others. It is estimated that approximately 4 to 6% of national GDP of the industrialized countries are dedicated to the measurement processes. One of the main factors affecting the competitiveness of companies producing consumer goods is on its production process. In this context, the main objective of this study was to investigate the interface between the concepts, principles and tools of Quality and practice of Metrology, seeking to characterize the contribution of Metrology to achieve Quality in production systems. Thus, we carried out a research on the metrological culture within the company and its relationship to Quality in the conformation of products, with emphasis on three important key elements of Metrology: Calibration, Traceability and Metrological Uncertainty of Measurement. For this, we conducted a survey sample into two realms: that of institutions accredited by Inmetro belonging to RBC - Brazilian Calibration Network, through an open questionnaire answered by specialists, aimed at consolidation of concepts, and business, through a questionnaire Closed answered by professionals from the areas of Metrology and Quality. This second questionnaire answered by 60 respondents, showed that 55 companies provide reliable measurements through calibration. Related to this result, 43% of RBC companies seek to make a calibration of their instruments and measuring systems, which reinforces the importance of Metrological Traceability for organizations. Also with respect to Metrological Traceability, 45 of those surveyed attributed high to it and very high importance. The survey also found the use of several usual tools for Quality at the interface with the activities of Metrology, notably the CEP - Statistical Process Control, FMEA - Failure Mode and Effect Analysis and MSA - Mensurement Systems Analysis. The survey results allow us to infer that the use of reliable metrological controls, called in this work of systems and measuring instruments, reduces labor costs and rework and thus directly influences the quality of products and services, and adds credibility to the companies that adopt.

Keywords: Metrology, Quality, Calibration, Traceability and Uncertainty of Measurement

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Padrões baseados nas dimensões do corpo	26
Figura 2	Cúbito Egípcio	27
Figura 3	O côvado	28
Figura 4	Protótipo de bronze número 11 da jarda	29
Figura 5	Detalhe da extremidade da barra protótipo de bronze número 11 da jarda	29
Figura 6	Protótipo 27 (em “X” do metro padrão).....	31
Figura 7	Lâmpada de vapor de criptônio 86	33
Figura 8	Laser estabilizado de hélio – neon	34
Figura 9	Padrões de massa do <i>Pound troy</i> e <i>Pound avoirdupois</i>	36
Figura 10	Protótipo do quilograma dos arquivos do BIPM	38
Figura 11	Protótipos de massa do quilograma utilizados pelo NIST na sua divisão de produção de tecnologia	39
Figura 12	Estrutura Mundial da Metrologia	41
Figura 13	Composição do Sinmetro	43
Figura 14	Composição do Conmetro	43
Figura 15	Estrutura Metrológica Brasileira	45
Figura 16	As sete unidades de base do SI	48
Figura 17	Formação de unidades com símbolos e nomes especiais	49
Figura 18	Áreas de atuação da Metrologia	51
Figura 19	Interação da Metrologia com o processo produtivo	57
Figura 20	Hierarquia da Rastreabilidade	60
Figura 21	Erros sistemáticos e aleatórios	64
Figura 22	Processo de melhoria contínua ocasionado pelo processo de calibração	68
Figura 23	Graus de proteção IP	73
Figura 24	Agentes que exercem influência no resultado das medições	77
Figura 25	Diagrama representativo do processo de medição e as fontes de erros que afetam o resultado das medições	79
Figura 26	Zona de especificação diminuída devido à incerteza da medição ...	81
Figura 27	Zona de conformidade menor que a zona de especificação devido à incerteza da medição	82
Figura 28	Metodologia para cálculo da incerteza da medição – ISO GUM	84
Figura 29	Estabelecimento da Rastreabilidade Metrológica	85
Figura 30	Caminhos para a obtenção da Rastreabilidade Metrológica	86
Figura 31	Eras da Qualidade	88
Figura 32	Relacionamento e consequências da Qualidade e Produtividade ...	107
Figura 33	Qualidade, Produtividade e Competitividade	109
Figura 34	Fluxo de entradas e saídas de uma empresa	120
Figura 35	Níveis de Normalização	128

Figura 36	Malha de controle dos processos de trabalho de uma organização	131
Figura 37	Ferramentas de interface entre a Metrologia e a Qualidade	157

LISTA DE QUADROS

Quadro 1	Prefixos SI	50
Quadro 2	Custos da Qualidade	100
Quadro 3	Principais aspectos físicos da percepção	115
Quadro 4	Dimensões de um processo de serviço	117
Quadro 5	Dimensões da Qualidade	119
Quadro 6	Comparação entre as dimensões de Parasuraman e Garvin	119
Quadro 7	Grandezas de base e unidades de base do SI	203
Quadro 8	Exemplos de unidades derivadas do SI, expressas a partir de unidades de base	203
Quadro 9	Unidades fora do SI, ainda em uso	204
Quadro 10	Unidades fora do SI, ainda em uso, cujo valor é obtido experimentalmente	205
Quadro 11	Outras unidades fora do SI, ainda em uso	205
Quadro 12	Unidades derivadas do CGS dotadas de nomes particulares	206
Quadro 13	Exemplos de outras unidades fora do SI	207

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1	Número de colaboradores das empresas dos respondentes	152
Gráfico 2	Formação acadêmica dos respondentes	153
Gráfico 3	Tempo de experiência dos respondentes	153
Gráfico 4	Setores de trabalho dos respondentes	154
Gráfico 5	Como a empresa assegura confiabilidade metrológica	155
Gráfico 6	Ferramentas da Qualidade	156
Gráfico 7	A importância da Metrologia	162
Gráfico 8	A Metrologia como fator de competitividade	162
Gráfico 9	Numero de empresas com laboratório de Metrologia	164
Gráfico 10	Local de realização das calibrações	165
Gráfico 11	Importância da calibração para as empresas	165
Gráfico 12	Impacto da calibração nos sistemas produtivos	166
Gráfico 13	Relação incerteza padrão/processo de medição	167
Gráfico 14	Importância da estimativa da incerteza da medição	167
Gráfico 15	Relacionamento entre Rastreabilidade e Qualidade	169
Gráfico 16	Influência da Rastreabilidade no controle de medidas	170
Gráfico 17	Empresas com Sistemas de Gestão da Qualidade	170
Gráfico 18	Máquinas de medição com alta exatidão no sistema produtivo	172
Gráfico 19	Critérios de escolha de sistemas e instrumentos de medição	174

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AIAG	<i>Automotive Industry Action Group</i>
AIST	<i>Advanced Industrial Science Technology</i>
APQP	<i>Advanced Product Quality Planning</i>
ASQ	<i>American Society for Quality</i>
ASQC	<i>American Society for Quality Control</i>
BIPM	Bureau Internacional de Pesos e Medidas
CBAC	Comitê Brasileiro de Avaliação da Conformidade
CBM	Comitê Brasileiro de Metrologia
CBN	Comitê Brasileiro de Normalização
CBR	Comitê Brasileiro de Regulamentação
CCAB	Comitê de <i>Codex Alimentarius</i> do Brasil
CCQs	Círculos de Controle de Qualidade
CCs	Comitês Consultivos
CCU	Comitê Consultivo das Unidades
CEP	Controle Estatístico do Processo
CGPM	Conferencia Geral de Pesos e Medidas
CGS	Centímetro, Grama e Segundo
CIPM	Comitê Internacional de Pesos e Medidas
CNI	Confederação Nacional da Indústria
Conmetro	Conselho Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial
CPcon	Comissão Permanente dos Consumidores
CWQC	<i>Company Wide Quality Control</i>
DIMCI	Diretoria de Metrologia Científica e Industrial
DMAIC	<i>Define-measure-analyse-improve-control</i>
EA	<i>European Accreditation</i>
FMEA	<i>Failure Mode and Effect Analysis</i>
GT	Grupos de Trabalho
GUM	<i>Guide to the Expression of Uncertainty Measurement</i>
IAF	<i>International Accreditation Fórum</i>
IDEC	Instituto Brasileiro de Defesa do Consumidor
IEC	<i>International Electrotechnical Commission</i>
ILAC	<i>International Laboratory Accreditation Cooperation</i>
INM	Instituto Nacional de Metrologia
Inmetro	Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial
IP	<i>Índice of Protection</i>
Ipem	Instituto de Pesos e Medidas
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
IT	Intervalo de Tolerância

JUSE	<i>Japanese Union of Scientists and Engineers</i>
LIE	Limite Inferior de Especificação
LSE	Limite Superior de Especificação
MASP	Metodologia de Análise e Solução de Problemas
MKS	Metro, Quilograma e Segundo
MMC	Máquina de Medir por Coordenadas
MRA	<i>Mutual Recognition Agreement</i>
MS	Ministério da Saúde
MSA	<i>Measurement System Analysis</i>
NBR	Normas Brasileiras
NIST	<i>National Institute of Standards and Technology</i>
OMC	Organização Mundial do Comércio
OIML	Organização Internacional de Metrologia Legal
PBAC	Programa Brasileiro de Avaliação da Conformidade
PDCA	<i>Plan, Do, Ckeck and Act</i>
PIB	Produto Interno Bruto
Pitce	Política Industrial, Tecnológica e de Comércio Exterior
PNQ	Prêmio Nacional da Qualidade
PPAP	<i>Production Parts Approval Process</i>
PTB	<i>Physikalisch Technische Bundesanstalt</i>
QFD	<i>Quality Function Deployment</i>
RBC	Rede Brasileira de Calibração
RBLE	Rede Brasileira de Metrologia Legal
RBMLQ-I	Rede Brasileira de Metrologia Legal e Qualidade - Inmetro
Senai	Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial
SI	Sistema Internacional de Unidades
Sibratec	Programa Sistema Brasileiro de Tecnologia
Sinmetro	Sistema Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial
SM	Sistema de Medição
SWIPE	<i>Standard, Workpiece, Instrument, Person and Environment</i>
TQC	<i>Total Quality Control</i>
UIPPA	União de Química Pura e Aplicada
UICPA	União Internacional de Química Pura e Aplicada
VIM	Vocabulário Internacional de Termos Fundamentais e Gerais de Metrologia
5 W	Cinco Porquês

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO

1.1 Apresentação do Trabalho

A busca pela confiabilidade e a exatidão dos processos de fabricação vem ganhando cada vez mais espaço e importância dentro das empresas, impulsionada por uma tendência natural do mercado e de seus consumidores, em busca de produtos e serviços de qualidade e a preços acessíveis.

O binômio Qualidade e Produtividade, antes considerado contraditório, hoje se completam como elementos para a Competitividade, segundo Costa Neto e Canuto (2010), e com isso aspectos relativos à padronização de trabalhos e calibração de equipamentos e instrumentos de medição tornam-se fundamentais nos sistemas produtivos, pois conferem credibilidade às medições, realimentam a melhoria contínua desses processos e facilitam o controle de características de produtos e serviços. Um elevado nível de produtividade e excelência na qualidade da produção de produtos e serviços só pode ser alcançado se existir dentro da organização consenso quanto à importância da Metrologia em relação à produtividade e qualidade.

Sem a comprovação metrológica, não há como garantir a confiabilidade dos dados referentes ao controle das características determinantes da qualidade do produto. Sua ausência, é por si só razão suficiente para gerar descrédito no sistema de gestão da qualidade da organização (CNI, 2009).

A Metrologia é um fator chave para a competitividade das empresas, pois garante que a qualidade esteja presente em todas as fases de fabricação de um produto, trazendo confiança a quem adquire e a quem comercializa o produto, e contribui para a produtividade, por evitar erros, retrabalhos e inconsistências dimensionais. Sua essência é assegurar exatidão aos processos produtivos na indústria, qualquer que seja o campo de atuação.

Segundo o Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial - Inmetro (2009a), para o País, a Metrologia é reconhecida como o pilar fundamental do crescimento e inovação tecnológica, além de favorecer a criação de

um ambiente favorável ao desenvolvimento científico e industrial. De acordo com o Conselho Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial – Conmetro (2008), no documento “Diretrizes Estratégicas para a Metrologia Brasileira 2008 – 2012”, estima-se que cerca de 4 a 6% do PIB nacional dos países industrializados sejam dedicados aos processos de medição.

A indústria brasileira está em crescimento consistente, demandando maior volume e maior qualidade dos serviços metrológicos. A inserção do Brasil no mercado globalizado requer uma forte base metrológica para promover exportações e barrar importações sem qualidade. A Metrologia viabiliza um subsídio ideal à competitividade, além do crescimento da consciência da cidadania, o que aumenta a demanda por serviços de qualidade relacionados com a saúde, a segurança e o meio ambiente.

Outro aspecto, em que a metrologia tem papel estruturante, é o referente à inovação, pois a infra-estrutura laboratorial metrológica existente, organizada em suas diversas redes como ofertantes de serviços metrológicos com a qualidade exigida pelo mercado, pode contribuir para o setor empresarial reduzindo custo e tempo do desenvolvimento e avaliação das inovações. Esse esforço deve estar alinhado com as demais políticas públicas de apoio ao desenvolvimento produtivo e as questões transversais, como de tecnologia, financiamento, entre outras. Hoje o Sistema Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial – Sinmetro conta com um braço executivo forte, no Inmetro, competente e respeitado, apoiado pela Rede Brasileira de Calibração (RBC), assegurando uma oferta de serviços metrológicos para sustentar, de forma diferenciada, o setor produtivo, agilizando os processos de inovação nas empresas, além de validar etapas do processo de desenvolvimento e minimizar riscos para as empresas. Torna-se fundamental o setor produtivo conhecer a capacidade instalada dos serviços metrológicos no país, bem como apontar suas reais necessidades, de forma a permitir a construção de políticas e instrumentos públicos que fortaleçam o Sinmetro, dentro de um compromisso de mecanismo de apoio efetivo à competitividade do setor produtivo brasileiro.

A universalização das unidades de medida usadas no Brasil é outra prática que visa garantir padronização e confiabilidade das medições e promoção do reconhecimento internacional, e a conseqüente rastreabilidade das medidas realizadas na indústria aos padrões nacionais e internacionais de laboratórios de

calibração e ensaio, contribuindo, para o aumento da qualidade e competitividade do produto nacional.

1.2 Justificativa

Segundo o Vocabulário Internacional de Termos Fundamentais e Gerais de Metrologia – VIM, a Metrologia, definida como a ciência da medição, tem como foco principal prover confiabilidade, credibilidade, universalidade e qualidade às medidas. Como as medições estão presentes, direta ou indiretamente, em quase todos os processos de produção industrial de tomada de decisão, a abrangência da metrologia é imensa, envolvendo a indústria, o comércio, a saúde, a segurança, a defesa e o meio ambiente, entre outros. Os sistemas de controle metrológicos, por sua vez, em qualquer área que estejam inseridos, acrescentam muitos benefícios aos sistemas produtivos, reduzindo os custos com trabalho e retrabalho e influenciando, diretamente, na qualidade dos produtos e serviços, além de agregar credibilidade para as empresas que os adotam (INMETRO, 2007a).

Uma das razões principais para a elaboração deste projeto é a iniciativa do governo brasileiro, que, percebendo o papel vital da Metrologia no desenvolvimento do País e dando continuidade às ações iniciadas com a Política Industrial, Tecnológica e de Comércio Exterior - Pitce e do Programa Sistema Brasileiro de Tecnologia - Sibratec, em que a Metrologia tem papel estratégico no apoio à competitividade do setor produtivo nacional, elaborou o documento já citado estabelecendo as Diretrizes Estratégicas para a Metrologia Brasileira 2008-2012, atualizando conceitos e estratégias, bem como explicitando os desafios e as orientações alinhadas às novas demandas para a Metrologia Brasileira (CONMETRO, 2008)

Com a inserção do País num cenário internacional cada vez mais globalizado e o acirramento da concorrência interna, o projeto de pesquisa busca evidenciar a ligação entre Metrologia e Qualidade, e o papel decisivo da confiabilidade metrológica, dado o seu enorme potencial para o aumento de produtividade e melhoria da qualidade dos serviços. Sua importância é necessária para assegurar a qualidade das medições, inclusive nos campos atuais da nanotecnologia, metodologia seis sigma, área química, espacial e meio ambiente.

Outra finalidade da pesquisa é mostrar a importância da Calibração, da avaliação da Incerteza da Medição e da Rastreabilidade Metrológica, a maneira como interagem com o processo de produção, fomentando a sistemática produtiva, atribuindo aos produtos melhor valor agregado e qualidade de consumo no mercado nacional. De maneira objetiva, a falta da calibração pode significar prejuízos imensuráveis em produtos, processos, serviços e para a imagem da empresa. Sem a calibração e devido à medição sem qualidade, o prejuízo pode ocorrer tanto por parte do fornecedor, quanto por parte do comprador do produto. Por sua vez, a calibração deve estar atrelada a padrões de referência com rastreabilidade. De acordo com a norma NBR ISO 9000:2005, “*rastreabilidade é a capacidade de traçar o histórico, a aplicação ou a localização de um item através de informações previamente registradas*”. Em outras palavras, a rastreabilidade, estabelece o quanto a medição está em acordo com um valor de referência conhecido, ou a qual distância de um valor verdadeiro se está reproduzindo essa medida. Tem-se, então, a importância da incerteza dos resultados em todos os níveis de comparação, desde a comparação inicial com o padrão primário, até o instrumento reproduzindo essa medida diretamente no produto. Segundo o *Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement*, a incerteza da medição é um “*parâmetro, associado ao resultado de uma medição, que caracteriza a dispersão dos valores que podem ser fundamentadamente atribuídos a um mensurando*” (BIPM, 2008).

Outro objeto de estudo relevante refere-se à cultura metrológica dentro de uma organização. Não se resume apenas a enormes investimentos em equipamentos sofisticados e treinamento, como muitos pensam. Permite a geração de lucros, dá maior confiabilidade, credibilidade e consequente competitividade das empresas. Para Albertazzi & Souza (2008, p.129), “*a manutenção da confiabilidade metrológica de sistemas de medição é a principal motivação para a realização de calibrações*”. Há benefícios por toda parte: para o cidadão que consome o produto, para aquele que produz e controla e, principalmente, para a economia de forma ampla.

Dá-se ênfase, também, à ação reguladora da Metrologia na importação e exportação de produtos, ora impedindo que produtos de baixa qualidade entrem no País, ora reduzindo as barreiras técnicas comerciais para a entrada de produtos nacionais em outros países (CNI, 2009).

Outro foco do estudo é a contribuição das ações empreendidas pelo Inmetro e a rede de laboratórios (RBC) que o apoia, para a sustentação e adoção de práticas reguladoras nas áreas da Metrologia Legal e Industrial para o atingimento da excelência na produção de bens e de serviços (CONMETRO, 2008).

Todos esses aspectos, contêm importância suficiente para justificar a realização da presente pesquisa, em que se busca incluir, na problemática da Metrologia, os aspectos referentes à sua interface com a questão da Qualidade e Produtividade como elementos para a Competitividade das empresas no mundo globalizado.

1.3 Objetivo Geral

Pesquisar a interface entre os conceitos, princípios e ferramentas da Qualidade e a prática da Metrologia, buscando identificar suas contribuições mais significativas para a qualidade dos processos de produção.

1.3.1 Objetivos Específicos

- Caracterizar a importância das ferramentas da Qualidade na Metrologia;
- Caracterizar a importância da Rastreabilidade Metrológica na Confiabilidade dos processos de produção;
- Caracterizar a importância da Metrologia para Qualidade de produtos e serviços;
- Contribuir para a divulgação da importância e das características da Metrologia.

1.4 Metodologia

A pesquisa é ancorada por uma ampla revisão bibliográfica, com o objetivo de explanar e inter-relacionar as três vertentes da Metrologia: a Industrial, a Científica e a Legal. Nesta seção metodológica, procura-se salientar e discutir as áreas de atuação da Metrologia, os elementos-chave, que impactam na Qualidade de

sistemas produtivos e a importância da adoção do Sistema Internacional de Unidades (SI) para o desenvolvimento do País.

Outro tema relacionado à Metrologia, a Qualidade, também é discutido. Assim, caminha-se ao longo da dissertação relacionando o tema Metrologia a aspectos da qualidade do processo de produção em que interfere.

Visando validar a pesquisa e colher informações da interação entre Metrologia e Qualidade nos processos produtivos, realizou-se uma pesquisa qualitativa, exploratória, utilizando-se dois questionários como ferramentas para a coleta de dados.

A primeira fase da pesquisa foi realizada através de informações de especialistas de quatro laboratórios acreditados pelo Inmetro, pertencentes à RBC, da qual fazem parte um laboratório da rede Senai, dois laboratórios de empresas fabricantes de sistemas e instrumentos de medição e do Instituto de Pesquisa Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT. Os questionários, com questões abertas, foram enviados por e-mail para os especialistas opinarem sobre o tema.

Outro questionário, com questões fechadas, foi distribuído a profissionais oriundos das áreas de Metrologia e Qualidade de 60 empresas.

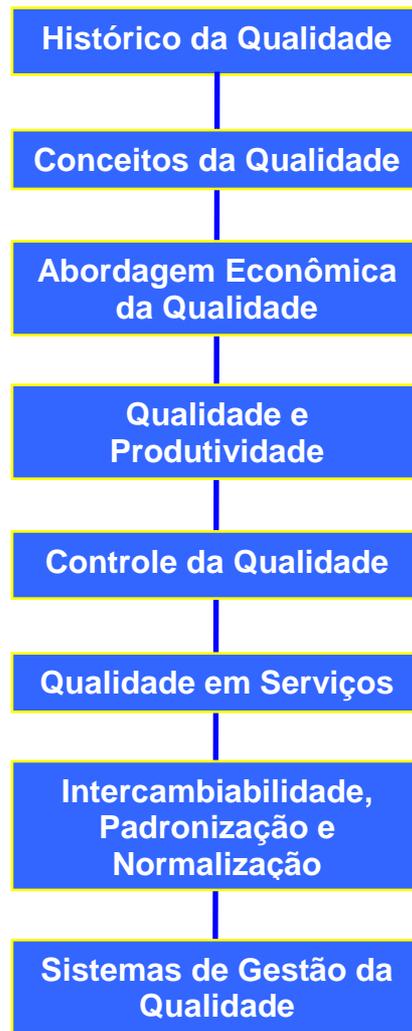
1.5 Estrutura

Esta dissertação está estruturada em 6 capítulos. O Capítulo 1 é a apresentação do trabalho, com a definição dos objetivos, a metodologia de pesquisa utilizada e, uma breve visão da importância da Metrologia para o desenvolvimento do País, sua interface com a Qualidade e Produtividade, além da base de sustentação que significa para a competitividade das empresas.

No Capítulo 2, a proposta é conceituar Metrologia, com uma ampla revisão bibliográfica, para uma melhor percepção da sua importância e abrangência. A estrutura do capítulo 2 é apresentada a seguir.



No Capítulo 3, a revisão bibliográfica é direcionada à Qualidade. A proposta, é conceituar o tema a partir da visão dos especialistas da Qualidade e, ao final, relacioná-lo à Metrologia e, por conseguinte, ao processo de fabricação. A Qualidade é colocada como um fator de competitividade, focado no processo de produção. Sua função converge para a redução de rejeitos, aumento da produtividade e redução de custos operacionais. A estrutura do Capítulo 3 é mostrada a seguir:



No capítulo 4, define-se o processo de pesquisa empregado para o encadeamento da dissertação. Inicialmente, é feita uma abordagem a respeito dos aspectos conceituais da metodologia para a classificação da pesquisa, e no segundo momento, são apresentadas as fases da pesquisa, o tipo de pesquisa utilizado e seu delineamento final.

No Capítulo 5 são apresentados os resultados da pesquisa de campo. Os dados foram obtidos em duas fases, com a aplicação de questionários. Na primeira fase, as informações foram obtidas junto a especialistas da RBC. Na segunda fase, as informações foram obtidas em empresas, de profissionais ligados às áreas de Qualidade e Metrologia.

Por fim, no Capítulo 6, são apresentadas considerações finais sobre a relevância da Metrologia para Qualidade, sendo, também, sugeridos alguns temas para futuros trabalhos de pesquisa nesta área.

CAPÍTULO 2 - METROLOGIA

2.1 Histórico da Metrologia

2.1.1 Primeiras Medidas de Comprimento

A história da metrologia se confunde com a própria evolução do ser humano, da mesma forma que a vida em grupo e a necessidade de comunicação levaram ao desenvolvimento das primeiras formas de linguagem.

A história da humanidade, através de documentos e objetos encontrados em pesquisas arqueológicas, mostra que há mais de quatro milênios diversos povos já utilizavam procedimentos de medição na agricultura, no comércio, nas construções, na coleta de impostos, nas heranças, nos rituais religiosos, nos calendários, nas guerras, entre outros (VÁZQUEZ & GONZÁLEZ, 1998).

Com a evolução das primeiras formas de sociedade e a necessidade de descrever fatos com números, desenvolveu-se, aos poucos, a capacidade de contar. Contar animais, pessoas, alimentos ou armas são relatos das primeiras aplicações com números. De acordo com Rozenberg (2006), é muito difícil identificar, na história da civilização, a época em que o homem começou a medir. Com o contínuo aprimoramento da civilização, tornou-se insuficiente, para algumas necessidades cotidianas, a descrição de certas quantidades apenas por números. Segundo Albertazzi & Souza (2008), era necessário acrescentar um elemento adicional aos números para descrever de forma mais clara e precisa certas quantidades. O número de passos que caracterizam uma distância, o número de cestos que correspondem a uma certa produção de cereais ou o número de barris de vinho são alguns exemplos de unidades que passaram a ser usadas com os números para deixar a comunicação e as transações comerciais mais claras. Foram essas as primeiras medições rudimentares.

Perde-se, na história da antiguidade, a preocupação do homem com a medição e a construção dos instrumentos de medida das grandezas que, em número crescente e aos poucos, foram se tornando objeto de seu interesse ou curiosidade. Para Rozenberg (2006), é razoável admitir que as primeiras grandezas,

cujas medições foram feitas pelo homem tenham sido o comprimento, o volume, a massa (confundida por muito tempo com o peso) e, o tempo, cujo transcorrer, já nas mais antigas civilizações, era avaliado pelo periodismo dos movimentos da Lua e do Sol ao “redor da Terra”.

As unidades de medição primitivas estavam baseadas em partes do corpo humano (Figura 1), referências universais, pois ficava fácil chegar-se a uma medida que podia ser verificada por qualquer pessoa. Foi assim que surgiram medidas padrão como a polegada, o palmo, o pé, a jarda, a braça e o passo, que, inicialmente, não levavam em conta que as pessoas poderiam ter dimensões diferentes nas partes do corpo (ROZENBERG, 2006).

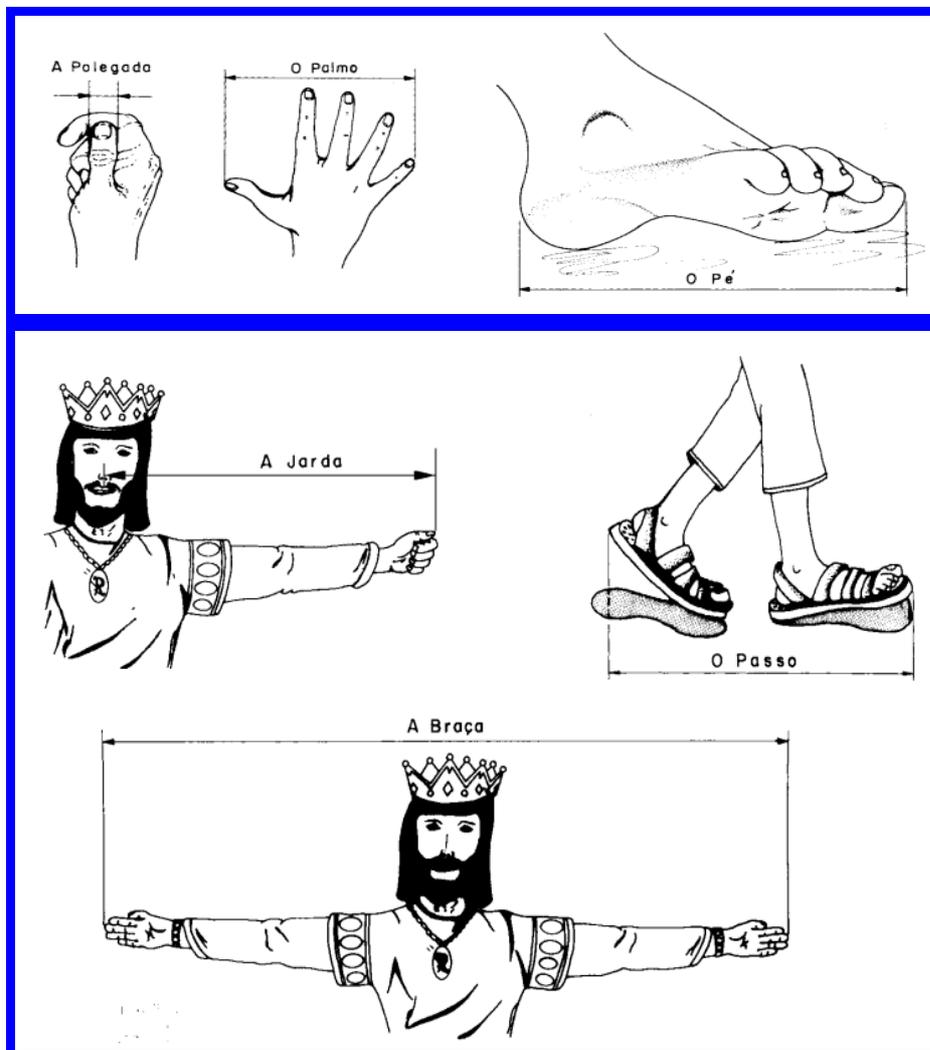


Figura 1 – Padrões baseados nas dimensões do corpo.
Fonte: Fundação Roberto Marinho. Mecânica: metrologia, 1994.

Existem registros de que as primeiras “soluções metrológicas” datem de 4800 a.C., período áureo da construção das pirâmides do Egito. O maior exemplo da aplicação dos padrões metrológicos de comprimento ocorreu na construção da pirâmide de Queops. O cúbito, surgido nesse período, é uma das unidades mais antigas de medida de comprimento de que se tem notícia (ROZENBERG, 2006). Para Suga (2008), a unidade de comprimento teve origem nas fontes prontamente disponíveis: o comprimento de um pé ou de um braço estendido (braça). Essa unidade era materializada por um padrão – o “cúbito real” – gravado numa barra de granito (Figura 2, à esquerda), em relação ao qual eram aferidas as numerosas régua ou barras representativas dos “cúbitos” espalhados pelo reino.

Com o tempo, as barras passaram a ser construídas de madeira, para facilitar o transporte. Como a madeira logo se gastava, foram gravados comprimentos equivalentes a um cúbito-padrão nas paredes dos principais templos. Cada um podia conferir periodicamente sua barra ou mesmo fazer outras, quando necessário.

O cúbito real (equivalente aproximadamente a 0,5 m) tinha vários submúltiplos definidos de uma forma certamente vista como complicada, ou pelo menos estranha, para quem está habituado ao uso do sistema decimal para definir os submúltiplos de uma medida.

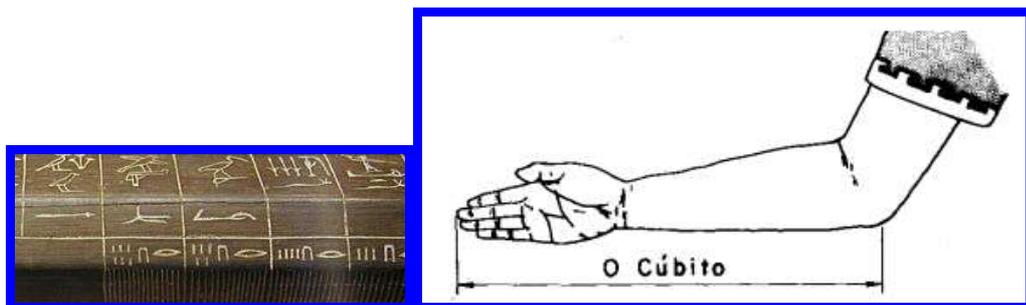


Figura 2 – Cúbito Egípcio.
Fonte: Fundação Roberto Marinho. Mecânica: metrologia, 1994.

De acordo com Suga (2008), o cúbito com aproximadamente 500 mm, era subdividido em 28 partes iguais, cada uma das quais era de aproximadamente 18 mm, tendo como símbolo a forma de um olho. Hoje, são conhecidos vários cúbitos e estes se enquadram em duas categorias de comprimento: um ligeiramente mais curto e outro um pouco mais longo que os 500 mm. Os primeiros submúltiplos do cúbito de que se tem conhecimento são o palmo, o dígito e o span. Comparando-os

às unidades do Sistema Internacional de Unidade, cada uma dessas unidades media, aproximadamente:

- Cúbito = 523 mm
- Span = 229 mm
- Palmo = 76 mm
- Dígito = 18 mm

No Antigo Testamento, um dos registros mais antigos da história da humanidade, relata-se, no Gênesis, que o Criador mandou Noé construir uma arca com dimensões muito específica, medidas em côvados. O côvado era uma medida-padrão da região onde Noé morava, equivalente a três palmos (Figura 3), aproximadamente, 66 cm (VÁZQUEZ & GONZÁLEZ, 1998).

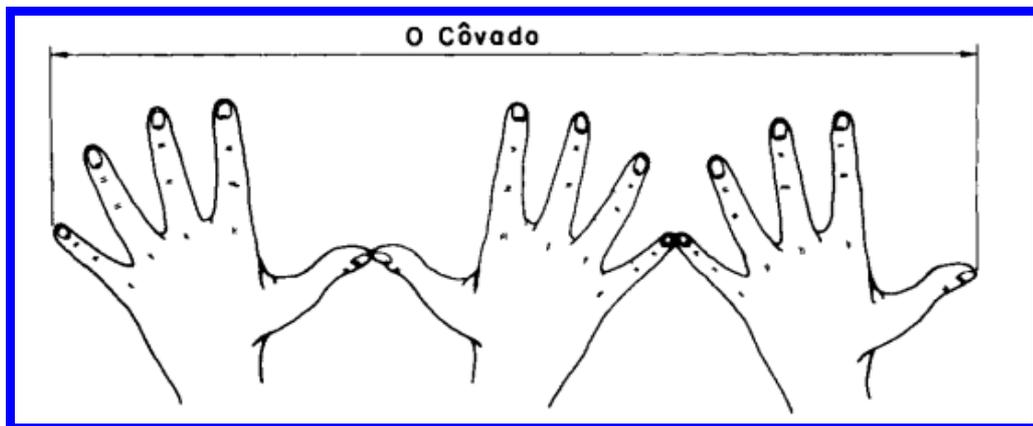


Figura 3 – O côvado.

Fonte: Fundação Roberto Marinho. Mecânica: metrologia, 1994.

Povos da antiguidade, a partir de 4000 anos a. C., como os egípcios, os persas, os chineses e muitos outros, passaram a utilizar medições em várias atividades. A medição servia para caracterizar quantitativamente a propriedade de um objeto, comparando-a com a propriedade semelhante a um objeto padrão. Estabelecia-se uma equivalência entre a propriedade do objeto e a propriedade de certo “número” de objetos iguais ao tal do padrão de referência. Esse “número” seria a medida da propriedade do objeto com relação ao padrão escolhido (ROZENBERG, 2006).

A jarda (*standart yard*), outra unidade de comprimento, foi definida no século XIII, na Inglaterra, como sendo a distância da ponta do nariz do Rei Henrique I até o polegar, mas só foi oficializada como unidade de comprimento em 1558 pela Rainha Elizabeth. Em 1878, teve uma definição mais exata, e foi materializada em uma

barra de bronze (Figura 4), como sendo a distância entre os terminais de ouro de uma barra de bronze, medida a 62° F (18° C). A jard a dá origem à polegada, usada ainda hoje. Outros exemplos de unidades de medida, surgidas ao longo dos séculos, são o “pé”, a “braça” e a “toesa”, todas com origens baseadas em dimensões do corpo humano. Na Figura 5, são mostrados os detalhes de uma das extremidades da barra protótipo de bronze número 11 da jard (ROZENBERG, 2006).



Figura 4 - Protótipo de bronze número 11 da jard.
Coleção pertencente ao Museu do NIST.
Fonte: NIST (2009).



Figura 5 – Detalhe da extremidade da barra protótipo de bronze número 11 da jard.
Coleção pertencente ao Museu do NIST.
Fonte: NIST (2009).

2.1.2 Definição do Metro

No século XVII, na Europa, especificamente na França, procurou-se uma forma de definir um padrão de comprimento que não dependesse das dimensões do corpo humano. Segundo Rozenberg (2006), um padre de uma igreja de Lyon, Gabriel Mouton, foi quem sugeriu a adoção, como unidade de comprimento, do comprimento do arco de um meridiano terrestre subentendido, no centro da terra, por um ângulo de 1' (um minuto), a ser subdividido decimalmente. Apesar de seu conteúdo inovador, a sugestão não frutificou. Foi uma das primeiras tentativas para estabelecimento de um sistema universal de unidades. Por volta de 1790, um século e meio depois, em pleno período da Revolução Francesa, um dos mais

proeminentes membros da Assembléia Nacional da França, Charles Maurice Talleyrand, propôs o estabelecimento de um sistema de unidades definidos com sólida base científica e despidas de qualquer conotação regionalista, podendo ser adotado universalmente. O plano era elaborar um sistema de unidades baseado num padrão da natureza, imutável e indiscutível. Como a natureza não pertence a ninguém, tal padrão poderia ser aceito por todas as nações, inclusive a rival Inglaterra, e se tornaria um sistema universal. A idéia foi entregue à Academia de Ciências de Paris, que constituiu uma comissão de grandes expoentes da ciência francesa, como Borda, Lagrange, Condorcet, Monge e Laplace, para o estudo do assunto. Decidiu-se que o sistema em questão deveria seguir a lei decimal e ter como unidade básica uma unidade de comprimento a ser definida como fração do comprimento do meridiano terrestre. Por sugestão de Borda, essa unidade recebeu o nome “metro” (do latim “metru”) e foi, então, definida como o comprimento de um décimo de milionésimo do comprimento de um quarto de meridiano terrestre (medido entre um polo e o equador terrestre). Para determinar o comprimento desse segmento, medido sobre o meridiano passante por Dunquerque na França, e Barcelona, na Espanha, foram designados dois astrônomos, Jean Delambre e Pierre Méchain. Segundo Suga (2007), os dois astrônomos precisaram de sete anos para efetuar a materialização do primeiro metro. Partiram de Paris em 1792, um em direção o norte e o outro, para o sul. Utilizaram a técnica de triangulação, com o instrumento conhecido como teodolito, ou círculo de repetição de Borda, para efetuar a medição do meridiano.

Em 1837, foram refeitos os cálculos, obtendo-se valores ligeiramente diferentes; por isso, a definição do metro foi alterada e passou a ser: o metro é a distância medida à temperatura do gelo fundente, entre dois traços gravados em uma barra de platina irradiada, depositada no *Bureau International des Poids et Mesures (BIPM)*, e considerado o protótipo do metro pela Primeira Conferência Geral de Pesos e Medidas (1ª CGPM), em 1889, esta barra estando à pressão normal apoiada sobre roletes nos pontos de deflexão mínima (ROZENBERG, 2006).

Após a assinatura do Tratado do Metro em 1875, o Bureau Internacional de Pesos e Medidas (BIPM) em Sèvres, França, fabricou 30 protótipos dos padrões utilizando uma liga de platina-irídio. O cientista francês Henri Tresca propôs a fabricação de um modelo com secção em “X” (Figura 6) para melhorar a rigidez da

barra. Uma das barras foi selecionada como o Metro Internacional. Os Estados Unidos receberam o Protótipo Nacional do Metro de número 27 e de número 21 em 1890. Em 1893, Mendenhall declarou o Metro como padrão de comprimento, permanecendo até 1960. A comparação entre o protótipo de número 27 e o Metro Internacional produziu um provável erro de $\pm 0,04 \mu\text{m}$. A provável incerteza do comprimento do protótipo de número 27, à temperaturas entre $20 \text{ }^\circ\text{C}$ e $25 \text{ }^\circ\text{C}$, foi estimada pelo BIPM entre $\pm 0,1 \mu\text{m}$ e $\pm 0,2 \mu\text{m}$ (SUGA, 2007).



Figura 6 – Protótipo 27 (em “X”) do metro padrão.
Coleção do Museu do NIST.
Fonte: NIST (2009).

2.1.3 A Convenção do Metro

Decorrido quase um século da definição do primeiro metro, com um período marcado por diversas guerras, como a Revolução Francesa e a guerra Franco-Prussiana, iniciava-se no mundo um período de paz, em que diversas nações se estabeleciam na Europa e nas Américas, e de importante globalização. Os transportes marítimos e terrestres se tornavam mais seguros e econômicos, a produção industrial incorporava novas fontes de energia, surgiram novas tecnologias e processos de fabricação em série, barateando os produtos devido a fatores de escala, os métodos de preservação de produtos perecíveis evoluíam. As comunicações com o telégrafo elétrico e os cabos submarinos ligando Europa, Américas e Ásia, tornavam as comunicações quase instantâneas. Estavam criadas as demandas e as condições para se procurar estabelecer uma unificação global das unidades de medida. O sucesso do Sistema Métrico Decimal criava uma clara vantagem para que a França liderasse essa unificação. A França não perdeu a

oportunidade e promoveu a assinatura de um "Tratado Diplomático" Intergovernamental, visando a criação de diversos instrumentos para promover uma unificação universal das medidas. Foi assinado, em 20 de maio de 1875, na Sala do Relógio do Ministério das Relações Exteriores da França - Quai D'Orsay, o tratado "*La Convention du Mètre*", ratificado por 17 nações, incluindo o Brasil, sendo o órgão decisório máximo da Convenção do Metro a CGPM, cujos membros são os delegados dos Estados Membros. Estabeleceu-se nesse tratado que seria criado um laboratório, o BIPM, fato ocorrido em 1877, onde seriam mantidos os padrões internacionais do metro e de outras grandezas de interesse, e seriam efetuadas pesquisas e estudos pertinentes e criado um Comitê Internacional de Pesos e Medidas (CIPM), formado por membros de países diferentes, signatários da CM, eleitos pela CGPM. O CIPM está sob a autoridade da CGPM e é encarregado de gerenciar os assuntos de interesse da Convenção do Metro entre duas CGPM. O CIPM se reúne uma vez por ano no BIPM (BIPM, 2009b).

Com a evolução tecnológica das nações e através da realização de várias pesquisas pelos membros do BIPM, sentiu-se a necessidade de definir com maior exatidão o padrão de comprimento (metro).

Em 1960, uma nova definição foi adotada por convenção internacional, baseada em uma constante natural. O metro passou a ser definido como sendo 1.670.763,73 comprimentos da onda da raia alaranjada da lâmpada de vapor de criptônio 86. O novo metro foi definido em termos da luz monocromática emitida por átomos eletricamente excitados do gás criptônio 86. O criptônio 86 é imerso em nitrogênio líquido e sua luz é usada em um interferômetro para medir o comprimento (Figura 7) (BIPM, 2009b).



Figura 7 – Lâmpada de vapor de criptônio 86.
Coleção pertencente ao Museu do NIST.
Fonte: NIST (2009).

A definição do metro mais recente (1983) se baseia em uma constante fundamental muito estudada e parece se manter invariável. Sua realização é bem estabelecida, fornece bons resultados, e pode ser executada com relativa facilidade, a baixo custo, em qualquer laboratório devidamente equipado. O metro foi relacionado com a velocidade da luz no vácuo, definindo-o em função do tempo, isto é, “o metro equivale à distância percorrida pela luz no vácuo no intervalo de $1/299.792.458$ s” (SUGA, 2007, p.28). O laser estabilizado de hélio-neon é apenas uma de uma série de instrumentos que podem ser utilizados para realizar a unidade básica de comprimento, mas é, de longe, o método predominante que tem sido utilizado para preencher a lacuna entre a definição do metro e o mundo real das medições tridimensionais.

A definição atual do metro fixou a velocidade da luz no vácuo em exatamente 299 792 458 m/s (metros por segundo). Quando a velocidade da luz é definida tendo em conta esse valor, ele fornece uma exata relação entre a unidade de tempo e a unidade de comprimento (SUGA, 2007).

A medição da frequência estabilizada do laser de Hélio-neon foi realizada pela primeira vez no *National Bureau of Standards*, agora conhecido como Instituto Nacional de Padrões e Tecnologia (NIST) em 1983, sendo já reproduzidas também

por outros organismos. As medições no NIST foram os primeiros passos para demonstrar claramente a possibilidade de medições com alta exatidão utilizando a frequência de luz laser visível (Figura 8) e uma importante motivação para a redefinição do metro ocorrida em 1983. A vantagem da nova definição é a sua universalidade, pois não é vinculada ao comprimento de onda de uma determinada fonte de luz (NIST, 2009).

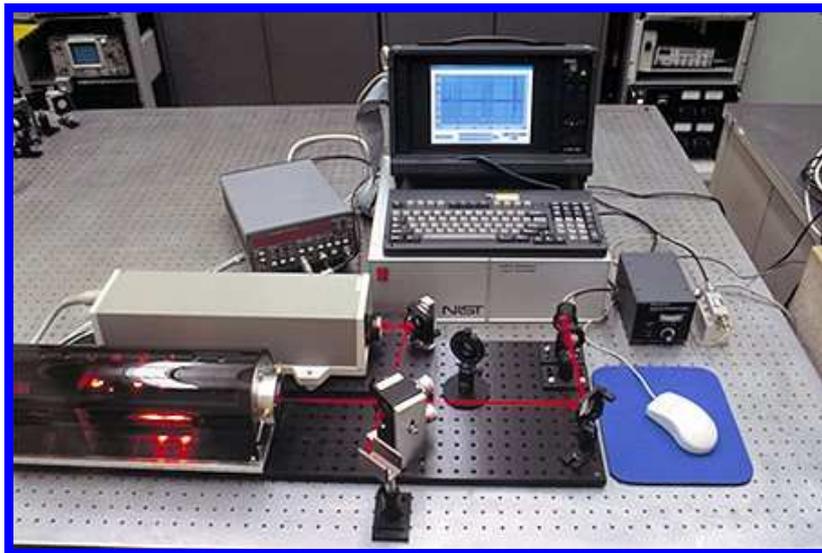


Figura 8 - Laser estabilizado de hélio-neon.
Fonte: NIST (2009).

De acordo com Suga (2007), a boa estabilidade do laser de hélio-neon e o advento de técnicas adequadas para a medição da frequência de luz visível conduziram a uma redução de 50 vezes na incerteza da realização do metro padrão atual em relação à realização que fez uso da lâmpada de criptônio-86.

Muitas pessoas contribuíram para o desenvolvimento do laser estabilizado ao longo dos últimos 25 anos. O laser mostrado na Figura 8 foi construído pelo Doutor Jack Pedra, do NIST. A foto mostra o laser estabilizado (em primeiro plano), tal como ele é usado para calibrar o comprimento de onda de um segundo laser de um tipo que é normalmente utilizado para ultra-alta precisão em ambas as medições do laboratório do NIST (NIST, 2009).

2.1.4 O Surgimento de Outras Unidades

Considerando o período da Idade Média, entre o ano 500 e 1500 de nossa era, as medições praticamente se restringiam ao comprimento/distância, peso/massa, área, volume, ângulo e tempo. A ciência experimental estava em seus primórdios e não gerava demandas. Uma iniciativa importante foi a de Carlos Magno, Imperador de 768 a 784 D.C., do Sagrado Império Romano-Germânico, envolvendo uma grande área da atual Europa Central. Apesar de ser analfabeto, promoveu grandes reformas que incluíram a reforma monetária associada a uma reforma do sistema de pesos. Estabeleceu a unidade monetária e de peso com o nome "libra". Esse sistema de pesos/massa era baseado numa série de massas com valores numa série decrescente, em que cada uma tinha metade da massa da anterior e ficou conhecido como "Pilha de Carlos Magno". O uso desse sistema era obrigatório na região, e ficou em uso até o estabelecimento do quilograma às vésperas do século XIX. As medições para estabelecer o valor da massa do quilograma foram realizadas utilizando uma "Pilha de Carlos Magno" como referência (ROZENBERG, 2006).

Outra unidade de que se tem conhecimento, surgida nos tempos dos faraós, segundo Rozenberg (2006) foi o "kite"; os egípcios utilizavam a unidade para medidas de massa, padronizadas por um bloco de granito. A essa unidade, cuja magnitude ao longo da história variou entre 4,5 g e 30 g, aproximadamente, eram associadas algumas outras múltiplas de 10. Por exemplo: 10 kites equivaliam a 1 "deben", 10 debens representavam 1 "sep", e assim por diante. Há também a hipótese de que alguns pequenos blocos cilíndricos de base côncava encontrados no túmulo de Amreh, de massa aproximadamente igual a 13 gramas, teriam sido utilizados, há mais de 50 séculos, como padrões de "peso". Quando se tratava de medir grandes volumes, os egípcios recorriam ao "cúbico cúbico" (equivalente a cerca de 140 litros) e a outras unidades, como o "hin" e o "khar" para a medição de volumes menores.

Para a medida de tempo, com fundamento na sucessão periódica dos dias e noites, os antigos já mencionavam a duração do "dia" que, desde as mais antigas civilizações pré-cristãs, era subdividido em 24 horas, cada uma com 60 minutos e

cada minuto com 60 segundos, não obstante a indisponibilidade de instrumentos para a medição de breves intervalos de tempo (ROZENBERG, 2006).

Segundo Rozenberg (2006), na história dos povos antigos registra-se o uso de centenas, se não milhares de unidades diferentes pelos babilônicos, fenícios, hebreus, gregos e romanos, algumas delas emprestadas ou baseadas nas adotadas pelos egípcios. Numerosas outras, de emprego muito regionalizado, tiveram seu uso registrado, às vezes muito vagamente, ao longo dos quase 20 séculos da era cristã. Recentemente, até o início da década de 1970, os Estados Unidos adotavam o “*pound*” (libra em português) como nome genérico para a unidade de massa. Na Inglaterra, o *pound* assumia três outras unidades, nem sempre equivalentes com a homônima:

a) o “*pound avoirdupois*” (libra), para pesagens comerciais comuns (equivalente a cerca de 0,453 kg) subdividido em 16 “onças” de “grãos”, cada uma totalizando, 7000 grãos;

b) o “*pound troy*” (libra troy), destinado à pesagem de metais e pedras preciosas (equivalente a aproximadamente 0,373 kg), subdividido em 12 “onças troy” de 480 “grãos” e totalizando, 5760 grãos;

c) o “*pound apothecaries*” (libra dos boticários) para a pesagem de drogas e produtos farmacêuticos (também equivalente a aproximadamente 0,373 kg), subdividido em 12 “onças apotecárias” cada uma constituída por 8 “dracmas”.

Na Figura 9, estão representados os padrões de massa *pound troy* (libra troy - figura da direita) e *pound avoirdupois* (libra – figura da esquerda).



Figura 9 – Padrões de massa do *Pound troy* e *Pound avoirdupois* – NIST Museum Collection.
Fonte: NIST (2009).

O assunto unidades de medidas, com o advento das ciências físicas, ganhou, a partir dos fins do século 17, conotações mais amplas em consequência dos trabalhos de diversos cientistas como: Galileo, Newton, Hooke, Huyghens, Boyle, Stevin, e muitos outros expoentes da ciência. O número de grandezas a medir passou a se multiplicar rapidamente: velocidade, aceleração, intensidade de força, quantidade de movimento, pressão, temperatura, energia e posteriormente, intensidade luminosa, luminância, capacitância elétrica, indutância, fluxo luminoso, etc., surgiram como novas grandezas físicas, cuja medição exigia a definição prévia de uma unidade para cada uma delas. Com o reconhecimento da importância das medidas físicas no estudo dos fenômenos naturais, ganhou crescente convicção a necessidade da adoção universal de unidades bem definidas, indispensáveis à manutenção de um sistema internacional ou inter-regional de comércio e trocas de informações, particularmente de natureza técnica e científica. Um passo importante nesse sentido foi dado ainda em fins do século XVIII, com a criação do Sistema Métrico Decimal.

A criação do padrão de massa “quilograma” também foi fruto da mesma Comissão Especial coordenada pela Academia de Ciências de Paris, que criou o Sistema Métrico Decimal (ROZENBERG, 2006). Assim, além da unidade de comprimento, foram definidas:

a) como unidade de massa, o “quilograma” – que era equivalente à massa de um decímetro cúbico de água destilada, à temperatura em que sua densidade é máxima (4°C);

b) como unidade de tempo, o “segundo” – equivalente a 1/86400 da duração do “dia solar médio”;

c) como unidade de área, o “are” – equivalente à área de um quadrado, cujo lado tem 10 metros de comprimento, e o “hectare”, um múltiplo do are, igual a 100 ares (igual a 10000 metros quadrados), unidade ainda em uso para medida de áreas de terras para fins agrícolas;

d) como unidade de volume, o “estere” – equivalente ao “volume de um cubo cuja aresta tem 1 metro de comprimento”, para a medida de volumes de lenha e outras, bem como o “litro”, igual ao volume de um cubo cuja aresta tem um

comprimento igual a um décimo de 1 metro de comprimento, para a medida de volumes líquidos.

A comissão especial, depois de definir as unidades, determinou a construção física dos padrões. Para representar o “metro”, como já citado anteriormente, foi construída uma barra de uma liga de platina e irídio. O “quilograma” passou a ser representado por um cilindro de platina, cuja massa deveria ser igual a de 1 decímetro cúbico de água destilada, medido à temperatura de 4 °C (BIPM, 2009b).

O BIPM distribuiu 43 protótipos do quilograma feitos de platina-irídio para diversos países, sob a forma de cilindros circulares com 39 mm de diâmetro e altura com bordas ligeiramente arredondadas. Um desses protótipos foi selecionado como o Quilograma dos Arquivos (Figura 10) ou Protótipo Internacional do Quilograma, e agora é mantido no BIPM por ser considerado o mais exato dos protótipos. O protótipo de nº 20 e de nº 4 foram recebidos pelos Estados Unidos em 1890. Após a determinação de Mendenhall em 1893, o protótipo de nº 20 se tornou o principal padrão nacional para todas as medições de massa. A sua massa em relação ao Protótipo Internacional do quilograma foi relatada como 0,999.999.961 kg. Na atualidade, o NIST é um dos mais conceituados Institutos Nacionais de Metrologia do mundo (NIST, 2009).



Figura 10 – Protótipo do quilograma dos arquivos do BIPM.
Ao lado, ilustra-se em corte uma das cúpulas (em vácuo) que separam o padrão do ambiente.
Fotos pertencentes ao Museu do NIST.
Fonte: NIST (2009).



Figura 11 - Protótipos de massa do quilograma utilizados pelo NIST na sua divisão de produção de tecnologia. Fotos pertencentes ao Museu do NIST.
Fonte: NIST (2009).

O quilograma é a única unidade do SI, que ainda é definido por um artefato. Segundo o BIPM (2009a), houve alteração em algumas micropartes do grama com relação à massa de suas réplicas. Para o diretor do setor de massa do NIST, Richard Davis, existe uma diferença de 50 microgramas. O diretor disse desconhecer como esse fato se deu, uma vez que *"o padrão e suas cópias se guardam nas mesmas condições, foram construídos na mesma época e com os mesmos materiais"*. O padrão data de 1889 e conserva-se em um pavilhão do BIPM, na localidade francesa de Sèvres, sob duas cúpulas de cristal seladas. Trata-se de um objeto de 39 milímetros de diâmetro e igual altura, composto por 90% de platina e 10% de irídio (NIST, 2009).

Devido a esse fato, o *National Institute of Standards and Technology* - NIST e *Physikalisch-Technische Bundesanstalt* - PTB, Institutos Nacionais de Metrologia dos Estados Unidos e da Alemanha, respectivamente, realizam pesquisas no sentido de definir uma constante natural, que não sofra alteração devido à ação do tempo e que dê uma maior exatidão para a realização de um novo "padrão do quilograma". Já existem duas constantes discutidas para o estabelecimento do novo padrão, a Constante de Avogrado (mol) e a Constante de Planck (kg). Os pesquisadores do NIST e PTB envolvidos no projeto esperam que na 24ª CGPM, em 2011, defina-se o novo padrão do quilograma (PTB, 2010).

2.2 Estrutura da Metrologia

2.2.1 Estrutura Mundial da Metrologia

A Convenção do Metro é um tratado diplomático que criou o Bureau Internacional de Pesos e Medidas (BIPM), uma organização intergovernamental, sob a autoridade da Conferência Geral de Pesos e Medidas (CGPM) e a supervisão do Comitê Internacional de Pesos e Medidas (CIPM). As ações do BIPM, em matéria de metrologia mundial, são direcionadas à procura de padrões de medição com exatidão cada vez maior, além de variedade e diversidade, e a necessidade de demonstrar a equivalência entre os padrões de medição nacionais. A Convenção foi assinada em Paris em 1875 por representantes de dezessete países, estabelecendo a fundação do BIPM e a forma como suas atividades devem ser financiadas e geridas. A Convenção do Metro também criou uma estrutura organizacional permanente dos Estados membros para agir em comum acordo sobre todos os assuntos respeitantes às unidades de medida. A Convenção, ligeiramente modificada em 1921, continua a ser uma base de um acordo internacional sobre as unidades de medida. O BIPM tem, atualmente, cinquenta e quatro Estados-Membros, incluindo todos os principais países industrializados (BIPM, 2009b).

A estrutura mundial da Metrologia, Figura 12, iniciada a partir da Convenção do Metro, é constituída, no seu mais alto escalão, pela Conferência Geral de Pesos e Medidas (CGPM) - formada por delegados dos governos dos Estados-membros e observadores dos Associados da CGPM. A Conferência Geral recebe o relatório do Comitê Internacional de Pesos e Medidas (CIPM), em trabalho realizado, que discute e analisa as disposições necessárias para garantir a propagação e melhoria do Sistema Internacional de Unidades (SI), que aprova os resultados das novas determinações metrológicas fundamentais e diversas resoluções científicas de âmbito internacional, e decide todas as questões importantes relativas à organização e ao desenvolvimento do BIPM, incluindo as ações do BIPM para o próximo período de quatro anos. O Comitê Internacional de Pesos e Medidas (CIPM) é composto por 18 membros de países diferentes e atua como autoridade científica internacional. Convoca a CGPM e prepara as resoluções a serem submetidas à Conferência Geral. A CGPM, atualmente, reúne-se em Paris a cada quatro anos. O último

encontro da conferência - 23ª reunião do CGPM - foi realizado em novembro de 2007. A 24ª conferência será realizada em 2011 (BIPM, 2009b).

Em uma reunião realizada em Paris em 14 de outubro de 1999, os diretores dos Institutos Nacionais de Metrologia (INM) de trinta e oito Estados-Membros do BIPM e representantes de duas organizações internacionais assinaram um Acordo de Reconhecimento Mútuo (CIPM MRA), para padrões nacionais de medição e de calibração emitidos por INMs. Desde a assinatura do CIPM MRA, muitos países através de seus INM, têm aderido ao tratado. Esse Acordo de Reconhecimento Mútuo é uma resposta à necessidade crescente de um regime aberto, transparente e abrangente para dar aos usuários informações quantitativas confiáveis sobre a comparabilidade dos serviços nacionais de metrologia e fornecer a base técnica para acordos negociados no comércio internacional (BIPM, 2009c).

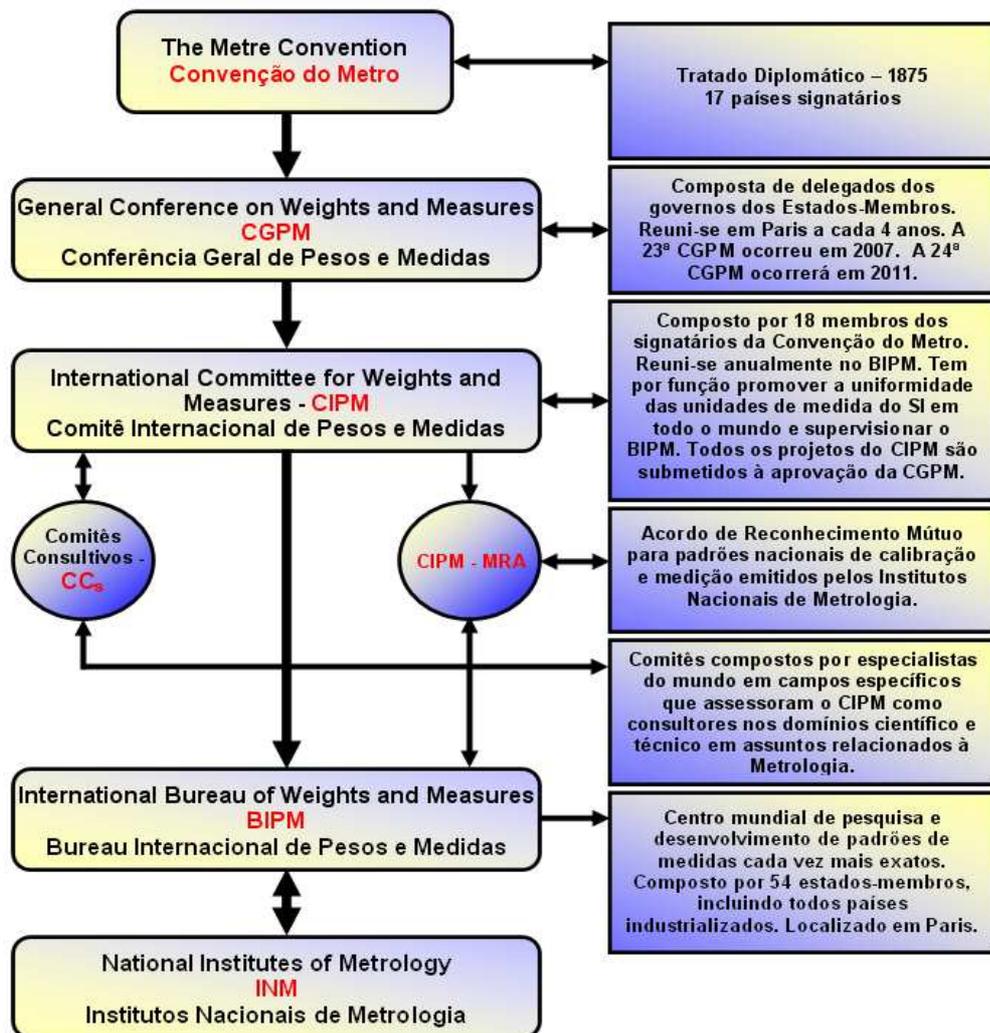


Figura 12 – Estrutura Mundial da Metrologia.
 Fonte: BIPM (2009b).

O Bureau Internacional de Pesos e Medidas (BIPM) é um laboratório internacional mantido com recursos de todos os países membros da Convenção do Metro, e tem como missões principais, a conservação dos protótipos internacionais; a intercomparação de padrões e a definição dos valores das constantes fundamentais da física (CNI, 2009). Nos termos da Convenção do Metro, o BIPM opera sob a supervisão exclusiva do CIPM, que retrata a autoridade da CGPM. O CIPM criou uma série de Comitês Consultivos, reunindo especialistas de todo o mundo em campos específicos, como consultores, nos domínios científico e técnico (BIPM, 2009c).

2.2.2 Estrutura Nacional da Metrologia

Em razão da importância estratégica da Metrologia, tem sido observado, em países desenvolvidos, certo grau de planejamento e coordenação de atividades, por parte do Estado, principalmente em relação aos Institutos Nacionais de Metrologia. No Brasil, o grande esforço estruturador da política industrial, envolvendo a Metrologia, realizou-se nos anos 70, destacando-se medidas de planejamento e coordenação que levaram à promulgação da Lei nº 5.966, de 11/12/1973, com a criação do Sinmetro, que inclui o Conmetro como o colegiado interministerial do mais alto nível, para traçar as políticas e diretrizes nacionais da metrologia, normalização e qualidade industrial no País (INMETRO, 2009a).

O Sinmetro é um sistema constituído por entidades públicas e privadas que exercem atividades relacionadas com a metrologia, normalização, qualidade industrial e avaliação da conformidade. Dentre outras razões, o sistema foi instituído para criar uma infraestrutura de serviços tecnológicos, capaz de avaliar a conformidade de produtos, processos ou serviços. Apoiam esse sistema os organismos de normalização, os laboratórios de metrologia científica e industrial, os organismos acreditados e os institutos estaduais de metrologia legal e qualidade. Essa estrutura (Figura 13) é formada para atender às necessidades da indústria, do comércio, do governo, das entidades reguladoras e do consumidor (INMETRO, 2009a).



Figura 13 – Composição do Sinmetro.
Fonte: Inmetro (2009a).

O Conmetro atua, na prática, no estabelecimento de políticas e diretrizes, por meio de seus comitês técnicos assessores, e são abertos à sociedade pela participação de entidades representativas das áreas acadêmica, industrial, comercial e outras atividades interessadas na questão da metrologia, da normalização e da qualidade no Brasil (INMETRO, 2009a). Na Figura 14, encontra-se a estrutura resumida do Conmetro.

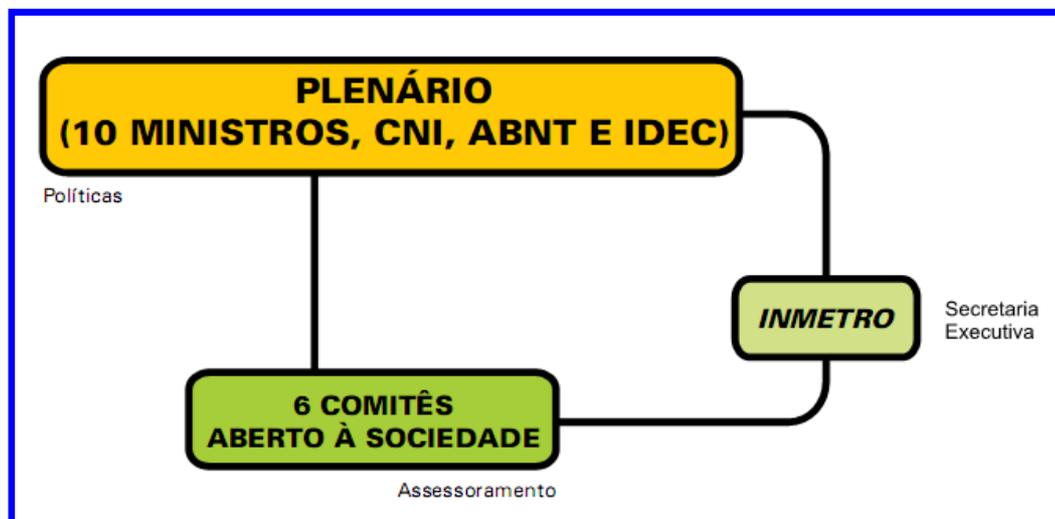


Figura 14 – Composição do Conmetro.
Fonte: Inmetro (2009a).

Com a função de ser o braço executor do Sinmetro, foi criado o Inmetro, como órgão executivo das referidas políticas e diretrizes. O Inmetro estruturou-se e desenvolveu-se segundo várias funções. O Inmetro atua com as seguintes atribuições:

- Organismo Acreditador: o Inmetro é o único organismo acreditador reconhecido no Sinmetro e internacionalmente acreditado como tal. O Brasil segue o exemplo dos sistemas mais modernos, em que somente um organismo acreditador por país ou economia é reconhecido e há uma clara separação entre as atividades de certificação e de acreditação;
- Secretaria Executiva do Conmetro e dos seus comitês técnicos assessores;
- Supervisão dos Organismos de Fiscalização: o Inmetro delega as atividades de fiscalização nos campos da metrologia legal e dos produtos com conformidade avaliada compulsoriamente pelas entidades da Rede Brasileira de Metrologia Legal e Qualidade – Inmetro (RBMLQ-I), que são os Institutos de Pesos e Medidas (Ipem), presentes em todos os estados brasileiros.

Além dessas principais atividades, formalmente designadas pelo Conmetro, o Inmetro exerce, no campo da avaliação da conformidade, as seguintes atividades:

a) Coordenar, junto ao Comitê Brasileiro de Avaliação da Conformidade (CBAC), o estabelecimento do Programa Brasileiro de Avaliação da Conformidade (PBAC), que confere uma abordagem estratégica a atividade de avaliação da conformidade, com ênfase na identificação e priorização das demandas por programas de Avaliação da Conformidade de produtos, processos ou serviços;

b) Desenvolver e implementar os Programas de Avaliação da Conformidade, devidamente identificados e priorizados, ouvindo os diferentes segmentos da sociedade brasileira;

c) Estabelecer regulamentos para produtos, processos ou serviços, em caráter supletivo, ou seja, para os setores onde não haja uma autoridade regulamentadora legalmente habilitada;

d) Estabelecer Programas de Verificação da Conformidade;

e) Desenvolver a atividade de orientação e incentivo à qualidade, objetivando sensibilizar e/ou capacitar os diferentes segmentos da sociedade em relação à atividade de Avaliação da Conformidade;

f) Coordenar a fiscalização no mercado dos produtos regulamentados e com conformidade avaliada compulsoriamente.

A Figura 15 apresenta uma estrutura simplificada dos organismos metroológicos do Brasil.

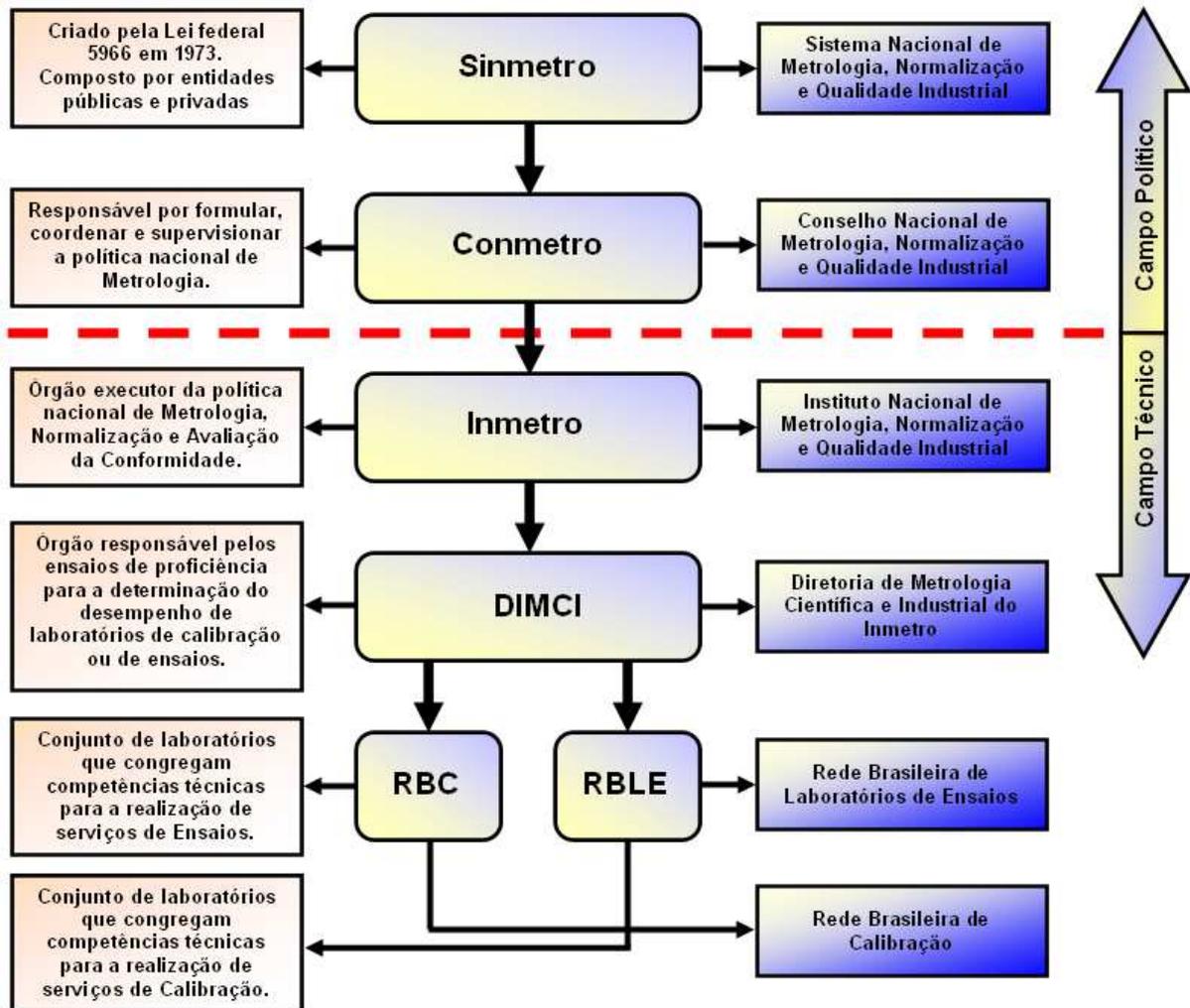


Figura 15 – Estrutura Metroológica Brasileira.
Fonte: Inmetro (2009a).

2.2.3 Acordos de Reconhecimento Mútuo

Uma questão fortemente presente na pauta da metrologia e da avaliação da conformidade é a implementação de acordos de reconhecimento mútuo na acreditação de laboratórios, tendo inclusive reflexos nos fóruns que tratam das relações comerciais internacionais. No entanto, apesar da importância dessa discussão, existe ainda, pouca clareza sobre o que são esses acordos.

É necessário esclarecer o uso do termo “acordo” no contexto do reconhecimento mútuo na acreditação de laboratórios. A expressão “*Mutual Recognition Agreement – MRA*”, segundo Donaldson (2002), há alguns anos é utilizada somente para designar acordos entre governos, no nível dos órgãos reguladores, com respeito a procedimentos e resultados de avaliação da conformidade, enquanto a expressão “*Mutual Recognition Arrangement*”- MRA é utilizada para designar acordos firmados entre os organismos de avaliação da conformidade e organismos de acreditação, sejam governamentais ou não. Esse tipo de acordo estabelece compromissos para seus signatários em termos de reconhecimento e aceitação, e promoção da aceitação em seus países, dos resultados de calibração e ensaios produzidos pelos laboratórios acreditados pelos signatários, entretanto, não impõe obrigações aos Governos de seus países em termos de aceitação desses resultados pelos órgãos reguladores governamentais. Essa diferenciação de terminologia pode ser observada já no corpo do acordo sobre Barreiras Técnicas ao Comércio da Organização Mundial do comércio (OMC, 2009), sendo melhor esclarecida na Segunda Revisão Trienal do Acordo sobre Barreiras Técnicas ao Comércio e, mais recentemente, com a publicação do ISO/IEC *Guide 68* (ISO, 2002).

Com a globalização dos mercados, torna-se imprescindível que a estrutura de avaliação da conformidade de cada país alcance reconhecimento junto aos fóruns internacionais competentes. Sem a “ferramenta” em questão, as empresas que desejam se voltar para o mercado externo vão encontrar dificuldades, pois se defrontarão com diferentes exigências em diferentes mercados (INMETRO, 2009c).

Para os exportadores dos países em desenvolvimento, onde muitas vezes esses reconhecimentos não são conseguidos, essas exigências constituem uma forma de barreira técnica. Os exportadores têm elevados custos extras, associados a múltiplos ensaios e a múltiplas certificações, que reduzem suas margens de competitividade. Os Acordos de Reconhecimento Mútuos (MRA) dos procedimentos de avaliação da conformidade existem com o objetivo de evitar esses custos adicionais, fazendo-se valer a máxima há muito almejada: “*testado uma vez, aceito em qualquer lugar*” (BIPM, 2009c).

Contudo, a obtenção desses reconhecimentos é muito difícil para os países em desenvolvimento. Para alcançá-los, é essencial a promoção de programas de

cooperação técnica que viabilizem a transferência de tecnologia e a experiência dos países desenvolvidos. Somente através desses programas de cooperação técnica torna-se possível dotar a infraestrutura de acreditação dos países em desenvolvimento, como o Brasil, do necessário nível de confiança de seus processos que lhes permitam buscar esses reconhecimentos internacionais (INMETRO, 2009c).

Com o objetivo de facilitar as exportações brasileiras, o Inmetro tem perseguido, continuamente, o reconhecimento das suas creditações em vários fóruns internacionais (cf. Anexo A).

2.3 Sistema Internacional de Unidades – SI

O desenvolvimento e a consolidação da cultura metrológica vêm-se constituindo em uma estratégia permanente das organizações, uma vez que resultam em ganhos de produtividade, qualidade dos produtos e serviços, redução de custos e eliminação de desperdícios. A construção de um senso de cultura metrológica não é tarefa simples, requer ações de longo prazo e depende não apenas de treinamentos especializados, mas de uma ampla difusão dos valores da qualidade em toda a sociedade (INMETRO, 2007a).

Com o contínuo desenvolvimento tecnológico mundial, exigiu-se a concepção de um sistema de medidas universal, visando a redução de barreiras técnicas e comerciais entre as nações. O Sistema Internacional de Unidade – SI, nasceu com a missão de ser em todo o mundo, o idioma da ciência e da tecnologia, desde a sua adoção em 1948, através de uma Resolução da 9ª *Conférence Générale des Poids et Mesures* – CGPM (INMETRO, 2007b)

De acordo com o BIPM (2009a), o SI é um sistema vivo que evolui, e reflete as atuais melhores práticas de medição. Tal como antes, esse sistema lista todas as definições das unidades de base, unidades derivadas e especiais, além de todas as resoluções e recomendações da CGPM e o *Comité International des Poids et Mesures* – CIPM relativas ao Sistema Internacional de Unidades.

De acordo com o NIST (2008), no documento “*Guide for the Use of the International System of Units*”, o Sistema Internacional de Unidades - SI, é um

moderno sistema métrico de medida. No domínio dos sistemas de medição utilizados pela ciência, o SI está se tornando o principal deles, utilizado no mercado internacional de comércio.

O BIPM foi criado pelo artigo 1º da Convenção do Metro, no dia 20 de maio de 1875, com a responsabilidade de estabelecer os fundamentos de um sistema de medições, único e coerente, com abrangência mundial. Esse sistema, em constante evolução, atualmente tem sete unidades de base (Figura 16). Em 1960, a 11ª CGPM decidiu que ele deveria ser chamado de Sistema Internacional de Unidades, SI (*Système international d'unités, SI*) (BIPM, 2009b).

O SI não é estático, sofre mudanças constantes para acompanhar as crescentes exigências mundiais demandadas pelas medições, em todos os níveis de precisão, em todos os campos da ciência, da tecnologia e das atividades humanas.



Figura 16 – As sete unidades de base do SI.
Fonte: BIPM (2009b).

As sete unidades de base do SI fornecem as referências que permitem definir todas as suas unidades de medida. Com o progresso da ciência e com o aprimoramento dos métodos de medição, torna-se necessário revisar e aprimorar constantemente as suas definições. Quanto mais exatas forem as medições, maior deve ser o cuidado para a realização das unidades de medida. As sete unidades de base do SI permitem formar as unidades derivadas do SI (BIPM, 2009a).

De acordo com a publicação especial do NIST “*Guide for the use of the International System of Units*” (2008), ainda são mencionadas no SI, além das unidades de base e das unidades derivadas, outras unidades derivadas possuidoras de nomes especiais e símbolos particulares. Uma síntese dessas unidades é

apresentada na Figura 17, e de acordo com o NIST (2008), as unidades de base se interligam através de linhas tracejadas ou linhas cheias para formar na coluna do meio, as unidades derivadas com nomes especiais, ou na coluna à direita, para formar as unidades com nomes e símbolos especiais. As interligações por linhas tracejadas significam que a unidade interligada é o denominador, enquanto as interligações por linhas cheias significam que a unidade é o numerador, na formação da nova unidade. Como exemplo, pode-se citar a formação do símbolo da unidade de aceleração - m/s^2 . Na formação dessa unidade, interligam-se o símbolo da unidade de comprimento (m) – linha cheia – numerador ou multiplicação, e o símbolo da unidade de tempo (s) – linha tracejada – denominador ou divisão. Esse quadro apresenta apenas alguns exemplos utilizados para a formação de unidades com nomes e símbolos especiais, existindo, muitas outras unidades e símbolos, que fazem parte desse grupo, aplicados para se mensurar as mais diversas grandezas.

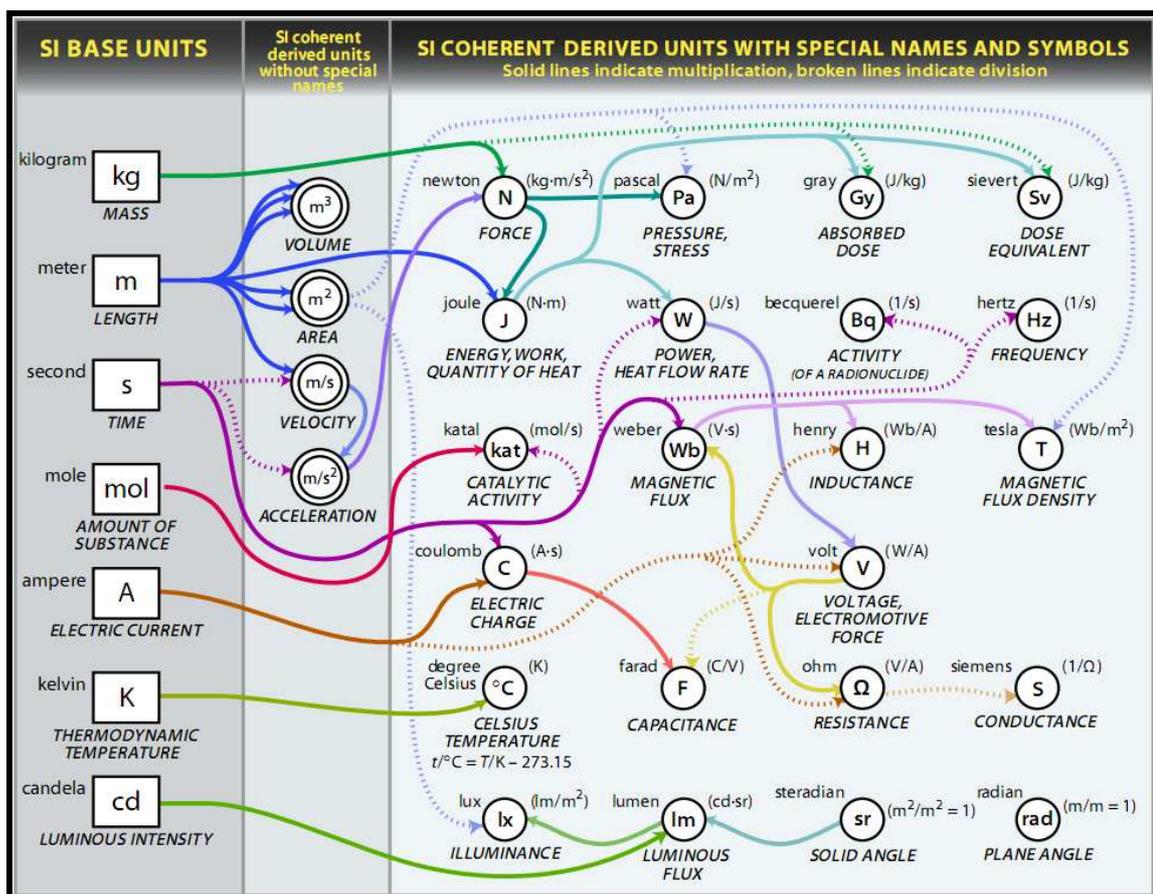


Figura 17 – Formação de unidades com símbolos e nomes especiais.
 Fonte: NIST (2008).

No Anexo B são encontradas as definições de todas as unidades de base do SI, além de algumas tabelas de unidades derivadas e outras unidades ainda em uso no atual Sistema Internacional de Unidades.

2.3.1 Múltiplos e Submúltiplos das Unidades do SI

a) Prefixos SI

A 11ª CGPM (1960) adotou uma série de prefixos e símbolos de prefixos para formar os nomes e símbolos dos múltiplos e submúltiplos decimais das unidades SI de 10^{12} a 10^{-12} . Os prefixos para 10^{-15} e 10^{-18} foram adicionados pela 12ª CGPM (1964), 10^{15} e 10^{18} pela 15ª CGPM (1975) e 10^{21} , 10^{24} , 10^{-21} , 10^{-24} pela 19ª CGPM (1991). Os prefixos e símbolos de prefixos adotados constam do Quadro 1 (INMETRO, 2007b).

Quadro 1 - Prefixos SI.
Fonte: Inmetro (2007b)

FATOR	PREFIXO	SÍMBOLO	FATOR	PREFIXO	SÍMBOLO
10^{24}	yotta	Y	10^{-24}	deci	d
10^{21}	zetta	Z	10^{-21}	centi	c
10^{18}	exa	E	10^{-18}	mili	m
10^{15}	peta	P	10^{-15}	micro	μ
10^{12}	tera	T	10^{-12}	nano	n
10^9	giga	G	10^{-9}	pico	p
10^6	mega	M	10^{-6}	femto	f
10^3	quilo	k	10^{-3}	atto	a
10^2	hecto	h	10^{-2}	zepto	z
10^1	deca	da	10^{-1}	yocto	Y

2.4 Vertentes da Metrologia

A Metrologia divide-se em três vertentes: a Científica, a Industrial e a Legal (Figura 18).

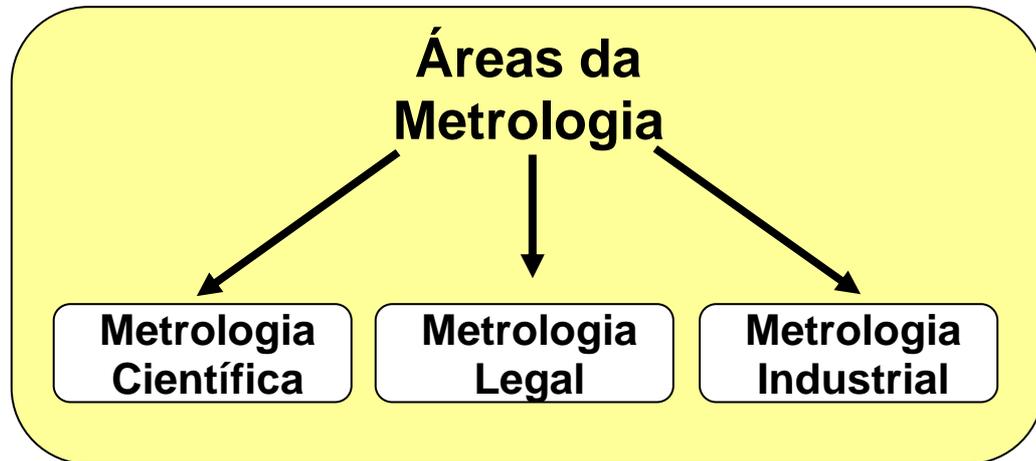


Figura 18 – Áreas de atuação da Metrologia.
Fonte: O autor.

2.4.1 Metrologia Científica

A Metrologia Científica trata dos padrões de medição nacionais e internacionais relacionados ao mais alto nível de qualidade metrológica, além de relacionar-se com a pesquisa científica, constituindo-se através dos Institutos Nacionais de Metrologia (INM), em *locus* do conhecimento metrológico e de credibilidade, baseados na excelência em ciência e tecnologia (CNI, 2009).

É reconhecida, também como Metrologia Primária. Nos países industrializados, observa-se um alto grau de centralização da metrologia primária em uma única, ou em poucas instituições, com alta competência científica e grande inserção no cenário internacional. Essa característica tem sido considerada como uma condição fundamental para a maior eficiência e melhor gestão da Metrologia do País, além de constituir um requisito básico para a proteção dos seus interesses e das suas empresas nacionais. Dispor de competências e condições para promover, permanente e intensamente, pesquisa científica e tecnológica de ponta tornou-se um requisito essencial para qualquer Instituto Nacional de Metrologia posicionar-se na

fronteira do conhecimento, com credibilidade e respeitabilidade nacional e internacional (CONMETRO, 2008).

Nessa linha se coloca, por exemplo, o PTB da Alemanha, quando diz em seus documentos oficiais que *“executa pesquisa fundamental e atividades de desenvolvimento no campo da Metrologia como uma base para todas as tarefas que lhe foram confiadas relacionadas com a determinação de constantes fundamentais, realização, manutenção e disseminação das unidades do SI. Somente a própria pesquisa fundamental, usando as tecnologias mais recentes, será capaz de assegurar e expandir, a longo prazo, a nossa competência metrológica mundialmente reconhecida”* (CONMETRO, 2008, p.14).

Posição similar é assumida pela Academia de Ciências da França, que declara: *“Um laboratório de metrologia primária é, antes de tudo, um laboratório de pesquisa. De fato, se a metrologia procede essencialmente da física (ainda que a astronomia e a química tenham de ser consideradas), os objetivos da pesquisa são dirigidos muito especialmente para a melhoria da precisão e exatidão das medidas. Segue-se que a pesquisa fundamental e aplicada na física constitui a base do progresso da metrologia. O engenheiro e o pesquisador em metrologia estão, pois, na obrigação de acompanhar, no mais alto nível, os progressos da ciência e da tecnologia, a fim de que possam aplicá-los aos progressos específicos da ciência da medição que é a metrologia”* (CONMETRO, 2008, p.14).

A Metrologia Científica fundamenta suas ações na busca incessante por constantes fundamentais que materializem unidades de base cada vez mais exatas e invariáveis. Essas ações, por sua vez, realimentarão o contínuo desenvolvimento tecnológico e a cultura da inovação nos países e, com isso todos serão beneficiados com produtos e serviços com maior qualidade.

A estrutura internacional da Metrologia Científica tem sua coordenação exercida pelo sistema CGPM/CIPM/BIPM, e cada país signatário da Convenção do Metro está representado por intermédio de seu INM (BIPM, 2009b).

2.4.2 Metrologia Legal

A Metrologia Legal é a área da Metrologia relacionada às atividades resultantes de exigências obrigatórias, referentes às medições, unidades de medida, instrumentos de medição e métodos de medição, e são desenvolvidas por organismos competentes. Provê os meios para transações justas e corretas, e a proteção aos consumidores nacionais e internacionais, garantindo a estabilidade e a competitividade nacional (INMETRO, 2009b).

De acordo com o documento “Diretrizes Estratégicas para a Metrologia Brasileira 2008 – 2012” do Conmetro (2008), e, seguindo as recomendações da *International Organization of Legal Metrology – OIML* (2009), a Metrologia Legal é uma função exclusiva do Estado. Consiste de um conjunto de procedimentos técnicos, jurídicos e administrativos, estabelecidos por meio de dispositivos legais, pelas autoridades públicas, visando garantir a qualidade das medições realizadas nas operações comerciais e nos controles públicos relativos à saúde, ao meio ambiente, à segurança, à proteção ao consumidor, entre outros.

Apoia-se na Metrologia Científica para obter referências apropriadas e rastreabilidade aos padrões. Outro aspecto importante da Metrologia Legal está relacionado ao comércio, com transações de produtos e serviços incluindo, muitas vezes, a pesagem ou medição de quantidades e/ou qualidade do produto, tais como os produtos pré-medidos. Nesse quesito a ação da Metrologia Legal é fundamental. A importância, tanto para a sociedade quanto para o desenvolvimento da economia, dá um poder de polícia administrativa para a Metrologia Legal, cujas leis buscam a proteção de consumidores, empresas, educação, saúde e segurança para o cidadão (INMETRO 2009b). A Metrologia Legal foca sua atenção em quatro direções básicas:

- desenvolver regulamentos técnicos metrológicos;
- controlar e/ou avaliar a conformidade do instrumento regulamentado e as atividades regulamentadas;
- supervisionar os produtos e as atividades regulamentadas; e
- prover a infraestrutura necessária para a rastreabilidade das medidas e instrumentos de medição.

A regulamentação das medições deve ser feita visando a proteção de interesses dos indivíduos e empresas, proteção do interesse nacional, proteção da saúde e segurança públicas e a reunião de requisitos para comércio internacional.

De acordo com o Inmetro (2009a), a garantia metrológica é o conjunto de regulamentos, meios técnicos e operações necessárias para garantir a credibilidade dos resultados das medições em Metrologia Legal. Tais medições resultantes das atividades ligadas à Metrologia Legal requerem metodologias técnicas que sejam legalmente aplicáveis. Conforme define Reché (2004), o controle metrológico legal é entendido como o conjunto de atividades de Metrologia Legal, visando a garantia metrológica e compreende:

- controle legal dos instrumentos de medição;
- a supervisão metrológica;
- a perícia metrológica.

De acordo com Reché (2004), o controle metrológico intervém em todo o processo pelo qual um instrumento de medição passa, desde sua concepção ou decisão de criação até a fase antes de seu descarte, podendo ser reparado ou modificado. Tanto fabricantes quanto usuários devem considerar a regulamentação metrológica pertinente ao instrumento de medição sob controle. O controle metrológico intervém em alguns pontos no processo de fabricação e utilização desse instrumento. Tal intervenção estratégica é fixada em legislação técnica, identificada como:

- exigências legais para construção de instrumento;
- aprovação de modelo;
- verificação inicial;
- verificação subsequente;
- exigências para instalação;
- exigências ambientais;
- exigências para o operador
- exigências no reparo do instrumento

O regulamento técnico metrológico é expedido pelo governo federal. Os regulamentos estabelecem as unidades de medida autorizadas, as exigências técnicas e metrológicas, as exigências de marcação, de utilização e o controle metrológico, que devem satisfazer os fabricantes, importadores e detentores dos

instrumentos de medição a que se referem. Sua elaboração baseia-se, geralmente, em recomendações da OIML e conta com a colaboração dos fabricantes dos instrumentos de medição envolvidos, representados por suas entidades de classe e entidades representativas dos consumidores através da participação nos Grupos de Trabalho (GT) para o desenvolvimento de projetos de regulamentações metrológicas. Esses grupos buscam tornar o processo de elaboração de regulamentos técnicos metrológicos mais participativos, representativos e transparentes, propor medidas relacionadas ao planejamento e implementação da regulamentação metrológica. Os regulamentos técnicos metrológicos desenvolvidos visam estabelecer a confiança nos resultados das medições. As atividades realizadas com base nesses regulamentos apoiam as pesquisas e desenvolvimento voltados à Metrologia Legal bem como protegem indivíduos e empresas de possíveis abusos relacionados à medição (INMETRO 2009b).

2.4.3 Metrologia Industrial

As referências metrológicas de alta exatidão desenvolvidas pelos INM, através da pesquisa científica, alcançam os setores produtivos e de serviços, proporcionando às organizações progresso tecnológico com base no conhecimento e na infraestrutura técnica de que dispõem. De acordo com o documento “Diretrizes Estratégicas para a Metrologia Brasileira 2008 – 2012”, do Conmetro (2008), algumas ações de Institutos Nacionais de Metrologia, como o PTB e o NIST, servem de referência para as ações metrológicas brasileiras.

Na Alemanha, o PTB não apenas promove serviços e transferência de alta tecnologia à indústria, sob diferentes formas (consultoria, co-participação em projetos, publicações), como também participa de três “centros de competência”, sendo um em nanotecnologia, e dispõe, de uma divisão voltada essencialmente para atender às necessidades de engenharia de precisão das empresas (CONMETRO, 2008).

O NIST, nos Estados Unidos, vai além, oferecendo subsídios para os negócios americanos e instituições de grau mais elevado de educação, tais como laboratórios nacionais e institutos de pesquisas sem fins lucrativos para suportar,

promover e acelerar a inovação no País por meio da pesquisa de alto risco e alta recompensa, nas áreas críticas das necessidades nacionais (CONMETRO, 2008).

No Brasil, o Inmetro, órgão executivo da política metrológica do País, tem a responsabilidade de manter as unidades fundamentais de medida no Brasil, garantir a rastreabilidade aos padrões internacionais e disseminá-las, com seus múltiplos e submúltiplos, até as indústrias. Essa disseminação se dá através da RBC, prestadora de serviços de calibração, formada por um número próximo de 500 laboratórios de acreditados pelo Inmetro, espalhados por todo o território nacional (CONMETRO, 2008).

Justifica-se a atuação da Metrologia Industrial na avaliação da conformidade de produtos e serviços, e responsabilidade por medições em todas as fases da cadeia de produção. Para que a produção de produtos se realize com qualidade, com alto índice de produtividade e baixo índice de rejeitos, requer-se a utilização de instrumentos com confiabilidade metrológica. A confiabilidade nas medições, por sua vez, só é conseguida através de instrumentos e sistemas de medição calibrados por padrões da mais alta classe de medição com pequenas incertezas de medição.

A RBC apoia o Inmetro nos serviços de calibração, dando suporte aos sistemas produtivos das empresas no Brasil. A organização que se utiliza desse serviço alimenta sua competitividade no processo de produção, além de produzir produtos com qualidade atestada internacionalmente, pois a medição dos produtos tem rastreabilidade aos padrões primários do SI devido à participação do Inmetro no MRA, com o objetivo de realizar comparações chaves entre os INM (comparações entre INMs na reprodução de medições de constantes fundamentais e de padrões com a mais alta classe de exatidão) de todo o mundo (CONMETRO, 2008).

Hoje, padrões de grande exatidão podem ser adquiridos facilmente. Nos EUA, por exemplo, existem dezenas de empresas que dispõem de padrões quânticos. Muitas organizações também possuem laser helio-Neon estabilizado para medição de comprimento. Nesses casos, a empresa é capaz de reproduzir a unidade padrão do SI. Esse fato reflete no seu sistema produtivo, tornando-a apta a produzir tecnologia e inovação.

2.5 Como a Metrologia Chega ao Processo

De acordo com o Inmetro (2007a), a Metrologia é a ciência da medição que abrange todos os aspectos teóricos e práticos relativos às medições, qualquer que seja a incerteza, em quaisquer campos da ciência ou tecnologia.

A Metrologia está presente em todas as fases do processo de produção, da matéria-prima até o produto acabado (Figura 19). As medições são necessárias para o controle dos limites de especificação de produtos e para possibilitar a fabricação eficiente de características de produtos com custos aceitáveis para o consumo da sociedade, convertendo-se em fator competitivo para que a empresa produtora do bem possa competir no mercado com outras organizações concorrentes em igualdade de condições (ALBERTAZZI & SOUSA, 2008).

A interação da Metrologia com o processo de produção se concretiza através da utilização de instrumentos e sistemas de medição no Controle da Qualidade das características de produtos. Essa interação influencia diretamente na qualidade e produtividade dos sistemas produtivos, podendo afetar os resultados da produção de duas maneiras: com baixos ou com altos índices de qualidade e produtividade. Conhecer a procedência do sistema ou instrumento de medição é de vital importância para a confiabilidade das medições. E confiança nas medições só pode ser conseguida quando os instrumentos e sistemas de medição estão calibrados.

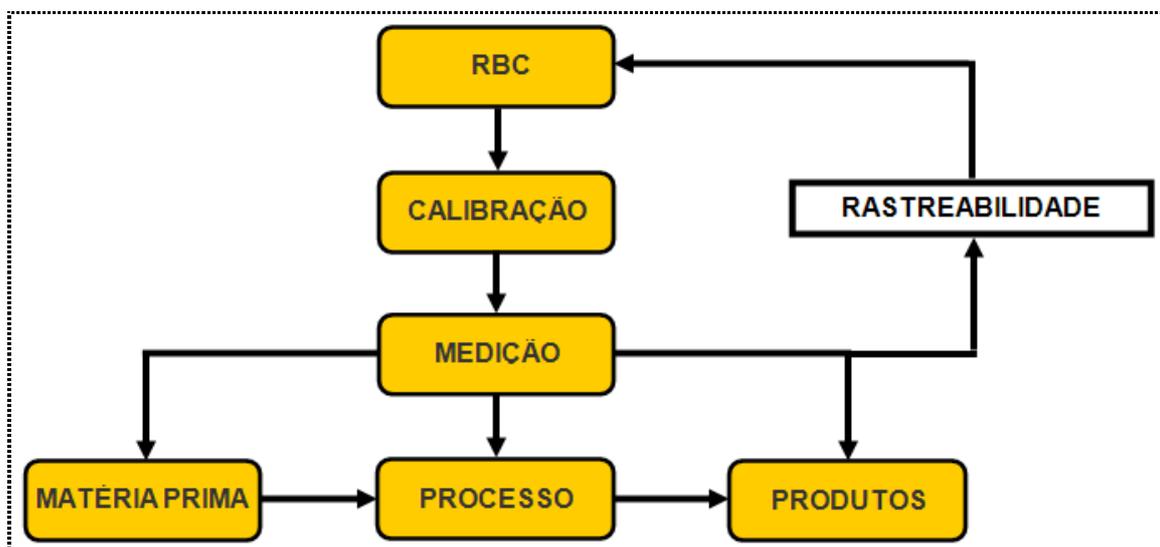


Figura 19 – Interação da Metrologia com o processo produtivo.
Fonte: O autor.

O Inmetro (2007a) aponta que quando calibrados, os sistemas de controles metrológicos acrescentam benefícios aos sistemas produtivos, reduzem os custos com trabalho e retrabalho e influenciam diretamente na qualidade dos produtos e serviços, além de agregar credibilidade para as empresas que os adotam. Nesses sistemas, especificamente, a aplicação da calibração e a avaliação da incerteza conferem qualidade metrológica a instrumentos e padrões do processo de produção. A calibração, definida pelo VIM, como o *”Conjunto de operações que estabelece, sob condições especificadas, a relação entre os valores indicados por um instrumento de medição ou sistema de medição ou valores representados por uma medida materializada ou um material de referência, e os valores correspondentes das grandezas estabelecidos por padrões”* (INMETRO, 2007a, p.55), quando aplicada de modo otimizado, oferece retorno financeiro, com geração de lucros, maior confiabilidade, credibilidade e conseqüente competitividade das empresas. Para Albertazzi & Sousa (2008), a manutenção da confiabilidade metrológica de sistemas de medição é a principal motivação para a realização de calibrações. Há benefícios por toda parte: para o cidadão que consome o produto, para aquele que produz e controla e, principalmente, para a economia de forma ampla.

Como exemplo, para uma maior percepção da importância da calibração e seu impacto econômico, basta imaginar uma montadora de veículos ou aviões recebendo peças, que se encaixam umas nas outras fora de padrão, fornecidas por empresas terceirizadas. Os prejuízos devido a retrabalho, atrasos de entrega, multas, desperdício de material, seriam enormes para ambos os lados.

No caso da medição de vazão na transferência de custódia e nos controles de processos industriais, a transferência do produto (que pode ser um combustível, fluido lubrificante, produto de limpeza, água, etc), é equivalente a um volume de dinheiro transferido de uma empresa a outra. Quanto mais exata é a medição, menor é a margem de injustiça cometida com um dos lados, pois se a leitura do medidor de vazão mostrar um valor maior do que o verdadeiro, comete-se uma injustiça contra quem está comprando, na mesma proporção do seu erro. Num sistema de abastecimento de combustível, isso pode representar milhares de reais diariamente. Já no caso da utilização do medidor de vazão para aplicação em controle de processos industriais, o erro de calibração vai impactar a qualidade do produto final, pois, quanto maior o erro num processo de batelada, por exemplo,

menor será a repetitividade do produto final e, por consequência, haverá desvios na especificação do produto fabricado. Isso pode causar refugo, retrabalho ou mesmo má qualidade no produto final. Nota-se, através de exemplos simples, que a falta da calibração pode significar prejuízos imensuráveis em produtos, processos, serviços e para a imagem da empresa. Sem calibração e devido à medição sem qualidade, o prejuízo pode ocorrer tanto por parte do fornecedor quanto por parte do comprador do produto (PRADO FILHO, 2009).

A calibração, por sua vez, deve estar atrelada a padrões de referência com rastreabilidade. A rastreabilidade é responsável pela garantia de que a grandeza em processo de medição, ou controle, foi medida por um instrumento ou sistema de medição calibrado por um padrão que tem rastreabilidade ao padrão primário do SI de sua categoria, isto é, o quanto a medição está em acordo com um valor de referência conhecido, ou a qual distância de um valor verdadeiro se está reproduzindo essa medida. Tem-se, então, a importância da incerteza dos resultados em todos os níveis de comparação, desde a comparação inicial com o padrão primário, até o instrumento reproduzindo essa medida diretamente no produto. Segundo o *Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement*, a incerteza da medição é um “*parâmetro, associado ao resultado de uma medição, que caracteriza a dispersão dos valores que podem ser fundamentadamente atribuídos a um mensurando*” (BIPM, 2008, p.5). A seguir, na Figura 20, para se ilustrar a rastreabilidade, é demonstrada a hierarquia dos padrões metrológicos, segundo a Confederação Nacional das Indústrias (CNI, 2009).



Figura 20 – Hierarquia da Rastreabilidade.
Fonte: Adaptado da CNI (2009).

A Metrologia é a base física da Qualidade e fundamental para a competitividade das indústrias e desenvolvimento tecnológico do País, não sendo obra do acaso que faz com que os países mais desenvolvidos do mundo invistam cerca de 4% a 6% do PIB em operações metrológicas, e sim, a visão da importância que essa ciência representa para seu desenvolvimento sustentável (CONMETRO, 2008).

2.5.1 Controle da Qualidade

Uma das operações fortemente relacionadas à Metrologia Industrial é o controle da qualidade. Cada produto deve atender plenamente as especificações técnicas definidas no projeto, de forma que possa cumprir com qualidade as funções para as quais foi concebido. Segundo Albertazzi & Sousa (2008, p.279), “o controle da qualidade envolve um conjunto de operações de medição com função de assegurar que os produtos fabricados por uma empresa atendam plenamente as

especificações técnicas para serem introduzidos no mercado, sendo um requisito fundamental para a sobrevivência de qualquer empresa”. Entretanto, quando o controle da qualidade realiza uma medição, sabe-se que essa é apenas uma estimativa aproximada do valor verdadeiro do mensurando. A apresentação do resultado não será completa e, conseqüentemente, a confiabilidade da medição não será satisfatória, se não vier acompanhado de indicações acerca dos valores que razoavelmente podem ser atribuídos ao mensurando, ou seja, a incerteza associada ao resultado da medição. De acordo BIPM (2008), a incerteza associada ao resultado acresce uma idéia qualitativa à medição, pois não se consegue determinar o valor verdadeiro de um mensurando devido à inexistência de condições perfeitas de medição. Link (2007) declara que as imperfeições em instrumentos e sistemas de medições, fatores ligados ao meio ambiente (ruídos, temperatura, vibrações, pressão, umidade, etc) e erros ocasionados pelo próprio operador do instrumento ou método utilizado para obtenção da medida afetam o valor das medições e influenciam na incerteza do resultado da medição, impactando sua confiabilidade.

Diante da influência desses elementos, fica uma pergunta: se não existem processos de medição perfeitos, como é possível assegurar que certo produto atenda às especificações?

Quando os produtos são fabricados, as imperfeições estão sempre presentes. Deve-se tomar o cuidado para manter as imperfeições dentro de limites toleráveis, que não comprometam a funcionalidade do produto acabado. Tolerâncias estabelecidas por projetistas são limites que as previsíveis imperfeições não devem ultrapassar. Os projetistas definem as maiores tolerâncias possíveis, preservando a qualidade com que o produto realiza a sua função e barateiam a produção, ou seja, buscam um equilíbrio técnico-econômico (ALBERTAZZI & SOUSA, 2008).

Segundo Albertazzi & Sousa (2008), ao controlar uma característica de um produto ou monitorar uma variável de um processo, deve-se escolher corretamente o meio de medição, considerando como fatores primordiais a resolução, a incerteza da medição e a capacidade de medição do instrumento ou processo de medição. Segundo as recomendações do AIAG (2004), no manual de *Measurement System Analysis - MSA*, na escolha do meio de medição, a resolução do instrumento ou processo de medição deve ser de um décimo do campo de tolerância. Essa determinação não segue qualquer regulamento ou norma, mas sim uma

recomendação de segurança, devido à própria incerteza da medição que qualquer instrumento carrega. Da mesma forma, deve-se também observar o histórico das calibrações do meio de medição, assim como o padrão utilizado na sua última calibração. Para Albertazzi & Sousa (2008), do ponto de vista técnico, quanto menor a incerteza do padrão de calibração, melhor será o resultado encontrado. Porém, quanto menor a incerteza do padrão, maior será o seu custo. Tenta-se, então, buscar um equilíbrio técnico econômico para a situação. O ponto ideal dessa equação é próximo da condição em que o padrão tenha uma incerteza de um décimo da incerteza do meio a calibrar. Esse ponto ideal pode ser alterado, dependendo de qual sistema de medição que será calibrado. Aceita-se que, numa calibração, a incerteza do padrão seja de no mínimo um terço do meio a calibrar.

2.5.2 Erros de Medição

Os erros de indicação em sistemas de medir são inevitáveis e suas causas podem ser atribuídas a dois fatores: o primeiro, são aqueles gerados por fatores externos ligados ao meio ambiente (temperatura, pressão, umidade, ruídos, poeira, flutuação de tensão de alimentação, etc.), e pela má definição do mensurando (erros geométricos, deformação devido ao próprio peso, etc.). O segundo, são aqueles gerados pelo instrumento de medição (erro de zero, erro de ganho, erro de histerese, erro de paralaxe, entre outros) (LINK, 2007).

Idealmente, a indicação apresentada por um sistema de medição deve corresponder ao valor verdadeiro do mensurando. Porém, por melhor que seja o sistema de medição, por mais treinado que seja o operador do sistema de medição e por mais controladas que sejam as condições ambientais, ainda assim, em maior ou menor grau, o erro de medição estará presente. Segundo Albertazzi & Souza (2008, p.39), *"indesejável, mas inevitável, o erro de medição não pode ser ignorado. Negar a sua existência seria outro erro. Desde que sejam entendidas as causas e a natureza do erro de medição, é possível conviver com ele e ainda obter informações confiáveis de um processo de medição"*.

Existem vários tipos de erros, mas o trabalho focou no esclarecimento dos erros sistemáticos e os erros aleatórios, por afetarem a exatidão e a repetitividade (precisão), elementos que devem ser bem caracterizados para a correta estimativa

do cálculo da incerteza da medição. As respectivas definições para esses termos, extraídas do VIM, estão a seguir (INMETRO, 2007a, p.28).

Exatidão – “Grau de concordância entre o resultado de uma medição e um valor verdadeiro do mensurando”

Repetitividade – “Grau de concordância entre os resultados de medições sucessivas de um mesmo mensurando efetuadas sob as mesmas condições de medição”.

Mesmas condições de medição (condições de repetitividade) incluem:

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

Para se entender os erros sistemáticos e os erros aleatórios, bem como relacioná-los aos termos exatidão e repetitividade, faz-se uma analogia utilizando alvos num teste de tiros.

Para um perfeito entendimento dos dois termos, usam-se quatro alvos e quatro revólveres diferentes. O leitor deve relacionar o revólver a um instrumento de medida e os alvos a uma medição que se deseja efetuar encontrando-se o seu valor verdadeiro (o centro do alvo), para diferenciar os dois termos. A distância do atirador é a mesma para os quatro alvos e apenas um atirador realizará os disparos em intervalos curtos de tempo. No intervalo de cada disparo, a mira não poderá ser ajustada (ALBERTAZZI & SOUSA, 2008).

Na Figura 21 estão apresentados os resultados, após a realização dos disparos nos quatro alvos pelo atirador.

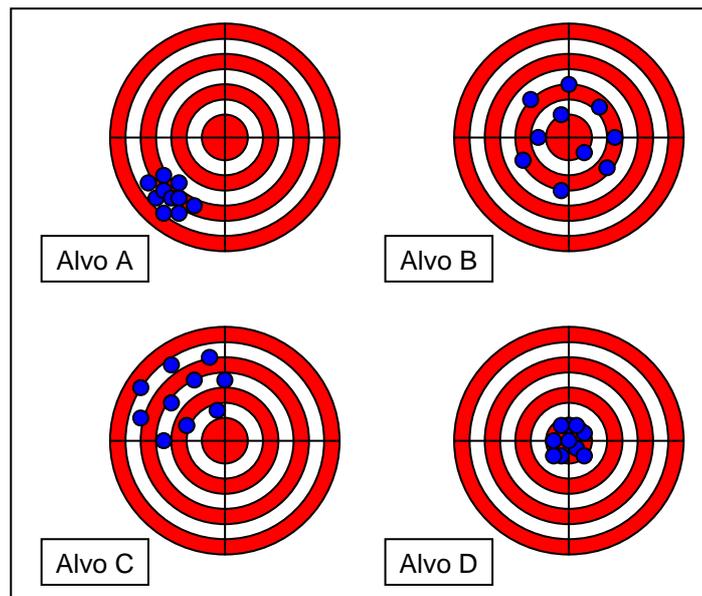


Figura 21 – Erros sistemáticos e aleatórios.
Fonte: Adaptado de Albertazzi e Sousa (2008).

No alvo A, os disparos estão muito próximos uns dos outros, porém o ponto médio dos tiros está distante do ponto central do alvo (ponto central do alvo pode ser considerado como um valor verdadeiro que se quer atingir). Essa arma tem alta repetitividade, pois os tiros estão bem próximos uns dos outros, e uma baixa exatidão, pois o ponto médio dos disparos está distante do ponto central do alvo. No alvo B, os tiros ficaram espalhados em torno do ponto central com grande dispersão entre os disparos, caracterizando uma arma com alta exatidão, pois o ponto médio dos disparos está muito próximo ao ponto central do alvo, e baixa repetitividade, pois ficaram muito distantes uns dos outros. No alvo C, o resultado apontou para a arma com menor qualidade, com baixa exatidão e baixa repetitividade, pois tanto o ponto médio dos disparos está longe do ponto central do alvo, quanto os disparos estão muito dispersos entre si. A arma que apresenta melhor qualidade é a que disparou no alvo D, apresentando elevada exatidão e repetitividade. Relacionando o exercício de tiros para a explicação dos erros sistemáticos e aleatórios, primeiramente deve-se definir esses tipos de erros. De acordo com o VIM (INMETRO, 2007a, p.31):

Erro sistemático – “Média que resultaria de um infinito número de medições do mesmo mensurando, efetuadas sob condições de repetitividade, menos o valor verdadeiro do mensurando”

Erro aleatório – “Resultado de uma medição menos a média que resultaria de um infinito número de medições do mesmo mensurando efetuadas sob condições de repetitividade”.

A diferença entre o ponto médio dos disparos de cada arma e o ponto central do alvo (considerado como o valor verdadeiro que se quer atingir) é igual à tendência da arma. De acordo com Albertazzi & Sousa (2008), a tendência é uma estimativa ou aproximação do erro sistemático da arma. Para a determinação do erro sistemático, seriam necessários infinitos disparos com a arma, condição inviável. No caso, foi efetuado um número finito de disparos, uma estimativa do erro sistemático. Para Oliveira (2008), em laboratórios de calibração, a determinação da tendência de um instrumento ou sistema de medição é uma prática comum. Determina-se a tendência do instrumento, efetuando-se sucessivas medições sob condições de repetitividade e, em seguida, é feita a correção do instrumento, eliminando-se sua tendência. Com relação ao erro aleatório, Albertazzi & Sousa (2008) consideram como uma parcela do erro do instrumento, levando o instrumento a uma imprevisibilidade nos seus resultados. Isso explica o porquê dos projéteis das armas não acertarem o mesmo ponto ao se realizar vários disparos em condições de repetitividade. Os erros aleatórios são devidos a fatores que não podem ser corrigidos em um sistema de medição. Para Link (2000), exemplos desses erros são atritos internos, flutuação de tensão em circuitos eletrônicos, fatores ambientais, etc.

De acordo com Albertazzi & Sousa (2008), o erro sistemático, por sua vez, é previsível. Sabe-se, por exemplo, que se for feita uma medição de comprimento em uma peça metálica com uma temperatura elevada, a indicação do instrumento de medição estará acrescida de um valor que pode ser estimado, conhecendo-se o coeficiente de expansão térmica do material do mensurando. Essa é modalidade de erro previsível que pode ser corrigida. Quando se realiza a calibração de instrumentos ou sistemas de medição, são levantados em toda a sua capacidade de medição os erros devido a componentes sistemáticos (tendência) e a componentes aleatórias. Determina-se, então, em seguida, a incerteza da medição do instrumento ou sistema de medição.

2.6 A Importância da Calibração

Sistemas de medição sempre apresentam erros. Em maior ou menor grau, erros estarão sempre agindo, sejam eles originados internamente ao sistema de medição ou decorrentes da ação de várias grandezas de influências externas (LINK, 2000).

Oliveira (2004) aponta que a qualidade principal de um instrumento ou padrão de medição é a de medir com o mínimo erro, isto é, um instrumento de medição de boa qualidade deve ser capaz de apresentar resultados com pequenos erros e, para isso, seus princípios construtivos e operacionais devem ser projetados para minimizar esses erros. Entretanto, por melhor que sejam as características de um instrumento de medição, sempre apresentará erros de natureza sistemática e aleatória. A perfeita caracterização desses erros é de grande importância para que o resultado da medição possa ser determinado de maneira segura. A importância de se conhecer os erros sistemáticos e aleatórios, apresentados nas condições em que o sistema de medição é utilizado, é uma condição necessária para que os resultados obtidos sejam confiáveis.

Com o uso, os instrumentos ou sistemas de medição degradam seu desempenho ao longo do tempo. Para que a confiabilidade nos resultados das medições seja mantida, os resultados das medições do instrumento ou sistema de medição devem ser comparados periodicamente a valores de referência estabelecidos por padrões de medição (ALBERTAZZI & SOUSA, 2008).

Para Albertazzi e Sousa (2008, p.127), *“a forma usual de caracterizar o desempenho metrológico de um sistema de medição é pelo procedimento denominado calibração”*. Segundo o Inmetro (2007a, p.55), a calibração pode ser definida como:

“Conjunto de operações que estabelece, sob condições especificadas, a relação entre os valores indicados por um instrumento de medição ou sistema de medição ou valores representados por uma medida materializada ou um material de referência, e os valores correspondentes das grandezas estabelecidos por padrões”.

A calibração dos instrumentos ou sistemas de medição é um componente importante na função qualidade do processo produtivo e uma oportunidade de

melhoria contínua. O objetivo principal da calibração é verificar se a medida obtida por um instrumento é compatível com o valor esperado e se o mesmo está adequado para a atividade a que se destina; ou seja, dar confiabilidade metrológica às medições efetuadas (OLIVEIRA, 2008).

A norma ISO 9001:2008 favorece o modelo de gerenciamento conhecido como Ciclo PDCA, atribuído ao importante estatístico norteamericano William Edwards Deming, tido como um dos principais gurus da Qualidade, embora, conforme Costa Neto (2007), sua idealização seja devida a Walter Andrew Shewhart, outro importante patrono do uso de métodos estatísticos no Controle da Qualidade, sendo mais conhecido como introdutor dos gráficos de controle estatísticos de processos, intensamente utilizados ainda hoje.

O ciclo PDCA (**P**lanning = planejar; **D**o = fazer; **C**heck = analisar a **A**ct = implementar) é o motor da melhoria contínua dentro das organizações. Especificamente, para os sistemas produtivos, a norma ISO 9001:2008 no item 7.6, preconiza que toda a instrumentação utilizada em mensurações no processo de produção deve ser submetida a uma sistemática contínua de calibrações para assegurar confiança e qualidade às medições efetuadas em toda a cadeia produtiva. O processo de calibração é um autêntico ciclo PDCA (Figura 22), pois desde a implantação de uma sistemática de planejamento e execução contínua de calibrações de instrumentos e sistemas de medição, passando pela fase de medição para verificação da conformidade do produto, até a análise crítica da direção para a tomada de decisões, passa por todas as fases desse ciclo.

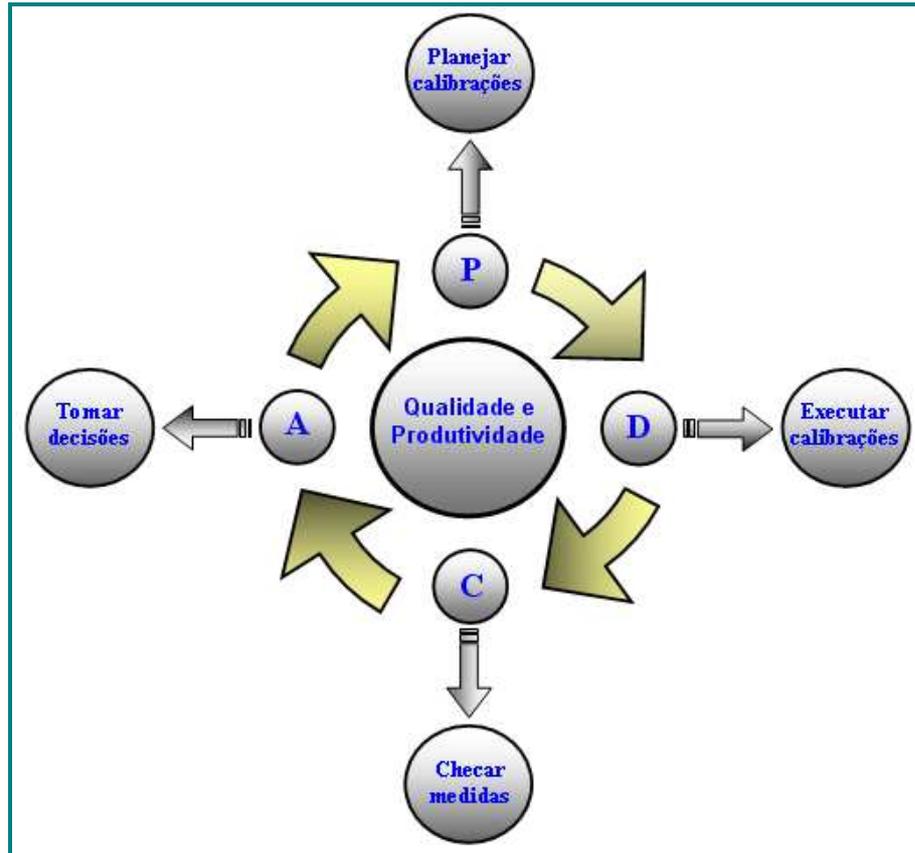


Figura 22 – Processo de melhoria contínua ocasionado pelo processo de calibração.
Fonte – O autor.

Para Albertazzi e Sousa (2008), a indicação dada por um instrumento ou sistema de medição ideal deve corresponder ao valor verdadeiro do mensurando. Nos sistemas de medição reais, entretanto há diferenças, e essas diferenças só podem ser estimadas pelo processo de calibração. Os valores de referência para a calibração são estabelecidos por padrões de classe superior, isto é, meios de medição de qualidade superior, cujo valor de referência é estabelecido com níveis excelentes de incerteza. A seguir, de acordo com o VIM, é dada a definição para o termo Padrão (INMETRO, 2007a, p.53).

Padrão:

“Medida materializada, instrumento de medição, material de referência ou sistema de medição destinado a definir, realizar, conservar ou reproduzir uma unidade ou um ou mais valores de uma grandeza para servir como referência”

O resultado de uma calibração permite tanto o estabelecimento dos valores do mensurando para as indicações, como a determinação das correções a serem

aplicadas. Uma calibração também pode determinar outras propriedades metrológicas como, por exemplo, os efeitos das grandezas de influência sobre a indicação, ou o comportamento metrológico do sistema de medição em condições adversas de utilização (em temperaturas elevadas ou muito baixas, na ausência de gravidade, sob forte radiação nuclear, etc) (ALBERTAZZI & SOUSA, 2008).

Para entender melhor o termo calibração, é necessário associá-lo ao termo comparação, acrescentando que a comparação é feita com um certo nível de confiança, conforme Costa Neto (2002), é a probabilidade de que um intervalo de confiança, usado na estimação de determinado parâmetro populacional, contenha o valor real desse parâmetro. Isto é, calibrar é estabelecer uma relação de comparação a um padrão apropriado, a diferença encontrada estabelece o erro do instrumento a calibrar com uma incerteza da medição associada a um nível de confiança, normalmente de 95%.

Para Silva (2004), o estabelecimento de um sistema de comprovação eficiente para a calibração é um fator indispensável e várias normas de caráter internacional fornecem informações para tal fim, como é o caso das normas NBR ISO 9001, NBR ISO/IEC 17025 e NBR ISO 10012.

O mesmo autor sugere um modelo interessante para entendimento da importância da calibração nos sistemas produtivos. O modelo se baseia em sete perguntas conhecidas como os “5 W e 2H”, termos que tem sua origem na língua inglesa:

1) Why – Por que calibrar?

Calibrações periódicas de instrumentos e padrões asseguram incertezas requeridas aos processos metrológicos, garantem rastreabilidade das medições e reduzem os erros através das correções, o que gera melhorias na qualidade dos resultados, aumentando a confiabilidade nas ações e decisões;

2) What – O que calibrar?

Apenas as características dos instrumentos que possam afetar a qualidade do produto, assim como os próprios padrões utilizados no processo de calibração;

3) *When* – Quando calibrar?

Antes de colocar em uso os instrumentos novos. Quando ocorrer sobrecarga, quedas, mau uso ou desconfiança dos resultados de medição. Sempre após a realização de manutenções. Periodicamente, em intervalos de tempo definidos pela empresa, visando assegurar a qualidade das medições. Sempre após a realização da ajustagem;

4) *Where* – Onde calibrar?

Nas próprias instalações da empresa ou em empresas que terceirizam esse serviço;

5) *Who* – Quem calibrará?

Em função da demanda, pode-se recorrer a laboratórios pertencentes à Rede Brasileira de Calibração - RBC, que são acreditados pelo INMETRO, ou, até mesmo a laboratórios do exterior, desde que tenham rastreabilidade assegurada;

6) *How* – Como calibrar?

6a) Internamente, seguindo procedimentos de calibração elaborados pela empresa para cada tipo de instrumento de medição, registrando os resultados da calibração em formulários próprios denominados certificados de calibração;

6b) Externamente, contratando um laboratório que deverá emitir um certificado de calibração em conformidade com os requisitos da norma NBR ISO/IEC 17025 (2005);

7) *How much* – Quanto custa calibrar?

Para que se estime com segurança o custo do investimento em calibrações é muito importante fazer um levantamento dos custos envolvidos tanto no processo interno quanto no externo. O resultado desse estudo pode apontar a necessidade de efetuar calibrações periódicas dos instrumentos mais simples internamente, e a dos mais complexos por terceiros.

O termo calibração é a linha que direciona as empresas à competitividade nos seus processos produtivos. Não existe espaço para produtos com baixa qualidade devido à alta concorrência proporcionada pela globalização. Para Albertazzi e Sousa (2008), a manutenção da qualidade por parte da empresa é uma questão crucial

para sua sobrevivência, pois os consumidores têm muitas opções no mercado. A qualidade de produtos tem de ser assegurada a qualquer custo, o que só acontece quando os sistemas de medição confiáveis forem utilizados no controle de qualidade da produção. A construção da boa imagem de uma empresa junto aos consumidores não acontece sem grande esforço, com seriedade e persistência. A destruição da imagem, ao contrário, pode acontecer rápida e catastróficamente por um produto problemático ou mal sucedido. A boa calibração dos instrumentos de medição é uma condição necessária para a obtenção de qualidade, não sendo, entretanto, suficiente, pois muitas outras recomendações provenientes dos princípios de Gestão da Qualidade devem ser seguidas para esse fim.

2.7 Seleção de Sistemas de Medição

Para se escolher um sistema ou instrumento de medição adequado ao controle de medidas de variáveis de um processo produtivo deve-se observar a especificação explícita no projeto do produto. Observada a especificação, de acordo com Albertazzi & Sousa (2008), a escolha deve recair em um instrumento que atenda as exigências referentes a: campo de tolerância, faixa de medição, resolução, velocidade de medição, nível de automação, etc, elementos, que se deixados em segundo plano, podem resultar em escolhas inadequadas que implicarão na oneração do sistema de produção da empresa.

Sistemas e instrumentos de medição devem trazer benefícios aos sistemas produtivos, agregando vantagens em produtividade, confiabilidade e durabilidade, fatores considerados como diferenciadores na hora da escolha. Uma escolha que recai em máquina de medição rápida, como, por exemplo, uma máquina de medir por coordenadas – MMC, reduz custos operacionais aumentando a produtividade. Para Vázquez e González (1999), o uso da MMC melhora a eficiência da medição em relação aos métodos convencionais de medição. No seminário *“Redução de Custos, Produtividade, Inovações em Tecnologia e Produtos”* (2009), a empresa Mitutoyo Sul Americana declarou que uma máquina de medir por coordenadas (MMC) pode reduzir em até 10 vezes o tempo de medição em relação a métodos convencionais de medição. Há outros benefícios, mostrando como o uso de equipamentos tradicionais, tais como paquímetros ou micrômetros digitais com

comunicação via *wireless* com um computador, podem facilitar o controle estatístico do processo – CEP de um sistema produtivo, fazendo com que as ações corretivas e a identificação de causas que afetam a estabilidade do processo sejam mais eficazes. Para os especialistas da empresa Mitutoyo Sul Americana, o sistema de medição também deve ser confiável, pois não basta saber medir, tem que medir sabendo que está medindo certo. Assim, qualquer escolha deve ser provida de confiabilidade metrológica, com instrumentos calibrados em laboratórios acreditados pelo Inmetro com rastreabilidade metrológica a sistemas de medição com incertezas menores.

Com relação à durabilidade, para Albertazzi & Sousa (2008) todo sistema ou instrumento de medição deve ser criteriosamente escolhido de acordo com o meio em que as medições serão efetuadas. Ambientes agressivos degradarão instrumentos frágeis. Para os especialistas da empresa Mitutoyo Sul Americana, sistemas e instrumentos de medição, quando não estão dentro de um laboratório de calibração e ensaio, estão inseridos, na maioria das aplicações industriais, em ambientes com poeira, em contato com líquidos, com variação de temperatura, ruídos, vibração, radiação, choques, etc. Não considerar, na escolha do equipamento, o ambiente em que as medições serão efetuadas é diminuir a vida útil do instrumento ou sistema de medição. Como exemplo, cita-se a aplicação de um instrumento de medição com eletrônica embarcada (paquímetro, micrômetro, relógio comparador, etc) em um ambiente automatizado e em contato com fluidos de corte. Se esse instrumento não possuir nível de proteção IP (*index of protection*), seu funcionamento estará comprometido. Os invólucros desses instrumentos são designados por uma simbologia que é composta de uma sigla “IP”, seguida de dois dígitos, que classificam o grau de proteção do equipamento elétrico (Figura 23). O primeiro dígito refere-se à proteção quanto à entrada de partículas sólidas e o segundo, à proteção contra a entrada de líquidos no instrumento ou sistema de medição. Em uma escala de 0 a 6 para partículas sólidas e de 0 a 8 para líquidos, quanto maior a numeração, maior será a proteção contra esses elementos.

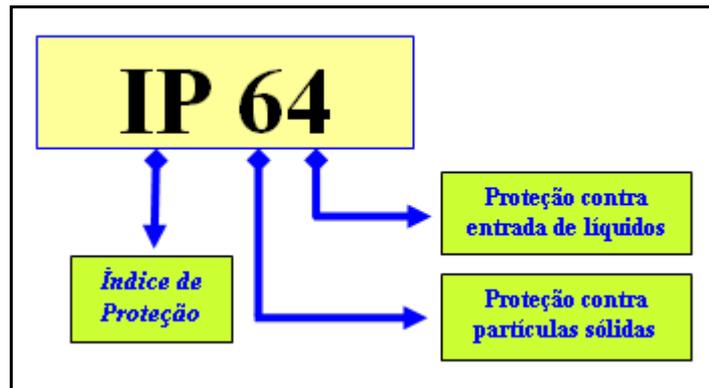


Figura 23 – Graus de proteção IP.
Fonte: O autor.

Quanto à consideração dada aos itens declarados na especificação do projeto (campo de tolerância, faixa de medição, exatidão, resolução, repetitividade, etc) para a escolha do sistema ou instrumento de medição, para um mesmo mensurando, é possível encontrar uma infinidade de sistemas de medição com diferenças tanto em relação ao princípio de operação como em relação ao nível de incerteza de medição requerida. Quando se requer nível de automação ou a necessidade de acessórios para o sistema ou instrumento de medição, os custos podem elevar-se substancialmente. Para Albertazzi e Sousa (2008), essa diversidade de opções traz, ao mesmo tempo, um conforto e um desconforto para o metrologista. Por um lado, dá a oportunidade de que o processo de medição seja configurado de modo otimizado para atender necessidades específicas. Por outro lado, com tantas opções disponíveis, chegar à melhor escolha pode não ser uma tarefa muito simples. Sem uma análise criteriosa, aumentam e muito as chances de que o metrologista selecione um sistema de medição com características inadequadas ao processo de medição.

De acordo com Sereno e Sheremetieff (2007), para a escolha do instrumento adequado para qualquer processo produtivo, deve-se primeiramente fazer uma análise desse processo. Uma pergunta inicial deve ser feita: “Qual a exatidão requerida pelo processo?” A resposta é fundamental para escolha da resolução do instrumento, de modo que não ocorra o que comumente é conhecido como “matar mosca com canhão” ou “tentar matar elefante com estilingue”, ou seja, escolher um instrumento que apresente um resultado muito além do necessário ou um que não conseguirá responder ao requerido pelo processo.

Para Sereno e Sheremetieff (2007), a resposta a essa pergunta deve ser elaborada por um profissional que realmente conheça o impacto da grandeza a ser medida, de forma que a escolha do instrumento não comprometa a qualidade final requerida pelo produto. A exatidão deve ser tal que as variações possíveis de indicação do instrumento ou padrão não afetem significativamente o processo. Por exemplo, em um dado processo a temperatura deve ser controlada com 1 °C de exatidão, deve-se usar um termômetro com exatidão melhor que a requerida pelo processo. Segundo Albertazzi e Sousa (2008), nas aplicações envolvendo Controle da Qualidade, a incerteza de medição, resultante do processo de medição, deve ser de um décimo do intervalo de tolerância.

O campo de tolerância também pode referendar uma boa escolha do sistema ou instrumento de medição. Levando-se em conta o campo de tolerância, a especificação do equipamento é feita dividindo-se o intervalo de tolerância por dez (IT/10), de acordo com as recomendações de fabricantes de equipamentos de medição, como a Mitutoyo Sul Americana e a Starret. A resolução do equipamento selecionado deve ser menor ou igual ao valor obtido dessa relação. Entretanto, há recomendações mais rigorosas, como a da AIAG (2004), no Manual MSA, que declara que a resolução deve ser de um décimo (1/10) da variabilidade do processo de medição, estabelecida através de critérios de controle estatísticos. Para Albertazzi & Sousa (2008) quando a escolha é baseada no campo de tolerância, a resolução deve ser de um vinte ávos do campo de tolerância (1/20).

Outro elemento que orientará a definição do equipamento é a faixa de medição do instrumento ou sistema de medição, também conhecida como capacidade de medição. A faixa de medição deve cobrir todo o campo de tolerância estabelecido no projeto, devendo ter intervalo superior ao campo de tolerância do mensurando, prevendo-se a ocorrência de medidas que poderão estar abaixo ou acima dos limites especificados no projeto (ALBERTAZZI & SOUSA, 2008).

A repetitividade também serve para orientar corretamente a escolha adequada do equipamento de medição. Nas últimas versões do VIM, excluiu-se o termo “Precisão”, colocando-se em seu lugar o termo “Repetitividade”.

De acordo com a definição dada na página 64, os termos expressam dispersão dos resultados quando as mesmas condições de medição são

respeitadas. Instrumentos com baixa repetitividade não são capazes de identificar pequenas variações de medida com confiabilidade. Uma boa analogia para o entendimento da repetitividade são os robôs industriais na operação de soldagem na indústria automobilística. Os robôs especificados para os processos de soldagem devem ter alta repetitividade, ou seja, nas operações de pontos de solda da carcaça do carro ao chassi, pontos produzidos em condições idênticas (mesmas condições de medição) devem estar próximos uns dos outros. No caso de um robô com baixa repetitividade, os pontos de solda efetuados seriam dispersos uns dos outros, caracterizando o que anteriormente era denominado baixa precisão, tornando-se um item que, se não observado, afetará a qualidade do produto final.

Procura-se dessa maneira dar uma visão geral sobre a escolha do sistema ou instrumento de medição, ancorando-se apenas em aspectos técnicos. A análise da escolha do equipamento deve também englobar outros elementos não citados no texto, que não são objetivo deste estudo, tais como: velocidade de medição, taxa de medição, nível de automação, recursos de processamento, necessidade de treinamento, facilidade de assistência técnica e logística, prazos, dentre outros (ALBERTAZZI E SOUZA, 2008).

2.8 Confiabilidade Metrológica

De acordo com Vuolo (1996), medir é o procedimento experimental pelo qual o valor momentâneo de uma grandeza física (mensurando) é determinado como uma aproximação do valor verdadeiro de uma unidade, estabelecida por um padrão e reconhecida internacionalmente. A operação de medição é realizada por um instrumento de medição ou por um sistema de medição.

Contudo, baseado no que diz Link (2000, p.15), *“na prática o resultado de toda a medição é apenas um valor aproximado do valor verdadeiro do mensurando. A apresentação do resultado não será completa e, conseqüentemente, a qualidade da medição não será satisfatória, se este não vier acompanhado de indicações acerca da dispersão dos valores que razoavelmente possam ser atribuídos ao mensurando, isto é, a incerteza associada ao resultado da medição”*. Segundo o Inmetro (2007a, p.30), a definição desse termo é:

Incerteza de medição:

“Parâmetro, associado ao resultado de uma medição, que caracteriza a dispersão dos valores que podem ser fundamentadamente atribuídos a um mensurando”.

Observações:

1) O parâmetro pode ser, por exemplo, um desvio padrão (ou um múltiplo dele), ou a metade de um intervalo correspondente a um nível de confiança estabelecido.

2) A incerteza de medição compreende, em geral, muitos componentes. Alguns destes componentes podem ser estimados com base na distribuição estatística dos resultados das séries de medições e podem ser caracterizados por desvios padrão experimentais. Os outros componentes, que também podem ser caracterizados por desvios padrão, são avaliados por meio de distribuição de probabilidades assumidas, baseadas na experiência ou em outras informações.

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

O processo de medição compreende o instrumento envolvido na medição, fatores que agem sobre ele e a análise e interpretação dos resultados gerados. Sob esse aspecto, forma-se uma conjuntura que engloba não apenas o instrumento ou sistema de medição, mas também outros elementos, que juntos geram dúvidas no processo de medição. De acordo com a AIAG (2004) e Elshennawy & Zipin (1992), no Manual *Quality Engineering Handbook*, todo processo de medição é impactado por fontes de variações randômicas e sistemáticas. Essas variações geram dúvidas no estabelecimento do valor do mensurando. A sigla SWIPE é usada para representar cinco elementos básicos que afetam a exatidão de um processo de medição (***Standard, Workpiece, Instrument, Person e Environment***), que significam respectivamente; padrão, peça, instrumento, pessoa e ambiente. Esses elementos juntos compõem um modelo genérico que introduz erros de naturezas distintas para um sistema de medição completo. Dessa maneira, qualquer influência que afete qualquer um dos cinco elementos básicos impactará no erro do processo de medição. A seguir são dados alguns exemplos dessas influências.

Fatores que incorporam erros no processo de medição relacionados ao padrão:

- rastreabilidade, intervalo de calibração, estabilidade, coeficiente de expansão térmica...

Fatores que incorporam erros no processo de medição relacionados à peça:

- definição da geometria, propriedades elásticas, limpeza, deformações...

Fatores que incorporam erros no processo de medição relacionados ao instrumento:

- erros geométricos, repetitividade, calibração, amplificação, sistema de contato, paralaxe...

Fatores que incorporam erros no processo de medição relacionados à pessoa (operador):

- treinamento, habilidades físicas, conhecimento, dedicação, honestidade...

Fatores que incorporam erros no processo de medição relacionados ao ambiente:

- temperatura, vibrações, contaminações, gravidade, ruídos, umidade, iluminação...

Na mesma linha do AIAG (2004), Oliveira (2008, p.34) diz que: “*para a realização de uma medição deve-se considerar os agentes que exercem influência sobre a mesma, os chamados “5M’s” (mensurando, método, maquina, mão-de-obra e meio ambiente)*”. Na Figura 24, estão relacionados os agentes que exercem influência no resultado de uma medição.

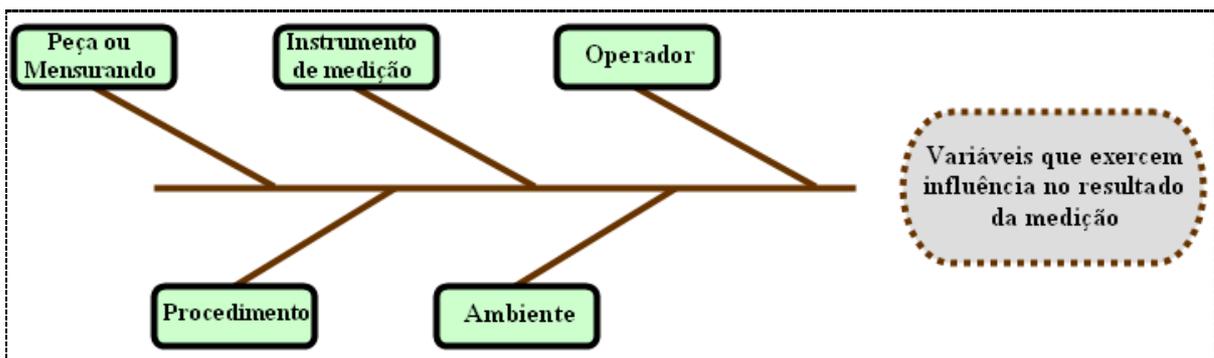


Figura 24 – Agentes que exercem influência no resultado das medições.
Fonte: Adaptado de Oliveira (2008).

Para a melhor estimativa de um mensurando, deve-se caracterizar o mensurando ou objeto de medição. Quanto melhor a sua definição, menor será a influência exercida no resultado da medição. O objeto a ser medido influi no resultado de uma medição devido a não uniformidade de suas propriedades. Por

isso, elementos como o processo de fabricação, as propriedades mecânicas (dureza, acabamento superficial, resistência mecânica, composição química, etc.), agregarão erros nos resultados efetuados por um sistema de medição (OLIVEIRA, 2008).

O instrumento ou sistema de medição é o responsável por quantificar a característica do mensurando, podendo ser representado por uma simples escala milimétrica até um sofisticado rugosímetro com traçador de gráficos. Tanto a escala milimétrica inserirá erros na medição (erro de zero, imperfeição dos traços da escala, etc.) como o sofisticado rugosímetro (erro de amplificação, folgas internas, erro de software, histerese, etc).

Outro elemento dentro do processo de medição é o operador. O operador deve ser muito bem treinado para a ação de medir. De acordo com Link (2000, p.33), *“o homem por sua natureza não é estável, há diferenças no dia a dia e às vezes variações maiores durante o mesmo dia”*. O operador deve ter formação adequada, experiência, discernimento, paciência, habilidades físicas e honestidade. Para Oliveira (2008, p.37), *“a coexistência destas características tem influência significativa na confiabilidade do resultado da medição e, mesmo para um profissional que detém todas essas características, há a necessidade de treinamento contínuo, da atualização e da interação com outros profissionais”*.

De acordo com Link (2000), outra variável importante é o ambiente da medição. Condições ambientais, como a temperatura, umidade relativa, pressão atmosférica, nível de vibração, contaminação, iluminação, níveis de ruídos, aceleração da gravidade, etc, inferem e geram erros no processo de medição. Dentre os elementos citados, o maior vilão para o processo de medição é a temperatura. Quanto maior o controle sobre essas grandezas, menor será o dano causado à medição e maior será a confiança no resultado obtido.

O método de medição é outro componente importante no processo de medição. Para se realizar uma medição, é necessário adotar um procedimento ou roteiro, fundamentado em normas técnicas. Definem-se os passos para execução da medição, indicando a melhor forma de tratar todas as variáveis que exercem influência na medição, de maneira a se obter o resultado mais confiável possível (OLIVEIRA, 2008).

Para Link (2000), os erros de indicação de um instrumento são inevitáveis e, de maneira simplificada, podem ser atribuídos a duas causas:

I – erros associados a causas externas:

São erros causados por elementos ligados ao meio ambiente (temperatura, pressão, vibração, umidade do ar, poeira, variação de tensão elétrica, etc.).

II – erros associados ao instrumento de medição:

São erros devidos a razões construtivas dos instrumentos. São exemplos desses erros: erro de zero, erro de ganho, erro de sensibilidade, histerese, deriva, força de medição, erros geométricos do instrumento, etc.

Esses diferentes elementos que afetam a resposta de um processo de medição aparecem superpostos ao valor verdadeiro de um mensurando. Logo, uma expressão completa do resultado de uma medição inclui informações sobre a incerteza de medição. Na Figura 25, é mostrado um diagrama ilustrando um processo de medição e o relacionamento entre os fatores que afetam o resultado de uma medição. Na ilustração, as fontes de erros são representadas por fatores ambientais somados a fatores ligados ao instrumento ou sistema de medição, além da influência do operador e do método adotado para a execução da medição. Todos esses elementos reunidos irão afetar a incerteza da medição do mensurando. No diagrama, a incerteza da medição é representada pela letra “U” (*uncertainty in measurement*) extraída do “*Guide to the expression of uncertainty in measurement*” (BIPM, 2008).

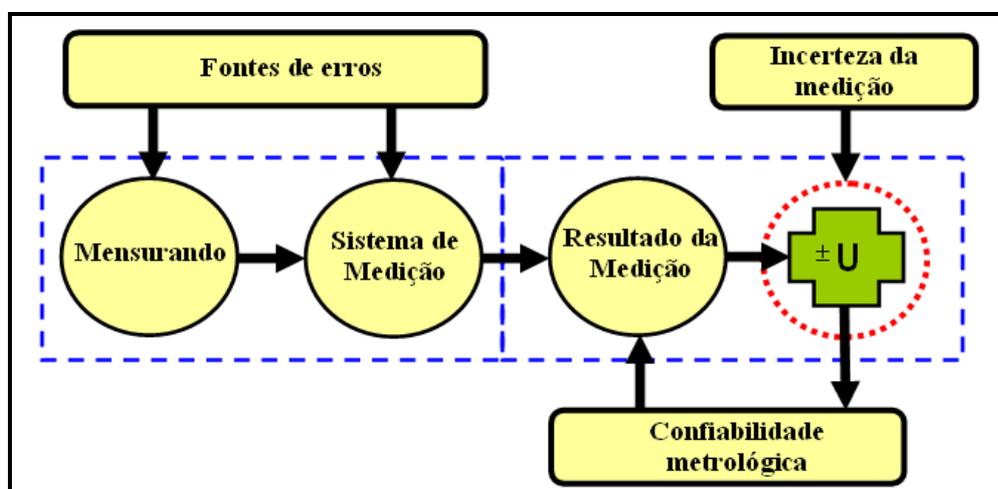


Figura 25 – Diagrama representativo do processo de medição e as fontes de erros que afetam o resultado das medições.

Fonte: O autor

Todo equipamento de medição deve ser confiável, pois não basta saber medir, tem de medir sabendo que se está medindo certo. A calibração é o passo inicial para se estabelecer a confiabilidade nas medidas fornecidas por instrumentos ou sistemas de medição. Por sua vez, a calibração deve ser realizada em laboratórios pertencentes à RBC, ou em outros laboratórios que tenham rastreabilidade aos padrões primários do SI. Esse roteiro, quando seguido, confere rastreabilidade metrológica às medições, além de fornecer informações seguras que subsidiarão o processo de tomada de decisão referente a todos os equipamentos de medição da organização, assegurando a confiabilidade, que todo sistema de medição deve ter (OLIVEIRA, 2008).

2.9 Incerteza da Medição e a Rastreabilidade

2.9.1 Conceitos de Incerteza da Medição

Nos processos industriais, a garantia da qualidade é fundamentalmente avaliada por resultados que não são reais, por não haver a possibilidade da determinação de um valor de medição exato (OLIVEIRA, 2008). Em função disso é necessário o estabelecimento de um intervalo em torno do resultado da medição que possa abranger, com uma probabilidade específica, os valores que podem ser atribuídos ao mensurando. Tal intervalo é chamado de Incerteza da Medição (BIPM, 2008).

A palavra “incerteza” leva à idéia da dúvida. Quando se efetua uma medição, a incerteza não pode ser desconsiderada, pois é um critério que confere qualidade ao processo de medição e estará sempre presente em qualquer processo de medição. Segundo Oliveira (2008, p.97), *“o que grande parte das organizações ainda adotam atualmente é realizar a medição ou tomar a média aritmética de uma série de medidas para uma da dimensão e, simplesmente, checar se o valor obtido encontra-se na zona de especificação, desconsiderando completamente a faixa de incerteza. Existem outras empresas que nem sequer aplicam as devidas correções nos instrumentos de medição com o intuito de minimizar os erros sistemáticos”*.

Para Link (1997), a incerteza é um valor oriundo da combinação de vários componentes que podem ser estimados, baseando-se em uma distribuição

estatística do resultado de uma série de medições, caracterizada pelo desvio padrão experimental e através de distribuições de probabilidades assumidas, como, por exemplo, a incerteza do padrão utilizado na comparação, a incerteza referente às condições ambientais, a incerteza dos instrumentos ou sistemas de medição, a incerteza devido à resolução de um instrumento analógico, etc. O desprezo ou desconhecimento da existência da incerteza da medição gera descrédito ao processo de medição. A norma ISO 14253-1 (1998), insere a incerteza da medição na avaliação da conformidade de produtos, diminuindo a faixa de especificação descrita no projeto dos produtos. A simples comparação da medida extraída do instrumento ou sistema de medição com o campo de tolerância (especificação do produto) não será o critério capaz de atestar a conformidade de produtos quanto à avaliação de uma de suas características. Conforme demonstrado na Figura 26, a incerteza afeta a especificação do projeto, diminuindo sua zona de aceitação. De acordo com Oliveira (2008, p.99), “através da correta implementação desse modelo, constata-se um sensível ganho na fabricação do produto de acordo com a especificação, o que impacta no comércio e nas disputas”

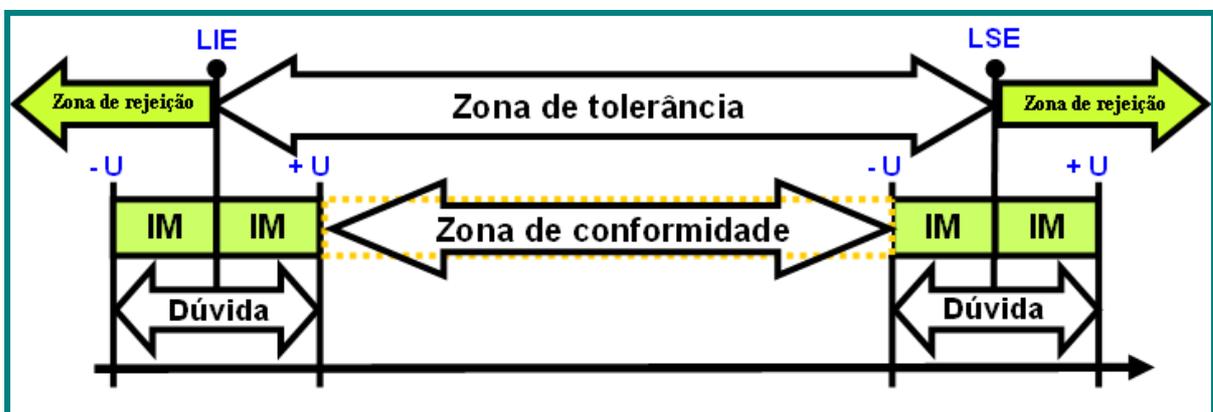


Figura 26 – Zona de especificação diminuída devido à incerteza da medição.
Fonte: Adaptado da Norma ISO 14253-1(1998) - Geometrical Product Specifications (GPS).

Para um perfeito entendimento da figura, pode-se recorrer ao seguinte exemplo: num processo de ensacamento do açúcar refinado, a massa de cada saco deve ter segundo sua especificação 1000 ± 10 g. O sistema de medição adotado para a medição da massa do produto, uma balança digital instalada no chão de fábrica com medição e alimentação automática dos produtos, conforme estabelecido no processo de calibração, tem incerteza de medição de ± 2 g. Foi medida uma

amostra de três produtos extraídos aleatoriamente do processo produtivo, obtendo-se os seguintes valores: 991 g, 996 g e 1002 g. Todas as medidas estão dentro dos limites de especificação do produto (LSE – limite superior de especificação e LIE – limite inferior de especificação). A zona de especificação (campo de tolerância), que é a diferença entre a maior medida possível (LSE) e a menor medida possível do produto (LIE) é de 20 g. Se não observada a incerteza do processo de medição, todas as medidas dos três sacos de açúcar são consideradas em conformidade com a especificação, pois estão compreendidas entre 990 g e 1010 g. Por outro lado, analisando as medidas e considerando a incerteza da medição, e ainda, pegando como exemplo a medida mais próxima dos limites de especificação (991 g), verificar-se-á que esta não está em conformidade, pois a mesma caiu numa região de dúvida ou incerteza que o processo de medição carrega (Figura 27). O valor extraído da balança é de 991 ± 2 g devido à incerteza do processo de medição. Com isso o valor verdadeiro do mensurando poderá cair no intervalo compreendido entre 889 g a 993 g, ou seja, não é possível afirmar se esta medida está boa ou fora da especificação. Corre-se o risco da aprovação de produtos em não conformidade e da não aprovação de produtos em conformidade.

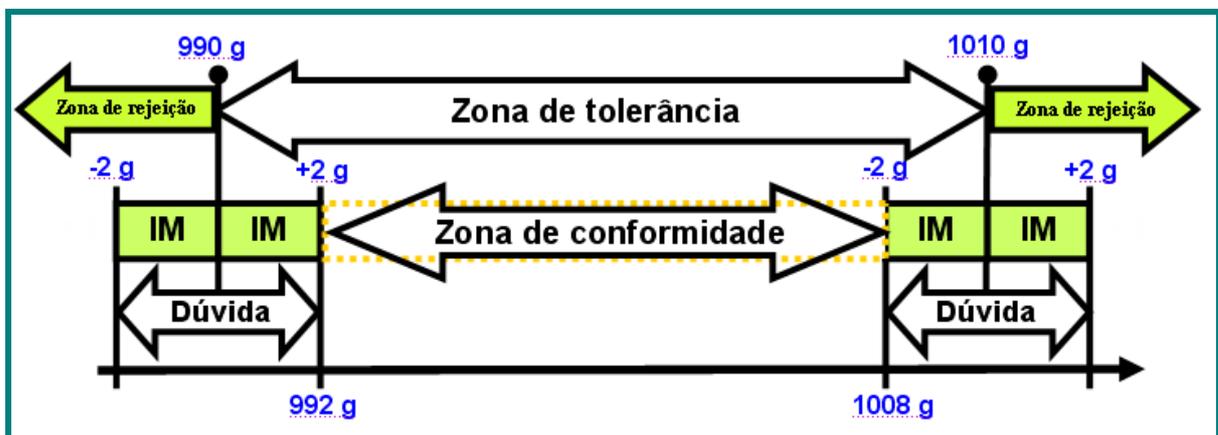


Figura 27 – Zona de conformidade e zona de especificação devido à incerteza da medição.
Fonte: Adaptado da Norma ISO 14253-1(1998) - *Geometrical Product Specifications (GPS)*.

Com a consideração da incerteza, a faixa de conformidade (antes faixa de especificação) irá reduzir em duas vezes a incerteza da medição. Então a faixa de conformidade será de: $[20 \text{ g} - (2 \times \text{IM})]$, onde IM é a incerteza da medição, passando de 20 g (especificação) para 16 g com a consideração da incerteza. O campo de conformidade agora é de 992 g a 1008 g. Todas as medidas que estiverem nesse

intervalo são consideradas em conformidade. No caso das três medidas retiradas do processo, 991 g não pode ser aprovada pelo Controle da Qualidade, enquanto as medidas 996 g e 1002 g estão em conformidade, pois não passaram dos limites da nova zona de conformidade estabelecida – 992 g a 1008 g.

Atualmente, existe um grande esforço para a uniformização de uma metodologia para a expressão da incerteza da medição. De acordo com o BIPM (2008), o ISO GUM é a referência que padroniza em nível mundial um método universal para expressão dos resultados da incerteza da medição, visando a interação entre mercados nas análises para garantia da qualidade. Os passos para a determinação da incerteza da medição de qualquer sistema são os mesmos. Porém, é necessário enfatizar que as grandezas de influência para cada processo são distintas.

De acordo com Link (1997, p.10), *“a incerteza do resultado de uma medição pode ser avaliada por meios estatísticos, através da variação dos fatores dos quais depende esse resultado. Isso, porém, não é possível na prática devido à limitação de tempo e ao alto custo. Por isso, a incerteza do resultado da medição é avaliada usando-se o modelo matemático que melhor descreva o processo de medição e aplicando-se a lei da propagação dos erros”*.

Link (1997, p.10) relata ainda *“Como o modelo matemático nem sempre é completo nem todas as grandezas de influência estão presentes ou foram considerados no modelo. As grandezas relevantes devem ser variadas, dentro de limites aplicáveis, de maneira que a avaliação da incerteza possa ser baseada nos resultados obtidos. Sempre que possível, o uso de modelos empíricos do processo de medição baseados em dados obtidos a longo prazo, ou de padrões de “verificação”, ou de cartas de controle que indicam se uma medição está sob controle, deve fazer parte do processo de se buscar valores confiáveis para a incerteza. O modelo matemático deve ser revisado sempre que o valor obtido, incluindo valores da mesma medida obtida de maneira independente, demonstrar que o modelo está incompleto. Um modelo criteriosamente desenvolvido facilita, sobremaneira, a obtenção de incertezas confiáveis e é parte importante do processo de medição.”*

Na Figura 28, Oliveira (2008) descreve objetivamente os passos para cálculo da incerteza da medição orientado pela metodologia descrita no *Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement* (BIPM, 2008).

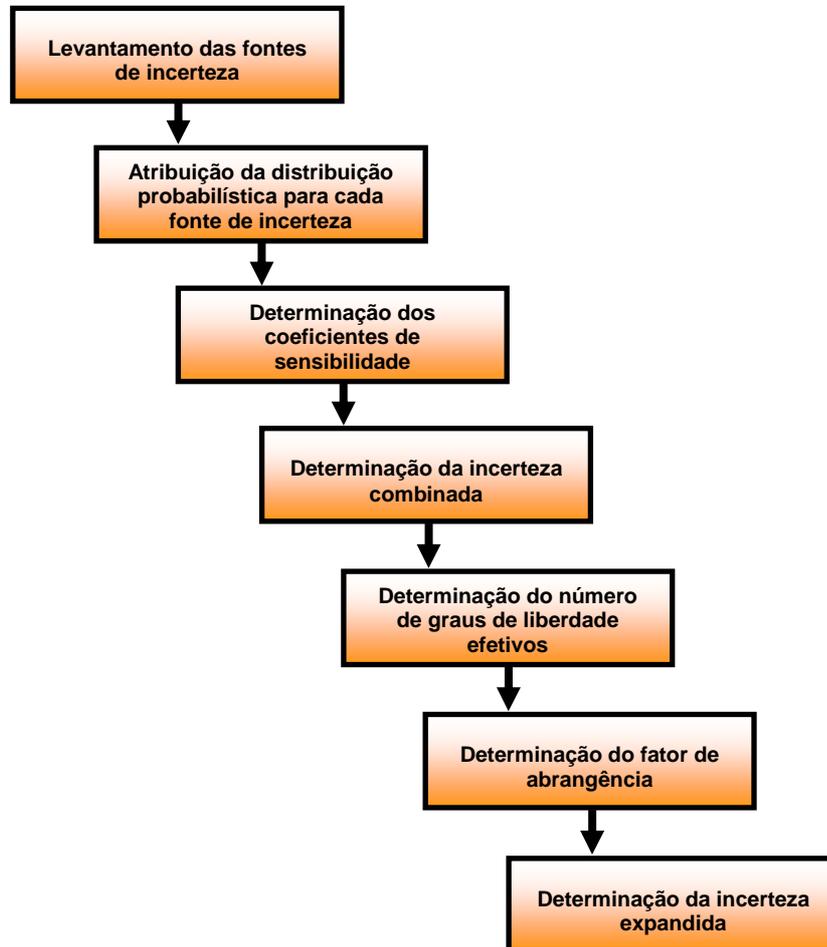


Figura 28 – Metodologia para cálculo da incerteza da medição – ISO GUM.
Fonte: Adaptado de Oliveira (2008).

2.9.2 – Conceitos de Rastreabilidade Metrológica

Todo sistema de gestão de medição deve estabelecer mecanismos que assegurem a rastreabilidade das medições às unidades padrão do SI. De acordo com Oliveira (2008), a rastreabilidade é alcançada através de uma cadeia contínua de calibrações dos padrões hierarquicamente superiores ao instrumento ou sistema de medição a calibrar. Para Albertazzi & Sousa (2008), em cada comparação ou calibração, o nível superior deve manter a regra 5:1 a 10:1 entre a incerteza do equipamento de medição hierarquicamente inferior, em relação ao superior, isto é, a

incerteza do equipamento de medição superior deve ser de 5 a 10 vezes menor do que a incerteza do inferior. Na Figura 29, é ilustrado como se estabelece a rastreabilidade, mostrando as exigências de exatidão que devem ter os níveis hierárquicos superiores para atender a necessidade de sistemas de medição quando calibrado.

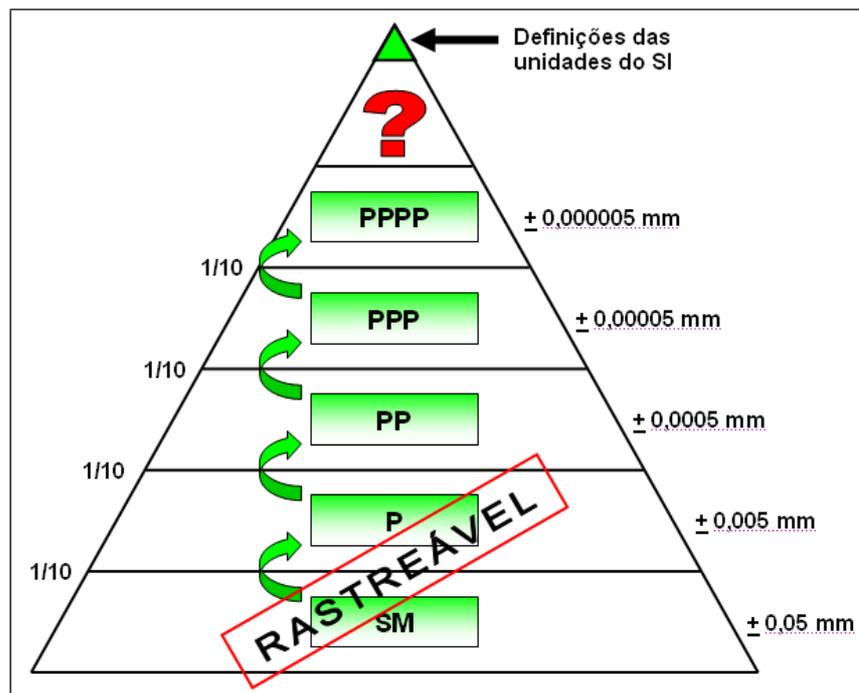


Figura 29 – Estabelecimento da Rastreabilidade Metrológica.
Fonte: O autor.

O conceito é comparar sucessivamente a incerteza da medição desde o processo de medição utilizado no chão de fábrica até o topo hierárquico da cadeia de rastreabilidade, ou seja, a definição dos padrões primários do Sistema Internacional de Unidades - SI (OLIVEIRA, 2008).

Na pirâmide da Figura 29, SM é o sistema de medição e para calibrá-lo, a incerteza do padrão (P) de classe superior é da ordem de um décimo da incerteza do SM. Continuando o processo, o padrão P, por sua vez, também precisa de calibração. Então, será necessário um padrão que tenha uma incerteza de um décimo da incerteza do padrão P. Esse é o padrão da pirâmide chamado de PP que também em um dado momento precisará ser calibrado. Será necessário um padrão PPP com incerteza de um décimo da incerteza do padrão PP. Esse contínuo processo de calibração vai chegar até o SI. O espaço na pirâmide que contém um ponto de interrogação foi colocado devido ao intenso processo de pesquisa no

campo da ciência realizado por importantes Laboratórios Nacionais de Metrologia para o desenvolvimento de padrões primários cada vez mais exatos. Dentre esses conceituados laboratórios estão o NIST, o PTB, AIST (*Advanced Industrial Science technology*) do Japão e o próprio BIPM, que é o laboratório internacional de Metrologia mantido por diversos países do globo. Para exemplificar a importância do processo de pesquisa, atualmente esses organismos internacionais tentam estabelecer uma constante natural que não varie para o estabelecimento do padrão primário do “quilograma”, pois se trata do único padrão que não mudou desde sua criação na 1ª CGPM. Esse contínuo aprimoramento dos padrões primários se reflete nos processos produtivos dos Países. É por isso que Países considerados desenvolvidos conseguem gerar e ser exportadores de tecnologias de última geração, devido às melhorias proporcionadas por máquinas cada vez mais exatas e mais produtivas, só possíveis por possuírem padrões da mais alta classe de exatidão, como, por exemplo, o laser estabilizado de helion-neon, capaz de reproduzir comprimentos com exatidão na faixa de nanômetros.

Na Figura 30 é apresentado um modelo básico com alguns caminhos para obter a rastreabilidade de um instrumento ou sistema de medição.

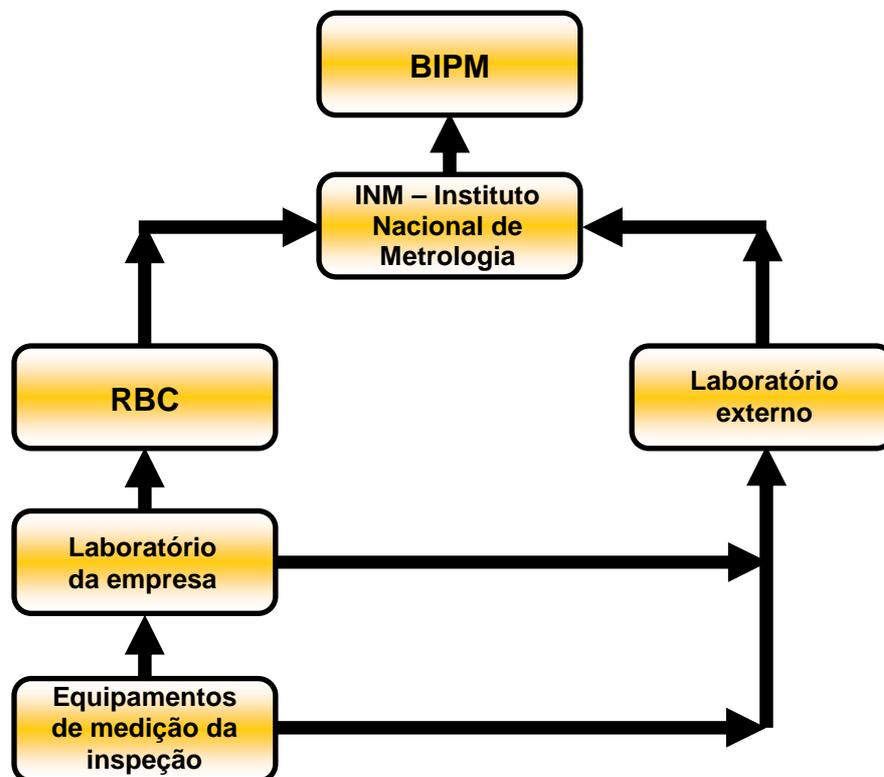


Figura 30 – Caminhos para a obtenção da Rastreabilidade Metrológica.
Fonte: O autor.

Nesse modelo, a rastreabilidade é assegurada realizando-se a calibração do instrumento ou sistema de medição em laboratórios que, além de possuírem padrões rastreáveis a padrões primários do Sistema Internacional de Unidades - SI, possuam também capacitação técnica e infraestrutura confiável para realização das calibrações (ABNT, 2005b).

De acordo ainda com a Figura 30, verificam-se diferentes alternativas para a obtenção da rastreabilidade das medições realizadas por um instrumento ou sistema de medição. A rastreabilidade pode ser obtida por intermédio de um laboratório dentro da empresa, desde que possua padrões rastreáveis ao SI. A calibração pode ser realizada em laboratórios pertencentes à RBC, organismos com acreditação do Inmetro, ou em outros órgãos, que podem ser laboratórios de outros países que participam do MRA, possuam padrões rastreáveis a um Laboratório Nacional de Metrologia, como por exemplo: Inmetro/Brasil, NIST/USA, PTB/Alemanha, etc.; no caso da RBC não possuir o padrão para calibrar a grandeza solicitada.

CAPÍTULO 3 - QUALIDADE

3.1 Histórico da Qualidade

De acordo com Oliveira (2006), para se entender o conceito de Qualidade, é necessário passear pela sua história, buscando interpretar esse conceito e sua evolução à luz do ambiente produtivo vigente de cada época. De fato, a evolução da qualidade passou por três grandes fases: era da inspeção, era do controle estatístico e era da qualidade total, conforme a Figura 31.

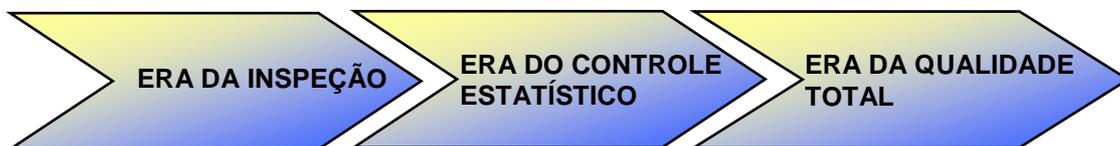


Figura 31 – Eras da Qualidade.
Fonte: Oliveira (2006).

A essa figura, poder-se-ia acrescentar mais uma fase, correspondente à atualidade, englobando comportamento ambiental, segurança e saúde no trabalho, responsabilidade social e outras exigências ligadas à qualidade de vida.

Nos primórdios da era industrial e até meados do século XIX, quase tudo era fabricado por artesãos, com a prática de procedimentos tradicionais e históricos. As quantidades produzidas eram pequenas e havia participação do trabalhador em praticamente todas as fases do processo. A inspeção era implementada segundo critérios especificados pelo próprio artesão e sua pequena equipe de colaboradores. Era um procedimento natural e corriqueiro (MARSHALL JUNIOR, 2006).

O artesão era um especialista que tinha domínio completo de todo o ciclo de produção, desde a concepção do produto até o pós-venda. Nessa época, o cliente estava próximo do artesão, explicitando suas necessidades, as quais o artesão procurava atender, pois sabia que a comercialização de seus produtos dependia muito da reputação de qualidade, que, naquele tempo, era comunicada boca a boca pelos clientes satisfeitos. Conceitos importantes para a área de qualidade moderna, como o de confiabilidade, conformidade, metrologia, tolerância e especificação, ainda eram embrionários. Além disso, o foco do controle da qualidade era o produto, feito via inspeção de todos os produtos pelo artesão, e não o processo. Esse

paradigma ainda encontrava eco no final do século XIX, quando a maior montadora de automóveis, a Panhard e Levassor (P&L), montava seus veículos atendendo às necessidades dos abastados clientes que a procuravam; não havia dois carros iguais. Um grupo de artesãos altamente qualificado era responsável pela fabricação de componentes e peças específicos e pela montagem do veículo e pelos testes, ou seja, um processo semelhante à fabricação de um protótipo atualmente. Naquele tempo, era comum ocorrer o “susto dimensional”, em que o tamanho de um veículo diferia bastante de outro produzido sob o mesmo projeto, devido à necessidade de ajuste nas peças feitas separadamente por diferentes artesãos, sem a utilização adequada dos conceitos de qualidade mencionados. Nessa época, o carro era um produto para poucos, como ter um avião ou um helicóptero hoje, e, embora alguns fabricantes ainda produzissem carros dessa forma até a Primeira Guerra Mundial e alguns até hoje, como o Rolls Royce, esse paradigma de produção foi abandonado pela maioria das indústrias (CARVALHO, 2006).

A Revolução Industrial trouxe nova ordem produtiva, em que a customização foi substituída pela padronização e produção em larga escala. A invenção de máquinas projetadas para obter grande volume de produção e uma nova forma de organização do trabalho permitiram alcançar a produção em massa. A produção em massa encontrou na linha de montagem seu modelo ideal. O trabalho foi fragmentado e os trabalhadores tinham domínio apenas de uma pequena fração do trabalho, que era repetida várias vezes ao longo da jornada de trabalho. O modelo de administração taylorista, ou Administração Científica, também retirou do trabalhador as etapas de concepção e de planejamento. Surgiu a função do inspetor, responsável pela qualidade dos produtos (CARVALHO, 2006).

Para Garvin (2002), a inspeção formal só passou a ser necessária com o surgimento da produção em massa e a necessidade de peças intercambiáveis.

As atividades de inspeção se transformaram rapidamente em um processo independente e associado ao controle da qualidade. Em 1922, com a publicação da obra *“The control of quality in manufacturing”* (RADFORD, 1922), pela primeira vez a qualidade foi vista como responsabilidade gerencial distinta e como função independente. O livro chegou até a tratar de muitos princípios considerados centrais no moderno controle da qualidade: a necessidade de conseguir a participação dos projetistas logo no início das atividades associadas à qualidade, e a associação da

melhoria da qualidade com a maior produção e custos mais baixos. Seu enfoque principal era a inspeção. A inspeção 100%, ou seja, a inspeção em todo o lote de produção, se manteve inalterada durante muitos anos, apesar da necessidade de aplicação, em diversos momentos, de inspeções parciais ou por amostragem, mas sem metodologia estruturada nem procedimentos confiáveis (MARSHALL JUNIOR, 2006).

As necessidades dos clientes não eram direcionadoras à concepção do produto. Da linha de montagem da Ford, no período de 1908 a 1927, saía apenas um modelo, o Ford T - ou como conhecido: *Ford Bigode* - e em uma única cor, a preta. Todavia, isso não foi empecilho para que esse produto se tornasse o carro do século, chegando a 15 milhões de unidades vendidas. Pela primeira vez, o carro se tornara um produto acessível à classe trabalhadora, mudando o conceito dessa indústria, que investiu em capacidade para atender à demanda, que, então, era maior que a oferta (CARVALHO *et al.*, 2005).

Por outro lado, essa também foi uma época de grande evolução do conceito de controle da qualidade, e Ford também teve papel importante nessa disciplina. Imaginem o quão difícil era encaixar as peças na linha de montagem, sem que os conceitos de especificação, tolerância e conformidade estivessem desenvolvidos. Para viabilizar sua linha de montagem, Ford investiu muito na intercambialidade das peças e na facilidade de ajustes, adotando um sistema padronizado de medida para todas as peças. Como o modelo de linha de montagem se difundiu não só na indústria automobilística, mas também em outros setores industriais, tornou-se importante investir no desenvolvimento de áreas como a metrologia, sistema de medidas e especificações, para garantir a intercambialidade das peças. Embora nessa época, o foco do controle da qualidade ainda fosse a inspeção, já se encontravam elementos importantes do que viria a ser o conceito de qualidade que priorizava uma abordagem voltada à produção e à conformidade (CARVALHO *et al.*, 2005).

Foi em 1924 que o conceito de controle da qualidade deu um novo salto, quando Walter A. Shewhart criou os gráficos de controle, ao fundir conceitos de estatística à realidade produtiva da empresa de telefonia *Bell TelePhone Laboratories*. Shewhart também propôs o ciclo PDCA (*plan-do-check-act*), que direcionaria as atividades de análise e solução de problema (GARVIN, 2002).

Na década de 1930, o controle da qualidade evoluiu bastante, com o desenvolvimento do sistema de medidas, das ferramentas de controle estatístico do processo e do surgimento de normas específicas para essa área. Surgiram técnicas de amostragem, o que permitiu a introdução da inspeção por amostragem, que reduziu as inspeções 100% (antes, geravam elevados custos indiretos). As normas britânicas e americanas de controle estatístico da qualidade são também desse período, *British Standard BS 600* e *American War Standards*, respectivamente. Foi também nessa época que os experimentos de Elton Mayo e a Escola das Relações Humanas começaram a questionar a alienação no trabalho e a importância da participação do trabalhador. Esse trabalho pioneiro, aliado aos estudos de Maslow, McGregor e Herzberg, nas décadas seguintes, sobre motivação humana, teve grande influência nos programas de qualidade no período pós-guerra, em especial na composição do modelo japonês (CARVALHO *et al.*, 2005).

Por volta do final da II Guerra Mundial, a qualidade já conquistara seu lugar e passou a ser uma disciplina bem aceita no ambiente organizacional, com técnicas específicas e resultados efetivos, com profissionais especializados e bem caracterizados na especialidade. Em 1950, W. Edwards Deming, estatístico especialista em qualidade, foi ao Japão, a convite da recém criada JUSE (*Japanese Union of Scientists and Engineers*) com papel importante na área da qualidade, proferir palestras para líderes industriais, tendo em vista a preocupação em reconstruir aquele país, conquistar novos mercados e melhorar a reputação dos produtos japoneses. A contribuição de Deming foi tão expressiva para o processo da qualidade japonês que, em 1951, foi criado o prêmio Deming, em sua homenagem (WALTON, 1992).

Em 1954, Joseph M. Juran visitou o Japão, introduzindo uma nova era no controle da qualidade. Liderou a passagem de uma fase, em que as atividades relativas à qualidade baseavam-se nos aspectos tecnológicos das fábricas, para uma nova. A preocupação com a qualidade passou a ser global e holística, abarcando todos os aspectos do gerenciamento e toda a organização (MARSHALL JUNIOR, 2006).

Nos Estados Unidos, a área de qualidade se consolidou. Em 1945, surgiu a primeira associação de profissionais da área - a *Society of Quality Engineers*. Posteriormente, foi fundada, em 1946, a *American Society for Quality Control*

(ASQC), atualmente *American Society for Quality (ASQ)*, com a participação de importantes nomes da área de qualidade, como Joseph M. Juran, que é membro fundador (CARVALHO *et al.*, 2005).

Foi na década de 1950 que as primeiras associações da área da qualidade e seu impacto nos custos foram tecidas e foi proposta a primeira abordagem sistêmica. Em 1951, Juran lançou a publicação *Planning and Practices in Quality Control*, que apresentava um modelo que envolvia planejamento e apuração dos custos da qualidade. Já Armand Feigenbaum foi o primeiro a tratar a qualidade de forma sistêmica nas organizações, formulando o sistema de Controle da Qualidade Total (TQC - *Total Quality Control*), que influenciaria fortemente o modelo proposto pela *International Organization for Standardization (ISO)*, a série ISO 9000. No final dessa década, em 1957, Philip B. Crosby lançou os elementos que criaram o programa *Zero Defeito*, que foi muito popular na época, tanto em programas militares como em empresas (CARVALHO *et al.*, 2005).

Enquanto isso, no outro lado do mundo, o Japão lutava pela reconstrução no período pós-guerra. Nesse período, como já mencionado, dois importantes teóricos da área da qualidade estiveram no Japão, W. Edwards Deming e Juran. Esses teóricos influenciaram a criação do modelo japonês, mas também foram influenciados por esse mesmo modelo. Deming, que exerceu forte influência na criação do modelo japonês, tinha forte orientação estatística e foco no controle da qualidade, mas em sua estada no Japão, incorporou aspectos relacionados à participação dos trabalhadores e da alta gerência como fundamentais para a boa Gestão da Qualidade. Foi criado em 1951, em homenagem a Deming, o Prêmio Deming, que seria atribuído à empresa que mais se destacasse na área da qualidade em cada ano. Só no final da década de 1980 surgiu um prêmio similar nos Estados Unidos, o Prêmio Malcom Baldrige (1987), e posteriormente, na Europa, o Prêmio Europeu da Qualidade (1991), e também no Brasil, Prêmio Nacional da Qualidade - PNQ (1992) (CARVALHO *et al.*, 2005).

O modelo japonês, *Company Wide Quality Control - CWQC*, que foi traduzido no Brasil como *Controle da Qualidade por toda a Empresa* ou *Controle da Qualidade Amplo Empresarial*, traria vários elementos novos à Gestão da Qualidade, que seriam associados àqueles já presentes no modelo ocidental (TQC). Vários teóricos orientais tiveram também forte influência nesse novo modelo. Taiichi Ohno, um dos

grandes idealizadores do modelo Toyota de produção, que ficaria conhecido como produção enxuta ou *lean production*, influenciou a qualidade, sobretudo pela aversão ao desperdício (ou *muda*, em japonês). Em sua luta contra o desperdício, um dos alvos foi a eliminação da inspeção e, para tal, precisou devolver aos trabalhadores a responsabilidade pela qualidade do que produziam, para que pudessem interromper a produção assim que uma não-conformidade ocorresse no sistema, intervindo em tempo real e evitando a produção de peças defeituosas. Além disso, Ohno reservava um horário periodicamente para que os trabalhadores, em equipes, discutissem melhorias no processo (CARVALHO *et al.*, 2005).

O conceito de melhoria contínua era fundamental no modelo japonês na busca da perfeição (*kaizen*), conforme advogado por Maasaki Imai. Outro elemento importante no modelo japonês era o sistema de parcerias e alianças com fornecedores. A seleção e o desenvolvimento dos fornecedores já eram um fator crítico para o sucesso das empresas japonesas, em que as redes de fornecimento, conhecidas como *keiretsu*, apresentavam padrões de colaboração e parceria muito diferenciados, com o conceito de qualidade assegurada. Shigeo Shingo, também, colaborou para eliminação de desperdícios da qualidade com a proposição de dispositivos à prova de erros (ou *poka yoke*, em japonês) e desperdício de tempos de preparação, com seu modelo de troca rápida de ferramenta. Kaoru Ishikawa teve importante papel no modelo japonês, contribuindo na formulação do CWCQ e na difusão das sete ferramentas da qualidade, que viriam a ser amplamente utilizadas pelos Círculos de Controles de Qualidade (CCQs), como ficaram conhecidos os grupos de melhoria, atualmente ainda em uso em diversas organizações (CARVALHO *et al.*, 2005).

O sucesso do modelo japonês, que na década de 1970, já mencionava a aferição dos defeitos em partes por milhão, enquanto no Ocidente as métricas ainda eram calculadas em porcentagens, provocou forte interesse nas organizações pelos programas de qualidade. Nas décadas seguintes, os modelos TQC e CWQC foram implementados com entusiasmo pelas empresas e se difundiram rapidamente. Na década de 80, em uma economia cada vez mais globalizada, caracterizada pela acirrada competitividade e por um ambiente altamente turbulento, a contínua busca da eficácia fez emergir nas empresas a preocupação cada vez maior com a qualidade dos seus produtos em relação ao mercado consumidor. Diversos países

reúnem-se em blocos econômicos para somar esforços e se ajudar mutuamente, de forma a poderem competir em condições melhores nos mercados mundiais. A articulação econômica entre essas nações gera grande sinergia entre os participantes, dando origem ao modelo normativo da ISO (*International Organization for Standardization*, dentro da qual, em particular para a área de Gestão da Qualidade, a série ISO 9000 e Sistemas de Garantia da Qualidade (CARVALHO *et al.*, 2005).

Para Carvalho *et al.* (2005), embora, em algumas situações, essa norma, que é de caráter voluntário, pudesse ter sido utilizada como barreira técnica às exportações, de maneira geral facilitou a relação entre clientes e fornecedores ao longo da cadeia produtiva dispersa geograficamente. O processo de seleção de fornecedores, utilizando essa norma como critério qualificador, eliminou os enormes contingentes de auditores que as empresas mantinham, passando a utilizar as certificações e as auditorias de terceira parte, credenciadas para esse fim. A ISO 9000 difundiu-se rapidamente, tornando-se um requisito de ingresso em muitas cadeias produtivas, em especial a automobilística, que não tardou a criar diretrizes adicionais, como a QS 9000, que convergiram para uma especificação técnica ISO TS 16949, em 1999, para todo o setor. Em 2000, foi feita a terceira revisão da série, ISO 9000:2000, que trouxe novos elementos, passando a adotar uma visão de Gestão da Qualidade e não mais de garantia, introduzindo elementos da gestão por processos, gestão por diretrizes e foco no cliente. Nova revisão dessa norma ocorreu em 2008, contemplando principalmente alterações de forma.

Assim, chega-se a alguns elementos da Gestão da Qualidade moderna, que, paradoxalmente, recupera alguns atributos da época artesanal, como a busca da proximidade às demandas do cliente e maior customização, embora agora uma customização em massa, ou seja, também com escala. No final da década de 1960, Mizuno e Akao colaboraram para resgatar a proximidade com o cliente, propondo o método QFD (*Quality Function Deployment*), ou *Desdobramento da Função Qualidade*. Genichi Taguchi focou as atividades de projeto, como fundamentais para a satisfação do cliente e para criação de uma qualidade robusta (*robust quality*). Esse resgate da importância dos clientes e a percepção da qualidade como um critério competitivo, passível de fornecer vantagem competitiva, trouxe alguns teóricos da área de estratégia e administração para a área da qualidade, como

David Garvin, que, em seus trabalhos, discutiu o impacto estratégico da qualidade. Também Akao tratou da importância do alinhamento estratégico da área da qualidade com as estratégias do negócio, o que chamou de *Hoshin Kanri* ou *Strategic Policy Deployment*, traduzido por *Desdobramento das Diretrizes* (CARVALHO *et al.*, 2005).

O programa mais recente de Gestão da Qualidade surgiu no final da década de 1980, na Motorola, chamado Seis Sigma. Essa ferramenta só se popularizou no final do século passado e início do século XXI. Esse programa apresenta várias características dos modelos anteriores, como o pensamento estatístico típico da época de maior ênfase no controle da qualidade e na análise e solução de problemas. No Seis Sigma, existe uma preocupação com o uso sistemático das ferramentas estatísticas, seguindo um ciclo batizado de DMAIC (*define-measure-analyse-improve-control*), sigla que representa as etapas de definir, medir, analisar, melhorar e controlar, o que também remete ao ciclo PDCA. Esse método vai além do pensamento estatístico, pois promove um alinhamento estratégico da qualidade, desdobrada em projetos prioritários. Além disso, existe forte ênfase na relação custo-benefício desses projetos, cujos ganhos, em algumas empresas, somam cifras expressivas (ROTANDARO, 2008).

Essa breve revisão histórica busca traçar uma trajetória da evolução da qualidade ao longo do último século, lembrando que vários elementos de todos esses anos estão presentes no dia-a-dia das empresas.

3.2 Conceitos da Qualidade

Atualmente, qualidade é a palavra-chave mais difundida e, ao mesmo tempo, um termo de pouco entendimento no interior das organizações. Os próprios teóricos da área reconhecem a dificuldade de se definir, precisamente, o que seja o atributo qualidade de um produto. Essa dificuldade existe, principalmente, porque a qualidade pode assumir diferentes significados para diferentes pessoas e situações, dependendo de quem a observa é um consumidor, um produtor ou, ainda, um órgão governamental. Dentro de uma organização, a qualidade também assume diferentes significados para cada um dos setores da empresa: Marketing, Produção, Assistência Técnica, Projetos, etc (TOLEDO, 1987).

Os conceitos de Qualidade apresentados pelos principais autores da área, são os seguintes:

Juran (1974) associa qualidade à idéia de "*adequação ao uso*". Um produto tem qualidade quando satisfaz às necessidades do usuário. A adequação ao uso é determinada por aquelas características do produto que o usuário reconhece como benéficas para ele.

Feigenbaun (1961) define qualidade como o conjunto de características do produto, tanto de engenharia quanto de fabricação, que determinam o grau de satisfação que proporciona ao consumidor, durante o seu uso.

Crosby (1984), por sua vez, define qualidade como "*conformidade com especificações*".

As citações de outros autores basicamente repetem ou são variações das definições apresentadas e, em geral, poderiam ser resumidas em: a qualidade de um produto é o grau em que o mesmo satisfaz às exigências do consumidor (TOLEDO, 1987).

Existe uma variedade de conceitos e definições de qualidade na literatura especializada e em áreas afins. Segundo Garvin (2002), existem cinco abordagens principais para a definição de qualidade: transcendental, baseada no produto, baseada no usuário, baseada na produção e baseada no valor.

Transcendental

É uma condição de excelência que implica ótima qualidade, absoluta e universalmente reconhecível. É uma propriedade simples e não analisável, que se aprende a reconhecer somente através da experiência.

Baseada no Produto

A qualidade é definida como uma variável precisa e mensurável, e as diferenças refletem-se nas características possuídas por um produto. Esse enfoque leva a uma dimensão vertical ou hierarquizada da qualidade, para que os produtos possam ser classificados segundo as suas características. Essa visão leva a dois pontos fundamentais: primeiro, a qualidade é uma característica inerente aos produtos e pode ser avaliada objetivamente; segundo, uma qualidade melhor só pode ser obtida a custos maiores, uma vez que a qualidade reflete as características que

um produto contém, e, agregando valores, então os produtos com qualidade superior serão mais caros.

Baseada no Usuário

Esse enfoque parte da premissa oposta de que "a qualidade está nos olhos do observador/consumidor". A qualidade estaria associada a uma visão subjetiva, baseada em preferências pessoais. Supõe-se que os bens que melhor satisfazem as preferências do consumidor são aqueles considerados como tendo alta qualidade. Esse enfoque levou ao conceito de "pontos ideais" e à visão econômica de que as diferenças de qualidade são percebidas através de alterações na curva de demanda do produto. Levou ainda ao conceito de "adequação ao uso", predominante na literatura da área de qualidade:

Baseada na Produção

As definições baseadas na fabricação identificam a qualidade como "conformidade com as especificações". Uma vez que uma especificação de projeto tenha sido estabelecida, qualquer desvio significa redução na qualidade: identifica-se excelência com o atendimento de especificações. Assim, um produto construído em conformidade com as especificações seria considerado de boa qualidade, independente do conteúdo da especificação. De acordo com o enfoque baseado na fabricação, as melhorias na qualidade, que são equivalentes às reduções na porcentagem de defeituosos, levam a custos menores, uma vez que prevenir a ocorrência de defeitos é interpretado como sendo mais econômico do que seu retrabalho.

Baseada no Valor

Define-se a qualidade em termos de custos e preços. Um produto de qualidade é aquele que apresenta desempenho a um preço aceitável e/ou conformidade a um custo aceitável. Assim, um produto extremamente caro, em relação ao poder de compra do mercado, não importando quão bem feito ele o é, não poderia ser considerado um produto de qualidade, pois teria poucos compradores.

Outras definições podem ser enquadradas nas citadas, a partir de seus aspectos preponderantes. Eventualmente, é possível perceber algum conflito entre elas. Dependendo da área considerada, como por exemplo: marketing, vendas,

produção, etc, uma ou outra definição aplica-se melhor. O caminho mais seguro para se definir qualidade em uma empresa é através de sua política da qualidade, que pode incluir mais de uma das abordagens indicadas.

Ainda para Garvin (2002), o conceito de qualidade pode ser desdobrado em oito dimensões, elencadas a seguir:

- **desempenho** - refere-se às características operacionais básicas do produto;
- **características** - são as funções secundárias do produto, que suplementam seu funcionamento básico;
- **confiabilidade** - reflete a probabilidade de mau funcionamento de um produto;
- **conformidade** - refere-se ao grau em que o projeto e as características operacionais de um produto estão de acordo com padrões pré-estabelecidos;
- **durabilidade** - refere-se à vida útil de um produto, considerando suas dimensões econômicas e técnicas;
- **atendimento** - refere-se a rapidez, cortesia, facilidade de reparo ou substituição;
- **estética** - refere-se ao julgamento pessoal e ao reflexo das preferências individuais;
- **qualidade percebida** - refere-se à opinião subjetiva do usuário acerca do produto.

A correta conceituação da qualidade, bem como a sua desagregação em cada situação empresarial, pode ser a chave para se recorrer à qualidade como uma estratégia de concorrência. O fator comum em quase todas as tentativas de se conceituar a qualidade é a satisfação das necessidades do consumidor. Um produto seria considerado qualitativamente correto, ou de "boa" qualidade, desde que satisfizesse às necessidades do consumidor, independente do conteúdo dessa qualidade. Nesse sentido, a qualidade seria um conceito relativo; em face da subjetividade associada à satisfação de necessidades, e não uma propriedade inerente que se afirma ou se nega de um produto. Para os autores, a qualidade deixa de ser uma propriedade que os produtos têm ou não têm para estar associada

ao conceito de satisfação de necessidades. Com isso se justifica a existência de diferentes níveis de qualidade associados aos produtos e, assim, de acordo com esta lógica, um produto destituído de qualidade intrínseca seria considerado de qualidade adequada para um consumidor pouco exigente em face de suas limitações econômicas, culturais e sociais (TOLEDO, 1987).

3.3 Abordagem Econômica da Qualidade

De acordo com Paladini (1995), a utilização de unidades monetárias é uma forma universal de expressar a análise de ações empresariais. A imensa maioria dos resultados de atividades desenvolvidas em nível de processos produtivos pode ser convertida para um padrão financeiro e, assim, pode-se ter uma linguagem única para comparar vantagens, benefícios diretos ou indiretos, necessidades de investimentos e custos na execução de atividades das mais diferentes naturezas. Além da unicidade de interpretações, trata-se de uma linguagem de fácil acesso, compreensão e de inegável relevância.

Todos esses aspectos são válidos, quando se analisa a questão da Qualidade Total. São também extremamente úteis, já que inserem a qualidade no contexto global da organização. A análise da qualidade do ponto de vista econômico requer a consideração de suas relações com todas as partes do sistema produtivo, única forma de se medir seus benefícios e custos de modo efetivo; além disso, inclui a qualidade no rol das preocupações usuais da administração operacional da empresa, para quem o problema de custos é permanente. Existem especificidades próprias na análise econômica da qualidade, como, por exemplo, o fato de que os benefícios financeiros extrapolam os limites de sua área. Da mesma forma, a determinação dos custos da qualidade deve considerar uma duplicidade de aspectos – há atividades próprias da qualidade, em nível de controle, e também atividades que envolvem áreas muito mais amplas da fábrica, como é o caso das ações na área de conscientização da mão-de-obra para a importância da qualidade (PALADINI, 1995).

Para um perfeito entendimento desse tipo de abordagem, os aspectos econômicos da qualidade podem ser analisados em dois ambientes distintos: o interno e o externo à empresa. A abordagem econômica da qualidade no ambiente

interno está intimamente ligada à Metrologia e, assim, à importância que as organizações dão à cultura metrológica. Os investimentos destinados a essa área impactarão significativamente nos custos internos do processo produtivo. Sob esse olhar, para Robles (1996), os custos da qualidade podem ser subdivididos em duas macrocategorias: custos do controle e custos das falhas dos controles, como mostra o Quadro 2.

Quadro 2 – Custos da Qualidade.
Fonte: Robles (1996).

<i>Custos de Controle</i>	<i>Custos de Prevenção</i>
	<i>Custos de Avaliação</i>
<i>Custos das Falhas dos Controles</i>	<i>Custos de Falhas Internas</i>
	<i>Custos de Falhas Externas</i>

Já Slack (1996) subdivide essas macrocategorias em: custos de prevenção e de avaliação - ligados a atividades que visam prevenir a ocorrência de erros, atuando na antecipação e no monitoramento dos processos - e custos de falhas internas e de falhas externas - relacionados com os custos decorrentes do erro já ocorrido e que caracterizam, pelo menos de certa forma, um mau investimento nos custos de controle, tendo em vista que esses dois macrogrupos são inversamente proporcionais, ou seja, quanto mais se investe em prevenção e controle, menos ocorrem falhas no processo produtivo. Na verdade, o bom gerenciamento desses custos leva a um aumento de produtividade e ganhos relativos, na medida em que ocorre aumento da qualidade e futuros erros podem ser previstos. Do ponto de vista do ambiente interno, a qualidade está embutida na produção do produto. Internamente, é na concepção do produto que a qualidade será percebida, refletindo na sua produtividade e, por sua vez, nos seus custos produtivos.

Oliveira (2006) e Carvalho *et al.* (2005) consideram custos de produção os Custos de Prevenção, de Avaliação e das Falhas Internas. Os custos de prevenção incluem aquilo que se gasta durante a observação e identificação de problemas antes da execução ou produção de determinado produto. De acordo com Carvalho *et. al* (2005), os custos de prevenção são resultantes dos gastos associados às medidas tomadas para planejar a qualidade, a fim de garantir que não ocorrerão problemas. Também podem ser enquadrados nessa categoria quaisquer gastos

decorrentes de ações que objetivem prevenir ou reduzir o risco de não-conformidades ou defeitos, ou seja, podem ser considerados investimentos requeridos para assegurar que não ocorram falhas nos processos. Em outras palavras, visam prevenir a falta de qualidade em produtos e serviços.

Para Oliveira (2006), se por um lado, prevenir problemas tem um custo adicional ao processo de produção, por outro, a solução após sua ocorrência pode significar um custo muito maior. São exemplos desses custos: treinamento de operadores de máquinas e equipamentos, análise de matéria-prima, atividades de desenvolvimento de produtos, avaliação de fornecedores, etc.

De acordo com Rotandaro (2008), os custos de avaliação são referentes ao controle da qualidade. Ocorrem quando os agentes envolvidos diretamente no processo de produção checam a possibilidade da existência de problemas e erros, que podem acontecer durante o processo de fabricação e/ou execução do produto ou serviço. Nesse caso, algumas ferramentas de prevenção devem ser adotadas, tais como: o Controle Estatístico do Processo (CEP), o MSA (Análise de Sistemas de Medição), etc.

Segundo Carvalho *et al.* (2005), os custos de avaliação são aqueles associados à verificação do nível da qualidade obtido pelo produto, isto é, são os custos relativos às inspeções e aos ensaios requeridos para garantir que o produto esteja em conformidade com as especificações e os requisitos de desempenho. Eles representam os gastos para determinar o grau de conformidade dos produtos, ou seja, são dispêndios com atividades desenvolvidas para identificação de unidades ou componentes defeituosos antes da remessa do produto para os clientes. Na grande maioria dos casos, a maior contribuição nos custos de avaliação são os gastos com pessoal de inspeção, ensaios e testes. Outros elementos na categoria de custos de avaliação são: área ocupada pelo controle da qualidade, auditoria (regular) de produto, calibração de instrumentos de medição e controle, coleta, análise e relato dos dados da qualidade, controles realizados em laboratório, custos de verificação e revisão de projeto, serviços e materiais para inspeção e testes.

Os custos de falhas internas ocorrem na medida em que são detectados erros na operação interna, como problemas com peças e materiais refugados ou retrabalhados. Incluem, também, a perda de tempo durante o processo de produção,

bem como a falta de concentração dos agentes envolvidos na solução dos erros ocorridos. É necessário identificar os erros internos a partir de um controle rígido dos fatores de produção utilizados no processo, bem como controlar o tempo de desempenho das funções exercidas pelos agentes produtivos. A especialização e a qualificação dos agentes envolvidos tornam-se importantes, na medida em que o controle da qualidade, antes voltado somente para a questão dos materiais e produtos, passa a envolver-se também com a qualificação da mão-de-obra (OLIVEIRA, 2006).

Na mesma linha de Oliveira (2006), para Carvalho *et al.* (2005) os custos de falhas internas são aqueles decorrentes da produção de peças defeituosas, identificadas internamente na organização. São custos diretos ou indiretos, decorrentes da falta de qualidade requerida, detectados antes de os produtos serem expedidos. Exemplos típicos dos custos de falhas internas são: abertura e implementação de ações corretivas devido a refugo, custos de análise das falhas, defeitos ou anomalias, desvalorização (diferença entre o preço de um produto de venda normal e de preço reduzido devido a problemas de qualidade), horas extras para recuperar atrasos gerados por problemas de qualidade, inspeção 100% para classificação, manutenção corretiva, paradas de produção devido a peças defeituosas, reinspeção de lotes/estoques de produtos novos ou retrabalhados, reinspeção e novos testes.

Para Toledo (1987), indo de encontro à análise de Costa Neto (2007) sobre o conceito de qualidade baseada no processo, no ambiente interno, a qualidade começa no projeto e é definida durante a fase de projeto do produto, sendo estabelecida a partir de especificações de matéria-prima, desenho, desempenho, etc. Já a qualidade de conformação é gerada ao longo do processo produtivo e indica o grau de conformidade entre o produto obtido e as especificações de projeto. Em nível da organização da produção e de seus sistemas de apoio (controle de qualidade, manutenção, engenharia industrial, etc.), a preocupação com a qualidade está voltada para a obtenção da qualidade de conformação. O fator qualidade de conformação pode ser explorado não só como meio de atender às exigências do mercado consumidor, mas como fator de racionalização da produção e de elevação dos lucros, ou seja, como meio a que a empresa poderá recorrer para reduzir

custos. Isso ocorre, pois maior qualidade de conformação, representa menor custo devido a perdas por refugos e retrabalho.

Moreira (1998) salienta a importância do conceito de “*reação em cadeia*”, quando diz que a melhoria da qualidade traz baixa de custos devido à redução de trabalho, dos erros, dos atrasos, dos empecilhos e proporciona, também, melhor uso dos materiais e do tempo de utilização das máquinas, obtendo, por sua vez, o aumento da produtividade, que gera aumento da participação do mercado em função da melhoria da qualidade do produto e da possibilidade de oferecê-lo a um preço mais baixo, possibilitando o incremento das chances de crescimento ou mesmo de permanência da empresa no mercado.

Campos (1992), abordando o aspecto econômico da qualidade no ambiente interno, cita o conceito da produtividade. Aumentar a produtividade é produzir cada vez melhor com cada vez menos. Pode-se representar a produtividade como o quociente entre o que a empresa produz e o que consome, ou seja, a relação entre saídas produzidas e as entradas necessárias para produzir.

$$\text{produtividade} = \frac{\text{saídas}}{\text{entradas}}$$

Costa Neto (2007), na mesma linha de Campos, diz que a produtividade é determinada pela seguinte equação:

$$\text{produtividade} = \frac{\text{resultados}}{\text{insumos}}$$

Campos (1992), ainda cita a importância da agregação de valor. Se a empresa for capaz de agregar muito valor por um baixo custo, dominará o mercado, pois os consumidores sempre procurarão o máximo “valor” pelo seu dinheiro. Esse valor deve ser agregado ao menor custo (entrada). O custo representa os valores que a organização retira da sociedade e aos quais agrega valor para essa mesma sociedade. Substituindo na equação anterior, “resultados” por “valor produzido” e “insumos” por “valor consumido” visualiza-se a produtividade como Taxa de Valor Agregado. Quanto maior a produtividade de uma empresa, mais útil é para a

sociedade, pois está atendendo às necessidades dos seus clientes a um baixo custo. O seu lucro decorrente é um prêmio que a sociedade lhe paga pelo bom serviço prestado e um sinal de que deve crescer e continuar a servir bem.

Em relação à abordagem econômica da qualidade relacionada ao ambiente externo, focam-se aspectos que não estão ligados ao processo de fabricação do produto, e sim, à visão do cliente, que é consumidor do produto. Um produto visto pelo consumidor como de “*má qualidade*” incorrerá numa série de custos que afetará a competitividade da organização (ROTANDARO, 2008).

De acordo com Oliveira (2006), esses custos ocorrem quando o produto ou serviço defeituoso chega às mãos dos consumidores, ou seja, após sua entrega ao mercado. Os consumidores são afetados em relação à confiança que têm no produto ou serviço e, conseqüentemente, na empresa. Podem ocorrer, ainda, quando a própria empresa disponibiliza no mercado um produto sem as características ideais ou prometidas quanto a peso, tamanho, etc., o que leva à necessidade de sua substituição. Essa ocorrência é detectada, normalmente, por órgãos representantes do Inmetro, os Ipem – Institutos de Pesos e Medidas regionais, na área da Metrologia Legal, que fazem a fiscalização e defesa do consumidor.

Para Carvalho *et al.* (2005), os custos de falhas externas são aqueles associados aos produtos com falta de qualidade já expedidos pela empresa, ou seja, os gastos relativos aos defeitos identificados pelos clientes ou ainda de posse dos distribuidores (por exemplo, no estoque de peças das concessionárias de veículos). Refletem gastos decorrentes de problemas que são identificados no campo. Exemplos de elementos que pertencem a essa categoria são: custos de investigação para descobrir a origem dos defeitos, gastos de devolução de produtos, multas contratuais devido a problemas de qualidade, processamento de reclamações (investigação e correção), processos judiciais acionados pelo cliente, recolhimento do produto e *recalls*, reinspeções realizadas no cliente, reparos no período de garantia (assistência técnica) e reparos feitos no campo.

Os custos de falhas externas são, geralmente, os de consequência mais grave, pois o fabricante ou fornecedor do produto pode ter grandes perdas devido à evasão de clientes, divulgação da má qualidade do produto, gastos em atender o

cliente, entre outros. Alguns clientes mais exigentes, como, por exemplo, as montadoras automotivas, chegam a cobrar até o custo da área de trabalho para realização de inspeção seletiva (separação de produtos defeituosos daqueles que estão conforme especificação, por meio de inspeções 100%). Quando existe a necessidade de que essa operação seja realizada na própria montadora, geralmente o fornecedor envia seu pessoal para fazer a seleção das "peças boas". Nesses casos, algumas montadoras cobram do fornecedor o espaço físico utilizado para que os profissionais das autopeças realizem tal operação. Além desse tipo de problema, existem custos difíceis de serem identificados e analisados, principalmente quando não se conhece a origem do defeito. Essa análise demanda tempo e recursos materiais e de pessoas para identificar o problema de modo a possibilitar sua resolução. O consumo desses recursos são computados como custos devido à falhas externas (CARVALHO *et al.*, 2005).

Paladini (1995) cita, ainda, alguns exemplos de custos devido à má qualidade que ocorrem no ambiente externo:

- Redução do preço pago pelo produto, pela necessidade de descontos a serem concedidos (pela existência da qualidade inferior ao desejado) ou por danos à imagem do produto.

- Custos decorrentes das ações de atenção às reclamações, concessão de garantias extras, assistência técnica para reparos, retorno das peças à empresa para conserto.

- Ações de reparo de imagem junto ao consumidor.

- Perda da confiança do consumidor e de futuros negócios.

- Perdas para a concorrência de faixas de mercado (prejuízos no prestígio da empresa, moral abatida, relações difíceis com o mercado).

Nem todos estes itens são de fácil determinação. Alguns, como a perda de confiança por parte do consumidor, provocam danos, em geral, irrecuperáveis. É difícil definir sua real magnitude.

Em contrapartida, Paladini (1995) considera que uma empresa que produz com qualidade assegura as seguintes vantagens:

- maior participação no mercado consumidor, inclusive com o aumento de sua faixa de participação;
- estabilidade dos preços, já que não depende de descontos dados a produtos de qualidade inferior;
- maior competitividade, evidenciada em concorrências e disputas por faixas específicas de mercado;
- consumidores com maiores níveis de fidelidade ao produto.

Há dois aspectos relevantes nesses elementos: maior volume de vendas e maior segurança para a empresa. As vendas garantem a empresa hoje e a segurança assegura a sobrevivência da empresa.

3.4 Qualidade e Produtividade

Uma questão bastante controvertida é a da relação entre qualidade e produtividade. Tradicionalmente, a qualidade e a produtividade são consideradas como inversamente correlacionadas, acreditando-se que um trabalho de alta qualidade exige mais tempo e só poderia ocorrer às custas da produtividade. Assim, para determinado processo seria possível melhorar a produtividade ou a qualidade e não ambas ao mesmo tempo. Também é senso comum que elevar a qualidade de conformação significa elevar os custos de produção em face das necessidades de máquinas e equipamentos mais sofisticados e de maior precisão, mais horas de trabalho, mão-de-obra mais qualificada, matérias-primas melhores e mais caras, etc. Entretanto, esse senso comum não passa por uma análise criteriosa dos custos de retrabalho e de refugo, o que, se considerado, provavelmente poderia levar a uma conclusão inversa (TOLEDO, 1987).

Para Deming (1990), existe é um pouco de folclore. Reza o folclore que, nos Estados Unidos, qualidade e produtividade são incompatíveis, que não se pode ter ambos. Um gerente de fábrica lhe dirá que é uma coisa ou outra. Pela sua experiência, se forçar a qualidade, a produtividade diminui; se forçar a produtividade, a qualidade sofre. Essa será sua experiência, enquanto não souber o que é qualidade nem como alcançá-la!

Ele conseguiu uma resposta clara e concisa numa reunião com 22 funcionários da área de produção, todos representantes sindicais, em resposta a sua pergunta: *"Por que a produtividade aumenta à medida em que a qualidade melhora?"*

Ouvindo como resposta ao seu questionamento:

- Menos retrabalho;
- Não há tanto desperdício;
- Para quem trabalha na produção, qualidade significa que seu desempenho o satisfaz e que se orgulha de seu trabalho.

Para Deming (1990), a melhora da qualidade transfere o desperdício de homens-hora e tempo máquina para a fabricação de um bom produto e uma melhor prestação de serviços. O resultado é uma reação em cadeia - custos mais baixos, melhor posição competitiva, pessoas mais felizes no trabalho, empregos e mais empregos. A Figura 32 apresenta essa relação.

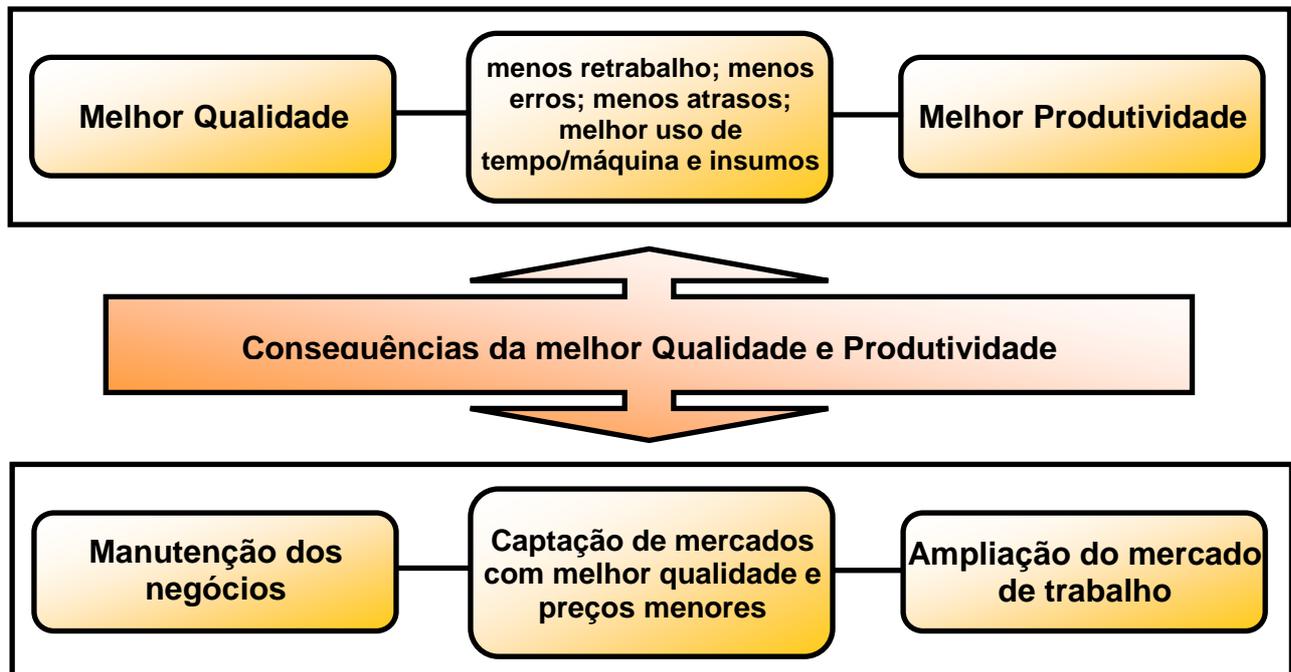


Figura 32 – Relacionamento e consequências da Qualidade e Produtividade.
Fonte: Adaptado de Deming (1990).

Na Figura 32, o relacionamento entre a qualidade e produtividade se dá através das atividades de conformação existentes no processo produtivo. A menor ocorrência de retrabalho e o menor índice de erros nas atividades de controle e de

fabricação acarretarão uma reação em cadeia na produção, pois a matéria-prima será melhor aproveitada, a relação homem/máquina será otimizada, assim como as atividades de controle de qualidade. O número de refugos será pequeno, ocorrendo a redução dos custos produtivos devido à melhora da qualidade e produtividade. Essa reação em cadeia iniciada no processo produtivo alcançará o ambiente externo, proporcionando à organização maior competitividade e a possibilidade de manutenção dos negócios por maior tempo, devido à melhor qualidade de seus produtos a menores custos produtivos. A organização terá fôlego financeiro para a captação de novos mercados antes não explorados. Outro aspecto relevante nessa reação em cadeia é a melhora do mercado de trabalho, pois mais produtos colocados no mercado significam mais trabalho e investimento em máquinas e equipamentos, impactando positivamente na necessidade de contratação de mão-de-obra para suprir o processo de produção.

Existe estreita relação entre produtividade e qualidade, uma vez que melhor qualidade de conformação significa maior porcentagem de itens dentro das especificações e, a produtividade – entendendo-a como medida a partir da quantidade de itens considerados aprovados, em relação ao total de recursos empregados - poderá ser maior, desde que essa melhoria da qualidade de conformação não seja às custas de redução significativa na quantidade produzida. Assim, uma estratégia de organização da produção criativa seria uma opção que implicasse melhorar, ao mesmo tempo, tanto a produtividade como a qualidade (TOLEDO, 1987).

Campos (1992) considera que a melhora da produtividade se dá através do investimento em três elementos básicos e distintos que compõem uma organização produtiva: o “hardware” - equipamentos e materiais – que, para ser melhorado, é necessário fazer "aporte de capital". Havendo capital, pode-se comprar qualquer equipamento ou matéria-prima desejado e com isso melhorar a produtividade. O impedimento é que nem sempre o capital é disponível. O segundo desses elementos é o “software” - procedimentos e métodos para se fazer as coisas - só é possível melhorar os procedimentos ou métodos de uma organização através das pessoas. Não é possível simplesmente comprar um procedimento sem que esse processo passe pelas pessoas. As pessoas podem absorver ou desenvolver métodos ou procedimentos. O terceiro elemento é o “humanware” – ser humano - para melhorar

o ser humano é necessário fazer "aporte de conhecimento". O conhecimento pode ser levado às organizações de várias maneiras: pelo recrutamento de pessoas bem-educadas (aqui entra o valor da educação básica fornecida ao indivíduo pela sociedade), pela contínua educação dos empregados em cursos formais, pelo autoaprendizado, pelo treinamento no trabalho, pela assistência técnica adquirida de outras empresas (contato com pessoas de outras organizações), pelo contato com consultores, etc. Considerando-se apenas os fatores internos de uma organização, a produtividade só pode ser aumentada pelo aporte de capital e pelo aporte de conhecimento.

Campos (1992) ainda cita que um programa de qualidade e produtividade é um programa de "aporte de conhecimento" e, para que ele seja realmente absorvido pela empresa, é necessário tempo. Um programa de qualidade bem conduzido leva algo em torno de cinco anos. É como se a empresa estivesse fazendo o seu "curso superior". Os resultados são lentos e graduais, mas definitivos.

Costa Neto (2007) acrescenta mais um elemento na relação qualidade e produtividade: a competitividade. Ser competitivo é ter produtividade. O que realmente garante a sobrevivência das empresas é a garantia de sua competitividade. Essas coisas estão todas interligadas: a garantia de sobrevivência decorre da competitividade, a competitividade decorre da produtividade e esta da qualidade, como mostra a Figura 33.

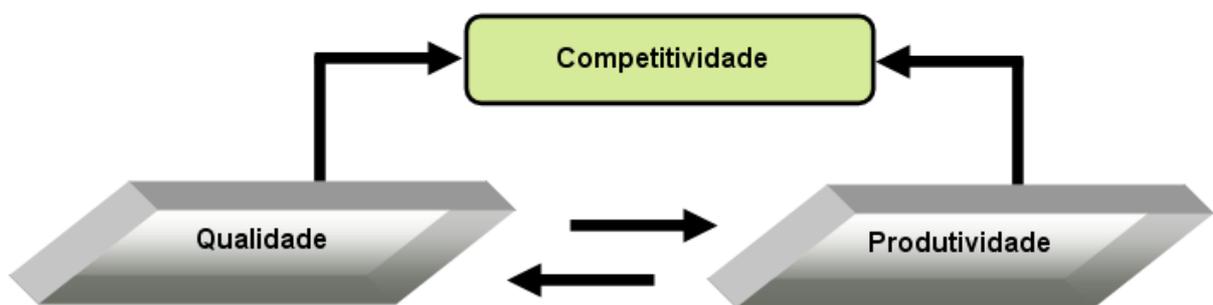


Figura 33 – Qualidade, Produtividade e Competitividade.
Fonte: Adaptado de Costa Neto (2007).

Na Figura 33, Costa Neto (2007) considera que para a empresa ser competitiva, deve poder oferecer seus produtos ou serviços com a qualidade esperada pelos clientes e com preços aceitáveis pelo mercado. Para ter preços competitivos, a empresa deve ter custos compatíveis, o que exige produtividade no

uso dos recursos de que dispõe. A figura ainda ressalta que Qualidade e Produtividade são conceitos afins, um influenciando no outro. Produzir com qualidade implica produtividade e vice-versa, relação que nem sempre foi imaginada assim, mormente quando o atendimento às especificações se conseguia pela inspeção de produtos finais, levando a refugo ou a retrabalho dos itens não conformes. Coisa que deveria ser do passado.

3.5 Controle da Qualidade

Uma das operações mais importantes da metrologia industrial é o Controle da Qualidade. Cada produto deve atender plenamente as especificações técnicas definidas pelo projetista, de forma que possa cumprir com qualidade as funções para as quais foi desenhado. O controle da qualidade envolve um conjunto de operações de medição desenhado para assegurar que apenas os produtos que atendam plenamente as especificações técnicas sejam comercializados. A qualidade de produtos ou serviços é um requisito fundamental para a sobrevivência de qualquer empresa (TOLEDO, 1987).

De acordo com Paladini (1995), tradicionalmente, o Controle da Qualidade é definido como uma função de controle e fiscalização na empresa. Esse conceito, que não mais se sustenta, evoluiu para o de uma estrutura organizada, que visa prevenir a ocorrência de defeitos na fabricação. Utiliza-se, habitualmente, o seguinte conceito para definir “Controle da Qualidade”: sistema dinâmico e complexo que envolve – direta e indiretamente – todos os setores da empresa, com o intuito de melhorar e assegurar economicamente a qualidade do produto final.

Para Paladini (1995), o Controle de Qualidade não apenas constata defeitos, mas pesquisa, analisa e previne sua ocorrência, isto é, estabelece, melhora e assegura a qualidade do produto em níveis econômicos.

De acordo com Carvalho *et al.* (2005), o papel dos profissionais do Controle da Qualidade se encontra bastante modificado comparado aos inspetores e supervisores que compunham departamentos massivos da qualidade e eram responsáveis por inspecionar e controlar a qualidade de todos os produtos da empresa.

Ainda persiste a necessidade da existência de uma estrutura para a qualidade. Essa estrutura é responsável pelo gerenciamento e pela operação do sistema da qualidade, seus procedimentos, documentos e métodos, que incluem padrões para os produtos, política de qualidade e procedimentos padrão de operação. Isso implica, também, uma estrutura eficiente para a elaboração de testes e ensaios para a análise da qualidade de produtos. Além disso, uma estrutura para a auditoria interna de sistemas da qualidade, para garantir e melhorar os sistemas implementados e elaborar relatórios da qualidade para a gerência das funções mais importantes do processo. Também implica prover capacitação e treinamento em métodos de planejamento e controle da qualidade para outras áreas (HOERL, 1998). Esses métodos incluem diversos tipos de ferramentas, dentre as quais se destacam os gráficos de controle estatístico de processos, amplamente discutidos em Branco Costa (2003).

De acordo com Carvalho *et al.* (2005), a diferença entre a abordagem atual e a antiga consiste no fato de que cada departamento, seja ele de produção ou de operação, passa a ser responsável pelo controle e qualidade dos produtos fabricados, bem como dos produtos desenvolvidos. O departamento da qualidade é responsável por prover a habilidade e os procedimentos necessários para que o sistema funcione como um todo, ou seja, a qualidade passa a ter uma abordagem que vai além do conhecimento trivial.

Por outro lado, cresce a importância do domínio de ferramentas e técnicas da área da qualidade por todos na organização, pois o controle da qualidade, bem como a análise e solução de problemas, fica a cargo dos donos do processo, ou seja, do próprio departamento, que precisa estar capacitado para tal tarefa (CARVALHO *et al.*, 2005).

Com as novas abordagens da qualidade, como o programa Seis Sigma, discutido em Rotandaro (2008), que são direcionadas para a apuração dos ganhos de projetos de melhoria, surge a necessidade de maior integração entre a área de qualidade e os demais departamentos da empresa, para que os ganhos advindos do programa possam ser apurados com maior precisão. Como consequência, em lugar de especialistas, há a necessidade de profissionais da qualidade com uma visão mais geral da empresa, que entendam os processos, para permitir tal integração dentro da empresa.

3.6 Qualidade em Serviços

Nos últimos anos, observou-se uma evolução do setor de serviços na economia mundial, o que tem levado especialistas da área de gestão da qualidade a desenvolver ferramentas e técnicas específicas para esse setor (CARVALHO *et al.*, 2005).

Serviço pode ser definido como a capacidade que uma experiência ou qualquer outro fator tenha para satisfazer uma necessidade, resolver um problema ou fornecer um benefício a alguém (ALBRECHT, 1992).

Kotler e Armstrong (1998b) definem serviços como um ato ou desempenho intangível que uma parte pode oferecer a outra e não resulte na posse de nenhum bem. Sua execução pode ou não estar ligada a um produto físico.

A qualidade aplicada ao setor de serviços está relacionada com o fornecimento do produto “serviço” com qualidade superior aos clientes, proprietários e funcionários. Com esse conceito, percebe-se que a análise não deve-se limitar aos clientes externos. É necessário levar em consideração todos os indivíduos da cadeia administrativa – funcionários e administradores – ressaltando a importância de cada um na conquista do objetivo comum, que é a qualidade (OLIVEIRA, 2006).

Paladini (2000) salienta que a área de prestação de serviços envolve a produção de serviços propriamente dita e a estruturação de métodos. Ao contrário do caso industrial, não há possibilidade aqui de se separar, com nitidez, o processo produtivo da prestação de serviços – ambos se confundem. No ambiente de prestação de serviços, a gestão da qualidade centra-se na interação com o usuário. É nesse processo interativo que a qualidade aparece.

Denton (1990) afirma que serviço é cultura, dessa forma ter qualidade superior deve iniciar pelo topo. Quem tem esse conceito sabe que produtos com qualidade, manutenção e boa administração interna influenciam a satisfação do cliente de forma mais acentuada do que preços baixos ou promoções. Empregados motivados, bem informados e atenciosos são ativos valiosos e são necessários, caso os serviços devam ser melhorados. Serviço com qualidade inferior tem as suas raízes em administração ruim.

Albrecht (1992) afirma que as empresas centralizadas nos clientes o vêem como ponto de partida, posto de escuta e árbitro final para tudo aquilo que fazem. Essas empresas partem das necessidades e expectativas do cliente, os atributos que são desejados e definidos pelos clientes. Desenvolvem e aperfeiçoam produtos e serviços para satisfazê-las.

Segundo Slack *et al.* (2002), ao comprar um produto ou serviço, o cliente não está simplesmente comprando um produto ou serviço, está comprando um conjunto de benefícios esperados para atender suas necessidades e expectativas.

De acordo com Parasuraman *et al.* (2006), atingir qualidade em produtos e serviços tornou-se preocupação central a partir da década de 1980. A qualidade em bens tangíveis tem sido descrita e medida pelos estudos de marketing, enquanto a dos serviços continua bastante indefinida e inexplorada.

Para Costa Neto (2007), a demanda por serviços cresce continuamente, daí resultando na sua importância econômica crescente, devido a diversos fatores, relacionados abaixo:

- Automação industrial;
- Urbanização;
- Maior tempo de lazer;
- Desejo de melhorar qualidade de vida;
- Mudanças do perfil demográfico;
- Mudanças sócio-econômicas;
- Aumento da sofisticação dos consumidores;
- Mudanças tecnológicas;
- Suporte à manufatura;
- Como diferencial competitivo;
- Como geradores de lucro.

O mesmo autor destaca as seguintes características próprias dos serviços, que levam a se distinguir a sua geração da produção de bens manufaturados:

- **Intangibilidade**: o serviço é imaterial, não tem existência física;
- **Instantaneidade**: como decorrência, o serviço não pode ser estocado, ocorre no instante de sua prestação;

- **Simultaneidade:** sua produção se dá, em geral, ao mesmo tempo de seu consumo;
- **Participação do cliente:** em geral, necessita da presença física ou virtual do cliente para a sua execução
- **Heterogeneidade:** como decorrência, os serviços podem apresentar múltiplas formas para serem prestados eficazmente.

Essa caracterização não difere significativamente de Kotler (1998a), para quem existem quatro características importantes na prestação de serviço:

- **Intangibilidade:** diferentemente dos produtos, os serviços são intangíveis, pois não podem ser vistos, provados, sentidos, ouvidos ou cheirados antes de serem comprados;
- **Inseparabilidade:** como os serviços são produzidos e consumidos simultaneamente, são inseparáveis;
- **Variabilidade:** os serviços são altamente variáveis, pois dependem de quem os executa e de onde são prestados; e
- **Perecibilidade:** essa característica diz respeito à impossibilidade dos serviços serem estocados.

Ao se tratar de serviços, Juran (2002) destaca que a medição da qualidade percebida pelo cliente envolve o tratamento recebido, o serviço prestado, pontualidade.

Las Casas (2006) define qualidade em serviço como a capacidade de proporcionar a satisfação do cliente. Essa satisfação é atingida quando o serviço atende ou supera a expectativa do cliente. Empresas que buscam a excelência em serviços primam por superar as expectativas do cliente. Parasuraman *et al.* (2006) justificam esses pontos e ressaltam que os serviços não são objetos, mas são prestados, envolvendo o desempenho dos prestadores. Devido a esse fato, é difícil estabelecer especificações de fabricação precisa quanto a uma qualidade uniforme. A percepção do cliente é a forma como o indivíduo percebe a qualidade do serviço. Essa percepção varia conforme o tipo de pessoa. Além da percepção individual, existem os estímulos físicos que podem influenciá-la, de acordo com o Quadro 3.

Quadro 3 - Principais aspectos físicos da percepção.
Fonte: Las Casas, (2006).

Similaridade	O que é similar tende a ser visto como um conjunto; um cliente que não goste do atendimento de um garçom, por exemplo, tende a julgar o restaurante como um todo.
Proximidade	Coisas próximas tendem a ser vistas como única; por exemplo, um produto de uma determinada marca que apresenta falha na fabricação pode gerar rejeição em todos os produtos da marca.
Continuidade	Uma sequência é percebida como fechada ou óbvia. Essa visão se relaciona com a imagem do serviço, se houver falha ou atraso em mais de uma vez, a tendência é de que o cliente associe que a falha ocorrerá.

A avaliação da qualidade dos serviços permite que as empresas conheçam as percepções, as reações e as atitudes dos clientes em relação à entrega dos serviços.

Já Parasuraman *et al.* (1988) distinguem cinco aspectos da qualidade em serviço que são importantes na relação com clientes:

- 1) **Confiabilidade** – capacidade de executar os serviços prometidos de maneira confiável e precisa;
- 2) **Tangibilidade** – a aparência das instalações, dos equipamentos, do pessoal e do material de comunicação;
- 3) **Sensibilidade** – conhecimento e cortesia por parte dos funcionários e habilidade em transmitir confiança;
- 4) **Empatia** – a atenção personalizada e o carinho individualizado que a empresa proporciona a seus clientes;
- 5) **Segurança** – capacidade de transmitir confiança e confidencialidade.

Para Deming (1990), a satisfação do cliente em relação a qualquer serviço ou item fabricado, medida por qualquer critério que seja, mostrará uma distribuição que varia desde a insatisfação extrema até altamente satisfeito e exultante. Algumas características da qualidade dos serviços são fáceis de quantificar e de medir. Exatidão da documentação, velocidade de expedição, credibilidade do tempo de entrega, cuidado no manuseio, cuidado no trânsito são características importantes dos serviços, e são fáceis de medir.

Conforme Juran (2002), para uma empresa obter um desempenho adequado e satisfazer as necessidades do cliente, é necessária a medição e controle desse desempenho. A medição da qualidade focada em serviços está diretamente relacionada com a percepção direta do cliente. Um dos fatores principais é o tratamento que esse cliente recebe antes, durante e após essa prestação do serviço. No contato direto com o consumidor, exige-se cortesia, paciência, compreensão simpática, espírito de solicitude, entre outros fatores que estão diretamente ligados ao serviço e produtos envolvidos nesse contato.

A NBR ISO 9001:2008 conforme a ABNT (2008), define que a organização deve planejar e realizar a produção e o fornecimento de serviços sob condições controladas. Qualquer processo de produção que não possa ser controlado deve ser validado, tomando as providências necessárias quando aplicáveis:

- a) Critérios definidos para análise crítica e aprovação de pessoal;
- b) Aprovação de equipamento e qualificação de pessoal;
- c) Uso de métodos e procedimentos específicos;
- d) Requisitos para registro; e,
- e) Reavaliação.

A norma destaca a propriedade do cliente: a organização é responsável por essa propriedade enquanto estiver sob seus cuidados. É necessário identificar, verificar, proteger e salvaguardar a propriedade do cliente fornecida para uso ou incorporação do produto. Caso qualquer propriedade de cliente seja perdida, danificada ou considerada inadequada para uso, isso deve ser informado ao cliente e devem ser mantidos registros.

3.6.1 Classificação dos Serviços

Denton (1990) afirma que as organizações fornecedoras de bons serviços descobrem formas simples e inovadoras para manter a administração em sintonia com os clientes e com o funcionamento diário dos negócios. A qualidade em serviços está baseada na medição precisa dos desejos dos clientes através de uma grande variedade de programas de realimentação, facilitando aos clientes informá-los o que está certo e o que está errado.

Silvestro *et al.* (1992) propõem a utilização de seis dimensões:

- 1) foco em pessoas ou equipamentos;
- 2) grau de contato com o cliente;
- 3) grau de personalização do serviço;
- 4) grau de julgamento pessoal dos funcionários;
- 5) foco no produto ou no processo;
- 6) *front office* ou *back room* como fonte de valor adicionado.

A partir dessas dimensões, os autores tipificam os serviços em três grandes características representadas no Quadro 4.

Quadro 4 - Dimensões de um processo de serviço.
Fonte: Adaptado de Silvestro *et al.*(1992).

Serviços Profissionais	<p>Definidos como organizações de alto contato, onde os clientes despendem tempo considerável no processo do serviço. Esses serviços proporcionam altos níveis de customização, sendo o processo do serviço altamente adaptável para atender as necessidades individuais dos clientes.</p> <p>Exemplos: consultores de gestão, advogados, arquitetos, cirurgiões, auditores, inspetores e segurança, alguns serviços especiais na área de computadores, etc;</p>
Serviços de Massa	<p>Processo de serviço que atende ao maior número de clientes por unidade de tempo, são serviços pouco personalizados, com alto grau de padronização de operações e pouca customização.</p> <p>Exemplos: transporte urbano, cartão de crédito, supermercados, aeroportos, comunicações, emissora de televisão, serviço de polícia, etc;</p>
Lojas de Serviços	<p>Processo intermediário contínuo entre os serviços profissionais e os serviços de massa. Esse processo caracteriza-se por um volume maior de clientes processados por dia, como em hotéis, restaurantes, varejo em geral e no atendimento a pessoa física em bancos. Nesse caso o valor do serviço é gerado tanto no <i>front office</i> (quarto e lobby dos hotéis, salão do restaurante e balcão das lojas) como no <i>back room</i> (lavanderia e limpeza de quartos em hotéis, cozinha de restaurantes e setor de compras em lojas).</p>

A Metrologia enquadra-se como um tipo de serviço profissional que pode ser prestado de duas maneiras: a primeira, dentro da organização - quando a empresa possui um laboratório para os serviços de calibração de instrumentos e sistemas de

medição. Pode prestar serviços aos diversos setores da empresa, que são os clientes do laboratório. A outra maneira se dá quando a empresa contrata um laboratório fora da organização. O laboratório deverá pertencer à RBC, prestando os serviços como uma empresa terceirizada. Em qualquer um dos casos, para a garantia da confiabilidade dos serviços prestados e qualidade nas medições, os laboratórios terão de ser acreditados pelo Inmetro, tendo assim assegurada a rastreabilidade aos padrões primários do SI.

Segundo Lovelock e Wright (2001), na produção dos serviços, os clientes estão frequentemente envolvidos. Deve-se avaliar a natureza do processo, aos quais os clientes podem ser expostos para garantir uma participação adequada. Um processo é um método particular de operação ou uma série de ações, envolvendo múltiplos passos que, muitas vezes, precisam acontecer em uma sequência definida. Estes processos podem ser relativamente simples, envolvendo apenas alguns passos, até atividades mais complexas compostas de várias etapas. Outro ponto relevante é que um processo envolve a transformação de insumos em produtos e os autores propõem uma classificação de serviços. Adotando uma visão operacional, são classificados em dois grupos distintos: com base em ações tangíveis, seja nos corpos das pessoas ou nos bens dos clientes; e em ações intangíveis, nas mentes das pessoas ou em seus bens intangíveis.

3.6.2 Dimensões da Qualidade em Serviços

Parasuraman *et al.* (1988) destacam cinco fatores que podem representar a percepção que os clientes têm dos serviços adquiridos:

1. **Tangíveis** - aparência das instalações físicas e do pessoal;
2. **Confiabilidade** - habilidade para executar o serviço conforme o prometido e de forma acurada;
3. **Presteza** - boa vontade em ajudar os clientes e prestar serviços prontamente;
4. **Garantia** - conhecimento e cortesia dos empregados e sua habilidade de transmitir confiança e responsabilidade;
5. **Empatia** - atenção individual dada aos clientes.

Esses autores também sugeriram um conjunto de dimensões da qualidade dos serviços apresentadas no Quadro 5.

Quadro 5 - Dimensões da Qualidade.
 Fonte: Adaptado de Parasuraman *et al.* (1988).

Aspectos Tangíveis	Aparência física de instalações, equipamentos, pessoas e materiais de comunicação.
Confiabilidade	Capacidade de prestar o serviço prometido de forma confiável e precisa.
Responsabilidade	Disposição para ajudar o cliente e proporcionar com presteza um serviço.
Competência	Habilidades específicas para desempenhar um serviço.
Cortesia	Fineza, respeito, consideração e amabilidade no contato pessoal.
Credibilidade	Confiança, credibilidade, honestidade e integridade transmitidas pelo prestador do serviço.
Segurança	Ausência de risco, perigo ou dúvida.
Acesso	Proximidade e facilidade de contato.
Comunicação	Manter o cliente informado de forma compreensível e escutá-lo.
Conhecimento do cliente	Esforço para saber e atender suas necessidades.

Oliveira (2006) faz uma comparação entre as dimensões da qualidade aplicadas a serviços de Parasuraman e Garvin, que é apresentada no Quadro 6.

Quadro 6 - Comparação entre as dimensões de Parasuraman e Garvin.
 Fonte: Oliveira (2006).

DIMENSÕES DA QUALIDADE APLICADAS A SERVIÇOS	
PARASURAMAN	GARVIN
Aspectos Tangíveis	Desempenho, Características, Confiabilidade, Estética e Qualidade
Confiabilidade	Confiabilidade e Qualidade Percebida.
Responsabilidade	Desempenho, Confiabilidade, Conformidade e Qualidade Percebida.
Competência	Desempenho, Confiabilidade, Conformidade, Atendimento e Qualidade Percebida.
Cortesia	Característica e Qualidade Percebida.
Credibilidade	Conformidade, Atendimento, Estética e Qualidade Percebida.
Segurança	Desempenho, Conformidade, Durabilidade e Qualidade Percebida.
Acesso	Qualidade Percebida
Comunicação	Característica, Atendimento e Qualidade Percebida.
Conhecimento do cliente	Desempenho, Atendimento e Qualidade Percebida.

No capítulo 5, item 5.4, são feitas, algumas considerações sobre o relacionamento das Dimensões da Qualidade aplicadas a Serviços, apresentadas por Parasuraman e Garvin, e a Metrologia.

3.6.3 Clientes e Serviços

Definição de cliente:

É toda a pessoa ou organização impactada por algo que você faz. Não é nunca uma única pessoa. Trata-se de um elenco de personagens, podendo o cliente ser considerado como um processo. O que é feito e entregue ao cliente pode ser algo tangível (um produto) ou intangível (um serviço) (CERQUEIRA NETO, 1995).

Paladini (2007) diferencia “cliente” de “consumidor”, chamando de consumidor aqueles que utilizam o produto hoje, enquanto os clientes são os que poderão utilizar, ou não, o produto amanhã. Os consumidores são aqueles que dão sustentabilidade à empresa, pois garantem a faixa de mercado hoje. Os clientes, por sua vez, são aqueles que poderão vir a utilizar o produto da empresa. Por essa razão, a empresa deverá direcionar todos os esforços, evoluindo continuamente a sua linha produtos, para que os clientes se tornem consumidores. A transformação do cliente em consumidor dá a idéia de competitividade da empresa. Assim, a empresa dependerá dos consumidores para viver e dos clientes para sobreviver.

Costa Neto e Canuto (2010) associam a idéia de “cliente” ao fluxo de entradas e saídas ocorridos nas empresas em seus processos (Figura 34).

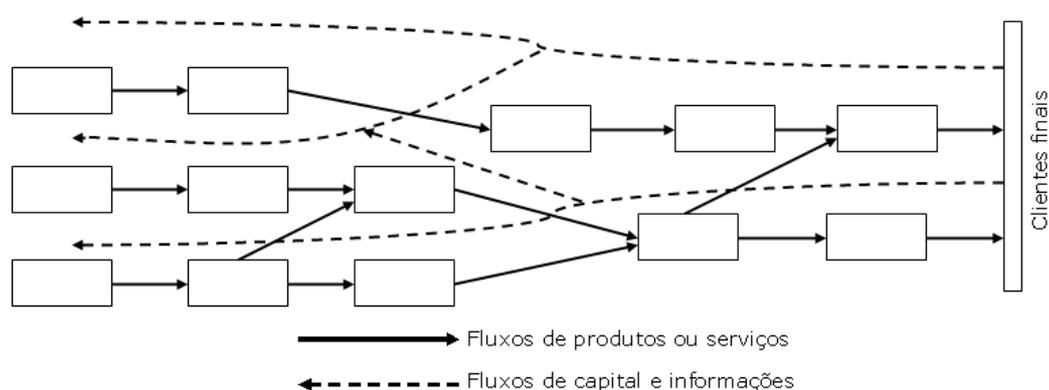


Figura 34 – Fluxo de entradas e saídas de uma empresa.
Fonte: Costa Neto e Canuto (2010).

Enfatizam a existência de redes de empresas, umas fornecendo insumos para outras, num grande emaranhado de inter-relações, até se chegar ao cliente final propriamente dito, ou seja, as pessoas consumidoras dos produtos ou serviços

oferecidos à venda. Muitas empresas clientes de seus fornecedores são, por sua vez, fornecedores de seus clientes. Essas cadeias de empresas com atividades inter-relacionadas visam um fluxo de produtos que vai da mais elementar matéria-prima até os produtos ou serviços finais nos pontos de venda, onde são objeto do interesse ou não dos potenciais compradores, ou seja, dos clientes finais ou consumidores. Todo esse conjunto de atividades tem um custo que é o somatório de todos os custos mais despesas necessárias para o funcionamento de todo esse sistema, e, em última análise, quem paga todo esse custo e ainda gera uma margem adicional que representa o lucro dessas empresas é o conjunto de clientes, aos quais os produtos ou serviços vindos desse sistema são oferecidos.

Para Costa Neto e Canuto (2010), visto sob esse enfoque, o cliente é o elemento mais importante de todo esse universo empresarial, pois é quem paga todas as suas contas. Sendo assim, o cliente deve merecer toda atenção por parte das empresas, seja ele o cliente final ou mesmo um cliente intermediário, esse responsável pelo fluxo de capital e informações no sentido retroativo, ou seja, dos clientes finais para os fornecedores. Existem cadeias semelhantes internamente nas empresas de grande porte, com diversos processos funcionando como fornecedores e clientes internos uns dos outros. Nesse caso, a motivação por bom atendimento aos clientes não vem do desejo de ampliar fatias de mercado, mas da necessidade do bom entrosamento desses processos e setores, obtido pela competente gestão dos processos produtivos. Qualquer falha que possa ocorrer em qualquer um desses processos resultará em algum tipo de problema para os processos clientes e se propagará aos clientes dos clientes, amplificando a sua gravidade. A qualidade dos processos deve ser perseguida desde o início como, por exemplo, mediante a aquisição de matéria-prima perfeitamente de acordo com as especificações para seu uso.

Feigenbaum (1994) define o perfil dos clientes e as suas expectativas em relação ao ciclo de vida do produto ou serviço. Define os clientes como compradores que esperam por melhorias nos produtos e serviços, exigindo níveis mais elevados de desenvolvimentos científicos, técnicos e econômicos. As melhorias esperadas estão relacionadas à saúde, alimentos, transportes, comunicação, fornecimento de energia, etc. Com relação ao ciclo de vida dos produtos e serviços, o comprador reconhece que o custo do ciclo de vida do produto ou serviço deve constituir sua

preocupação maior em uma era de preços mais elevados. Assim, elementos como assistência técnica e manutenção afetarão a vida do produto ou serviço.

Atualmente, o cliente tem dado atenção especial aos quesitos relacionados ao meio ambiente. Por isso, a qualidade implicará desde a matéria-prima utilizada na fabricação (se é reciclável) até os resíduos gerados e, se esses são tratados no descarte para o meio ambiente ou não. Empresas que não têm uma política preocupada com a preservação do meio ambiente sairão em desvantagem aos olhos do cliente moderno (GIANNETTI E ALMEIDA, 2006).

3.7 Intercambiabilidade, Padronização e Normalização

3.7.1 Intercambiabilidade

Eli Whitney; considerado um dos precursores do sistema de produção em massa, foi quem desenvolveu o conceito e os princípios da intercambiabilidade. O que alavancou esse princípio foi a necessidade de padronização exigida pelo advento da produção em massa. Neste esquema de produção, peças produzidas em fábricas e localidades diferentes, geralmente, são reunidas na linha de montagem de outra fábrica. Para que a montagem se faça sem transtorno, as peças de determinado tipo devem ser “intercambiáveis”, ou seja, as características de qualidade dessas peças devem estar dentro de uma faixa de variação que permita, indiferentemente, montá-las com as demais do conjunto projetado, assegurando-se que qualquer peça produzida possa ser combinada com qualquer conjunto produzido. A produção de partes (peças) deve-se ter rigorosas especificações, de tal forma que qualquer peça seja facilmente montada no produto do qual faz parte, bem como em outros produtos similares (TOLEDO, 1987).

De acordo com Agostinho (1977), a intercambiabilidade é a possibilidade de substituição de peças que fazem parte de um conjunto mecânico, sem a necessidade de ajustes ou usinagens secundárias, mantendo-se a funcionalidade para a qual foi projetado, por peças quaisquer de qualquer que seja o lote produzido. Uma menor variedade de produtos é produzida e com isso, os custos de montagens serão reduzidos e a substituição de componentes será, em geral, mais simples.

De acordo com Toledo (1987), outros setores da indústria passaram a utilizar o princípio de intercambiabilidade como, por exemplo, para a fabricação de relógios, máquinas de costura, confecções, etc. O advento da indústria automobilística, dadas as próprias características do produto e da produção, permitiu a utilização desse princípio de forma integrada, com muito sucesso. Se não houvesse a possibilidade da fabricação de peças e componentes com padrões rígidos de qualidade, estaria inviabilizada a possibilidade de existirem linhas de montagem, pois se deve garantir que esses itens se encaixarão perfeitamente em seu devido lugar sem a necessidade de posteriores modificações para a submontagem ou montagem final dos produtos. A possibilidade da intercambiabilidade está intimamente ligada às tolerâncias, requerendo que cada peça ou subconjunto de um produto final seja feito de acordo com as especificações definidas quanto às dimensões, forma ou acabamento. As tolerâncias garantem que pequenas imperfeições originadas do processo produtivo não afetem a funcionalidade do conjunto. Essas imperfeições, impossíveis de serem eliminadas, devem ficar compreendidas dentro de “faixas toleráveis”, conhecidas como campo de tolerâncias.

Tolerância pode ser entendida como uma faixa de desvio permissível da medida nominal, dada na especificação do produto. Albertazzi & Souza (2008) a definem como uma faixa de variação aceitável para um produto, definida de forma a garantir a qualidade com que realiza a função para a qual foi desenhado.

De acordo com Agostinho (1977), existem três grupos de tolerâncias utilizadas na indústria – as tolerâncias dimensionais, as tolerâncias geométricas e as tolerâncias de superfície. Juntas e quando aplicadas de forma correta, garantem funcionalidade aos conjuntos mecânicos. Nesse ponto, deve-se dar destaque à importância da Metrologia no controle desses três grupos de tolerâncias.

As tolerâncias dimensionais estão relacionadas às dimensões da característica produzida. De acordo com o Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial - SENAI (2000), estabelecem desvios ou variações aceitáveis da medida nominal, entre os quais a característica produzida deve ficar para ser aprovada pelo controle da qualidade. Como exemplo, pode-se citar um eixo que vai acoplar em um rolamento, cuja especificação é $20 \pm 0,05$ mm. Para que esse eixo seja aprovado, sua medida efetiva, isto é, extraída do mostrador de um instrumento, terá de estar dentro da faixa compreendida entre 19,95 mm a 20,05 mm. Um diâmetro abaixo de

19,95 mm significa refugo, enquanto um diâmetro acima de 20,05 mm significa retrabalho.

De acordo com Agostinho (1977), devido ao contínuo desenvolvimento tecnológico atual e as exigências cada vez maiores da qualidade dos produtos, não é mais possível dar atenção somente às tolerâncias dimensionais. Assim, aspectos relacionados à forma do produto, ou seja, sua geometria, e também aspectos relacionados ao seu acabamento superficial são fatores decisivos para a perfeita funcionalidade e desempenho de um conjunto mecânico. Na maioria dos casos, as peças ou conjuntos mecânicos são compostos de corpos geométricos ligados entre si por superfícies de formatos simples, tais como superfícies planas, cilíndricas ou cônicas. Durante a usinagem, na fabricação desses componentes, ocorrem desvios de forma da superfície real em relação à teórica, estabelecida no projeto do produto. Esses desvios se enquadram em duas categorias de erros: microgeométricos ou macrogeométricos.

Erros ou desvios macrogeométricos e microgeométricos são uma herança do processo produtivo. Esses desvios provêm de imperfeições de máquinas e outros elementos utilizados na produção, tais como a falta de rigidez de máquinas-ferramentas ou de um dispositivo, perda de corte de ferramentas, falta de homogeneidade do material, vibrações, deformações devido a tratamento térmico, rebolo utilizado na retificação da superfície, erros no barramento de máquinas, etc.

Para Vázquez & González (1999), exemplos desses erros são: ovalização ou conicidade de superfícies cilíndricas, erros de retilineidade e planeza encontrados em superfícies, desvios de coaxialidade em eixos, desvios de paralelismo, etc, classificados como “macrogeométricos”, ou erros de geometria, e “microgeométricos”, ou erros de acabamento superficial. De acordo com Agostinho (1977), os erros microgeométricos, também conhecidos como rugosidade superficial, são muito importantes quando fatores como lubrificação, carga, desgaste, redução de atrito, etc, são aspectos impactantes na funcionalidade de conjuntos mecânicos. Assim como nas tolerâncias dimensionais, essas imperfeições devem estar compreendidas dentro das tolerâncias geométricas e de superfície estabelecidas na especificação do projeto, para que esses desvios da forma ideal e de superfície ideal dados no projeto, devido às rigorosas exigências atuais da qualidade, não afetem a funcionalidade do conjunto.

Os projetistas, na fase de desenvolvimento de um projeto, estabelecem as especificações das características de cada parte constituinte do projeto para seu perfeito funcionamento. Às vezes, é muito corriqueiro haver um perfeccionismo exagerado, quando as tolerâncias estabelecidas são muito apertadas, tornando a fabricação da característica excessivamente cara devido à necessidade de maior tempo para a usinagem ou, também, à necessidade de maquinário mais sofisticado para a produção do componente. O projetista, nessa fase, deve estabelecer a máxima tolerância possível sem prejuízo na funcionalidade do conjunto mecânico. Assim, consegue-se produzir o componente da forma mais econômica e rápida possível, não afetando a intercambiabilidade do componente (AGOSTINHO, 1977).

3.7.2 Padronização e Normalização

De acordo com Toledo (1987), existe certa confusão quanto aos termos padronização e normalização. A padronização, literalmente, significa o ato de estabelecer padrões de referências, sejam de medidas ou de procedimentos, para operações e atividades de caráter repetitivo. Dentro das atividades produtivas, a padronização atua através de técnicas e princípios específicos, cujo objetivo final é a racionalização das atividades de projeto e produção. Ao se projetar qualquer produto, uma preocupação existente deve ser quanto à sua fabricação, uma vez que os meios utilizados no projeto irão influenciar na sua produção. A padronização deve ser encarada não só quanto aos componentes e produtos acabados, mas também quanto à produção e sua conexão com as atividades de projeto. Para Campos (1992), a padronização deve ser vista, dentro da empresa, como algo que trará melhorias em qualidade, custo, cumprimento de prazos, segurança, etc.

As atividades de padronização podem abranger vários níveis; os mais importantes são: nível da empresa, nível nacional e nível internacional. Para Campos (1992), na padronização em nível de empresa, procura-se uniformizar os procedimentos de fabricação. Reunindo e treinando pessoas e discutindo métodos, até assegurar que a execução do produto está de acordo com o que foi de consenso. Uniformiza-se o uso de padrões para o processo de produção, para os métodos de trabalho, para as especificações de material, componentes e produtos acabados, no controle de variedade de peças, de itens de estoque e também na

aplicação de medidas e unidades-padrões em nível de projeto do produto. Outra forma de padronização dentro de uma empresa é adotada quando o fabricante, que tinha uma diversidade muito grande de produtos, resolve adotar apenas alguns modelos básicos. Com essa medida, seus custos irão diminuir e a produtividade irá crescer, assim como os procedimentos de fabricação serão mais facilmente assimilados pela equipe de produção, melhorando a qualidade dos produtos produzidos.

Em nível nacional, a padronização atua como extensão das atividades da empresa, procurando obter regras e normas aplicáveis a todas as empresas de um País. São editadas por uma organização nacional reconhecida como autoridade nesse campo. É o caso da ABNT no Brasil, DIN na Alemanha, AFNOR na França, etc, de acordo com Toledo (1987). As mesmas razões para a padronização em nível nacional podem ser aplicadas em nível internacional. Suas determinações são preparadas em comissões mistas entre países, com o objetivo de padronizar algumas medidas, como unidades de peso, de medida, tolerâncias, materiais, embalagens etc., para facilitar a troca de produtos e conseguir componentes que sejam intercambiáveis em várias utilizações. São exemplos a ISO (*International Organization for Standardization*) e a IEC (*International Electrotechnical Commission*).

A padronização, também, tem função de regulamentação, aplicando-se não só aos produtos fabricados no País como, também, aos importados, orientando a ação do Inmetro e de seus órgãos delegados nas fiscalizações empreendidas junto ao comércio, em todo o território brasileiro, sujeitando os infratores a penalidades pecuniárias, apreensão e interdição dos produtos, quando constatados quaisquer desvios em relação às prescrições legais (INMETRO, 2009b).

Já a normalização, de acordo com Toledo (1987), consiste no instrumento, de caráter obrigatório ou compulsório, que define a aplicação dos padrões. As normas, de modo geral, fixam características, padrões de dimensões, pesos, processos e incluem o estabelecimento de terminologias, símbolos, métodos de ensaio, regras de utilização do produto, etc.

A normalização, segundo Vázquez & González (1998), é a atividade que define as bases para o presente e o futuro, a fim de estabelecer uma ordem para o benefício com o consenso de todos os participantes. Em resumo, a normalização é o

processo de elaboração e aplicação de normas, que são instrumentos de organização e gestão. É uma atividade fundamental no desenvolvimento econômico de qualquer país. Como qualquer atividade científica e tecnológica, tem como característica principal dar orientação e flexibilidade aos processos normativos para que esses possam se adaptar a necessidades do momento e não constituir um trabalho para o futuro. Em resumo, a normalização busca: Simplificação, Unificação e Especificação.

Na mesma linha de raciocínio está Toledo (1987), ao citar que, entre os objetivos principais da normalização, destacam-se: a simplificação e redução de variedades, a intercambiabilidade, melhora dos níveis de qualidade de fabricação, facilitar a comunicação entre fabricante e comprador, redução das variedades, aumento da produtividade, promoção do comércio internacional, segurança para a saúde humana, proteção dos consumidores, etc. A elaboração e aplicação das normas deve ser uma obra de conjunto em que participem todos os setores interessados: produtores, fornecedores, consumidores e governo. A normalização, que teve sua origem vinculada a processos mecânicos, visando assegurar a intercambiabilidade de componentes e a racionalização da produção, ampliou seu espaço de atuação, estando presente nos mais variados ramos da atividade humana.

Vázquez & González (1998) demonstram que a normalização é executada em diferentes níveis de complexidade (Figura 35). Independentemente da importância de cada nível, deve existir uma atuação harmônica e integrada, uma vez que os objetivos da normalização são comuns.

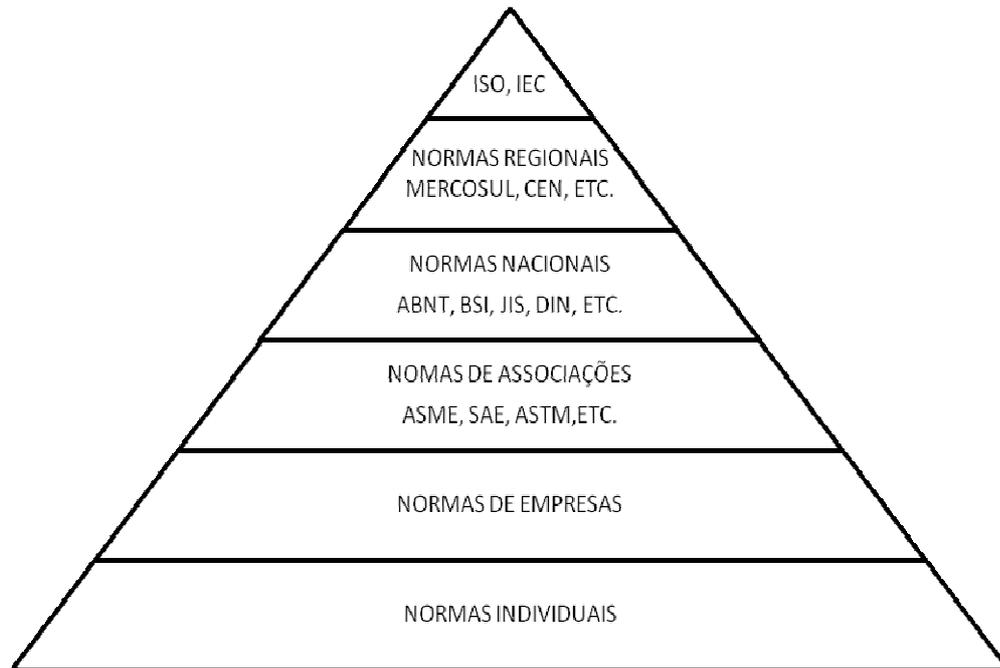


Figura 35 – Níveis de Normalização.
Fonte: O Autor.

Na Figura 35, a normalização é definida por grupos que podem ser em nível internacional – resultam da cooperação e acordos entre nações; em nível regional – as normas representam os interesses de nações independentes de um mesmo continente; em nível nacional – representam os interesses de governo, comunidade científica e consumidores de um país; em nível de associação – representam as associações de entidades de um mesmo ramo; em nível de empresa – orienta as ações internas de uma organização; e em nível de indivíduo – orienta as ações de um determinado profissional.

No Brasil, a falta de normalização faz com que cada montadora de automóveis, por exemplo, tenha uma especificação de aço, o que contribui para reduzir a produtividade das siderúrgicas. Estima-se que cerca de 10.000 tipos de parafusos estão em uso no país, cada um fruto de uma especificação técnica de um usuário. Nos países desenvolvidos, esse número seria bastante inferior. Um levantamento sobre rolamentos de rolos cônicos registrados nos estoques das três maiores siderúrgicas brasileiras (Cosipa, CSN e Usiminas), realizado em 1978 pelo NAI – Núcleo de Articulação com a Indústria, da Siderbrás, listou a existência de 927 diferentes rolamentos em estoque. Desses, apenas 4% eram comuns as três empresas, enquanto 14% eram comuns a duas empresas. Constatou-se, assim, que

82% dos rolamentos eram exclusivos de cada empresa (TOLEDO, 1987).

Um aspecto importante é o inter-relacionamento entre a normalização, a intercambiabilidade e a qualidade industrial. A uniformização de processos e métodos, a padronização de formatos e dimensões, a uniformização dos termos e das especificações de materiais contribuem para garantir a intercambiabilidade, não só dentro de uma mesma fábrica, como também entre uma fábrica e outra e entre Países. Também não se pode pensar em fabricar produtos de boa qualidade sem possuir normas para as matérias-primas e peças, processos, embalagens, para inspeção durante a fabricação, para ensaios e análise dos resultados, amostragens, inspeção final, etc. Além disso, nos países em desenvolvimento, onde a maioria dos consumidores não tem consciência dos aspectos da qualidade e exigências quanto aos produtos que compram e geralmente com pequeno grau de organização e participação na sociedade, a atividade de normalização nacional pode exercer importante papel à medida que fixa níveis mínimos de qualidade e pode servir como garantia de que os produtos atenderão à qualidade especificada. Nos países em desenvolvimento, principalmente para efeito de exportação, é necessário não somente que se eleve a qualidade dos produtos, mas também que se disponha de normas que garantam e assegurem a obtenção da qualidade condizente com os padrões internacionais. As atividades de padronização e normalização no Brasil estão a cargo de órgãos como a ABNT e o Inmetro, vinculado ao Ministério da Indústria e do Comércio (TOLEDO, 1987).

Finalmente, as atividades de normalização podem possuir também valor estratégico e político, pois, além de envolverem aspectos de segurança, os textos das normas técnicas podem, muitas vezes, se constituírem em instrumentos de reserva de mercado para produtos e insumos.

3.8 Sistemas de Gestão da Qualidade

A série de normas ISO 9000 é um conjunto de normas e diretrizes internacionais para sistemas de gestão da qualidade. Desde sua primeira publicação, em 1987, tem obtido reputação mundial como a base para o estabelecimento de sistemas de gestão da qualidade (MELLO, 2006).

A vasta maioria de normas ISO é altamente específica para um produto, material ou processo particular. Contudo, tanto a norma ISO 9000 quanto a norma ISO 14000 referente a sistemas de gestão ambiental são conhecidas como normas genéricas de sistemas de gestão (MELLO, 2006).

Para Mello (2006), sistema de gestão refere-se àquilo que a organização coloca em prática para gerenciar seus processos ou atividades. Os procedimentos são normalmente aplicados em grandes organizações e compostos por instruções, formulários ou registros documentados. Tais documentos contribuem para assegurar que qualquer pessoa dentro da organização não esteja apenas fazendo seu trabalho de seu jeito e exista um mínimo de ordem na forma como a organização conduz seus negócios, de forma que tempo, dinheiro e outros recursos sejam utilizados eficientemente. Para ser realmente eficiente, a organização pode gerenciar sua atuação de forma sistêmica. Isso garante que nada importante seja esquecido e todos estejam conscientes sobre quem é responsável para fazer o que, quando, como, por que e onde.

Outra visão da Qualidade é dada por Maranhão (2006): assim como o homem que possui os instintos prioritários de sobrevivência e procriação, as empresas, que são constituídas por pessoas, acabam por herdar comportamento similar aos dos homens. As organizações também possuem manifestações desses dois instintos básicos, que podem ser interpretados da seguinte forma:

- sobrevivência está relacionada à competitividade;
- procriação está relacionada ao crescimento.

Segundo Maranhão (2006), administrar o presente e prever o futuro pode ser significativamente facilitados caso a organização disponha de métodos eficazes de gestão, comumente chamados de Sistemas de Gestão da Qualidade. Dentre os Sistemas de Gestão da Qualidade, os mais experimentados e validados são os baseados nas normas da série ISO 9000 (ISO 9000, ISO 9001, ISO 9004 e ISO 19011, esta última referente à execução de auditorias).

As organizações bem-sucedidas são aquelas que demonstram competência para combinar alguns fatores: sabedoria em lidar com o presente e elaborar razoáveis previsões para o futuro, lidar com novas regras de negócio e, sobretudo, rapidamente se adaptar a elas, demonstrando flexibilidade. Quanto mais rápida for à

adaptação das organizações às suas novas respectivas condicionantes, melhor sucedidas elas tenderão a ser. Em outras palavras, nada mais fazem do que trabalhar com qualidade. A essência dessa lógica pode ser mostrada pela "malha de controle" dos processos de trabalho das organizações (Figura 36).

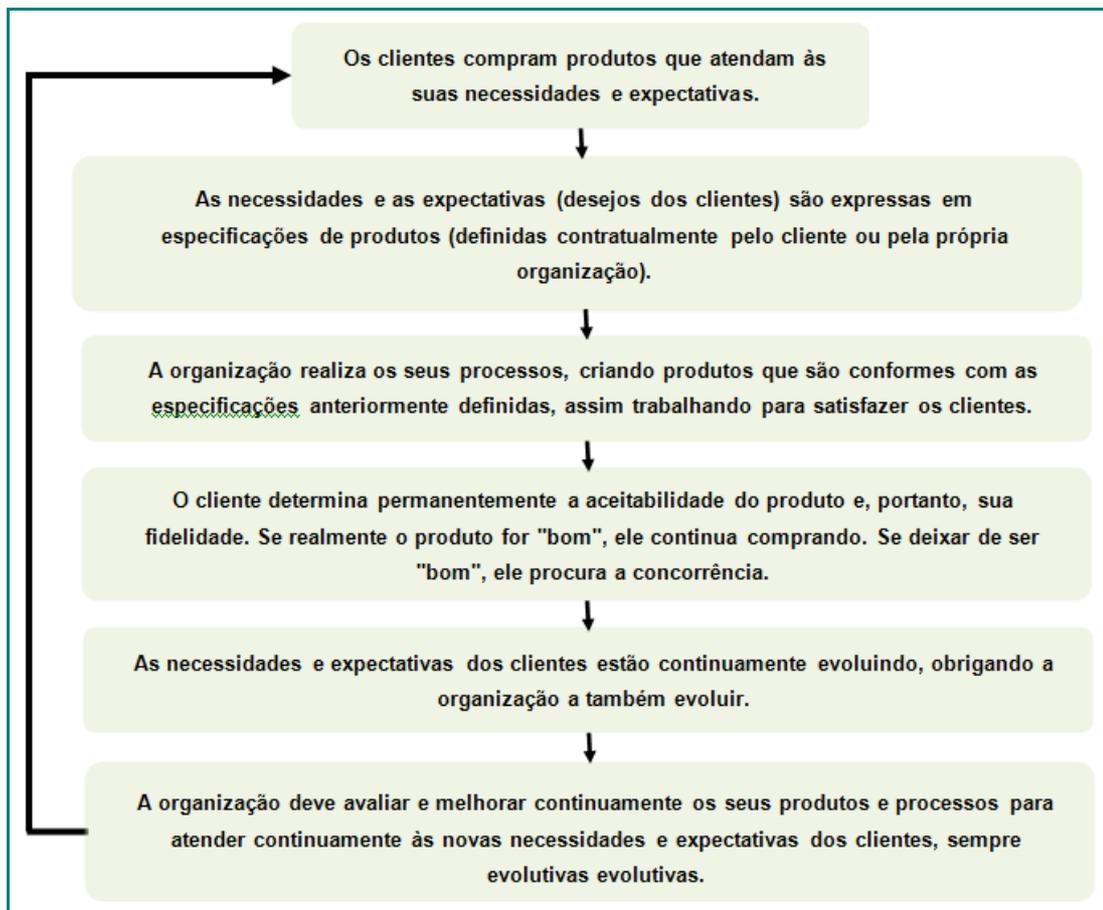


Figura 36 – Malha de controle dos processos de trabalho de uma organização.
Fonte: adaptado de Maranhão (2006).

3.8.1 Princípios da Gestão da Qualidade

De acordo com a ABNT (2008), a norma ISO 9000:2008 apresenta oito princípios de gestão da qualidade. Segundo a ABNT (2007), um princípio de gestão da qualidade é uma crença ou regra fundamental e abrangente para conduzir e operar uma organização, visando melhorar continuamente seu desempenho a longo prazo, pela focalização nos clientes e, ao mesmo tempo, encaminhando as necessidades de todas as partes interessadas.

Com o advento da globalização, a gestão da qualidade tornou-se fundamental para a liderança e para o aperfeiçoamento contínuo de todas as organizações. A organização que aplica os oito princípios de gestão da qualidade traz benefícios para clientes, acionistas, fornecedores, comunidades locais, ou seja, para a sociedade em geral. (MELLO, 2006)

A seguir, em itálico, estão as definições dos oito princípios da Gestão da Qualidade, de acordo com Mello (2006) e Maranhão (2006). Os dois autores, ainda, fazem considerações referentes às aplicações e benefícios trazidos pela adoção desses princípios pelas organizações.

1) Foco no Cliente

“As organizações dependem de seus clientes e, portanto, é recomendável que atendam às necessidades atuais e futuras do cliente a seus requisitos, e procurem exceder suas expectativas”.

O cliente é a matriz de tudo, uma vez que sem clientes não há negócios. É fundamental entender todas suas necessidades e expectativas relativas aos produtos, prazo de entrega, preço, confiabilidade, etc. Devem-se estabelecer ferramentas para medir a satisfação dos clientes e atuar sobre os resultados, além de gerenciar o relacionamento com os mesmos.

Como benefícios, formulam-se estratégias e políticas para a gestão do relacionamento com os clientes; os objetivos e metas da qualidade são direcionados às necessidades e expectativas do cliente e consegue-se melhorar o gerenciamento operacional e o potencial humano.

2) Liderança

“Líderes estabelecem a unidade de propósitos e o rumo da organização. Convém que eles criem e mantenham um ambiente interno, no qual as pessoas possam estar totalmente envolvidas no propósito de atingir os objetivos da organização”.

A liderança é vista como o principal fundamento de sucesso de equipes. Se há liderança, então há uma perspectiva de harmonia, de vida em sociedade. Sem ela nenhum agrupamento se sustenta se for exposto a situações adversas. A

liderança tem de ser proativa e se estabelecer por meio de exemplos. Ela também é fundamental para compreender e responder às mudanças no ambiente externo, além de estabelecer uma visão clara do futuro da organização, e construir a confiança e eliminar o medo.

Como benefícios, a empresa consegue estabelecer e comunicar a visão clara do futuro por meio da formulação de estratégias e políticas. Essa visão, por sua vez, é traduzida em objetivos e metas mensuráveis. As pessoas são envolvidas para alcançar os objetivos da organização, além de motivar e capacitar a força de trabalho.

3) Envolvimento das Pessoas

“Pessoas de todos os níveis são a essência de uma organização e seu total envolvimento possibilita que suas habilidades sejam usadas para o benefício da organização”.

Esse princípio é consequência do princípio 2. As pessoas são engajadas porque existe uma liderança que estabelece os objetivos comuns e promove a motivação das pessoas na busca desse objetivo. Dessa forma, as pessoas aceitarão a responsabilidade para a solução de problemas, buscando oportunidades para alcançar melhorias e para aumentar suas competências. O conhecimento e a experiência serão compartilhados em equipes e grupos, além do incentivo ao espírito inovador e criativo na realização dos objetivos da organização.

Como benefícios, espera-se contribuir, efetivamente, para a melhoria das estratégias e políticas da organização. Os funcionários estarão sempre envolvidos em decisões apropriadas e em processos de melhoria, propiciando o desenvolvimento e o crescimento do pessoal para o benefício da organização.

4) Abordagem de Processo

“Um resultado desejado é alcançado mais eficientemente quando as atividades e os recursos relacionados são gerenciados como um processo”.

É preciso entender muito bem as atividades da empresa como processos, isto é, a transformação de entradas em saídas com agregação de valor. Assim, é importante a aplicação desse princípio para a perfeita definição do processo visando alcançar o resultado desejado. É preciso estabelecer claramente a responsabilidade e a autoridade para gerenciar-se o processo, além da identificação dos clientes internos e externos, fornecedores e outras partes interessadas do processo.

Como benefícios, a utilização de processos definidos por toda a organização, conduz a resultados mais previsíveis, com melhor uso dos recursos, tempos de ciclo mais curtos e custos mais baixos. Consegue-se melhorar também o estabelecimento de processos eficientes para a gestão de recursos humanos, como contratação, educação e treinamento.

5) Abordagem Sistêmica para a Gestão

“Identificar, compreender e gerenciar os processos inter-relacionados como um sistema contribui para a eficácia e a eficiência da organização no sentido de esta atingir seus objetivos”.

Esse princípio é decorrente do princípio 4. É essencial que todos os processos da organização estejam integrados, compreendendo as interdependências entre os processos do sistema, e promovendo ferramentas para melhorar continuamente o sistema por meio da mensuração e avaliação.

Como benefícios, criam-se planos desafiadores e abrangentes que ligam funções e entradas de processos. São alinhados objetivos e metas de processos individuais com os objetivos-chave da organização, além de permitir visão mais ampla da eficácia de processos que conduz ao entendimento das causas de problemas e oportunas ações de melhorias. Outro fator importante desse princípio é que fornece melhor entendimento de papéis e responsabilidades para o alcance de objetivos comuns, reduzindo barreiras funcionais e melhorando o trabalho em equipe.

6) Melhoria Contínua

“A melhoria contínua do desempenho global da organização deveria ser um objetivo permanente”.

Esse princípio determina que tudo dentro da organização pode ser melhorado. Isso decorre devido às necessidades dos clientes sempre evoluírem. A organização deve melhorar continuamente seus produtos e processos para que em nenhum momento seus clientes fiquem insatisfeitos.

Como benefícios, criam-se planos de negócios mais competitivos por meio da integração da melhoria contínua com os planejamentos de negócios e estratégicos. Adéquam-se os objetivos de melhorias desafiadoras e realistas, fornecendo os recursos para alcançá-los, além da promoção de ferramentas, oportunidades e estímulo a todas as pessoas da organização para melhorar produtos, processos e sistemas.

7) Abordagem Factual para a Tomada de Decisão

“Decisões eficazes são baseadas na análise de dados e informações”.

Quantificar os resultados dos processos é a mais eficaz forma de eliminar a subjetividade das avaliações. São necessários dados e fatos confiáveis e acessíveis para uma perfeita avaliação dos resultados. O gerenciamento de indicadores estabelecidos é a chave desse princípio. Na análise desses elementos, devem-se usar métodos válidos para a perfeita compreensão e posterior processo de tomada decisão.

Como benefícios, as estratégias baseadas em informações e dados importantes são mais realistas e mais prováveis de serem alcançadas. São utilizadas informações e dados comparativos relevantes para ajustar objetivos e metas desafiadoras e realizadoras e consolida-se o uso de informações e dados como base para a compreensão do desempenho de sistemas e processos, para orientar as melhorias e prevenir problemas futuros.

8) Benefícios Mútuos nas Relações com os Fornecedores

“Uma organização e seus fornecedores são interdependentes, e uma relação de benefícios mútuos aumenta a capacidade de ambos em agregar valor”.

Esse princípio está pautado na relação cliente-fornecedor. A organização buscará identificar e selecionar fornecedores-chave para o seu negócio, estabelecendo relacionamentos que equilibrem ganhos de curto prazo com considerações de longo prazo, para a organização e toda a sociedade. Criam-se formas de comunicações claras e abertas, procurando iniciar a melhoria e os desenvolvimentos de produtos, serviços e processos, conjuntamente.

Como benefícios, a organização tenderá a criar vantagem competitiva por meio do desenvolvimento de alianças ou parcerias com fornecedores. Estabelecerá objetivos e metas mais desafiadoras por meio do envolvimento e relacionamento sistemático com os fornecedores, proporcionando produtos sem defeitos, nos prazos combinados.

CAPÍTULO 4 – METODOLOGIA

4.1 Metodologia da Pesquisa

Este capítulo apresenta o processo da pesquisa empregado para o encadeamento da dissertação. Inicialmente, é feita uma abordagem a respeito dos aspectos conceituais da metodologia para a classificação da pesquisa e, no segundo momento, são apresentadas as fases da pesquisa, o tipo de pesquisa utilizado e as respectivas justificativas.

4.1.1 Métodos de Pesquisa

O método, em pesquisa, no sentido mais geral, é a ordem que se deve impor aos diferentes processos necessários para atingir um certo fim ou um resultado desejado. Nas ciências, entende-se por método o conjunto de processos empregados na investigação e na demonstração da verdade (CERVO, BERVIAN E SILVA, 2007). O método define a escolha de procedimentos sistemáticos para a descrição e explicação de fenômenos. O trabalho de pesquisa deve ser planejado e executado de acordo com as normas requeridas por cada método de investigação. Existem dois tipos básicos de metodologias de pesquisa quanto aos elementos pesquisados: a metodologia de pesquisa qualitativa e a metodologia de pesquisa quantitativa (OLIVEIRA, 2004).

4.1.1.1 Pesquisa Qualitativa

A pesquisa qualitativa requer várias articulações que devem ser estabelecidas pelo investigador. Uma dessas diz respeito à relação entre a fundamentação teórica em relação ao objeto a ser pesquisado e o campo que se pretende explorar. O pesquisador escolherá os sujeitos que participarão da pesquisa, negociará todo processo de pesquisa, estabelecerá as questões e os seus instrumentos de coleta

de dados. Dentre as técnicas de levantamento de dados mais utilizadas, destacam-se: a entrevista aberta ou semi-estruturada e observação participante. Deve-se reforçar que esse tipo de pesquisa tem preocupação maior com a qualidade dos dados e não com a quantidade (MELLO, 2005). Para Oliveira (2004), a abordagem qualitativa não emprega dados estatísticos como centro do processo de análise de um problema, não tendo a pretensão de numerar ou medir unidades ou categorias homogêneas.

4.1.1.2 Pesquisa Quantitativa

Segundo Oliveira (2004), a método quantitativo tem o propósito de quantificar opiniões, dados, nas formas de coleta de informações, apoiando-se nas técnicas estatísticas para validar o propósito da pesquisa. Para Mello (2005), caracteriza-se pelo emprego da quantificação, tanto nas modalidades de coleta de informações, quanto no seu tratamento por meio de técnicas estatísticas, desde as mais simples, como percentual, média, desvio-padrão, coeficiente de correlação, às mais complexas, como análise de variâncias, análise de regressão, entre outras. A pesquisa quantitativa é utilizada quando o problema formulado tiver a intenção de saber, por exemplo, qual a relação entre variáveis, qual a causa, qual o efeito ou consequência, qual a incidência, qual a prevalência. Esse tipo de pesquisa é apoiado por rígidos critérios estatísticos, utilizando-se a descrição matemática para a validação de fatos. Só será verdadeiro aquilo que for empiricamente comprovado, através do método das ciências naturais.

4.1.1.3 Pesquisa Exploratória

A pesquisa exploratória busca o levantamento de informações de um determinado objeto, delimitando assim um campo de trabalho, mapeando as condições de manifestação desse objeto (SEVERINO, 2007). De acordo com Cervo, Bervian e Silva (2007), é o início do processo de pesquisa pela experiência e um auxílio que traz a formulação de hipóteses significativas para futuras pesquisas.

Com o objetivo de familiarizar-se com o fenômeno ou obter uma nova percepção dele e descobrir novas idéias, a pesquisa exploratória não requer a elaboração de hipóteses a serem testadas no trabalho, restringindo-se a definir objetivos e buscar mais informações sobre determinado assunto em estudo.

A pesquisa exploratória realiza descrições precisas e quer descobrir as relações existentes entre seus elementos componentes. Requer um planejamento bastante flexível para possibilitar a consideração dos mais diversos aspectos de um problema ou de uma situação (CERVO, BERVIAN E SILVA, 2007).

4.2 Técnicas de Pesquisa

As técnicas de pesquisa são os meios e instrumentos pelos quais se chega aos dados a serem examinados. O conhecimento e a escolha adequada do tipo de técnica a ser aplicada é de grande relevância para o sucesso do trabalho. A escolha certa é aquela que recai sobre o procedimento de pesquisa que mais se adequa ao problema que se deseja investigar.

As técnicas de pesquisa não são excludentes entre si. Pode haver, dependendo do tipo de estudo e para um melhor resultado, uma combinação entre os diversos tipos de técnicas de pesquisa (MELLO, 2005).

4.2.1 Pesquisa de Campo

De acordo com Severino (2007), na pesquisa de campo, a coleta de dados se dá onde acontecem os fenômenos focalizados pela investigação, buscando-se os dados a partir do contexto onde há manifestação deles. Existe uma relação direta entre aquilo que se deseja conhecer e o espaço (delimitado pelo pesquisador) de suas manifestações. Para Mello (2005), pode ser utilizada numa abordagem qualitativa ou quantitativa, uma vez que a observação do pesquisador é exigida em ambas as abordagens. Exige firmeza de objetivos e limites bem definidos no que diz respeito à extensão da pesquisa e ao tempo disponível para a coleta de dados.

4.2.2 Pesquisa Bibliográfica

Em oposição à pesquisa de campo, que lida com fontes em movimento, a pesquisa bibliográfica lida com o caminho trilhado por outros pesquisadores, tratando-se de uma técnica afinada com os propósitos da atividade de pesquisa (MELLO, 2005). Segundo Lakatos (2001, p.56), a atividade de pesquisa “[...] *permite descobrir novos fatos ou dados, relações ou leis, em qualquer campo do conhecimento*”. Para Gil (2002), a pesquisa bibliográfica tem a vantagem de não sofrer instabilidade. Os resultados obtidos não sofrem alterações, a não ser as ocorridas no momento de contato na coleta de dados.

De acordo com Mello (2005), a técnica de pesquisa bibliográfica é utilizada em conjunto com outras técnicas por fornecer aporte teórico às pesquisas descritivas. Além desse fato, o pesquisador tem a vantagem de contar com nomes de reconhecimento científico que legitimam as comprovações de hipóteses levantadas no processo de investigação.

4.2.3 Estudo de Caso

A utilização do método do estudo de caso pode envolver tanto situações de estudo de um único caso quanto situações de múltiplos casos (YIN, 2001). Entretanto, para Mello (2005), indo ao encontro de Goldenberg (1997), diferentemente das comparativas, a técnica de estudo de caso busca o aprofundamento de um único fenômeno, adquirindo uma complexidade vertical em torno de um único objeto. Pela flexibilidade da técnica, muitas vezes, é denominada de exploratória.

Yin (2001) afirma que o fator predominante para a escolha da estratégia de estudo de caso em contraposição ao uso de experimentos, levantamentos de dados, pesquisa histórica, etc, é a consideração da forma de questão da pesquisa, do controle exigido sobre eventos comportamentais e do foco sobre acontecimentos contemporâneos ou não.

4.2.4 Pesquisa-Ação

A pesquisa-ação é aquela que, além de compreender, visa intervir na situação, com vistas a modificá-la (SEVERINO, 2007). Para Mello (2005), a pesquisa-ação é a técnica de investigação científica, que pressupõe uma interação entre o pesquisador e os sujeitos da pesquisa. Utiliza-se essa técnica quando se procura a resposta a um problema para o qual não existe resposta pronta. As questões, que originam a pesquisa, são oriundas de situações-problema vivenciadas tanto pelo pesquisador, quanto pelos demais participantes. Thiollent (1992) a define como o tipo de pesquisa com base empírica, que é realizada em estreita associação com uma ação ou com a resolução de um problema coletivo no qual os pesquisadores e participantes representativos da situação ou do problema estão envolvidos de modo cooperativo ou participativo.

4.2.5 Pesquisa Participante

Esse tipo de pesquisa assemelha-se à pesquisa-ação no que diz respeito à relação do pesquisador com o contexto de investigação (SEVERINO, 2007). No entanto, ao contrário da pesquisa-ação, não está presa à busca de soluções para problemas de origem da pesquisa. Outro elemento importante é que essa pesquisa deve associar-se a outra técnica de investigação para melhorar seus indicadores (MELLO, 2005). De acordo com Gil (2002, p.86), “[...] os pesquisadores devem adotar preferencialmente técnicas qualitativas de coletas de dados e também uma atitude positiva de escuta e de empatia. Isso pode implicar conviver com a comunidade, partilhar o seu cotidiano [...]”.

4.2.6 Entrevista

De acordo com Severino (2007), essa técnica é aplicada em momento formal, colocando frente a frente o pesquisador e a fonte de dados – o entrevistado. Em relação às perguntas, podem ser classificadas como parciais ou totalmente

estruturadas. No primeiro caso, deve-se ter um roteiro que servirá de orientação. Para Mello (2005), no caso de entrevista totalmente estruturada, as perguntas são formuladas antecipadamente e seguem um roteiro estabelecido. Deve-se levar perguntas escritas e registrar as respostas, também por escrito ou através de um gravador.

Fundamental para a eficácia da entrevista é a escolha das perguntas, a clareza da linguagem utilizada, a pertinência da pergunta em relação ao assunto em questão. As perguntas podem ser formuladas de forma direta ou indireta (MELLO, 2005).

4.2.7 Questionário

É a técnica mais utilizada em pesquisas. Formulando-se questões por escrito, que, no conjunto, subsidiarão o resultado da pesquisa. Para Gil (2002), constitui-se no meio mais rápido e barato de obtenção de informações, além de não exigir treinamento de pessoal e garantir o anonimato. No entanto, mais do que na entrevista, o pesquisado pode falsear a realidade, fornecendo respostas que julgar ideais e não reais. O questionário pode ter perguntas abertas e/ou fechadas, ou ainda, uma mistura de ambas, dependendo do assunto pesquisado. As perguntas abertas exigem elaboração de respostas que expressam a opinião dos pesquisados. Já as perguntas fechadas têm alternativas fixas de respostas, e as opções vêm expressas no próprio questionário.

4.3 Considerações sobre as amostras utilizadas

A amostra de quatro especialistas de laboratórios acreditados pelo Inmetro que responderam a um conjunto de questões abertas foi determinada em função da disposição demonstrada em participar da pesquisa.

O uso de quatro questionários abertos está de acordo com uma observação de Eisenhart apud Donaire (1997), referindo-se a estudos de casos múltiplos – aqui aplicada à tomada de opiniões múltiplas – para quem *“embora não haja um número*

ideal de casos, uma quantidade entre 4 e 10 costuma ser eficiente. Com menos de 4 casos, (...) a pesquisa pode ser inconsistente, (...) e em mais 10 casos fica muito difícil lidar com a complexidade e quantidade das informações coletadas”.

Assim sendo, ao se conseguirem quatro especialistas dispostos a colaborar com a pesquisa, julgou-se desnecessário buscar mais opiniões.

A segunda amostra, de profissionais das áreas de Metrologia e Qualidade de 60 empresas, teve a preocupação de contemplar um leque de empresas de porte variável, conforme ilustrado no Gráfico 1, à pagina 152.

Isso posto, segue-se que as formas de amostragem utilizadas para compor essas duas amostras são não probabilísticas e foram, respectivamente, a retirada dos elementos prontamente acessíveis, e amostragem por escolha intencional, com preocupação em estratificar os elementos por faixas de porte das empresas (COSTA NETO, 2002).

A não realização da amostragem probabilística para a escolha dos elementos participantes da amostra, conforme recomendado em Costa Neto (2002), pode ser justificada no presente caso por duas razões:

- Por inviabilidade de se atingir todo o universo de entidades e pessoas a serem pesquisadas;
- Por não haver pretensão de realizar inferência estatística a partir de dados, limitando-se a discussão a uma análise qualitativa.

Mesmo com consciência de não haver realizado uma amostragem probabilística para a escolha dos elementos da pesquisa, esse fato não invalida os resultados apresentados na sequência do trabalho.

4.4 Delineamento da Presente Pesquisa

A pesquisa é ancorada por uma ampla revisão bibliográfica, com o objetivo de explanar e inter-relacionar as três vertentes da Metrologia: a Industrial, a Científica e a Legal. Ao longo de toda a seção metodológica, procura-se salientar e discutir as áreas de atuação da Metrologia, a importância da adoção do Sistema Internacional

de Unidades (SI) para o desenvolvimento do País, assim como a influência da Calibração, da Rastreabilidade Metrológica e Incerteza da medição para os sistemas produtivos.

Outro tema relacionado à Metrologia, a Qualidade, também é discutido, relacionando-se o tema Metrologia a aspectos da Qualidade do processo de produção em que interfere.

Visando validar a pesquisa e colher informações da interação entre Metrologia e Qualidade nos processos produtivos, realizou-se uma pesquisa qualitativa, exploratória, utilizando-se dois questionários como ferramentas para a coleta de dados.

A primeira fase da pesquisa foi realizada obtendo-se informações de especialistas de quatro laboratórios acreditados pelo Inmetro, pertencentes à Rede Brasileira de Calibração – RBC, da qual fazem parte um laboratório da rede Senai, dois laboratórios de empresas fabricantes de sistemas e instrumentos de medição e do Instituto de Pesquisa Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT. Em relação ao laboratório do IPT, colheu-se a opinião de um especialista que prestou seus serviços ao Departamento de Metrologia Mecânica e Elétrica por mais de duas décadas.

Os questionários, com questões abertas, foram enviados por e-mail para os especialistas opinarem sobre o tema da pesquisa.

Complementa-se a pesquisa com a aplicação de outro questionário, desta vez, com questões fechadas, que foram distribuídos a profissionais oriundos das áreas de Metrologia e Qualidade de 60 empresas.

Foram coletadas informações de amostras de empresas mediante uma série ordenada de perguntas sobre o tema objeto da pesquisa, respondidas por escrito pelo informante. O questionário aplicado é objetivo, limitado em extensão, acompanhado de instruções explicando o caráter de sua aplicação e a importância da colaboração do informante.

No capítulo 5, estão transcritos os resultados mais importantes dos dois questionários aplicados na pesquisa.

CAPÍTULO 5 – PESQUISA DE CAMPO

Neste capítulo, são mostrados os resultados da pesquisa de campo realizada junto à Rede Brasileira de Calibração – RBC e em empresas com sistemas produtivos implementados. Objetivou-se, para validar o estudo, buscar a opinião de especialistas da RBC e de profissionais ligados às áreas de Metrologia e Qualidade dentro de organizações.

No primeiro caso, para a coleta de informações junto à RBC, foi utilizado um questionário de 15 questões abertas (denominado questionário A), escolhendo-se especialistas da área de Metrologia para responder às questões.

No segundo caso, utilizou-se um questionário de 15 questões fechadas (denominado questionário B), escolhendo-se profissionais ligados à área de Qualidade ou Metrologia de empresas do setor produtivo para responder às questões.

5.1 Pesquisa Junto à RBC

5.1.1 Resultado da Pesquisa na RBC

A primeira etapa da pesquisa, realizada com especialistas da RBC, teve como objetivo colher informações mais aprofundadas sobre o tema em estudo. Assim, foi passado por e-mail um questionário (denominado Questionário A) como instrumento para a coleta de informações. O modelo encontra-se no Anexo C.

A seguir, são apresentadas cada uma das questões do questionário e as respectivas opiniões dos especialistas. A íntegra das respostas encontra-se nos Anexos E, F, G e H. As empresas que concordaram em participar desta parte da pesquisa foram: Starrett, Mitutoyo, Senai e IPT.

Questão1	Há quanto tempo vocês prestam serviços de calibração? Tem havido mudanças no que diz respeito aos preços? A tecnologia para calibração está mais acessível, mais barata?
----------	--

O objetivo da questão nº 1 do questionário foi de desvendar o mito de que todos os serviços relacionados à tecnologia de calibração têm preços elevados, e tentar provar a atual acessibilidade dos serviços e das novas tecnologias de calibração. De acordo com a resposta do especialista do laboratório da empresa Starrett, a popularização da informática tende a tornar os serviços de Metrologia mais acessíveis e com uma tendência a queda de preços. Na mesma linha de raciocínio, o especialista da empresa Mitutoyo diz que “*a tecnologia para calibração está muito mais acessível e os meios modernos de informação e entidades de divulgação são grandes agentes de multiplicação das informações e da tecnologia de medição*”. Dois dos laboratórios afirmam que a política de preços dos seus serviços tem se mantido ou até caído.

Questão 2	Qual o papel da metrologia na organização?
Questão 3	Quais os benefícios que os controles metrológicos acrescentam aos sistemas produtivos?
Questão 4	Quais são os resultados positivos da adoção de Técnicas Metrológicas?

As questões nº 2, 3 e 4 se complementam. Houve unanimidade nas respostas dos especialistas em relação à qualidade do produto, ou seja, a Metrologia é condição fundamental para garantir e melhorar a qualidade do produto.

O especialista da Mitutoyo foi além, afirmando que a “*Metrologia é a alma do produto*” e também fundamental para assegurar qualidade metrológica dos padrões e a rastreabilidade dos resultados das medições. Outros relatos importantes mencionados pelos especialistas foram que a adoção de técnicas metrológicas acrescenta valor à imagem do produto e da empresa, dão maior confiança no controle produtivo, melhorando a gestão dos processos e reduz a porcentagem de produtos refugados.

Questão 5	Qual a importância de se estimar a incerteza da medição?
-----------	--

A questão nº 5 apresentou diferentes pontos de vista dos especialistas com relação ao tema incerteza da medição. O especialista do SENAI destaca que, para

qualquer medição, o seu resultado deve vir acompanhado da incerteza do processo da medição. O especialista da Mitutoyo afirma que a incerteza assegura que os resultados apresentados por uma medição estejam dentro de expectativas qualitativas do processo de medição. Já o pesquisado da Starrett diz que a incerteza oferece condições de se avaliar a capacidade dos processos metrológicos.

Questão 6	Como é o relacionamento do laboratório com os clientes que o procuram?
-----------	--

A questão nº 6 procurou apresentar o nível de relacionamento entre clientes e laboratórios de calibração. Na opinião do especialista da Starrett, o relacionamento é mantido pela confiabilidade dos resultados dos serviços prestados. O especialista da Mitutoyo atesta que o laboratório deve mostrar seriedade nos resultados por aquilo que agrega de positivo ao produto do cliente. De acordo com o especialista do SENAI, além de se cumprir os prazos estabelecidos, o laboratório deve preocupar-se também em assessorar tecnicamente o cliente, pois, muitas vezes, o que é requisitado pelo cliente não soluciona o seu problema por completo.

Questão 7	Como se dá a manutenção dos padrões mantidos por esse laboratório?
Questão 8	Como vocês determinam o período adequado de calibração para esses padrões?

As questões nº 7 e 8 apresentam os resultados da pesquisa referentes à sistemática de manutenção e calibração de padrões dos laboratórios. Considerando a opinião de três especialistas da RBC sobre a questão 7, já que um dos pesquisados não deu “pistas” de como realiza suas manutenções, a mesma é importante para manter confiabilidade metrológica, realizada de forma planejada e programada. Esses procedimentos são norteados pela própria experiência e de outros laboratórios e recomendações de fabricantes e de normas.

Para a questão nº 8, três dos pesquisados seguem a mesma linha de pensamento, adotando ferramentas estatísticas para se determinar o período da calibração dos seus padrões e possíveis alterações, de acordo com a estabilidade dimensional apresentada nas calibrações. Os mesmos também mencionaram a

utilização da metodologia do MSA, assim como o estudo de estabilidade dimensional e a experiência para se estimar corretamente esse período.

Na visão do especialista do IPT, não existe padronização quanto à periodicidade das calibrações devido à grande quantidade de instrumentos e padrões de uso diversificado nas empresas. A determinação do período é feita baseada na frequência de utilização, cuidado no manuseio, limpeza do ambiente e principalmente do histórico das calibrações anteriores.

Questão 9	O laboratório participa de atividades de pesquisa? Caso afirmativo, quais?
-----------	--

A questão nº 9 teve como objetivo buscar evidências que indiquem atividades de pesquisa para o desenvolvimento de novas técnicas ou dispositivos de medição, ou ainda, programas computacionais que permitam a realização de medições fortemente integradas a processos automáticos de fabricação e apresentem maior rapidez, menores incertezas de medição e influência do operador.

De acordo com o especialista da Mitutoyo, o laboratório participa de atividades de pesquisas, através da melhoria e modernização de processos e métodos de medição nas áreas dimensional e de dureza dos materiais.

Em relação aos outros pesquisados, um afirmou que o laboratório não participa de atividades de pesquisas, enquanto os outros dois especialistas disseram que não participam de atividades de pesquisa, mas sim, do desenvolvimento de novos produtos.

Questão 10	Qual a importância da norma NBR ISO/IEC 17025 para o laboratório?
------------	---

A questão nº 10 teve por finalidade revelar a importância de se cumprir os requisitos estabelecidos na norma NBR ISO/IEC 17025:2005 para os laboratórios da RBC.

De acordo com a opinião dos especialistas, além de credibilidade, norteia o laboratório para uma padronização de seus serviços de calibração e rastreabilidade metrológica, estabelecendo condições igualitárias e comparativas entre os níveis de

laboratórios que a adotam. De acordo com um dos especialistas, “a sua implementação pode ser traduzida como um instrumento poderoso para a aceitação dos serviços do laboratório”.

Questão 11	Qual é a maneira que a empresa garante que seus sistemas e instrumentos de medição estejam medindo com confiabilidade metrológica?
------------	--

A questão nº 11 objetivou verificar quais os caminhos adotados pelos laboratórios para se alcançar a confiabilidade de seus sistemas e instrumentos de medição utilizados para referenciar suas atividades de calibração.

De acordo com os especialistas, a atividade de calibração é o procedimento essencial para a confiabilidade metrológica das medições. Ressaltam que, na atividade de calibração, devem ser utilizados padrões rastreáveis aos padrões nacionais. Para os pesquisados dos laboratórios da Starrett e Mitutoyo, além da execução da calibração desses sistemas e instrumentos de medição, também são necessárias comparações interlaboratoriais e interpessoais, para avaliação de desempenho desses equipamentos.

Questão 12	Explique as formas existentes de medição dos impactos econômicos dos serviços de calibração. Como esses impactos econômicos podem ser contabilizados?
------------	---

A questão nº 12 objetivou tentar mensurar o retorno financeiro trazido pela Metrologia para as empresas que usam tais serviços.

As opiniões dos pesquisados são diversificadas, constatando a dificuldade de se contabilizar os ganhos financeiros obtidos pela aplicação da calibração, pois a mesma está voltada para os ganhos de qualidade nos sistemas produtivos, e sabe-se que qualidade é intangível, e logo, difícil de ser mensurada. De acordo com o especialista da Starrett, o que vale é a fidelidade do cliente. Para o especialista que prestou serviços ao IPT, uma das formas de se perceber os impactos econômicos é contabilizar o crescimento em vendas de produtos e serviços. Para o especialista da Mitutoyo, existem impactos positivos e negativos: os impactos positivos podem ser tangíveis, quando percebidos pelos níveis de serviços prestados, e intangíveis, quando referentes à imagem positiva da empresa e produto no mercado. Em relação aos impactos negativos, estão divididos entre os custos da calibração dos sistemas

e instrumentos e manutenção da estrutura metrológica. O especialista do SENAI, declara que o retorno financeiro para a organização é imensamente maior que o custo da calibração.

Questão 13	Em geral, quanto tempo leva para se perceber os benefícios da calibração no orçamento da empresa que compra tais serviços?
------------	--

O objetivo da questão nº 13 foi de estabelecer uma visão da percepção do prazo em que podem ser sentidos os benefícios da calibração no orçamento da organização.

Baseando-se nas respostas dos especialistas da RBC, pôde-se perceber certa insegurança em relação à estimação desses prazos, já que nas respostas dos pesquisados não houve consenso algum quanto ao estabelecimento de um prazo de percepção dos benefícios econômicos devido à calibração. Para a pergunta, foram obtidas as mais variadas respostas, tais como: os benefícios são sentidos a médio prazo, mas podendo ser longo dependendo do porte da organização e capital investido; os benefícios são percebidos em prazo superior a um ano; os benefícios inferidos são sentidos em curto prazo; ou ainda, *“não consigo estimar o prazo para a percepção dos benefícios”*.

Questão 14	Sabe-se, que atualmente, tem havido crescimento na procura de serviços de calibração por parte de pequenas e médias empresas. A que se deve este fato?
------------	--

A questão nº 14 objetivou investigar os fatores que influenciam no crescimento da procura de serviços de calibração pelas pequenas e médias empresas.

Na visão de três especialistas, esse crescimento é reflexo da pressão dos clientes, normalmente grandes empresas, que, devido a seus Sistemas de Gestão da Qualidade, impõem certos pré-requisitos às pequenas empresas para se adequarem como seus fornecedores. Na visão do especialista que prestou serviços ao IPT, esse crescimento é fruto da melhoria contínua na qualidade dos produtos e serviços devido à forte concorrência. Entretanto, uma das respostas, extraída da opinião do especialista da Starrett, revela uma prática comum entre os usuários dos

serviços de calibração. Segundo seus comentários, alguns usuários de serviços de calibração não se importam com o que vai ser feito com o equipamento de medição, mas sim, com o certificado de calibração emitido pelo laboratório, que vai ser apresentado ao auditor em uma auditoria, encarando a calibração como um custo e não um investimento.

Questão 15	A seu ver, no que diz respeito aos serviços de calibração, os clientes, valorizam mais o documento comprobatório de conformidade ou a necessidade de reduzir os custos a longo prazo?
------------	---

A questão nº 15, que finaliza a primeira etapa da pesquisa, teve por finalidade evidenciar, segundo o olhar da RBC, o que os usuários objetivam com a realização do serviço de calibração.

Na visão dos especialistas da RBC, da mesma forma como ainda existem empresas que encaram os serviços de calibração simplesmente para a obtenção do documento comprobatório, necessitando desse serviço pela exigência do certificado imposta por normas, também existem empresas sérias que buscam o serviço como um diferencial em relação aos concorrentes, sabendo do valor agregado que obterão no processo produtivo. Para o especialista da Starrett, o pior dos retratos é o de empresas que, além de se preocuparem apenas com o certificado de calibração, não se importam com os resultados da calibração. Instrumento calibrado não significa instrumento bom para o uso.

5.2 Pesquisa Junto às Empresas

A segunda etapa da pesquisa realizada nas empresas foi direcionada aos setores da Qualidade ou Metrologia, esperando, através das respostas de 60 respondentes, com um mínimo de conhecimento nessas áreas, resultados que apontem para a relevância da Metrologia para a Qualidade dos sistemas produtivos. Como ferramenta de coleta de informações, utilizou-se um questionário com questões fechadas (Questionário B). O modelo de questionário aplicado encontra-se no Anexo D.

5.2.1 Resultado da Pesquisa nas Empresas

As informações referentes ao número de colaboradores das empresas que participaram dessa etapa, assim como a formação do profissional, cargo e tempo de experiência do respondente da pesquisa aparecem nos gráficos a seguir.

No Gráfico 1, são apresentados o número de colaboradores das empresas dos respondentes da pesquisa. Na aplicação do questionário B, houve a preocupação de contemplar empresas desde pequeno porte, da ordem de 50 colaboradores, até empresas de grande porte, tendo a maior delas 55000 colaboradores.

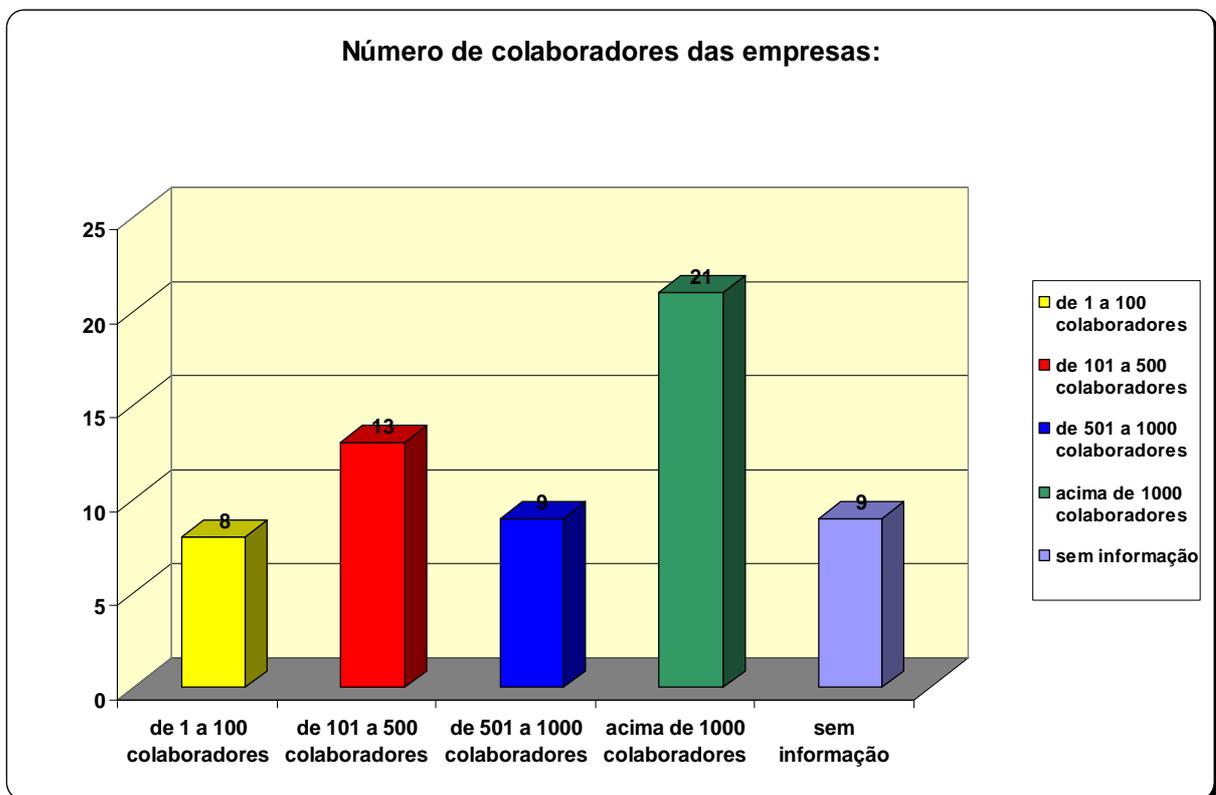


Gráfico 1 – Número de colaboradores das empresas dos respondentes.

No Gráfico 2, é explicitada a formação acadêmica dos respondentes. De acordo com a pesquisa, ainda predominam nas áreas da Qualidade e Metrologia profissionais de nível médio, mas com um bom número de profissionais graduados.

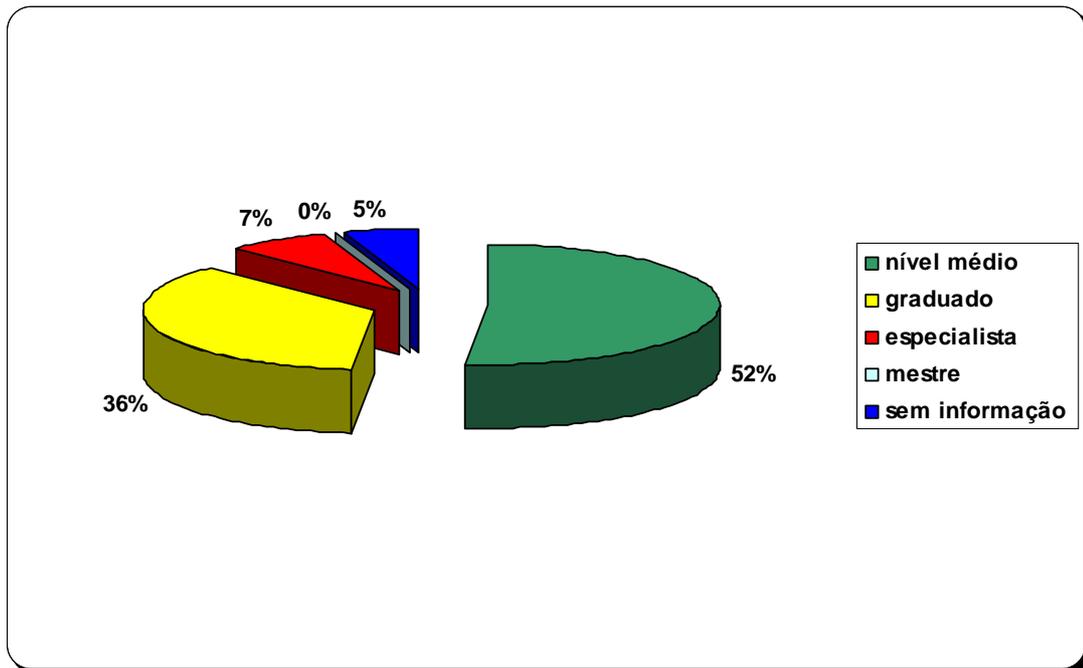


Gráfico 2 – Formação acadêmica dos respondentes.

No Gráfico 3, são relatadas informações sobre a experiência dos respondentes. Mesmo com má formação acadêmica, as empresas procuram manter em seus quadros funcionais os colaboradores ligados aos setores de Metrologia e Qualidade.

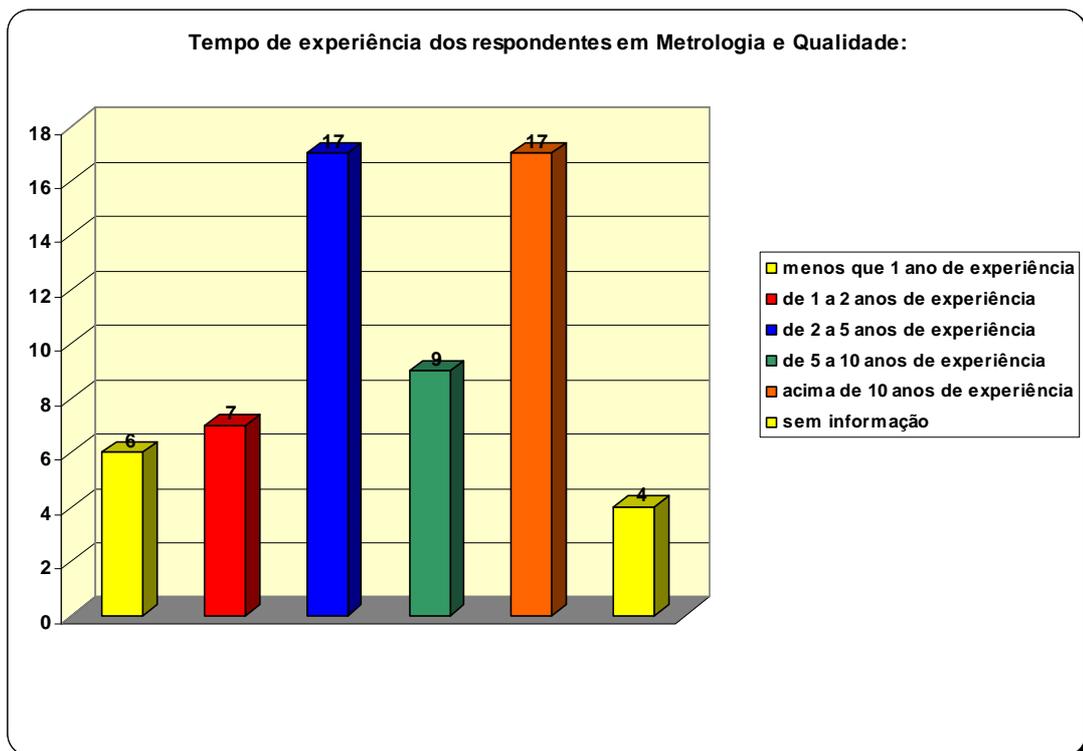


Gráfico 3 – Tempo de experiência dos respondentes.

No Gráfico 4, são apresentados os setores de atuação dos profissionais dentro das organizações.

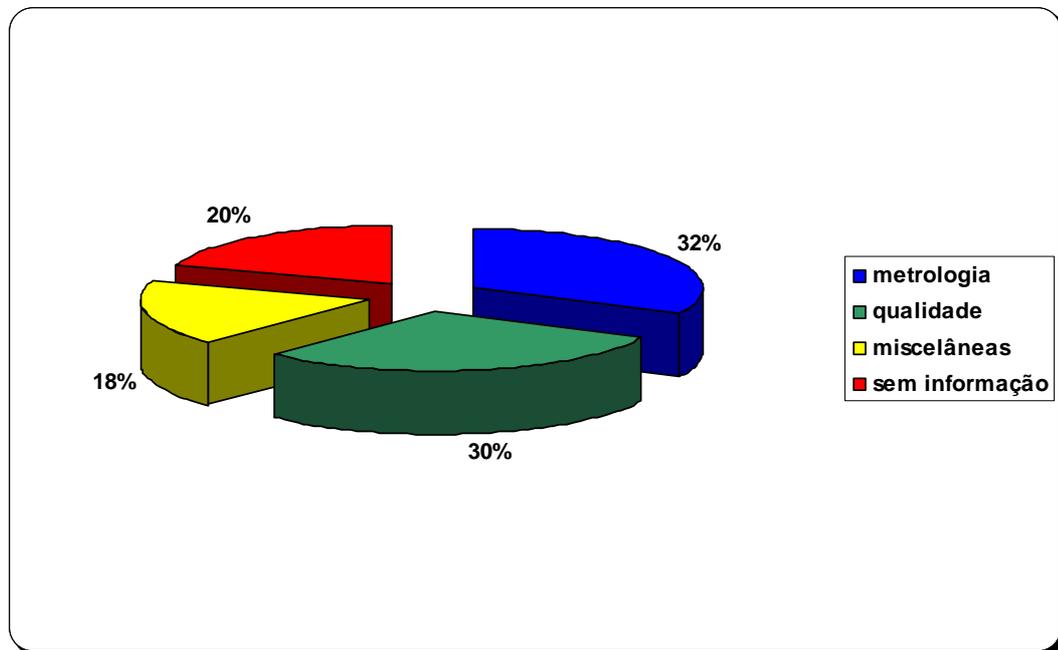


Gráfico 4 – Setores de trabalho dos respondentes.

A seguir são apresentadas cada questão do questionário B, e, respectivamente, os seus resultados.

Questão 1	Qual é a maneira que a empresa garante que seus sistemas e instrumentos de medição estejam medindo com confiabilidade metrológica?
-----------	--

A intenção da questão nº 1 foi de elencar os métodos que as organizações usam para garantir que as medições efetuadas nos sistemas produtivos sejam confiáveis.

No Gráfico 5, são apresentados os resultados referentes a essa questão.

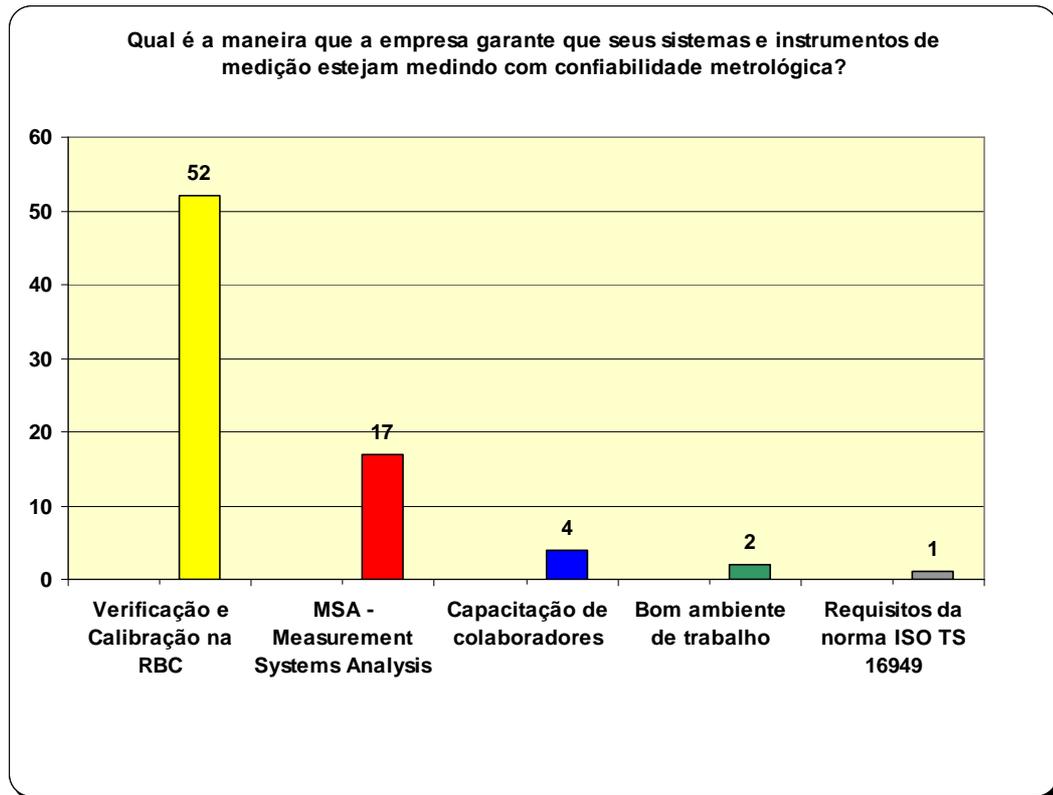


Gráfico 5 – Como a empresa assegura confiabilidade metrológica.

De acordo com o resultado apresentado, uma grande preocupação das empresas com a confiabilidade das medições nos sistemas produtivos, pois dos 60 questionários respondidos, 55 respondentes afirmam que a maneira de assegurar confiabilidade nas medições se dá através da calibração dos instrumentos e sistemas de medição na RBC. Justificam-se essas respostas devido à exigência cada vez maior para atendimento aos requisitos presentes nos escopos das normas dos Sistemas de Gestão da Qualidade quanto à Rastreabilidade dos instrumentos e sistemas de medição utilizados nos sistemas produtivos. Vinte e três respondentes destacaram outros métodos para garantir confiabilidade nas medições. Além da calibração efetuada na RBC, a metodologia do Manual MSA (*Measurement Analysis System*) também foi citada significativamente (17 vezes) como outro método bastante utilizado para garantir confiabilidade nas medições. Na aplicação da metodologia do MSA, podem ser feitos ensaios de Linearidade, Repetitividade e Reprodutibilidade, e Tendência de Sistemas de Medição. Quando é feita a análise dos resultados da Linearidade ou Repetitividade e Reprodutibilidade, ou ainda, da Tendência de Sistemas de Medição, caso os resultados não sejam satisfatórios, um dos elementos que afetam esses resultados é a verificação da calibração dos

instrumentos utilizados para a coleta das medições nos sistemas de produção, ou seja, instrumentos não calibrados com certeza darão resultados não satisfatórios para qualquer uma dessas análises. Aparecem ainda, nos resultados, duas citações para um bom ambiente de trabalho e uma citação para atendimento aos requisitos da norma ISO/TS 16949:2004.

Questão 2	A empresa faz uso de algum tipo de ferramenta da qualidade para minimizar o índice de produtos não conformes de seu sistema produtivo?	Sim		Não	
Se respondeu sim, quais?					

A questão nº 2 foi utilizada para pesquisar as ferramentas da Qualidade que fazem interface com a Metrologia. No Gráfico 6, estão registrados os resultados obtidos. Quase todas as empresas participantes da pesquisa utilizam metodologias ou ferramentas da Qualidade para reduzir os índices de produtos refugados de seus sistemas produtivos.

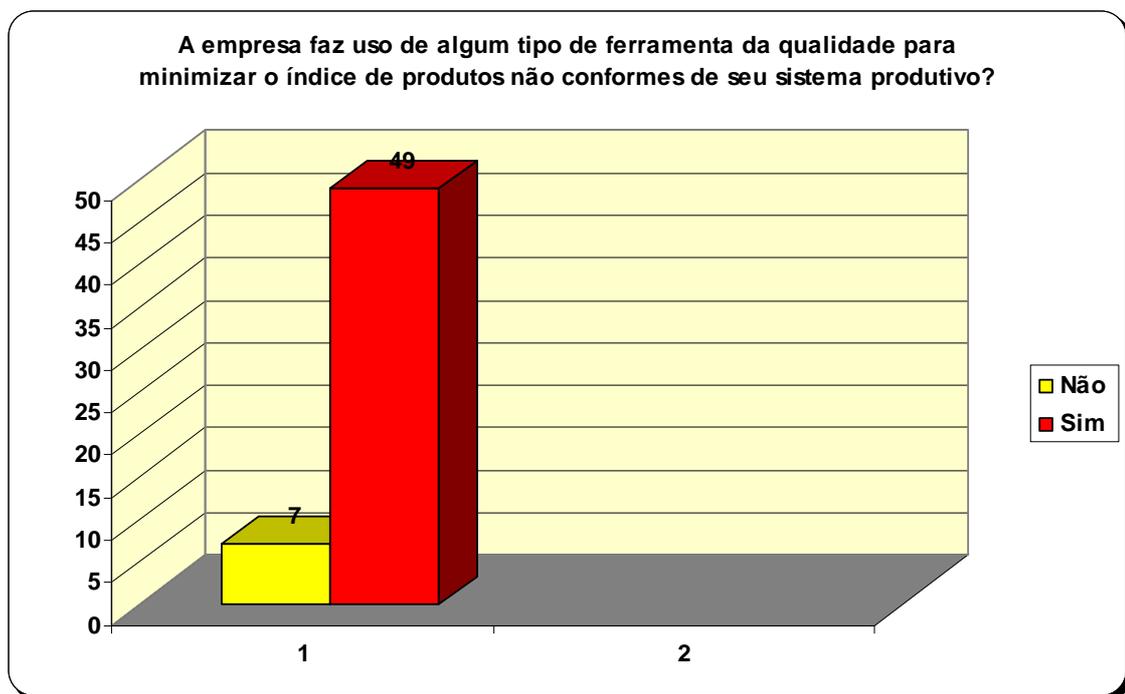


Gráfico 6 – Ferramentas da Qualidade.

Dessas ferramentas, as mais citadas foram o Controle Estatístico do Processo – CEP (20), o FMEA (10), o MSA (10), o APQP - PPAP (8), os Planos de Ação 8 D (6), os 5 W 2 H (6), o Diagrama de Ishikawa (6), o Ciclo PDCA (5), o

Kaisen (4) e o Método de Análise de Solução de Problemas - MASP (4). Na Figura 37, é apresentado, através de um quadro baseado nos resultados da pesquisa, como ocorre a interação entre a Metrologia e a Qualidade nos processos de produção. Nessa figura, foram citadas apenas as ferramentas da Qualidade com maior ocorrência na pesquisa. Para a aplicação de ferramentas como o CEP, o MSA e o APQP – PPAP, são necessárias medições no processo, ligando essas metodologias à Ciência da Medição. Já as outras ferramentas citadas podem ser aplicadas realizando-se medições no processo, como também em outros procedimentos que não necessitam de medidas, mas que interferem no processo produtivo.

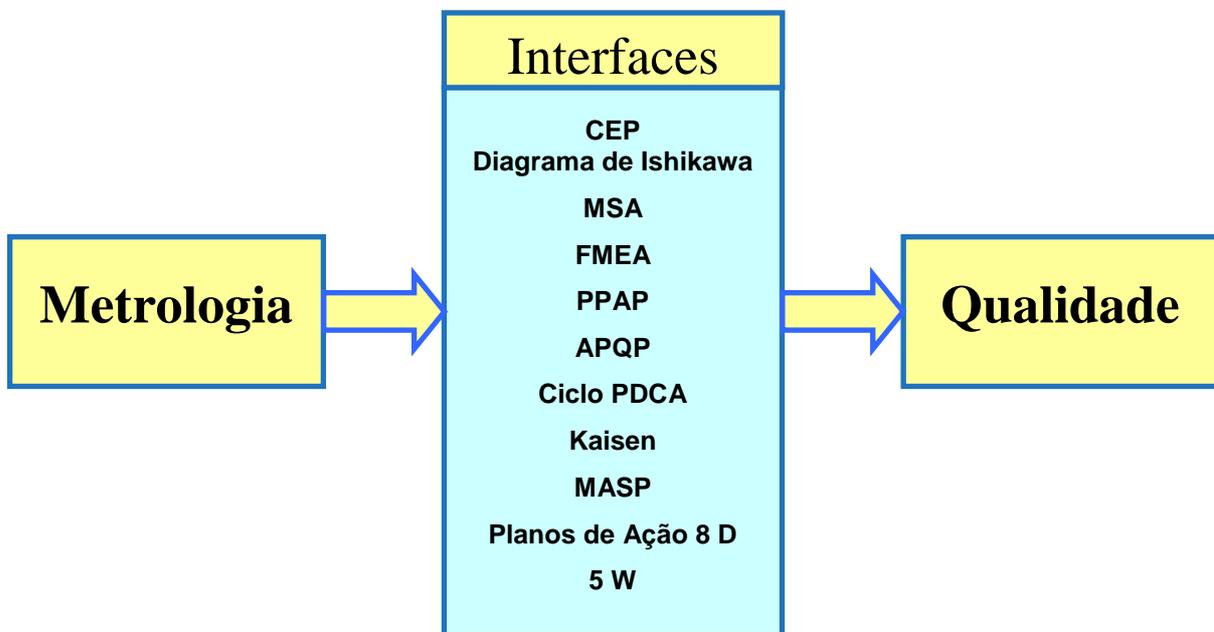


Figura 37 – Ferramentas de interface entre a Metrologia e a Qualidade.

Na sequência apresentam-se resumidamente essas ferramentas, com citação, em cada caso, de uma fonte de referência.

O Controle Estatístico de Processos – CEP é uma ferramenta da qualidade utilizada nas indústrias e nos processos produtivos com o objetivo de aumentar a economia evitando desperdícios de matéria-prima, insumos e outros produtos de industrialização, buscando a otimização de trabalhos e tornando as atividades menos estressantes. Vale-se intensamente dos gráficos de controle desenvolvidos por Walter Shewhart na década de 1920. Entretanto, mais do que uma ferramenta estatística, o CEP é entendido como uma filosofia de gerenciamento e um conjunto

de técnicas e habilidades, originárias da Estatística e da Engenharia de Produção, que visam garantir a estabilidade e a melhoria contínua de um processo de produção. Em resumo, visa o controle e a melhoria do processo (MOURA, 1994).

O Diagrama de Ishikawa, também conhecido como "Diagrama de Causa e Efeito" ou "Espinha-de-peixe", é uma ferramenta gráfica utilizada pela Administração para o Gerenciamento e o Controle da Qualidade em processos diversos de manipulação das fórmulas. Esse diagrama também é conhecido como 6M pois, em sua estrutura, todos os tipos de problemas podem ser classificados como sendo de seis tipos diferentes:

- Método
- Matéria-prima
- Mão-de-obra
- Máquinas
- Medição
- Meio ambiente

Esse sistema permite estruturar hierarquicamente as causas potenciais de determinado problema ou oportunidade de melhoria, bem como seus efeitos sobre a qualidade dos produtos. Permite, também, estruturar qualquer sistema que necessite de resposta de forma gráfica e sintética (MOURA, 1994).

O Measurement Systems Analysis - MSA, além de ser exigido pelas normas do setor automotivo, é indispensável para as empresas que buscam a qualidade total e o controle dos seus processos. É, também, uma ferramenta indispensável em trabalho de CEP, sendo uma importante etapa do APQP e do PPAP, vistos a seguir. É importante para se garantir a consistência dos controles nos processos de fabricação, sobretudo no recebimento, processo e aprovação final. Os estudos de MSA objetivam avaliar a influência dos erros de medição no resultado final das medições (AIAG, 2004).

O Failure Mode and Effect Analysis - FMEA, que traduzido significa Análise do Tipo e Efeito de Falha, é uma metodologia que objetiva avaliar e minimizar riscos por meio da análise das possíveis falhas (determinação da causa, efeito e risco de cada tipo de falha) que podem ocorrer tanto no projeto quanto no processo de fabricação

do produto, visando a implementação de ações para aumentar a confiabilidade (IQA, 2008).

O APQP-PPAP - *Advanced Product Quality Planning* (planejamento avançado da qualidade do produto) - *Production Parts Approval Process* (processo de aprovação de peças de produção), desenvolvido no final da década de 1980, por uma comissão de *experts* das três maiores indústrias automobilísticas norte-americanas: Ford, General Motors e Chrysler. Essa comissão investiu cinco anos para analisar o então corrente estado de desenvolvimento e produção automotiva nos Estados Unidos, Europa e especialmente no Japão. Os requisitos para seus fornecedores são seguir os procedimentos e técnicas do APQP-PPAP, serem auditados e certificados para a norma ISO/TS 16949:2004 (IQA, 2008 e 2009).

O processo APQP-PPAP da *Automotive Industry Action Group* - AIAG, que é parte de uma série de documentos relacionados, atualizados e publicados pela AIAG, base para a criação do processo de Plano de Controle, é o Conjunto de Manuais da APQP. Os manuais incluem:

- O Manual FMEA;
- O Manual SPC (*Statistical process control*);
- O Manual MSA (*Measurement Systems Analysis*);
- O próprio Manual *Production Part Approval Process* (PPAP).

A *Automotive Industry Action Group* - AIAG é uma associação sem fins lucrativos da indústria automotiva, fundada em 1982.

O ciclo PDCA, já comentado no Capítulo 2, denominado ciclo de Shewhart ou ciclo de Deming, é um ciclo de desenvolvimento que tem foco na melhoria contínua. O PDCA foi introduzido no Japão após a guerra, idealizado por Shewhart e divulgado por Deming, quem efetivamente o aplicou. Inicialmente, deu-se o uso para estatística e métodos de amostragem. O ciclo de Deming tem por princípio tornar mais claros e ágeis os processos envolvidos na execução da gestão, como, por exemplo, na gestão da qualidade. O PDCA é aplicado para se atingir resultados dentro de um sistema de gestão e pode ser utilizado em qualquer empresa de forma a garantir o sucesso nos negócios, independentemente da área de atuação da empresa. O ciclo começa pelo planejamento, em seguida a ação ou conjunto de

ações planejadas são executadas, checa-se se o que foi feito estava de acordo com o planejado, constante e repetidamente (ciclicamente), e toma-se uma ação para eliminar ou, ao menos, mitigar defeitos no produto ou na execução, ou ainda para promover a melhoria do processo (MOURA, 1994).

O Kaisen é a expressão utilizada para definir o modelo japonês de gestão da qualidade e significa melhoria contínua dos processos produtivos através da introdução permanente de pequenos aperfeiçoamentos, que, apesar de baratas e de fácil implementação, conduzem à redução de custos, melhoria da qualidade e/ou aumento da produtividade e eficiência. O princípio base do Kaisen é incentivar os colaboradores para, permanentemente, colocarem em questão os processos da organização, a fim de identificar áreas de potencial melhoria. O Kaisen pode ser aplicado a todos os processos no interior da organização como o layout da linha de produção, as compras, os aprovisionamentos, os processos de controle da qualidade, os processos de fabricação, os serviços ao cliente, entre muitos outros (IMAI, 1994).

O MASP (Metodologia de Análise e Solução de Problemas) é um caminho ordenado, composto de passos e sub-passos pré-definidos para a escolha de um problema, análise de suas causas, determinação e planejamento de um conjunto de ações, que consistem numa solução, verificação do resultado da solução e realimentação do processo para a melhoria do aprendizado e da própria forma de aplicação em ciclos posteriores. O MASP prescreve como um problema deve ser resolvido e não como é resolvido, contrapondo dois modos de tomada de decisão denominados de “modelo prescritivo” e “modelo descritivo” (IQA, 2006).

As etapas para implementação da MASP são:

- a) Identificação do problema - definir claramente o problema e reconhecer sua importância;
- b) Observação - investigar as características específicas do problema com uma visão ampla e sob vários pontos de vista;
- c) Análise - descobrir as causas fundamentais;
- d) Plano de ação - conceber um plano para bloquear as causas fundamentais;
- e) Ação - bloquear as causas fundamentais;
- f) Verificação - verificar se o bloqueio foi efetivo.;

- g) Padronização - prevenir contra o reaparecimento do problema;
- h) Conclusão - recapitular todo o processo de solução do problema para trabalho futuro.

Os Planos de Ação 8 D são uma ferramenta utilizada como modelo para tomada de ações corretivas e preventivas. Nesse modelo, as empresas utilizam os seguintes passos para o processo de tomada decisão nas ações corretivas e preventivas: identificação de não conformidades, formação de equipe, ações de contenção, identificação das caudas básicas, identificação da ação, implementação da ação, verificação da eficácia e aprovação (IQA, 2006).

Os 5 W ou “5 Porquês” é um formulário para execução e controle de tarefas que atribui responsabilidades e determina as circunstâncias em que o trabalho deverá ser realizado. Recebeu esse nome devido a primeira letra das palavras inglesas: *What* (O que), *Who* (Quem), *When* (Quando), *Where* (Onde) e *Why* (Por que). Trata-se de uma ferramenta utilizada para planejar a implementação de uma solução, elaborada a partir das respostas aos 5 W, aos quais também se acrescenta dois H, de *How* (Como) e *How much* (Quanto custa) (MARIANI *et al.*, 2005).

De acordo com os resultados da pesquisa, fica evidente a interface que essas ferramentas fazem com os sistemas metrológicos implantados nas industriais de produção de bens de consumo. A implantação de quaisquer das ferramentas citadas pelos respondentes da pesquisa é sempre motivada por melhorias esperadas no processo de fabricação. É impossível não se falar em medidas quando se fala em processo. Dessa forma, explica-se o relacionamento existente entre a Metrologia e essas ferramentas usadas para melhoria da qualidade produtiva.

Questão 3	A importância atribuída à Metrologia dentro da empresa é:
Questão 4	Do ponto de vista da competitividade da empresa no atual mercado globalizado, a importância da Metrologia é:

- Nenhuma
- Baixa
- Média
- Alta
- Muito alta

As Questões nºs 3 e 4 complementam-se. Os resultados do Gráfico 7 (referente à Questão 3) apontam para uma preocupação cada vez maior das

empresas em relação à Metrologia, fato que pode ser explicado devido à sua importância para a obtenção da conformidade dos produtos fabricados.

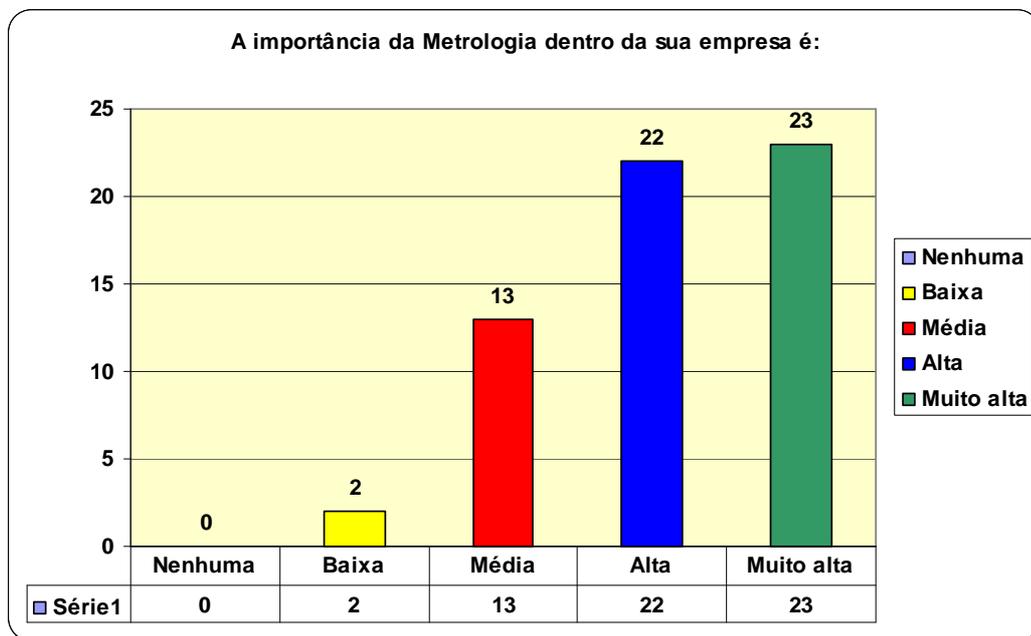


Gráfico 7 – A importância da Metrologia.

O Gráfico 8 (referente à Questão 4) tem por função relacionar a Metrologia com a competitividade das empresas. Analisando seus resultados, que mais de 90% das empresas participantes da pesquisa atribuem à Metrologia importância alta ou muito alta como fator de competitividade.

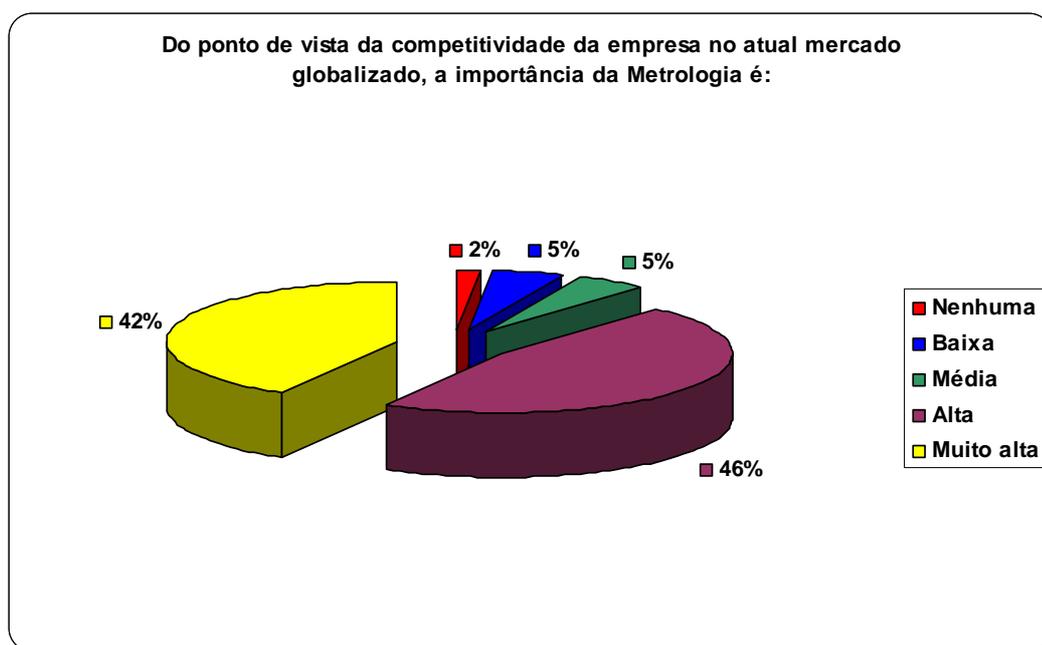


Gráfico 8 – A Metrologia como fator de competitividade

Relacionando-se os resultados dos dois gráficos percebe-se que o impacto da Metrologia na Qualidade dos produtos fabricados é muito grande, e desprezar a ação da Metrologia nos processos produtivos ocasiona aumento no índice de refugos produtivos, elevando os custos de produção, e também o preço final do produto no mercado. Esse ciclo contínuo afetará a competitividade da empresa e, por sua vez, sua sobrevivência. Quando uma empresa possui equipamentos ou sistemas de medição que são calibrados periodicamente, com exatidão elevada e baixa incerteza, isso reflete na fabricação de produtos em conformidade com as especificações e com medidas próximas aos valores reais. Outro fator diz respeito à possibilidade de desenvolvimento de novas tecnologias, ou seja, organizações que possuem departamento de pesquisa e desenvolvimento só conseguirão se destacar e gerar novas tecnologias se possuírem máquinas e sistemas de medição com níveis elevados de exatidão. Com isso, as empresas desenvolvedoras de produtos e detentoras novas tecnologias passarão a dominar o mercado consumidor.

Questão 5	A empresa possui laboratório de metrologia?	Sim	<input type="checkbox"/>	Não	<input type="checkbox"/>
Caso responda “sim”, o laboratório é acreditado pelo Inmetro?		Sim	<input type="checkbox"/>	Não	<input type="checkbox"/>

Questão 6	A empresa calibra seus sistemas e instrumentos de medição em:
-----------	---

Laboratório interno	<input type="checkbox"/>
Rede brasileira de calibração - RBC	<input type="checkbox"/>
Outros laboratórios	<input type="checkbox"/>
Sem informação	<input type="checkbox"/>

Questão 7	A importância para a empresa de se calibrar instrumentos e sistemas de medição é:
-----------	---

Nenhuma	<input type="checkbox"/>
Baixa	<input type="checkbox"/>
Média	<input type="checkbox"/>
Alta	<input type="checkbox"/>
Muito alta	<input type="checkbox"/>

Questão 8	O impacto da calibração dos sistemas e instrumentos de medição no sistema produtivo da empresa é:
-----------	---

Nenhum	<input type="checkbox"/>
Baixo	<input type="checkbox"/>
Médio	<input type="checkbox"/>
Alto	<input type="checkbox"/>
Muito alto	<input type="checkbox"/>

Os resultados apresentados nos Gráficos 9, 10, 11 e 12 (referente às Questões nºs 5, 6, 7 e 8) retratam os caminhos utilizados pelas empresas para realização da calibração de seus sistemas e instrumentos de medição, a maneira como obtêm a rastreabilidade metrológica aos padrões primários do SI e a importância atribuída à calibração.

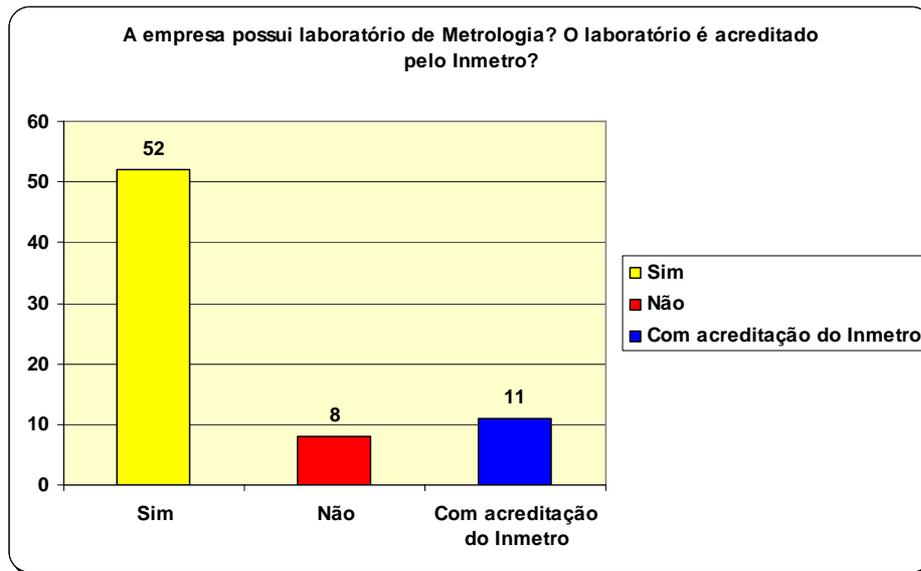


Gráfico 9 – Número de empresas com laboratórios de Metrologia.

Das 60 empresas que responderam à pesquisa, 52 empresas responderam que possuem laboratório de metrologia, sendo 11 desses laboratórios acreditados pelo Inmetro. Somente 8 empresas relataram não possuírem laboratório. Grandes empresas são levadas, pela acirrada competitividade global, a acreditarem seus laboratórios de metrologia. Essa decisão torna o processo de rastreabilidade metrológica mais ágil, pois a empresa passa a deter seus próprios padrões de medição e realizar as calibrações internamente, tanto dos sistemas e instrumentos de medição quanto dos padrões de trabalho utilizados para a garantia da qualidade das medições.

Dentre as empresas que possuem acreditação do Inmetro estão: Valeo, Volkswagem, General Motors, Karmannghia, Senai, Ford, Continental e Petrobrás, empresas com número de colaboradores acima de 1000, o que reforça, para esses grandes conglomerados, a idéia de se produzir sempre com qualidade para domínio dos seus segmentos de mercado.

Foi possível, também, detectar que empresas que não possuem laboratório de metrologia são empresas menores, com número de colaboradores inferior a 300. Esse fato revela que empresas com menor poder aquisitivo ainda têm restrições quanto ao investimento em Metrologia.

Fica evidente mais uma vez, a importância da RBC para a competitividade das empresas que se utilizam desses serviços e, também, para o desenvolvimento do País, pois não basta medir, tem de saber que se está medindo certo e com qualidade.

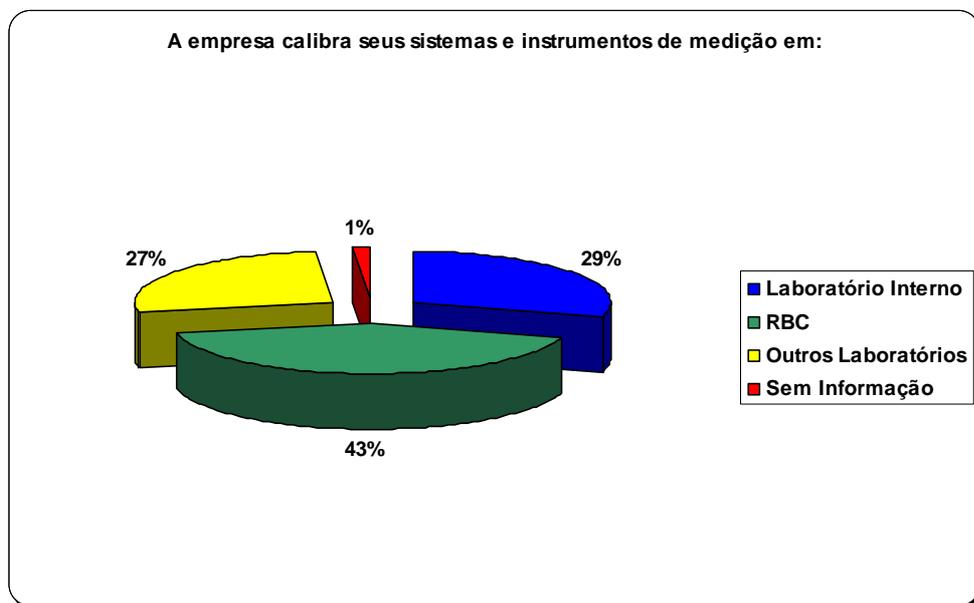


Gráfico 10 – Local de realização das calibrações.

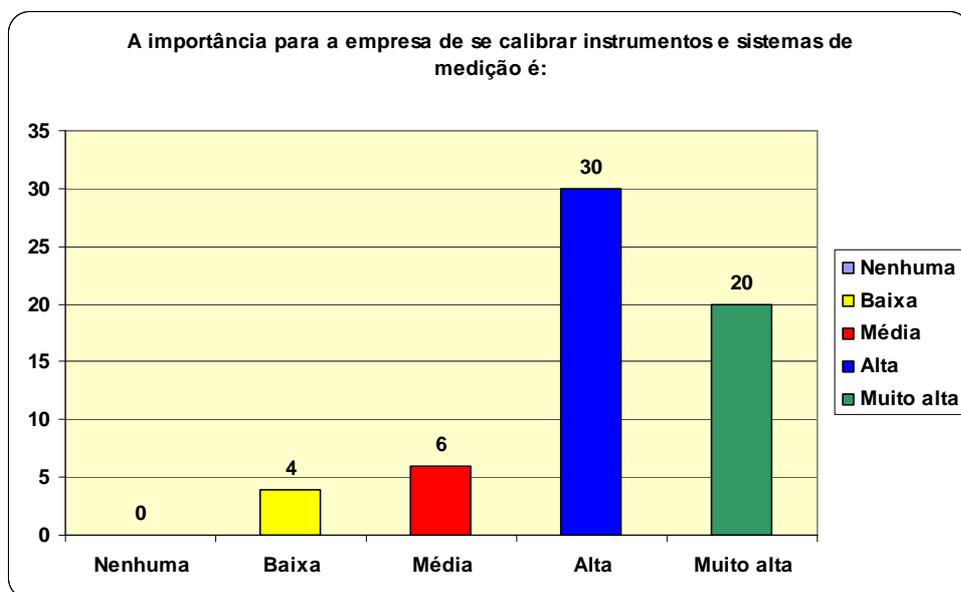


Gráfico 11 – Importância da calibração para as empresas.

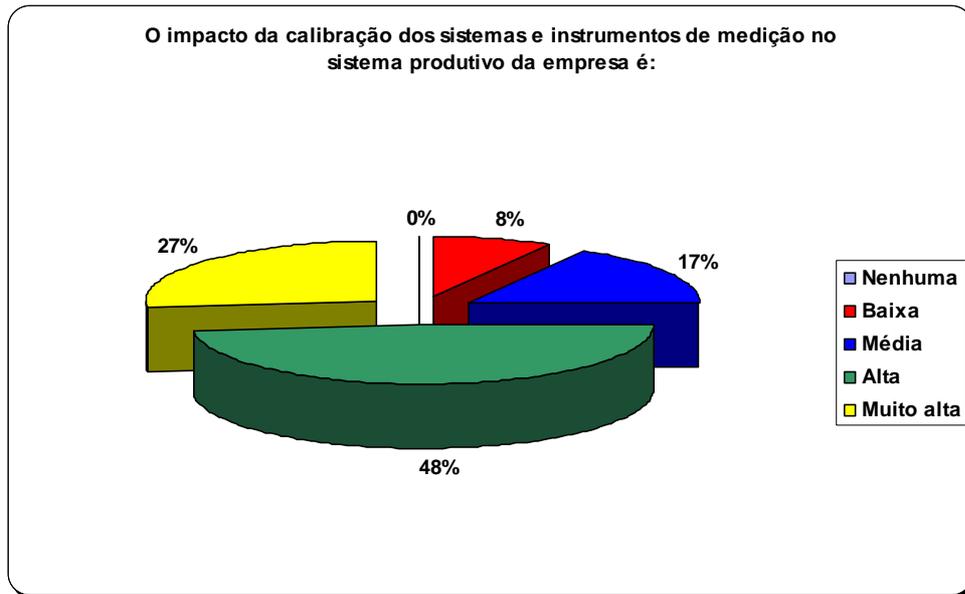


Gráfico 12 – Impacto da calibração nos sistemas produtivos.

Questão 9	Na operação de calibração de sistemas e instrumentos de medição, a relação entre a incerteza do padrão e incerteza do instrumento adotada pela empresa é: Observação: “U” significa <i>uncertainty</i> (incerteza).
-----------	--

$\frac{U}{3}$		$\frac{U}{10}$	
$\frac{U}{4}$		$\frac{U}{20}$	
$\frac{U}{5}$		Sem informação	

Questão 10	A importância de se estimar a incerteza medição para o sistema produtivo da empresa é:
------------	--

Nenhuma	
Baixa	
Média	
Alta	
Muito alta	

Os resultados extraídos dos Gráficos 13 e 14 (referentes às Questões n^{os} 9 e 10) objetivam evidenciar a importância atribuída à incerteza da medição nos processos produtivos.

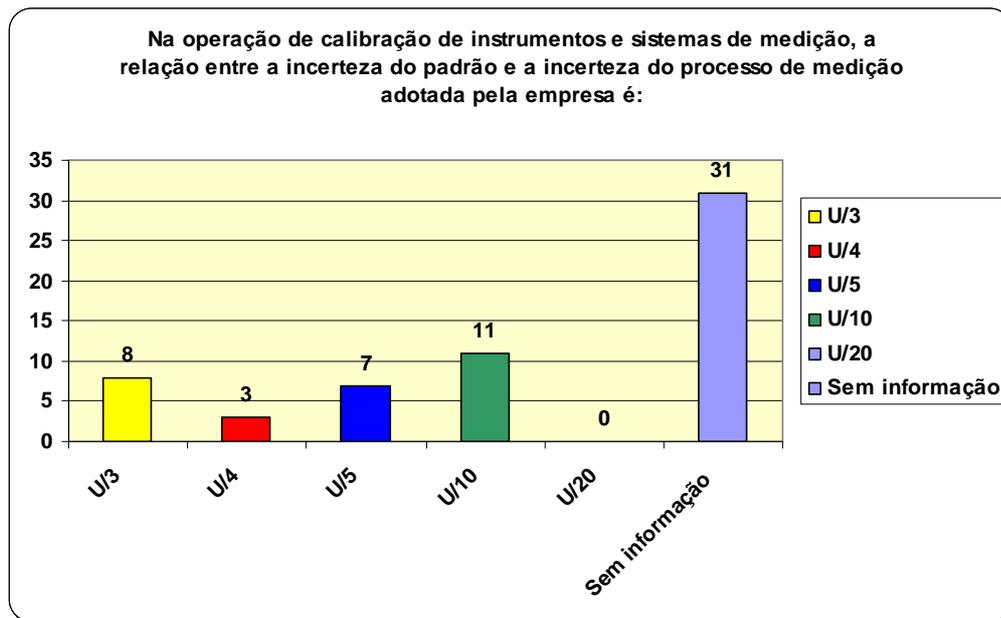


Gráfico 13 – Relação incerteza do padrão/processo de medição.

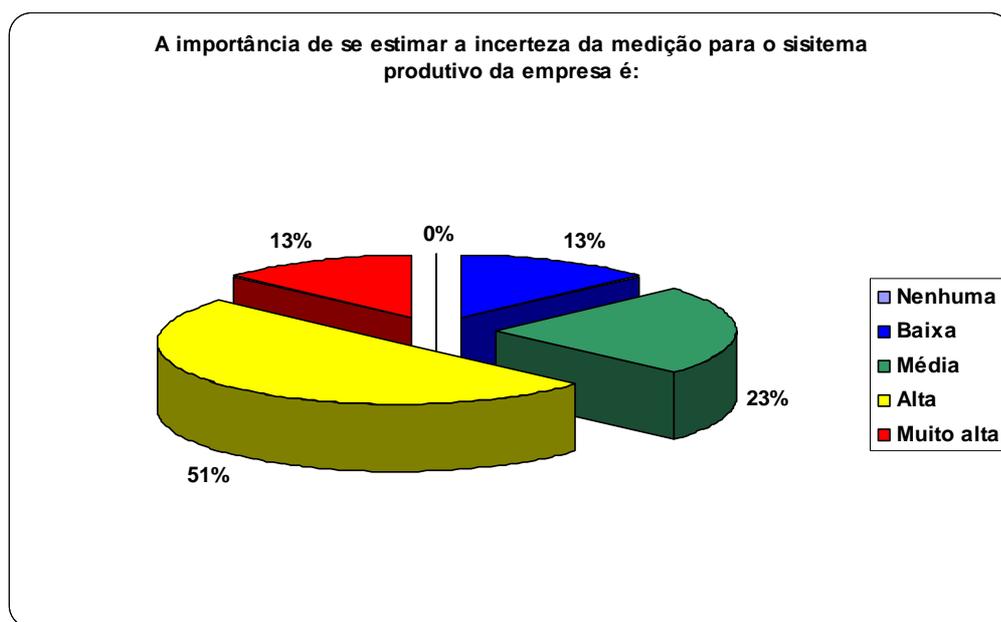


Gráfico 14 – Importância da estimativa da incerteza da medição.

Analisando-se os resultados obtidos, mais de 50% dos profissionais da qualidade questionados não têm informação sobre a relação entre incerteza do padrão e incerteza do processo de medição para a calibração de instrumentos e sistemas de medição. Dos 60 profissionais questionados, 31 responderam não ter informação sobre a escolha dessa relação. Porém, ao contrário da falta informação sobre essa relação, esses mesmos profissionais, que, quase na sua totalidade,

estão ligados à área da qualidade, têm consciência da importância desse critério para a produção, atribuindo alta importância para o estabelecimento da estimativa da incerteza da medição para os processos de produção.

As outras 29 respostas ficaram bem divididas, com as relações escolhidas pelas empresas recaindo sobre U/3, U/5 e U/10. A justificativa para essas escolhas depende do tipo de sistema ou instrumento de medição que a empresa emprega para medições em seu sistema produtivo, pois quanto menor a incerteza do padrão utilizado no processo de calibração, mais elevado é o seu valor para aquisição. Empresas que possuem sistemas de medição com alta exatidão e baixa incerteza em seu processo de medição, necessitarão de padrões de calibração com baixíssimas incertezas, que, são caros. Nesse caso, a empresa optará por uma relação menor para não onerar seu sistema de produção. Para Albertazzi & Souza (2008), uma relação economicamente viável para as empresas é U/10. A escolha de uma relação maior encarece o sistema produtivo, o que foi mostrado pela pesquisa, já que nenhuma escolha recaiu na relação U/20.

Questão 11	O relacionamento existente entre a Rastreabilidade e a Qualidade é:
------------	---

Nenhum	<input type="checkbox"/>
Baixo	<input type="checkbox"/>
Médio	<input type="checkbox"/>
Alto	<input type="checkbox"/>
Muito alto	<input type="checkbox"/>

Questão 12	Você acha que a Rastreabilidade Metrológica afeta o controle de medidas de características de produtos?	Sim	<input type="checkbox"/>	Não	<input type="checkbox"/>
Questão 13	A empresa possui alguma certificação relacionada a sistemas de gestão da qualidade?	Sim	<input type="checkbox"/>	Não	<input type="checkbox"/>
Se respondeu sim, como essa certificação influi nas ações metrológicas da empresa?					

As conclusões sobre os resultados dos Gráficos 15, 16 e 17 (referentes às Questões 11, 12 e 13) são justificadas pela crescente padronização exigida pelo comércio internacional. A padronização é uma questão fundamental para a viabilização do comércio internacional devido aos seguintes motivos: a grande demanda por produtos que atendam as especificações relacionadas à saúde, ao ambiente e à segurança das pessoas, e o atendimento aos requisitos técnicos. A Metrologia também tem a função de facilitar comércio, diminuindo barreiras técnicas

entre os países e possibilitando que a competição entre empresas globalizadas ocorra em bases mais transparentes e justas.

As organizações têm procurado implantar Sistemas de Gestão da Qualidade de acordo com normas como, principalmente, as da série NBR ISO 9000:2008 e ISO/TS 16949:2004. Na área dos laboratórios de calibração e ensaio, o padrão considerado adequado é a norma NBR ISO/IEC 17025:2005, que tem por objetivo principal fornecer evidências pelas quais um laboratório pode demonstrar que opera um sistema da qualidade e possui competência técnica para realizar os serviços de calibração e de ensaio. Os laboratórios que possuem a acreditação do Inmetro proporcionam a rastreabilidade metrológica, tornando-se, um atestado de garantia de confiabilidade nas medições para as empresas que utilizam esses serviços.

Os resultados apresentados no Gráfico 15, em que 45 dos pesquisados atribuem valor alto e muito alto (24 alto e 21 muito alto) para o relacionamento entre a Rastreabilidade e a Qualidade, é o retrato da atual preocupação das organizações para o atendimento dos requisitos exigidos pelas normas citadas acima. Assim, as empresas estão cientes de que para participarem do mercado, principalmente o internacional, deverão procurar por serviços que proporcionem rastreabilidade metrológica, requisito fundamental para qualidade e participação no mercado mundial.

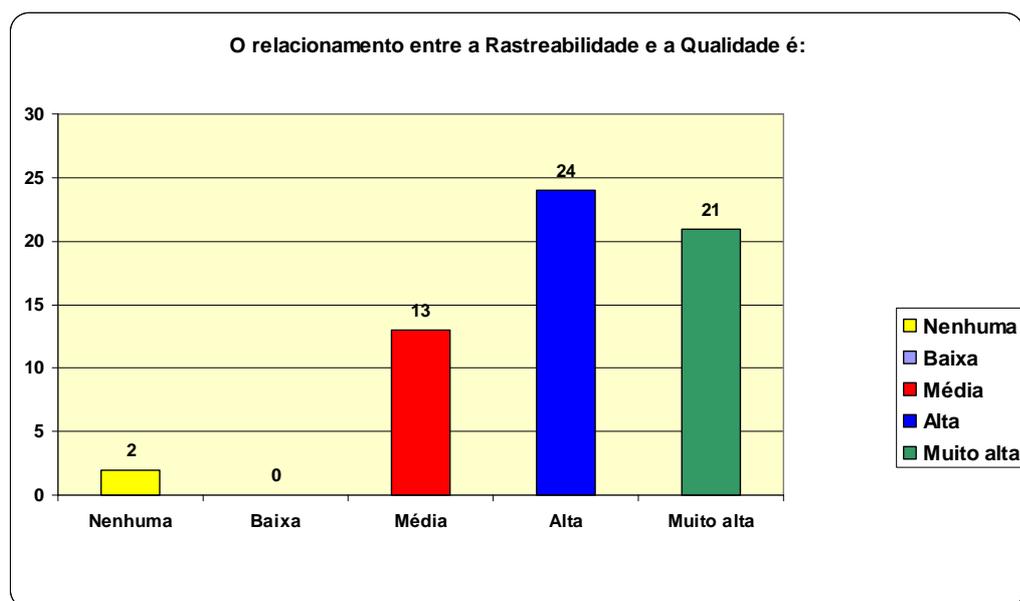


Gráfico 15 – Relacionamento entre Rastreabilidade e Qualidade.

Os Gráficos 16 e 17, com valores idênticos, apresentaram muita coerência nos resultados, pois organizações que possuem algum tipo de certificação nos seus sistemas de gestão da qualidade, são “forçadas” a atender os requisitos do cliente para se manter no mercado. Em razão disso, em seus escopos são colocados procedimentos para a sistemática de calibrações de sistemas e instrumentos de medição que a empresa utiliza e para obtenção da Rastreabilidade Metrológica, que são requisitos para atendimento das necessidades do cliente.

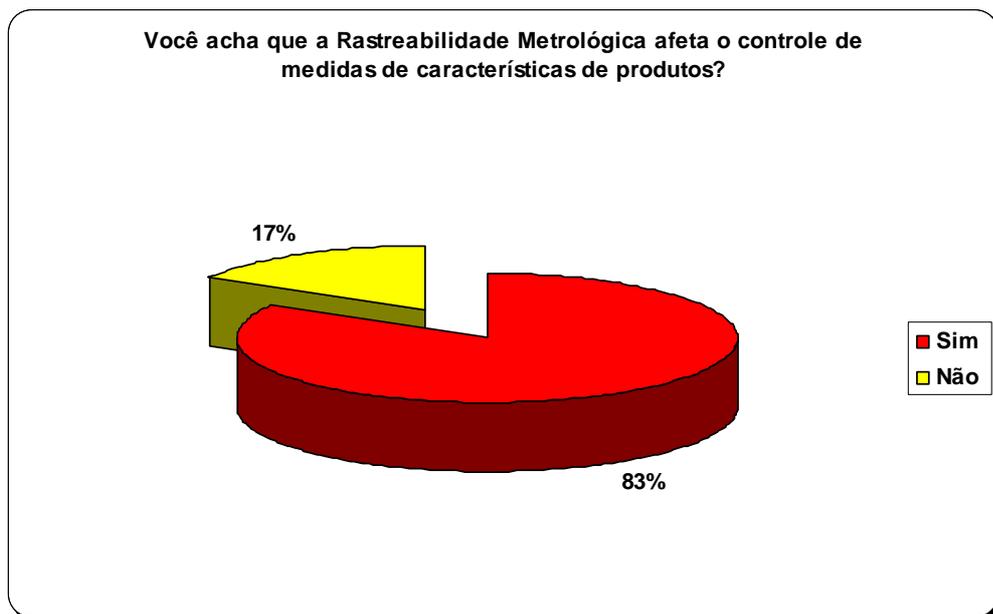


Gráfico 16 – Influência da Rastreabilidade no controle de medidas.

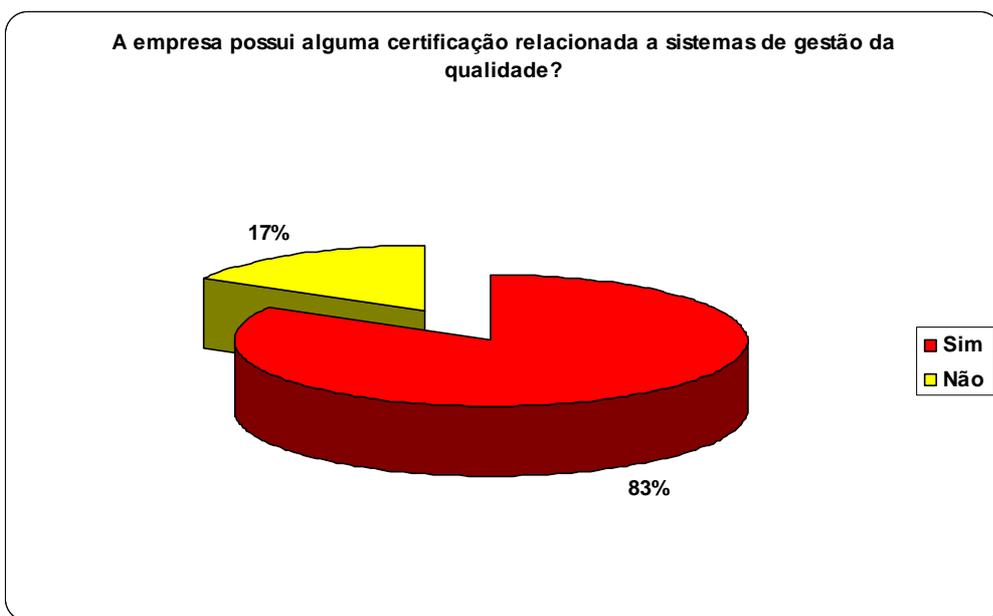


Gráfico 17 – Empresas com Sistemas de Gestão da Qualidade.

O complemento à Questão de nº 13 (resultados no Gráfico 17), com a pergunta “*Como essa certificação influi nas ações metrológicas da empresa*”, também retratou alguns depoimentos importantes, que fundamentam as conclusões obtidas. O respondente da Bridgestone do Brasil, afirmou que “*as ações metrológicas são fundamentadas nas necessidades do cliente*”. Já o respondente do Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT relatou que “*as certificações obrigam o atendimento dos requisitos gerenciais e técnicos do sistema de qualidade*”

Resumidamente, os resultados dos três gráficos, principalmente o Gráfico 16, em que 83% dos respondentes disseram que a rastreabilidade afeta o controle de medidas, demonstra a percepção das vantagens que os usuários dos serviços de laboratórios pertencentes à RBC obtêm, tais como: a garantia de que os serviços são realizados conforme procedimentos reconhecidos internacionalmente; maior confiança nos resultados; superação de possíveis barreiras técnicas para produtos destinados à exportação e também podem servir como critério para a seleção de fornecedores.

Questão 14	Na sua opinião, quando a empresa adquire uma sofisticada máquina de medição, com elevada exatidão, o impacto no sistema produtivo é:
------------	--

Nenhum
Baixo
Médio
Alto
Muito alto

<input type="checkbox"/>

Nos resultados apresentados no Gráfico 18 (referente à Questão 14), verifica-se a influência dos avanços tecnológicos sobre toda a cadeia produtiva de uma organização. Esta influência aparece nas áreas de projeto, desenvolvimento de produto e produção, das organizações. A aquisição de equipamentos de medição sofisticados com baixos valores de resolução e incerteza, como, por exemplo, as máquinas de medição por coordenadas, é o recurso mais poderoso que a indústria possui para o desenvolvimento dimensional de produtos, controle dimensional de peças e melhoria da capacidade de processos. Em virtude da contínua redução dos intervalos de tolerância e de os produtos possuírem um maior valor intrínseco, o efeito de uma medição incorreta pode ser decisivo para a sobrevivência de uma organização.

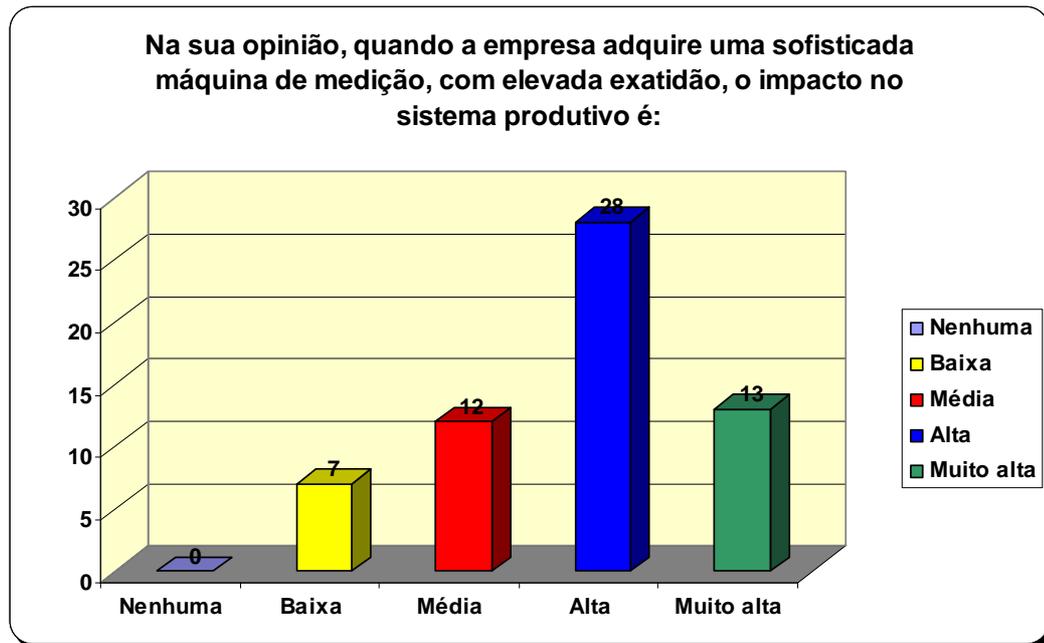


Gráfico 18 – Máquinas de medição com alta exatidão no sistema produtivo.

Os resultados apresentados no Gráfico 18, com 41 dos respondentes atribuindo importância alta ou muito alta para o impacto da aquisição de máquinas sofisticadas no sistema produtivo, podem ser justificados pelo benefício trazido por esses equipamentos quando adquiridos e operados de maneira adequada.

Essas tecnologias agregam, além das funções básicas de medir, manter os processos sob controle, evitar refugos, retrabalhos e perdas de qualidade, outros benefícios significativos e vitais para sobrevivência da organização, tais como a flexibilidade, operação informatizada e automatizada, intensa integração com outras áreas da empresa, desenvolvimento de ferramental de produção com alto valor agregado, aumento da produtividade, possibilitam melhor avaliação de fornecedores, entre outros benefícios. Essas tecnologias influenciam aspectos como o tempo de desenvolvimento de um produto, os custos de produção e desempenho funcional de componentes, provendo para o processo decisório o fornecimento de informações consistentes, que indiquem a ação corretiva a ser tomada para a solução de eventuais desvios em qualquer das etapas produtivas. As consequências da utilização de tecnologias ultrapassadas e com valores inadequados de exatidão são a inevitável ocorrência de erros de medição que provocam atrasos, perdas de material, problemas de qualidade e conflitos entre clientes e fornecedores; ou seja, em última instância, comprometem a competitividade da empresa e de seus clientes

ou fornecedores. A partir dessa realidade e sabendo que as decisões são sempre tomadas a partir de resultados de medições, pode-se, sem muito esforço de imaginação, visualizar as perdas que podem ocorrer, se qualquer dessas decisões for em cima de números pouco confiáveis.

A busca da eficiência nos processos e da qualidade de produtos passa, necessariamente, por práticas de medição consistentes e ligadas de forma eficiente a uma rede de informações da engenharia da qualidade, como forma de tornar o ciclo decisório de otimização rápido e certo.

Questão 15	Para a escolha de sistemas e instrumentos de medição, o Controle de Qualidade adota: (Observação: IT significa intervalo de tolerância)
------------	---

$\frac{IT}{5}$
 $\frac{IT}{10}$

<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>

$\frac{IT}{20}$

Sem informação

<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>

O último resultado desta pesquisa, apresentado no Gráfico 19 (referente à Questão 15), retrata em parte a conscientização dos respondentes quanto à influência da incerteza da medição nos resultados obtidos para os mensurandos em todo processo de medição, já que quase 50 % (28) dos respondentes selecionam adequadamente a resolução de seus sistemas e instrumentos de medição dividindo o intervalo de tolerância (IT) por 5 ou 10. Esse procedimento qualitativo deve ser adotado como critério de seleção de sistemas e instrumentos de medição, pois confrontar a incerteza do processo de medição e o campo de tolerância é muito importante para a correta escolha do equipamento e seria inadmissível e extremamente oneroso para a organização a utilização de um processo de medição com incerteza da medição incompatível com o campo de tolerância da característica a ser controlada.

Por outro lado, o resultado mais relevante e preocupante da pesquisa, em que mais que 50 % (31) dos respondentes dizem não ter informação (sem informação) quanto ao critério de seleção desses equipamentos de controle de medidas, revela desconhecimento do estabelecimento do correto critério para escolha de sistemas e instrumentos de medição. Esse fato constatado refletirá em constantes conflitos na produção, com fornecedores e clientes, atrasos, além das perdas com retrabalho e

refugos, elevação dos custos de produção e perda de competitividade para a organização.

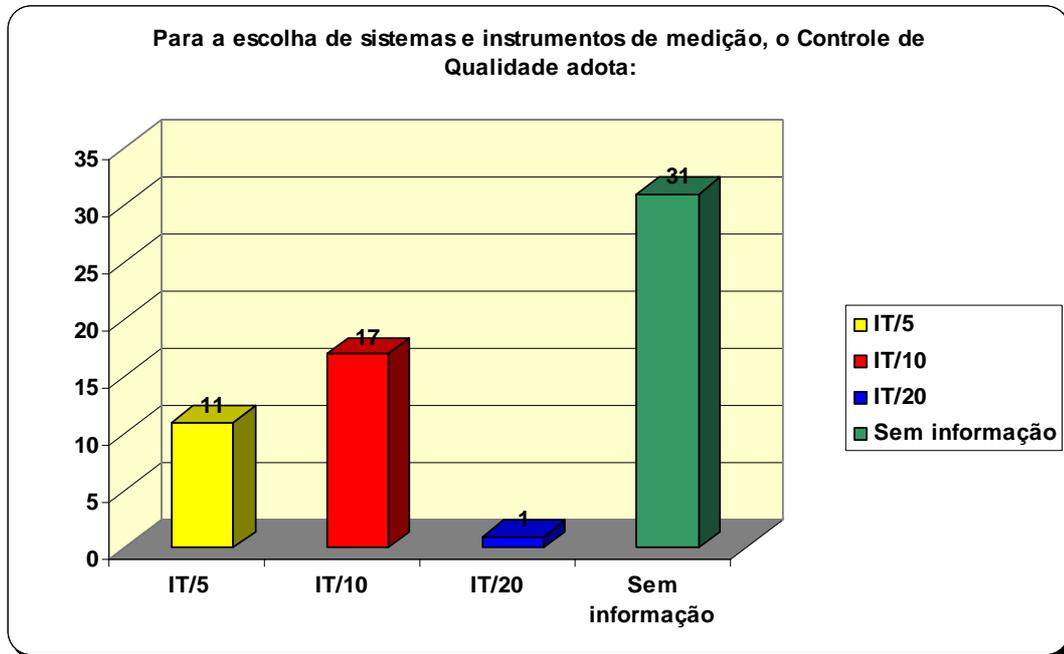


Gráfico 19 – Critério de escolha de sistemas e instrumentos de medição.

5.3 Considerações

Diante dos resultados obtidos na presente pesquisa, são apresentadas a seguir, não para a totalidade das questões, considerações julgadas importantes pelo autor.

Para as questões nº 2, 3 e 4, que são complementares, e questionam sobre o papel, os benefícios e os resultados da adoção de técnicas metroológicas, a Metrologia está presente em todas as fases da cadeia de produção de um produto e uma medição incorreta pode significar prejuízos irreparáveis para a organização como perda de produção, devolução de produtos, riscos de acidentes, indenizações devido a processos jurídicos por danos morais e materiais, e o pior, clientes insatisfeitos que optam pela concorrência.

Outro fator importante para as empresas diz respeito à calibração e rastreabilidade metroológica. A calibração de sistemas e instrumentos de medição ou padrões e a posterior obtenção da rastreabilidade metroológica, quando realizada em laboratórios acreditados é item obrigatório presente nas normas ISO 9000:2008 e

ISO TS 16949:2004. O não atendimento desses procedimentos estabelecidos nas referidas normas acarreta a exclusão da empresa como fornecedora de produtos para as empresas que têm a norma estabelecida e, ainda, impossibilita a exportação de produtos para países signatários do Acordo de Reconhecimento Mútuo – MRA. Nesse contexto, justificam-se os benefícios que a Metrologia pode trazer para os processos produtivos e para a sobrevivência da organização.

Para a questão nº 5, sobre a importância do conhecimento da incerteza da medição, o estabelecimento de baixos níveis de incerteza passa a ser um critério qualitativo para o controle de medidas em qualquer fase da produção, pois a incerteza é caracterizada como uma faixa de dúvida e é onde se espera encontrar o valor verdadeiro de um mensurando. A estimativa do cálculo da incerteza da medição passa a apoiar o processo de tomada de decisão, quando aprovar ou rejeitar o resultado de uma medição implica sempre uma análise de risco e, quanto menor a incerteza, menor será o risco de errar na decisão.

Com a evolução tecnológica atual, com máquinas cada vez mais exatas e repetitivas e o rigor das medidas estabelecidas em projetos com os campos de tolerâncias cada vez mais apertados, fica claro que incertezas elevadas impactarão negativamente no controle dessas medidas, gerando dúvidas sobre seus resultados. Também é preciso mencionar que a incerteza diminui a faixa de especificação das características controladas, então, incertezas maiores acarretarão perdas maiores devido a resultados poucos confiáveis, impactando negativamente na competitividade do setor de produção da organização. O cálculo da incerteza da medição deve ser entendido como uma ferramenta para o aprimoramento de sistemas de medição, o que, justamente vem ao encontro das novas exigências da NBR ISO/IEC 17025:2005 com respeito à melhoria contínua.

Para a questão nº 8, sobre o período de calibração dos padrões utilizados pelos laboratórios, espera-se, dentro do período estabelecido para calibrações sequenciais dos padrões, que os seus resultados sejam estáveis dentro de certos limites estabelecidos, considerando-se a relação custo-benefício e fatores como: extensão e severidade de uso e a exatidão pretendida pela medição, para se estimar esses períodos. Ciclicamente, devem ser feitas análises críticas sobre o período de calibração, verificando se é adequado, ou seja, se está curto demais, o que aumenta os custos de calibração, ou se está extenso demais, impossibilitando ter

confiabilidade sobre a estabilidade do padrão. O período de calibração deve ser determinado em função de uma análise de equilíbrio entre os riscos e custos, que serão impactados pela calibração no setor produtivo da empresa.

Para a questão nº 9, sobre a participação do laboratório em atividades de pesquisa, esta sustenta o desenvolvimento de novos produtos ou novas tecnologias com alto valor agregado, resolvendo problemas industriais. Nesse contexto, a Metrologia é de extrema importância para se obter informações confiáveis nas investigações.

Para a questão nº 10, referente à importância da norma NBR ISO/IEC 17025:2005, verifica-se que a mesma evidencia a competência do laboratório, traduzindo-se numa base universal para o estabelecimento e desenvolvimento dos sistemas de gestão da qualidade em laboratórios, constituindo-se no passaporte para a acreditação do laboratório junto ao Inmetro. O grande diferencial dessa norma é a exigência clara da competência do pessoal do laboratório para realizar atividades gerenciais ou técnicas. Além disso, a norma também simplifica a comunicação entre clientes e fornecedores por meio de requisitos bem definidos.

Para a questão nº 11, sobre a garantia da confiabilidade metrológica nas medições, a comprovação da sua confiabilidade nas medições é requisito que está no escopo da norma NBR ISO/IEC 17025:2005, direcionada a laboratórios de calibração, e da própria norma da ISO 9000:2008. A norma NBR ISO/IEC 17025:2005 passa a ser uma poderosa ferramenta padronizadora dos procedimentos para a obtenção da confiabilidade metrológica, uniformizando os caminhos para as atividades de calibração e rastreabilidade metrológica.

Para a questão nº 12, sobre os impactos econômicos dos serviços de calibração, uma avaliação econômica desses serviços só pode ser feita se contabilizados os custos originados pela “falta de qualidade”, que ocorrem quando os sistemas não conseguem cumprir requisitos técnicos, normativos, ou não atendem às expectativas dos clientes, porque as calibrações foram feitas sem a devida qualidade. Porém, sem considerar cifras, os impactos econômicos são diretos, pois o principal objetivo da calibração é manter o sistema produtivo sob controle, efetuando medições em todas as suas etapas, desde a chegada da matéria-prima na expedição até o produto final pronto para ser embalado. O impacto

dessas ações é percebido na redução de refugos, de perdas de matéria-prima e menor necessidade de retrabalho. Um instrumento calibrado reduz perdas e custos, resultando num maior controle econômico dentro da organização. A calibração é importantíssima, já que confere a qualidade metrológica aos sistemas e instrumentos de medição usados no processo. Essas ações, quando aplicadas de forma otimizada, oferecem um retorno muito maior que o financeiro, com geração de lucros, maior confiabilidade, credibilidade e, conseqüente, competitividade das empresas.

Para a questão nº 13, sobre o tempo para se perceber os benefícios da calibração no orçamento da empresa, os benefícios são perceptíveis em curto prazo. Uma empresa que nunca se preocupou com a calibração de sistemas e instrumentos de medição, o que pode ser entendido, equipamentos de medição sem comprovação metrológica, e que, por força da implementação de um Sistema de Gestão da Qualidade, passa a fazer uso dos serviços de calibração em laboratórios acreditados, percebe os benefícios financeiros da calibração no primeiro lote de produtos ou serviços que forem entregues ao seu cliente. A calibração reflete em conformidade e a conformidade reflete em menores perdas produtivas. Esse ciclo traduz-se em menores custos produtivos, representando aumento de lucratividade, e em maior competitividade dentro de um mercado cada vez mais exigente.

Para a questão nº 14, sobre o crescimento da procura de serviços de calibração por pequenas e médias empresas, não somente os sistemas da qualidade tornam compulsório o uso de serviços da calibração, mas também as atuais políticas governamentais de proteção ao consumidor. O consumidor é protegido pelo Inmetro, que, como agente de fiscalização, executa ações de verificação da conformidade de produtos em estabelecimentos que os comercializam, pois o consumidor, quando compra um produto na gôndola de um supermercado ou quando abastece o veículo, não tem instrumentos para atestar a conformidade das especificações do produto que está adquirindo. A detecção de uma não conformidade pode gerar pesadas penalizações para a empresa infratora. Esse fato, somado à acirrada concorrência, faz com que as empresas recorram aos serviços de comprovação metrológica para melhorar o controle das especificações de seus produtos.

Por fim, para a questão nº 15, que diz respeito à importância dada ao serviço de calibração pelos clientes, cada vez mais existe a conscientização de aplicar-se o sistema metrológico como uma ferramenta da qualidade e da redução de custos para atingir a conformidade do produto final. Percebe-se maior tendência das empresas em interpretar o documento de comprovação da calibração, avaliando os resultados para otimização dos seus sistemas de medição e controle e dos seus instrumentos e padrões de medição, objetivando maior qualidade de seus produtos.

5.4 Relacionamento entre as Dimensões da Qualidade e a Metrologia

A comparação dos dois autores, feita por Oliveira (2006), no Quadro 6, entre as Dimensões da Qualidade aplicadas a Serviços busca trazer à luz um melhor entendimento da cultura metrológica aplicada como “um serviço”. A seguir, são feitas considerações importantes sobre a interface dessas dimensões com a Metrologia.

A maioria das dimensões da qualidade aplicadas a serviços, algumas com mais intensidade que outras, dependem direta ou indiretamente de serviços metrológicos. Dimensões da Qualidade, como as consideradas por Parasuraman (1988) - Aspectos Tangíveis, Confiabilidade, Responsabilidade, Competência, Credibilidade e Segurança – comparadas às Dimensões de Garvin (2002) - Desempenho, Características, Confiabilidade, Conformidade, Qualidade Percebida e Durabilidade – são influenciadas pelos serviços prestados pela Metrologia.

A Metrologia tem imenso impacto na sociedade. Em cada companhia, instituto ou outra organização comercial, conceitos como: segurança, eficiência, confiabilidade e exatidão são de grande importância no projeto de sistemas, que têm a função de garantir a qualidade do produto que é oferecido ao consumidor. Exatidão nas medições e ensaios são partes essenciais do processo.

A Metrologia enquadra-se como um tipo de serviço profissional que pode prestar seus serviços de duas maneiras: a primeira, dentro da organização - quando a empresa possui um laboratório para os serviços de calibração de instrumentos e sistemas de medição. Os serviços metrológicos destinam-se aos diversos setores da empresa, que são os clientes do laboratório, impactando diretamente no processo produtivo, na conformidade das características dos produtos da organização. Nesse

ponto, já se percebe a interação entre alguns elementos relacionados por Parasuraman (1988) e Garvin (2002) e a Metrologia, por exemplo, a Confiabilidade, a Conformidade com as especificações e a Credibilidade.

A outra forma de serviço se estabelece quando a empresa contrata um laboratório fora da organização. O laboratório deverá pertencer à RBC, prestando os serviços como uma empresa terceirizada. Nesse relacionamento, o serviço da Metrologia na visão do cliente (empresa) será avaliado considerando-se aspectos relativos ao Atendimento, à Comunicação, à Competência do laboratório e à Credibilidade, estabelecidos por Parasuraman (1998) e Garvin (2002). Em qualquer um dos casos, para a garantia da confiabilidade dos serviços prestados e qualidade nas medições, os laboratórios terão de ser acreditados pelo Inmetro, tendo assim assegurada a rastreabilidade aos padrões primários do SI.

Pegando como exemplo os Aspectos Tangíveis e a Responsabilidade de Parasuraman (1988), comparados a elementos como a Confiabilidade, a Conformidade e o Desempenho de Garvin (2002), de que maneira esses requisitos são percebidos pelo cliente e onde os serviços metrológicos impactam nesses fatores?

A Metrologia inicia sua interface com essas Dimensões da Qualidade aplicadas a serviços através da calibração. Através de um processo de calibração sistemático, todos os sistemas e instrumentos de medição irão prover confiabilidade às medições efetuadas durante toda a fase de concepção de um produto. O impacto recairá na Conformidade dos produtos com as especificações estabelecidas nos projetos. A Conformidade, por sua vez, impactará em outros elementos, como o Desempenho, a Confiabilidade, a Segurança e as Características de produtos e serviços, dentre os mais influenciados pela Metrologia. As Dimensões da Qualidade, Conformidade e Confiabilidade dependem de sistemas e instrumentos de medição calibrados e com rastreabilidade aos padrões primários do SI. Porém, essas dimensões são difíceis de serem percebidas pelos clientes, pois estes não acompanham o processo de produção de produtos e serviços.

Clientes consumidores não medem as especificações de produtos quando os adquirem. Uma das maneiras de se perceber a Conformidade se dá quando são realizadas fiscalizações de produtos e serviços pelo Inmetro, através do Ipef, em

supermercados, postos de gasolina, na indústria e no comércio de uma maneira geral. Nessas intervenções, são verificadas não somente a Conformidade e a Característica de produtos e serviços, mas também fatores de Desempenho, de Segurança e Confiabilidade, de Durabilidade, entre outros itens, dados por Garvin (2002) e comparados a Aspectos Tangíveis, Confiabilidade, Responsabilidade, Competência, Credibilidade e Segurança estabelecidos por Parasuraman (1998). Nessas ações, comparam-se produtos e serviços de vários fabricantes, e os resultados são demonstrados aos consumidores. Dessa forma, a observação dos resultados apresentados pelo Inmetro se torna uma ferramenta poderosa que os clientes devem prestigiar para a escolha de produtos e serviços em conformidade com as especificações.

O serviço prestado pela Metrologia dentro de uma organização ocasiona uma reação em cadeia no processo produtivo, e a confiabilidade dos processos de medição acarreta a diminuição dos índices de refugos e aumento da produtividade. Facilita, também, a ação de correção de falhas nos processos, demonstrando os pontos a serem corrigidos ou melhorados, comportando-se como um ciclo de melhoria contínua na Qualidade do processo produtivo. Como consequência, ocorre um melhor aproveitamento de matéria-prima, de máquinas e mão-de-obra, e com isso, redução de custos de produção, proporcionando condições de melhor aplicação de recursos e investimentos em novas tecnologias produtivas que irão alavancar a qualidade de produtos e serviços, resultando na satisfação dos clientes pela qualidade percebida nos produtos e serviços ofertados e a consolidação da empresa no mercado.

Controlar a fabricação de produtos com sistemas e instrumentos de medição sem calibração trará como consequência a não conformidade do produto com as especificações estabelecidas no projeto do produto, o que influenciará negativamente em todos os elementos citados, além de acarretar enormes danos à imagem da empresa que oferta esses produtos e serviço.

CAPÍTULO 6 – CONCLUSÃO

As conclusões desta dissertação estão divididas em três seções. Primeiramente, é avaliado o atingimento dos objetivos propostos, em seguida, listam-se as principais contribuições desta dissertação e considerações finais e, por fim, as possibilidades de pesquisas futuras relacionadas ao tema pesquisado.

6.1 Quanto ao Objetivo Geral

Em relação ao objetivo geral do trabalho, foi realizada explanação exploratória sobre o tema em questão, ancorada em um amplo referencial bibliográfico. Foi possível identificar e diferenciar os seus elementos-chave que impactam na qualidade dos sistemas.

Durante toda a explanação, procurou-se construir uma base teórica amparada por fundamentos generalistas referentes à história da Metrologia e sua evolução ao longo do tempo; a atual estrutura nacional e internacional da Metrologia foi demonstrada; a padronização formalizada internacionalmente pelo Sistema Internacional de Unidades – SI e pelo Vocabulário Internacional de Metrologia, importante para universalização global de seus termos e especificidades. Seguiu-se a revisão da literatura, passando-se de termos menos generalistas para mais específicos da área metrológica, utilizados, rotineiramente, em sistemas produtivos, fundamentais para a Qualidade e Competitividade das organizações. São esclarecidos aspectos referentes ao Controle da Qualidade, mais precisamente os aspectos relativos ao processo de medição.

O estudo fundamenta a importância do conhecimento do erro de medição e as formas de minimização dos seus efeitos; o processo de calibração e sua importância para a redução de custos produtivos pela redução de refugos; os critérios para a seleção de sistemas e instrumentos de medição, que, de acordo com os pesquisados das empresas, apresentou-se certo desconhecimento sobre como escolher esses equipamentos; a Incerteza da Medição e a Rastreabilidade Metrológica, fatores conseguidos através da Calibração em laboratórios acreditados

pelo Inmetro que constituem o principal pilar da Confiabilidade Metrológica, muito citada nesta dissertação.

No capítulo 3, fundamenta-se ordenadamente a revisão bibliográfica da Qualidade, passando-se por aspectos históricos e conceituais da Qualidade, relativos a uma abordagem econômica para os aspectos influenciados diretamente pela cultura metrológica dentro das empresas com sistemas de produção implementados. Procura-se relacionar Metrologia e Qualidade, caracterizando Qualidade em Serviços e as Dimensões da Qualidade. De acordo com o que foi exposto, muitas dessas características da Qualidade interagem com a Metrologia na concepção de produtos nos processos produtivos.

Por fim, percebe-se nesses capítulos da fundamentação teórica que a cultura metrológica é impulsionada pela padronização compulsória dos Sistemas de Gestão da Qualidade.

A conclusão a respeito do Objetivo Geral desta pesquisa pode ser resumida no argumento de que a prática da Metrologia e da Qualidade são indissociáveis e fundamentais para melhorar a competitividade do processo produtivo, através do ponto considerado mais significativo: conformidade com as especificações estabelecidas no projeto do produto.

6.2 Quanto aos Objetivos Específicos

De acordo com os resultados apresentados em uma das fases da pesquisa aplicada às empresas, foram explicitadas varias ferramentas da Qualidade, que fazem interface com a prática da Metrologia. Dentre tais ferramentas destacaram-se o CEP, o MSA, o FMEA e PPAP-APQP, todas amplamente difundidas, dentro de grandes empresas, para a melhoria continuada da qualidade produtiva. Além dessas, apareceram outras ferramentas bastante conhecidas nos meios produtivos das organizações, tais como: o diagrama de Ishikawa, o Kaizen e o Ciclo PDCA, que podem ser aplicadas associadas às práticas metrológicas para o processo de melhoria da qualidade de sistemas produtivos.

O objetivo específico de “caracterizar a importância das ferramentas da Qualidade na Metrologia” está justificado pela presença dessas ferramentas para manter a competitividade no processo de produção.

Para a garantia da confiabilidade das medições, é imprescindível a realização de um processo de comparação com os padrões, processo chamado de calibração, que é um dos processos básicos de aplicação da Metrologia para assegurar a qualidade dos sistemas produtivos. Sem a comprovação metrológica, não há como garantir a confiabilidade dos dados referentes ao controle das características, que determinam a qualidade do produto. Sua ausência, é, por si só, razão suficiente para gerar descrédito no sistema de informação da qualidade da organização.

Assim, a partir das respostas obtidas através das questões 10 e 11 do “questionário A”, justificam-se os objetivos de “caracterizar a importância da Rastreabilidade Metrológica na Confiabilidade dos processos de produção” e “caracterizar a importância da Metrologia para a Qualidade de produtos e serviços”, pois a padronização dos serviços de calibração e a obtenção da Rastreabilidade Metrológica em laboratórios da RBC, direcionada pela norma NBR ISO/IEC 17025:2005, possibilitam às empresas que se utilizam desses serviços assegurar capacidade em obter resultados de acordo com métodos e técnicas reconhecidos nacional e internacionalmente, já que a RBC utiliza padrões com Rastreabilidade às referências metrológicas mundiais da mais alta exatidão, estabelecendo vínculo com as unidades do Sistema Internacional de Unidades - SI e constituindo a base técnica imprescindível ao livre comércio entre as áreas econômicas vigentes nos mercados globalizados.

As justificativas para o objetivo específico “contribuir para a divulgação da importância e das características da Metrologia”, são fundamentas nos parágrafos a seguir.

Um processo produtivo deve estar, sempre que possível, fundamentado em normas técnicas, procedimentos e/ou especificações, visando a obtenção de produtos que satisfaçam às necessidades do mercado consumidor. Para que isso ocorra dentro dos limites planejados, são realizadas medições das características desde as matérias-primas, das variáveis do produto em transformação e das

diversas etapas do processo. Estas afirmações são justificadas pelas questões 2 e 3 do “questionário A”.

O mercado consumidor, por sua vez, está cada vez mais exigente, buscando qualidade e certificação de acordo com as normas técnicas e o Brasil está cada vez mais inserido como provedor de produtos e serviços globais, estando já disseminada entre o empresariado de todos os níveis, inclusive de médio e pequeno porte, a necessidade de implementar processos de qualidade comprovada para ser habilitado como fornecedor e, também, usufruir a vantagem de ter processos de qualidade eficazes para diminuir custos de produção e ser mais competitivo, assim como construir uma imagem confiável e ética de seu produto no mercado.

A globalização exige e faz que sejam colocados em prática os principais objetivos da Metrologia, entre eles preservar a confiabilidade no sistema de medição garantindo as especificações técnicas e regulamentais de normas já existentes. A norma NBR ISO/IEC 17025:2005 é um exemplo, direcionada à política de gestão dos laboratórios, caracterizando muito bem os aspectos da qualidade. As afirmações contidas nos dois parágrafos anteriores são justificadas pela questão 10 do “questionário A”.

A Metrologia estimula a prática da melhoria contínua, pois reduz a possibilidade de rejeição de produtos e gastos com a manutenção de equipamentos, resguarda princípios éticos melhorando o nível de vida da população, assim como a sua percepção e exigência por produtos e serviços de qualidade, preservação de meio ambiente, segurança e saúde.

6.3 Contribuições da Pesquisa e Considerações Finais

Este trabalho procura apresentar contribuições para a Gestão da Qualidade e para a Gestão da Produção, pormenorizadas a seguir.

Da forma como foi apresentado o trabalho, é possível perceber a maneira como a Metrologia interage como a Padronização para a busca da qualidade produtiva. Passando-se pelas antigas civilizações até os dias atuais, relata-se uma intensa busca pela Padronização. A evolução da Padronização acompanhou a

evolução da humanidade, alcançando, dessa forma, os sistemas produtivos das organizações. Aprofundando a interdependência entre a Padronização e a Metrologia, chega-se aos dias atuais, quando a globalização, embora por um lado vista como prejudicial aos negócios de muitas empresas, impulsiona a busca pelo aprimoramento contínuo da Qualidade, dando a oportunidade para as organizações aperfeiçoarem seus sistemas produtivos e produtos, elevando a competitividade da organização frente aos concorrentes.

A verdadeira finalidade vislumbrada pela Padronização é a Qualidade. Diante desse elo, a presença da Metrologia só o fortalece, auxiliando as organizações que se utilizam dessa Ciência a conseguir os objetivos esperados.

Observando-se as respostas dos dois questionários aplicados na pesquisa, pôde-se perceber uma forte preocupação das organizações com os quesitos Padronização e Qualidade. Esse fato foi observado pela importância atribuída aos controles metrológicos utilizados nas organizações. No questionário aberto, nas respostas dos especialistas, houve unanimidade em relação ao quesito Qualidade do produto, ou seja, os 4 especialistas responderam que o uso de sistemas e instrumentos de medição calibrados faz da Metrologia uma condição fundamental para garantir e melhorar a qualidade do produto, e também da imagem da empresa. Outro resultado importante foi obtido no questionário fechado, respondido por 60 entrevistados. Em um dos questionamentos, 55 empresas afirmaram que asseguram confiabilidade nas medições através da calibração. Relacionado a esse resultado, 43% das empresas realizam a calibração de seus instrumentos e sistemas de medição na RBC, o que reforça a importância da Rastreabilidade Metrológica para as organizações. Também com relação à Rastreabilidade Metrológica, 45 dos pesquisados atribuíram a ela importância alta e muito alta.

Por outro lado, mais de 50% dos profissionais da Qualidade questionados não têm informação sobre a relação entre a incerteza da medição do padrão e a incerteza do processo de medição para a calibração de instrumentos e sistemas de medição. Em geral, existe consciência dos profissionais da Metrologia nas empresas em relação à sua importância, embora para alguns esses conceitos não estejam bem consolidados. Não obstante, esses profissionais têm consciência da importância desse critério para a produção, atribuindo alta importância para o

estabelecimento da estimativa da incerteza da medição para o processo de produção.

Diante dos números apresentados, pode-se perceber a atual preocupação das organizações produtivas em relação à Qualidade final de seus produtos e a exigência de Padronização imposta pela Competitividade entre as empresas.

6.4 Sugestões de Trabalhos Futuros

A fase da pesquisa exploratória qualitativa aplicada nas empresas e em laboratórios da Rede Brasileira de Calibração revelou algumas lacunas que podem constituir-se em oportunidades para futuros trabalhos de pesquisa.

No questionamento aplicado junto aos profissionais da Qualidade e de Metrologia das empresas, ficaram expostas algumas carências de conhecimento sobre alguns temas extremamente relevantes para a Qualidade na conformidade produtiva das empresas. Uma sugestão está relacionada à Questão nº 9, do questionário B, já que respostas obtidas mostraram que mais de 50% dos pesquisados não tem informação da melhor relação entre padrão e equipamento de medição na operação de calibração. Assim, pode-se sugerir o desenvolvimento de uma pesquisa voltada para a sistemática e critérios de calibração de sistemas, instrumentos de medição e padrões e a aplicação de seus resultados na melhoria contínua dos processos produtivos.

Além dessa sugestão de pesquisa, outra surge devido aos resultados obtidos no questionário B, mais especificamente na Questão nº 15, retratando que mais de 50 % dos pesquisados não tem informação sobre o correto critério de escolha de sistemas e instrumentos de medição. Isso vai em contrário à recomendação dos fabricantes de equipamentos de medição, como a Mitutoyo, e alguns Manuais da Qualidade, como o MSA, que recomendam que essa escolha se baseie em uma comparação com o campo de tolerância da característica a ser controlada. Pode-se, dessa maneira, sugerir como tema a criação de uma metodologia qualitativa baseada na incerteza da medição de processos de medição da escolha correta de sistemas e instrumentos de medição no controle de medidas de produtos.

Outro tema sugerido baseia-se no resultado da pesquisa junto à RBC (questionário B). Assim, de acordo com o resultado obtido na Questão nº 15, pode-se sugerir como temática a calibração e a importância da interpretação dos seus resultados como apoio ao processo decisório da qualidade produtiva.

REFERÊNCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL. **Guia para Expressão da Incerteza de Medição**. Rio de Janeiro, 2006.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **CB-25**: adaptação realizada ao documento ISO, consolidando comentários do INMETRO e do grupo de aperfeiçoamento do processo de certificação. Rio de Janeiro, 2007.

_____. **NBR 6022**: informação e documentação. Rio de Janeiro, 2003.

_____. **NBR 6024**: informação e documentação: numeração progressiva das seções de um documento escrito: apresentação. Rio de Janeiro, 2003.

_____. **NBR 6028**: informação e documentação: resumo: apresentação. Rio de Janeiro, 2003.

_____. **NBR ISO 9000:2005**: sistema de gestão da qualidade: fundamentos e vocabulário. Rio de Janeiro, 2005a.

_____. **NBR ISO 9001:2008**: sistema de gestão da qualidade: requisitos. Rio de Janeiro, 2008.

_____. **NBR ISO 10012:2004**: Sistemas de gestão de medição: requisitos para os processos de medição e equipamento de medição. Rio de Janeiro, 2004.

_____. **NBR 10520**: informação e documentação: citações em documentos: apresentação. Rio de Janeiro, 2002.

_____. **NBR ISO/IEC 17025**: requisitos gerais para a competência de laboratórios de ensaio e calibração. Rio de Janeiro, 2005b.

_____. **ISO/TS 16949:2004** Sistemas de gestão da qualidade: requisitos particulares para aplicação da ABNT NBR ISO 9001:2000 para organizações de produção automotiva e peças de reposição pertinentes. Rio de Janeiro. 2004.

AGOSTINHO, Oswaldo Luiz; RODRIGUES, Antonio Carlos dos Santos; LIRANI, João. **Tolerâncias, ajustes, desvios e análise de dimensões**. São Paulo: Edgard Blucher, 1977.

AIAG - AUTOMOTIVE INDUSTRY ACTION GROUP. **Measurement systems analysis: MSA**: reference manual. 3th. ed. Michigan, 2004.

ALBERTAZZI, Armando; SOUSA, André R. **Fundamentos de metrologia científica e industrial**. São Paulo: Manole, 2008.

ALBRECHT, Karl. **Revolução nos serviços**. São Paulo: Pioneira, 1992.

APQP - **Advanced Process Quality Planning and Control Plan Manual**, Chrysler, Ford and General Motors, 1995.

BALDO, Crhistian Raffaello. **A interação entre o controle de processos e a metrologia em indústrias de manufatura. 2003.** Dissertação (Mestrado em Metrologia Científica e Industrial) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

BIPM - BUREAU INTERNATIONAL POIDS MENSURE. **Evaluation of measurement data: guide to the expression of uncertainty in measurement.** [S.l.], 2008.

_____. **The international system of units: SI.** 8th. ed. 2006. Disponível em: <<http://www.bipm.org/en/si/>>. Acesso em 06 ago. 2009a.

_____. **The metre convention.** Disponível em: <<http://www.bipm.org/en/convention/>>. Acesso em 10 out. 2009b.

_____. **Mutual recognition of national measurement standards.** Disponível em: <http://www.bipm.org/en/cipm-mra/mra_main_text.html>. Acesso em 12 out. 2009c.

BRANCO COSTA A. F. EPPRECHT; E. K. & CARPINETTI, L. C. R. **Controle estatístico de qualidade.** São Paulo: Atlas, 2003.

CAMPOS, Vicente Falconi. **Controle de qualidade total: no estilo japonês.** Belo Horizonte: Fundação Cristiano Ottoni, 1992a.

CAMPOS, Vicente Falconi. **Qualidade total: padronização de empresas.** Belo Horizonte: Fundação Cristiano Ottoni, 1992b.

CARVALHO, M. M. Histórico da gestão da qualidade. In: _____; PALADINO, E. P. (org). **Gestão da qualidade: teoria e casos.** Rio de Janeiro: Campus, 2006.

CARVALHO, Marli Monteiro de et al. M. **Gestão da qualidade: teoria e casos.** Rio de Janeiro: Elsevier, 2005.

CERQUEIRA NETO, Edgard Pedreira de. **Ambiente da qualidade total.** São Paulo: Pioneira, 1995.

_____. **Gerenciando a qualidade metrológica: vencendo o desafio de administrar o laboratório como empresa.** Rio de Janeiro: Imagem, 1993.

CERVO, Amado Luiz; BERVIAN, Pedro Alcino; SILVA, Pedro da. **Metodologia científica.** 6. Ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2007.

CNI - CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. **Normalização, metrologia a avaliação da conformidade: ferramentas da competitividade.** Disponível em:

<http://www.normalizacao.cni.org.br/f_index_glossario.htm>. Acesso em: 18 abr. 2009.

CONMETRO - CONSELHO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL. **Diretrizes estratégicas para a metrologia brasileira 2008 – 2012**. Rio de Janeiro, 2008.

CONEJERO, Antonio Sergio. **A importância da metrologia**. São Paulo: [s.n.], 2003.

COSTA NETO, P. L. O. (coord.) **Decisões na gestão da qualidade**. In: _____ **Qualidade e competência nas decisões**. São Paulo, Edgard Blücher, 2007. cap. 6

_____. **Estatística**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2002.

_____; CANUTO, S. A. **Administração com qualidade**. São Paulo: Blucher, 2010.

FUNDAÇÃO ROBERTO MARINHO. **Mecânica: metrologia**. São Paulo: Globo, 1994 (Curso profissionalizante – Telecurso 2000).

DEMING, W. Edwards. **Qualidade: a revolução da administração**. Rio de Janeiro: Marques-Saraiva, 1990.

DENTON, D.K. **Qualidade em serviços: o atendimento ao cliente como fator de vantagem competitiva**. São Paulo: Makron Books, 1990.

DONAIRE, D.. **A utilização do estudo de caso como método de pesquisa na área de administração**. Revista IMES, ano XVI, nº 40, maio/agosto. São Caetano do Sul, São Paulo, 1997.

DONALDSON, John. Mutual recognition arrangements: their purpose, principles and practice. **ISO Bulletin**, Genebra: ISO, v.33, p. 17-20, out. 2002.

DUNHAM, Paulo Cezar da Costa Lino; MACHADO Marcio. Importância da confiabilidade metrológica nas atividades de inspeção de equipamentos. In: CONGRESSO NACIONAL DE ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS E INSPEÇÃO, 24. São Paulo: **CONAEND** ... 2006.

ELSHENNAWY, Ahmad K.; ZIPIN, Richard B. **Metrology**. In: PYZDEK, Thomas (ed.). Quality engineering handbook. New York: Marcel Dekker, 1992.

FEIGENBAUM, Armand V. **Controle de qualidade total**. São Paulo: Makron Books, 1994. v.1

FEIGENBAUN, A. V. **Total quality control-engineering and management**. New York: McGRAW-Hill, 1961.

FROTA, M. N.; OHAYON, P.; MAGUELOME, Chambon. **Padrões e unidades de medida: referências metrológicas da França e do Brasil**. São Paulo: Qualitymark, 1998.

GARVIN, David. **Gerenciamento da qualidade**: a visão estratégica e competitiva. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2002.

GIANNETTI, B. F. e ALMEIDA, C. M. V. B. **Ecologia industrial: conceitos, ferramentas e aplicações**. São Paulo: Edgard Blucher, 2006.

GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4 ed. São Paulo: Atlas, 2002.

GOLDENBERG, Mirian. **A arte de pesquisar**: como fazer pesquisa qualitativa em ciências sociais. Rio de Janeiro: Record, 1997.

HARVARD BUSINESS REVIEW BOOK. **Atração espetacular**: a arte da excelência em serviços. Rio de Janeiro: Campus, 1997.

HOERL, R. W. **Sixsigma and the future of quality Profession**. Quality Progress, [S.l.: s.n.] p. 35-42, New York. jun. 1998.

IMAI, Masaaki. **Kaisen: a estratégia para o sucesso competitivo**. 5 ed. São Paulo: IMAM, 1994.

INMETRO - INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL. **Expressão da incerteza de medição na calibração**. Rio de Janeiro: Stamp, 1999.

_____. **Avaliação da conformidade**. 5 ed. maio 2007. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/infotec/publicacoes/acpq.pdf>>. Acesso em 12 jan. 2009a.

_____. **Metrologia legal**. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/metlegal/>>. Acesso em 20 nov. 2009b.

_____. **Guia para expressão da incerteza de medição**. 2. ed. Rio de Janeiro: SBM, 1998.

_____. **Vocabulário internacional de termos fundamentais e gerais de metrologia (VIM)**: portaria nº 029 de 1995. 5. ed. Rio de Janeiro: INMETRO/SENAI, 2007a.

_____. **Sistema internacional de unidades**: SI. 8. ed. Rio de Janeiro, 2007b.

_____. **Acordo de reconhecimento mútuo**: Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/barreirastecnicas/recMutuo.asp>. Acesso em 28 ago 2009c.

IQA - INSTITUTO DA QUALIDADE AUTOMOTIVA. **Análise de modo e efeitos de falha potencial**: FMEA. 4. ed. São Paulo: IQA, 2008.

_____. **CQI – 10**: solução eficaz de problemas uma diretriz. São Paulo: IQA, 2006.

_____. **Planejamento avançado da qualidade do produto e plano de controle**: APQP. 2. ed. São Paulo: IQA, 2008.

_____. **Processo de aprovação de peça de produção: PPAP**. 4. ed. São Paulo: IQA, 2009.

ISO - INTERNATIONAL STANDARDIZATION ORGANIZATION. **ISO/IEC guide 68: arrangements for the recognition and acceptance of conformity assessment results**. Genebra: [s.n.], 2002. 8 p.

_____. **ISO 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 specifications**. [S.l.], 1998.

JURAN, J. M. **A qualidade desde o projeto: os novos passos para o planejamento da qualidade em produtos e serviços**. São Paulo: Pioneira, 2002.

JURAN, J. M. **Quality control handbook**. New York: McGRAW-Hill, 1974.

KOTLER, P. **Administração de marketing: análise, planejamento, implementação e controle**. São Paulo: Atlas, 1998a.

KOTLER, P.; ARMSTRONG, G. **Princípios de marketing**. Rio de Janeiro: Prentice Hall, 1998b.

LAKATOS, Eva Maria; MARCONI, Marina de Andrade. **Metodologia do trabalho científico**. 5.ed. São Paulo: Atlas, 2001.

LAS CASAS, A.L. **Qualidade total em serviços: conceitos, exercícios, casos práticos**. São Paulo: Atlas, 2006.

LINK, Walter. **Metrologia mecânica: expressão da incerteza de medição**. São Paulo: Mitutoyo, 1997.

_____. **Tópicos avançados da metrologia mecânica**. São Paulo: Mitutoyo, 2000.

LOVELOCK, Christopher; WRIGHT, Lauren. **Serviços: marketing e gestão**. São Paulo: Saraiva, 2001.

MARANHÃO, Mauriti. **ISO série 9000: versão 2000: manual de implementação**. 8. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2006.

MARIANI, Celso Antonio; PIZZINATTO, Nadia Kassouf; FARAH, Osvaldo Elias. Método PDCA e ferramentas da qualidade no gerenciamento de processos industriais: um estudo de caso. In: SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, XII, 2005. **Anais...** Bauru: UNESP, 2005.

MARSHALL JUNIOR, Isnard et al. **Gestão da qualidade**. 8. ed. Rio de Janeiro: FGV, 2006.

MELLO, Ana Cláudia Collaco de et al. **Metodologia de pesquisa**. 2. ed. Palhoça: Univirtual, 2005.

MELLO, Carlo Henrique et al. **ISO 9001 : 2000**: sistema de gestão da qualidade para operações de produção e serviços. São Paulo: Atlas, 2006.

MENDES Alexandre; ROSÁRIO Pedro Paulo. **Metrologia e incerteza de medição**. São Paulo: EPSE, 2005.

MITUTOYO. **Seminário redução de custos, produtividade, inovações em tecnologia e produtos**. São Paulo: Mitutoyo, 2009.

MOLLER, Claus. **O lado humano da qualidade**: maximizando a qualidade de produtos e serviços através do desenvolvimento das pessoas. São Paulo: Pioneira, 1992.

MOREIRA, D. A. **Introdução à administração**: produção e operações. São Paulo: Pioneira, 1998.

MOURA, E.C. **As sete ferramentas gerenciais da qualidade**. São Paulo: Editora Makron Books, 1994.

NIST - NATIONAL INSTITUTE OF STANDARDS AND TECHNOLOGY. **Guide for the use of the international system of units (SI)**. [S.l.], 2008. (NIST Special Publication 811).

_____. **NIST Museum Collection**. Disponível em: <<http://museum.nist.gov/object.asp?ObjID=17>> Acesso em: 25 de ago. 2009.

OLIVEIRA, José Eduardo Ferreira de. **A Metrologia aplicada aos setores industrial e de serviços**: principais aspectos a serem compreendidos e praticados no ambiente organizacional. Brasília: SEBRAE, 2008.

OLIVEIRA, Otavio, J. **Gestão da qualidade**: tópicos avançados. São Paulo: Pioneira, 2006.

OLIVEIRA, Silvio Luiz de. **Tratado de metodologia científica**: projetos de pesquisas, TGI, TCC monografias, dissertações e teses. São Paulo: Pioneira, 2004.

OMC - ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DO COMÉRCIO. **Acordo sobre barreiras técnicas ao comércio**. Genebra, 1994. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br>>. Acesso em 26 mar. 2009

PALADINI, Edson Pacheco. **Avaliação estratégica da qualidade**. São Paulo: Atlas, 2007.

_____. **Gestão da qualidade**: teoria e prática. São Paulo: Atlas, 2000.

_____. **Gestão da qualidade no processo**: a qualidade na produção de bens e serviços. São Paulo: Atlas, 1995.

PARASURAMAN, A.; ZEITHAML, V.A.; BERRY, L.L. Servqual: a multiple item scale of measuring customer perception of service quality. **Journal of Retailing**, Spring, v. 64, 1988.

_____. Um modelo conceitual de qualidade de serviços e suas implicações para a pesquisa no futuro. **Revista administração de empresas – RAE**. Out/Dez 2006. Vol. 46, n. 4.

PTB - PHYSIKALISCH – TECHNISCHE BUNDESANSTALT. **Thematic tours**. Disponível em: <http://www.ptb.de/en/wegweiser/einheiten/_index.html> Acesso em 08 mar. 2010

PRADO FILHO, Hairton Rodrigues. O retorno financeiro que a metrologia oferece às empresas. **Banas Metrologia**. São Paulo, nov. 2009. Disponível em: <<http://www.banasmetrologia.com.br/textos.asp?codigo=841&%20seção%20=%20re vista>>. Acesso em: 21 de ago 2009.

QOS, APQP and QS 9000 Implementation. **Ford Motors Company and Omnex Inc.**, 2nd Ed., July, 1996.

RECHÉ, M.M. **Novas formas de atuação para a metrologia legal no Brasil**, 2004, 109f, Dissertação (Mestrado em Sistema de Gestão) - Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2004.

ROBLES Jr., A. **Custos da qualidade**: uma estratégia para a competição global. São Paulo: Atlas, 1996.

ROTANDARO, R. G. (coord.). **Seis sigma: estratégia gerencial para a melhoria de processos, produtos e serviços**. São Paulo: Atlas, 2008.

SBM - SOCIEDADE BRASILEIRA DE METROLOGIA. **Metrologia e sistemas de informação**: documento orientativo. São Paulo: EPSE, 2005.

SCHILING, Edward G. (coord.) **Quality and Reliability**: quality engineering handbook. In: Metrology. New York: American Society for Quality Control, 1992. cap. 4.

SENAI.SP. **Tolerância geométrica**. Brasília, SENAI/DN, 2000. 127p.

SERENO H. R. S., SHEREMETIEFF Jr. A.. Guia para elaboração de um plano de manutenção da confiabilidade metrológica de instrumentos de medição: escolha dos instrumentos. In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE METROLOGIA, 5. Curitiba, **METROSUL**2007

SEVERINO, Antônio Joaquim. **Metodologia do trabalho científico**. 23. ed. São Paulo: Cortez, 2007.

SHEWHART, W.A. **Economic control of quality of manufactured product**. New York: D. Van Nostrand Company, 1931.

SILVA, Luiz Roberto Oliveira da. A calibração periódica de instrumentos de medição e padrões e suas relações com custos e benefícios. In: CONGRESSO ENQUALAB, 2004, São Paulo. **Resumos ...** São Paulo, 2004.

SILVESTRO, Rhian et al. Towards a classification of service processes. **International Journal of Service Industry Management**, Bradford, v .3, n.3, p. 62, 1992.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. **Administração da produção**. São Paulo: Atlas, 2002.

SUGA, Nobuo. **Metrologia dimensional**: a ciência da medição. São Paulo: Mitutoyo, 2007.

THEISEN, A. M..**Fundamentos da metrologia industrial**. [S.l.]: Suliani Editografia. 1997.

THREISEN, Álvaro Medeiros de Faria. **Fundamentos da metrologia industrial**: aplicação no processo de certificação ISO 9000. São Paulo: Suliani, 1997.

THIOLLENT, M. **Metodologia de pesquisa-ação**. São Paulo: Cortez, 1992.

TOLEDO, José Carlos de. **Qualidade industrial**: conceitos, sistemas e estratégias. São Paulo: Atlas, 1987.

VÁZQUEZ, José Ramon Zeleny; GONZÁLEZ, Carlos González. **Metrología dimensional**. México: McGRAW-HILL, 1999.

VÁZQUEZ, José Ramon Zeleny; GONZÁLEZ, Carlos González. **Metrología**. 2. ed. México: McGRAW-HILL, 1998.

VUOLO, José Henrique. **Fundamentos da teoria de erros**. São Paulo: Blucher, 1996.

WALTON, Mary. **Método Deming na prática**. Rio de Janeiro: Campus, 1992.

WERKEMA, Cristina. **Avaliação de sistemas de medição**. Belo Horizonte: Werkema, 2006.

XIMENES, Flávio Aragão. **Consolidação das leis metrológicas e de qualidade**. Curitiba: Juruá, 1998.

YIN, Robert K. **Estudo de caso**: planejamento e métodos. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.

ANEXOS

Anexo A

Acordos Internacionais de Reconhecimento Mútuo conseguidos pelo Inmetro:

a) *International Accreditation Fórum - IAF*

Fórum de reconhecimento multilateral de organismos credenciadores em vários escopos, congregando, na atualidade, os 28 países mais industrializados do mundo. Nas Américas, somente os EUA, o Canadá e o Brasil atingiram tal reconhecimento.

O Inmetro conseguiu firmar este MRA em agosto de 1999, após um longo processo de avaliação de seus procedimentos de acreditação, iniciado em 1995. Isto significa, em síntese, que os certificados conferidos por organismos certificadores credenciados pelo Inmetro aos sistemas de gestão da qualidade das empresas brasileiras, à luz das Normas da série ISO-9000, passaram a ser aceitos internacionalmente pelas empresas sediadas nos países signatários do referido acordo.

b) *International Laboratory Accreditation Cooperation – ILAC*

Fórum internacional que engloba os credenciadores de laboratórios de calibração e ensaios.

O Brasil é o único país da América Latina a obter esse reconhecimento, ato que se deu em novembro 2000. Tal fato conferiu aos certificados de calibração e aos relatórios de ensaios realizados em laboratórios credenciados pelo Inmetro a sua aceitação por todos os países que compõem aquele fórum. Elimina-se, assim, a repetição ou a reanálise nos países compradores, o que reduz custos, aumenta a competitividade, significando, portanto, mais um importante apoio que o Inmetro concede aos exportadores brasileiros.

c) Bureau Internacional de Pesos e Medidas - BIPM

Fórum que congrega os organismos nacionais de metrologia científica e industrial. Se um país exportador não dispuser de um sistema reconhecido de medições e ensaios, poderá perder mercados, pois cada vez mais, nos países desenvolvidos, as importações não são permitidas se não estiverem acompanhadas de certificados reconhecidos de medições e ensaios. Este é um problema sério para os países em desenvolvimento e em fase de transição.

O Inmetro obteve o reconhecimento dos seus padrões nacionais de medição pelo CIPM em outubro de 1999, ato que alcançou igualmente, os certificados de medição e de calibração emitidos por toda a RBC. O Brasil passou, assim, a integrar, junto com outros 38 membros da Convenção do Metro, o seletivo grupo de países a merecer tal reconhecimento internacional.

d) *European Accreditation* - EA

Fórum que reconheceu o Inmetro, a partir de 30 de janeiro de 2001, como instituição que credencia laboratórios dentro dos padrões internacionais. Tal feito, atingido ainda por poucos países industrializados, conferiu um "salvo conduto" para as exportações brasileiras para os países membros da União Européia.

O reconhecimento mútuo da EA atribui valor diferenciado aos certificados de calibração e aos relatórios de ensaios emitidos por todos os laboratórios de calibração já credenciados pelo Inmetro. Isto implica numa reciprocidade de aceitações, uma vez que os produtos testados em um país deverão beneficiar-se do fácil acesso ao mercado externo dos países participantes deste acordo.

Adicionalmente, este reconhecimento elimina barreiras para os produtos brasileiros, pois muitos importadores exigem serviços de calibração que possuam certificados emitidos por laboratórios credenciados, cujos resultados estejam acompanhados das declarações de incerteza de medição e, ainda, que estejam referenciados a padrões nacionais que assegurem a sua rastreabilidade.

Anexo B

Definições das Unidades de Base

Todas as definições das unidades de base a seguir, foram extraídas do documento produzido pelo BIPM “*The International System of Units (SI)*” (BIPM, 2009a).

a) Unidade de Comprimento (metro)

A definição do metro é baseada no protótipo internacional em platina iridiada, em vigor desde 1889, foi substituída na 11ª CGPM (1960) por uma outra definição baseada no comprimento de onda de uma radiação do criptônio 86, com a finalidade de aumentar a exatidão da realização do metro. A 17ª CGPM substituiu, em 1983, essa última definição pela seguinte:

“O metro é o comprimento do trajeto percorrido pela luz no vácuo durante um intervalo de tempo de 1/299 792 458 de segundo.”

Essa definição tem o efeito de fixar a velocidade da luz em $299\,792\,458\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, exatamente. O antigo protótipo internacional do metro, que fora sancionado pela 1ª CGPM em 1889, é conservado no BIPM nas mesmas condições que foram fixadas em 1889.

b) Unidade de Massa (quilograma)

O protótipo internacional do quilograma foi sancionado pela 1ª CGPM (1889) ao declarar que:

“este protótipo será considerado doravante como unidade de massa”.

A 3ª CGPM (1901; CR, 70), para acabar com a ambigüidade que ainda existia no uso corrente sobre o significado da palavra “peso”, confirmou que: “O quilograma é a unidade de massa (e não de peso, nem força); ele é igual à massa do protótipo internacional do quilograma.”

Este protótipo internacional em platina iridiada é conservado no Bureau Internacional, nas condições que foram fixadas pela 1ª CGPM em 1889.

c) Unidade de Tempo (segundo)

Primitivamente, o segundo, unidade de tempo era definido como a fração $1/86\,400$ do dia solar médio. A definição exata do “dia solar médio” fora deixada aos cuidados dos astrônomos, porém os seus trabalhos demonstraram que o dia solar médio não apresentava as garantias de exatidão requeridas, por causa das irregularidades da rotação da Terra. Para conferir maior exatidão à definição da unidade de tempo, a 11ª CGPM (1960) sancionou outra definição fornecida pela União Astronômica Internacional, baseada no ano trópico. Na mesma época, as pesquisas experimentais tinham já demonstrado que um padrão atômico de intervalo de tempo, baseado numa transição entre dois níveis de energia de um átomo, ou de uma molécula, poderia ser realizado e reproduzido com precisão muito superior. Considerando que uma definição de alta exatidão para a unidade de tempo do Sistema Internacional, o segundo, é indispensável para satisfazer às exigências da alta metrologia, a 13ª CGPM (1967) decidiu substituir a definição do segundo pela seguinte:

“O segundo é a duração de 9 192 631 770 períodos da radiação correspondente à transição entre os dois níveis hiperfinos do estado fundamental do átomo de césio 133”.

Na sessão de 1997, o Comitê Internacional confirmou que:

“Essa definição se refere a um átomo de césio em repouso, a uma temperatura de 0 K.”

d) Unidade de Corrente Elétrica (ampère)

Diversas unidades elétricas, ditas internacionais, para a intensidade de corrente elétrica e para a resistência, haviam sido introduzidas no Congresso Internacional de Eletricidade, reunido em Chicago em 1893. As definições do

ampère “internacional” e do ohm “internacional” foram confirmadas pela Conferência Internacional de Londres em 1908. Embora por ocasião da 8ª CGPM (1933) já fosse evidente a opinião unânime no sentido de substituir estas unidades “internacionais” por unidades ditas “absolutas”, a decisão formal de suprimir estas unidades “internacionais” foi tomada somente pela 9ª CGPM (1948), que adotou para o ampère, unidade de corrente elétrica, a seguinte definição:

“O ampère é a intensidade de uma corrente elétrica constante que, mantida em dois condutores paralelos, retilíneos, de comprimento infinito, de seção circular desprezível, e situados à distância de 1 metro entre si, no vácuo, produz entre estes condutores uma força igual a 2×10^{-7} newton por metro de comprimento”.

A expressão “unidade MKS de força”, que figura no texto original, foi aqui substituída por “newton”, denominação adotada pela 9ª CGPM (1948).

e) Unidade de Temperatura Termodinâmica (kelvin)

A definição da unidade de temperatura termodinâmica foi dada pela 10ª CGPM (1954, que escolheu o ponto tríplice da água como ponto fixo fundamental, atribuindo-lhe a temperatura de 273,16 °K por definição. A 13ª CGPM (1967) adotou o nome kelvin (símbolo K) em lugar de “grau kelvin” (símbolo °K) e formulou a definição da unidade de temperatura termodinâmica, como se segue:

“O kelvin, unidade de temperatura termodinâmica, é a fração $1/273,16$ da temperatura termodinâmica no ponto tríplice da água”.

A 13ª CGPM decidiu também que a unidade kelvin e seu símbolo K fossem utilizados para expressar um intervalo ou uma diferença de temperatura.

Além da temperatura termodinâmica (símbolo T) expressa em kelvins, utiliza-se, também, a temperatura Celsius (símbolo t), definida pela equação:

$$t = T - T_0$$

A unidade de temperatura Celsius é o grau Celsius, símbolo °C, igual à unidade kelvin, por definição. Um intervalo ou uma diferença de temperatura pode

ser expressa tanto em kelvins quanto em graus Celsius (13ª CGPM, 1967-1968). O valor numérico de uma temperatura Celsius t , expressa em graus Celsius, é dada pela relação:

$$t/^{\circ}\text{C} = T/\text{K} - 273,15$$

O kelvin e o grau Celsius são também as unidades da Escala Internacional de Temperatura de 1990 adotada pelo Comitê Internacional em 1989, em sua recomendação 5.

f) Unidade de Quantidade de Matéria (mol)

Desde a descoberta das leis fundamentais da química, utilizaram-se diversas unidades denominadas, por exemplo, “átomo grama” ou “molécula grama”, para especificar quantidades de diversos elementos ou compostos químicos. Estas unidades eram estritamente ligadas aos “pesos atômicos” ou aos “pesos moleculares”. Originalmente, os “pesos atômicos” eram referidos ao elemento químico oxigênio (16 por convenção). Porém, enquanto os físicos separavam os isótopos no espectrógrafo de massa e atribuíam o valor 16 a um dos isótopos de oxigênio, os químicos atribuíam o mesmo valor à mistura (levemente variável) dos isótopos 16, 17 e 18, que para eles constituía o elemento oxigênio natural. Um acordo entre a União Internacional de Física Pura e Aplicada (UIPPA) e a União Internacional de Química Pura e Aplicada (UICPA) resolveu esta dualidade em 1959-1960. Desde esta época, físicos e químicos concordam em atribuir o valor 12 ao isótopo 12 do carbono.

A escala unificada assim obtida dá os valores das “massas atômicas relativas”. Faltava determinar a massa que corresponde à unidade de quantidade de carbono 12. Por acordo internacional, esta massa foi fixada em 0,012 kg, e deu-se o nome de mol (símbolo mol) à unidade da grandeza “quantidade de matéria”.

Aderindo à proposta da UIPPA, da UICPA e da ISO, o CIPM deu em 1967, e confirmou em 1969, a seguinte definição do mol, que foi finalmente adotada pela 14ª CGPM (1971):

1º) “O mol é a quantidade de matéria de um sistema contendo tantas entidades elementares quantos átomos existem em 0,012 quilograma de carbono 12; seu símbolo é mol”.

2º) “Quando se utiliza o mol, as entidades elementares devem ser especificadas, podendo ser átomos, moléculas, íons, elétrons, assim como outras partículas, ou agrupamentos especificados de tais partículas”.

Em 1980, o Comitê Internacional aprovou o relatório do CCU (1980), que determinava:

Nesta definição, entende-se que se faz referência aos átomos de carbono 12 livres, em repouso e no seu estado fundamental.

g) Unidade de Intensidade Luminosa (candela)

As unidades de intensidade luminosa baseadas em padrões de chama ou filamento incandescente, que eram usadas em diversos países, foram substituídas em 1948 pela “vela nova”, que correspondia à luminância do emissor de radiação Planck (corpo negro) à temperatura de solidificação da platina. Esta decisão preparada pela Comissão Internacional de Iluminação e pelo CIPM, desde antes de 1937, foi tomada pelo Comitê Internacional em sua sessão de 1946. A 9ª CGPM (1948) ratificou a decisão do Comitê e adotou novo nome internacional, candela (símbolo cd), para designar a unidade de intensidade luminosa. Em 1967, a 13ª CGPM modificou a definição de 1946. Em virtude das dificuldades experimentais da realização do irradiador de Planck a temperaturas elevadas e das novas possibilidades oferecidas pela radiometria, isto é, a medida de potência dos raios ópticos, a 16ª CGPM adotou em 1979 a nova definição:

“A candela é a intensidade luminosa numa dada direção de uma fonte que emite uma radiação monocromática de frequência 540×10^{12} hertz e cuja intensidade energética nessa direção é 1/683 watt por esterradiano”.

As sete grandezas de base, apresentadas acima, que correspondem às sete unidades de base, são: comprimento, massa, tempo, corrente elétrica, temperatura termodinâmica, quantidade de substância e intensidade luminosa. As unidades de base do Sistema Internacional estão reunidas no Quadro 7 com seus nomes e símbolos, de acordo com as definições do Inmetro - Sistema Internacional de Unidades (2007).

Quadro 7 - Grandezas de base e unidades de base do SI.

GRANDEZA DE BASE	SÍMBOLO	UNIDADE DE BASE	SÍMBOLO
comprimento	l, h, r, x	metro	m
massa	m	quilograma	kg
tempo	t	segundo	s
corrente elétrica	I, i	ampere	A
temperatura termodinâmica	T	kelvin	K
quantidade de matéria	n	mol	mol
intensidade luminosa	I_v	candela	cd

As unidades derivadas são unidades que podem ser expressas a partir das unidades de base, utilizando símbolos matemáticos de multiplicação e de divisão. Dentre essas unidades derivadas, diversas receberam nome especial e símbolo particular, que podem ser utilizados, por sua vez, com os símbolos de outras unidades de base ou derivadas para expressar unidades de outras grandezas. O Quadro 8 fornece alguns exemplos de unidades derivadas expressas diretamente a partir de unidades de base do SI (INMETRO, 2007b).

Quadro 8 - Exemplos de unidades derivadas SI, expressas a partir das unidades de base.

GRANDEZA	UNIDADE – SI	
	NOME	SÍMBOLO
superfície	metro quadrado	m^2
volume	metro cúbico	m^3
velocidade	metro por segundo	m/s
aceleração	metro por segundo ao quadrado	m/s^2
número de ondas	metro elevado à potência menos um	m^{-1}
massa específica	quilograma por metro cúbico	kg/m^3
volume específico	metro cúbico por quilograma	m^3/kg
densidade de corrente	ampère por metro quadrado	A/m^2
campo magnético	ampère por metro	A/m
concentração (de quantidade de matéria)	mol por metro cúbico	mol/m^3
luminância	candela por metro quadrado	cd/m^2
índice de refração	(o número) um	1*

Unidades em uso com o SI

O CIPM (1969) reconheceu que os usuários do SI terão necessidade de empregar conjuntamente certas unidades que não fazem parte do Sistema Internacional, porém estão amplamente difundidas. Estas unidades desempenham papel tão importante que é necessário conservá-las para uso geral com o SI. Elas figuram no Quadro 9, a seguir. A combinação de unidades deste quadro com unidades SI, para formar unidades compostas, não deve ser praticada senão em casos limitados, a fim de não perder as vantagens de coerência das unidades SI (INMETRO, 2007b).

Quadro 9 - Unidades fora do SI, ainda em uso.

NOME	SÍMBOLO	VALOR EM UNIDADE DO SI
minuto	min	1 min = 60 s
hora ^(a)	h	1 h = 60 min = 3.600 s
dia	d	1 d = 24 h = 86.400 s
grau ^(b)	°	1° = (π / 180) rad
minuto	'	1' = (1/60)° = (π / 10 800) rad
segundo	"	1" = (1/60)' = (π / 648 000) rad
litro ^(c)	l, L	1l = 1 dm ³ = 10 ⁻³ m ³
tonelada ^{(d), (e)}	t	1 t = 10 ³ kg
neper ^{(f), (h)}	Np	1 Np = 1
bel ^{(g), (h)}	B	1B = (1/2) ln 10 (Np) ⁽ⁱ⁾

Do mesmo modo é necessário admitir algumas outras unidades não pertencentes ao Sistema Internacional, cujo uso é útil em domínios especializados da pesquisa científica, pois seu valor (a ser expresso em unidades SI) tem de ser obtido experimentalmente, portanto não é exatamente conhecido (Quadro 10).

Quadro 10 - Unidades fora do SI, ainda em uso, cujo valor é obtido experimentalmente.

NOME	SÍMBOLO	DEFINIÇÃO	VALOR EM UNIDADES DO SI
eletronvolt ^(a)	eV	1 eletronvolt é a energia cinética adquirida por um elétron atravessando uma diferença de potencial de 1 volt no vácuo: 1 eV = 1,602 19 x 10 ⁻¹⁹ , aproximadamente;	1 eV = 1,602 177 33 (49) (e) x 10 ⁻¹⁹ J
unidade (unificada) de massa atômica	u	A unidade de massa atômica unificada é igual à fração 1/12 da massa de um átomo do nuclídeo ¹² C, livre, em repouso e em estado fundamental. No domínio da bioquímica, a unidade da massa atômica unificada é também chamada dalton, símbolo Da. 1 u = 1,660 57 x 10 ⁻²⁷ kg, aproximadamente;	1 u = 1,660 540 2 (10) (e) x 10 ⁻²⁷ kg
unidade astronômica	ua	d) A unidade astronômica é unidade de comprimento; seu valor é, aproximadamente, igual à distância média entre a Terra e o Sol. Essa unidade é tal que, quando utilizada para descrever os movimentos dos corpos no Sistema Solar, a constante gravitacional heliocêntrica é de (0,017 202 098 95) ² ua ³ . d ⁻² .	1 ua = 1,495 978 706 91 (30) (e) x 10 ¹¹ m

No quadro 10, os números entre parênteses indicam incertezas da medição.

No quadro 11, menciona outras unidades fora do SI utilizadas de maneira corrente e com o SI, a fim de satisfazer às necessidades no campo comercial ou jurídico, ou a interesses científicos particulares.

Quadro 11 - Outras unidades fora do SI, ainda em uso.

NOME	SÍMBOLO	VALOR EM UNIDADE DO SI
milha marítima ^(a)		1 milha marítima = 1 852 m
nó		1 milha marítima por hora = (1 852 / 3 600) m/s
ångström	Å	1 Å = 0,1 nm = 10 ⁻¹⁰ m
are ^(b)	a	1 a = 1 dam ² = 10 ² m ²
hectare ^(b)		1ha = 1 hm ² = 10 ⁴ m ²
barn ^(c)	b	1 b = 100 fm ² = 10 ⁻²⁸ m ²
bar ^(d)	bar	1bar = 0,1 MPa = 100 kPa = 1000 hPa = 10 ⁵ Pa

a) A milha é uma unidade especial utilizada na navegação marítima e aérea para expressar distâncias. Este valor convencional foi adotado pela Primeira Convenção Hidrográfica Internacional Extraordinária, Mônaco 1929, sob o nome de “milha marítima internacional”. Não existe um símbolo que é consenso internacional.

Originalmente, essa unidade foi escolhida porque uma milha marítima na superfície da Terra subtende, aproximadamente, um minuto de ângulo no centro da Terra.

b) Estas unidades e seus símbolos foram adotados pelo Comitê Internacional em 1879, e são empregados para exprimir superfícies agrárias.

c) O barn é uma unidade usada na física nuclear para exprimir as “seções eficazes”.

d) O bar e seu símbolo estão incluídos na Resolução 7 da 9ª CGPM, (1948).

Outras Unidades fora do SI

Algumas unidades fora do SI continuam a ser empregadas ocasionalmente. Algumas delas são importantes na interpretação de antigos textos científicos. Essas unidades são mencionadas nos Quadros 10 e 11, mas é preferível evitar o seu uso.

O Quadro 12 fornece as relações entre as unidades do CGS e as unidades SI. O quadro menciona as unidades do CGS com nomes especiais. No campo da mecânica, o sistema de unidades do CGS se baseava em 3 grandezas de base e suas unidades: o centímetro, o grama e o segundo. No campo da eletricidade e magnetismo, as unidades foram também expressas em função dessas três unidades de base. Como essas unidades podiam ser expressas de várias maneiras, vários sistemas foram estabelecidos, como, por exemplo, o Sistema CGS Eletrostático, o Sistema CGS Eletromagnético e o Sistema CGS de Gauss. Nesses três últimos sistemas, o sistema de grandezas e o sistema de equações correspondentes são diferentes daqueles que se utilizam com as unidades SI.

Quadro 12 - Unidades derivadas do CGS dotadas de nomes particulares.

NOME	SÍMBOLO	VALOR EM UNIDADE DO SI
erg ^(a)	erg	1 erg = 10 ⁻⁷ J
dina ^(a)	dyn	1 dyn = 10 ⁻⁵ N
poise ^(a)	P	1 P = 1 dyn.s/cm ² = 0,1 Pa.s
stokes	St	1 St = 1 cm ² /s = 10 ⁻⁴ m ² /s
gauss ^(b)	G	1 G = 10 ⁻⁴ T
oersted ^(b)	Oe	1 Oe = (1000/4π) A/m
maxwell ^(b)	Mx	1 Mx = 10 ⁻⁸ Wb
stilb ^(a)	sb	1 sb = 1 cd/cm ² = 10 ⁴ cd/m ²
phot	ph	1 ph = 10 ⁴ lx
gal ^(c)	Gal	1 Gal = 1 cm/s ² = 10 ⁻² m/s ²

- a) Esta unidade e seu símbolo foram incluídos na Resolução 7 da 9ª CGPM (1948).
- b) Esta unidade pertence ao Sistema CGS dito “eletromagnético” a três dimensões, e não é estritamente comparável com a unidade correspondente do SI, que possui quatro dimensões, quando se refere a grandezas mecânicas e elétricas.
- c) O gal é uma unidade especial utilizada em geodésia e em geofísica para exprimir a aceleração da gravidade.

O Quadro 13 se refere às unidades de uso corrente em antigos textos. É preferível evitá-las nos textos atuais, para não se perder as vantagens do SI. Cada vez que essas unidades são mencionadas num documento, é conveniente se indicar sua equivalência com a unidade SI.

Quadro 13 - Exemplos de outras unidades fora do SI.

NOME	SÍMBOLO	VALOR EM UNIDADE DO SI
curie ^(a)	Ci	1 Ci = 3,7 x 10 ¹⁰ Bq
roentgen ^(b)	R	1 R = 2,58 x 10 ⁻⁴ C/kg
rad ^(c,f)	rad	1 rad = 1 cGy = 10 ⁻² Gy
rem ^(d,f)	rem	1 rem = 1cSv = 10 ⁻² Sv
unidade X ^(e)		1 unidade X ≈ 1,002 x 10 ⁻⁴ nm
gama ^(f)	γ	1 γ = 1 nT = 10 ⁻⁹ T
jansky	Jy	1 Jy = 10 ⁻²⁶ W.m ⁻² Hz ⁻¹
fermi ^(f)		1 fermi = 1fm = 10 ⁻¹⁵ m
quilate métrico ^(g)		1 quilate métrico = 200 mg = 2 x 10 ⁻⁴ kg
torr	Torr	1 Torr = (101 325/760) Pa
atmosfera normal	atm ^(h)	1 atm = 101 325 Pa
caloria	cal	(i)
micron ^(f)	μ ⁽ⁱ⁾	1μ = 1μm = 10 ⁻⁶ m

- a) O curie é uma unidade especial empregada em física nuclear para expressar a atividade dos radionuclídios (12ª CGPM, 1964).
- b) O roentgen é uma unidade especial empregada para exprimir a exposição às radiações X ou γ.
- c) O rad é uma unidade especial empregada para exprimir a dose absorvida das radiações ionizantes. Quando houver risco de confusão no símbolo do radiano, pode-se utilizar rd como símbolo do rad.
- d) O rem é uma unidade especial empregada em radioproteção para exprimir o equivalente de dose.

- e) A unidade X era empregada para exprimir comprimentos de onda dos raios X: sua equivalência com a unidade SI é aproximada.
- f) Essa unidade fora do SI é exatamente equivalente a um submúltiplo decimal de uma unidade SI.
- g) O quilate métrico foi adotado pela 4ª CGPM (1907) para o comércio de diamantes, pérolas finas e pedras preciosas.
- h) Resolução 4 da 10ª CGPM (1954). A designação “atmosfera normal” é admitida para a pressão de referência de 101 325 Pa.
- i) Várias calorias são adotadas para uso:
- Caloria dita 15°C:
 $1 \text{ cal}_{15} = 4,1855 \text{ J}$ (valor adotado pelo CIPM em 1950);
 - Caloria dita IT (International Table) $1 \text{ cal}_{IT} = 4,1868 \text{ J}$ (5ª Conferência Internacional sobre as Propriedades do Vapor, Londres, 1956);
 - Caloria dita termodinâmica: $1 \text{ cal}_{th} = 4,184 \text{ J}$
- j) O micron e seu símbolo, que foram adotados pelo Comitê Internacional em 1879 e novamente admitidos na Resolução 7 da 9ª CGPM (1948), foram eliminados pela 13ª CGPM (1967-1968).

Anexo C

QUESTIONÁRIO DE PESQUISA “A” - MODELO

Este questionário tem por finalidade a coleta de informações para a realização da pesquisa referente à Dissertação de Mestrado cujo tema é “A interface entre os conceitos, princípios e ferramentas de qualidade e a prática da Metrologia” que será apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Paulista – UNIP como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Engenharia de Produção.

Esperamos, com o resultado desta pesquisa, demonstrar às empresas a relevância da Metrologia, tentando revelar sua interação com a Qualidade nos sistemas de produção, suas interfaces e relacionamento com as ferramentas da Qualidade adotadas para a melhoria dos sistemas produtivos.

Dessa forma, pedimos sua contribuição solicitando que você responda as 15 questões. Ressaltamos que os dados da empresa e do respondente só serão revelados se este concordar.

Nome: _____

- 1) Há quanto tempo vocês prestam serviços de calibração? Tem havido mudanças no que diz respeito aos preços? A tecnologia para calibração está mais acessível, mais barata?
- 2) Qual o papel da metrologia na organização?
- 3) Quais os benefícios que os controles metrológicos acrescentam aos sistemas produtivos?
- 4) Quais são os resultados positivos da adoção de Técnicas Metrológicas?
- 5) Qual a importância de se estimar a incerteza da medição?
- 6) Como é o relacionamento do laboratório com os clientes que o procuram?
- 7) Como se dá a manutenção dos padrões mantidos por esse laboratório?
- 8) Como vocês determinam o período adequado de calibração para esses padrões?
- 9) O laboratório participa de atividades de pesquisa? Caso afirmativo, quais?
- 10) Qual a importância da norma ISO-IEC 17025 para o laboratório?
- 11) Qual é a maneira que a empresa garante que seus sistemas e instrumentos de medição estejam medindo com confiabilidade metrológica?
- 12) Explique as formas existentes de medição dos impactos econômicos dos serviços de calibração. Como esses impactos econômicos podem ser

contabilizados?

- 13) Em geral, quanto tempo leva para se perceber os benefícios da calibração no orçamento da empresa que compra tais serviços?
- 14) Sabe-se, que atualmente, tem havido crescimento na procura de serviços de calibração por parte de pequenas e médias empresas. A que se deve este fato?
- 15) A seu ver, no que diz respeito aos serviços de calibração, os clientes, valorizam mais o documento comprobatório de conformidade ou a necessidade de reduzir os custos a longo prazo?

Empresa/laboratório: _____

Setor/Departamento: _____

Cargo: _____

Áreas da Metrologia em que o Laboratório atua: _____

Tempo de experiência na área de Metrologia Dimensional:

- Menos que 1 ano
- De 1 a 2 anos
- De 2 a 5 anos
- De 5 a 10 anos
- Acima de 10 anos

Formação do respondente:

- Nível médio
- Graduado
- Especialista
- Mestre
- Doutor

Deseja receber os resultados dessa pesquisa?

Sim

Não

Caso responda sim; informe seu e-mail: _____

Anexo D

QUESTIONÁRIO DE PESQUISA “B” - MODELO

Este questionário tem por finalidade a coleta de informações para a realização da pesquisa referente à Dissertação de Mestrado cujo tema é “A interface entre os conceitos, princípios e ferramentas de qualidade e a prática da Metrologia” que será apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Paulista – UNIP como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Engenharia de Produção.

Esperamos, com o resultado desta pesquisa, demonstrar às empresas a relevância da Metrologia, tentando revelar sua interação com a Qualidade nos sistemas de produção, suas interfaces e relacionamento com as ferramentas da Qualidade adotadas para a melhoria dos sistemas produtivos. Dessa forma, pedimos sua contribuição solicitando que você responda as 15 questões. Ressaltamos que os dados da empresa e do respondente só serão revelados se este concordar.

Nome: _____

1) Qual é a maneira que a empresa garante que seus sistemas e instrumentos de medição estejam medindo com confiabilidade metrológica?

2) A empresa faz uso de algum tipo de ferramenta da qualidade para minimizar o índice de produtos não conformes de seu sistema produtivo?

Sim

Não

Se respondeu sim, qual/quais?

3) A importância atribuída à Metrologia dentro da empresa é:

Nenhuma	<input type="checkbox"/>
Baixa	<input type="checkbox"/>
Média	<input type="checkbox"/>
Alta	<input type="checkbox"/>
Muito alta	<input type="checkbox"/>

4) Do ponto de vista da competitividade da empresa no atual mercado globalizado, a importância da Metrologia é:

Nenhuma	<input type="checkbox"/>
Baixa	<input type="checkbox"/>
Média	<input type="checkbox"/>
Alta	<input type="checkbox"/>
Muito alta	<input type="checkbox"/>

5) A empresa possui laboratório de metrologia?

Sim

Não

Caso responda “sim”; o laboratório é acreditado pelo Inmetro?

Sim

Não

6) A empresa calibra seus sistemas e instrumentos de medição em:

Laboratório interno	<input type="checkbox"/>
Rede brasileira de calibração - RBC	<input type="checkbox"/>
Outros laboratórios	<input type="checkbox"/>
Sem informação	<input type="checkbox"/>

7) A importância para a empresa de se calibrar instrumentos e sistemas de medição é:

Nenhuma	<input type="checkbox"/>
Baixa	<input type="checkbox"/>
Média	<input type="checkbox"/>
Alta	<input type="checkbox"/>
Muito alta	<input type="checkbox"/>

8) O impacto da calibração dos sistemas e instrumentos de medição no sistema produtivo da empresa é:

Nenhum	<input type="checkbox"/>
Baixo	<input type="checkbox"/>
Médio	<input type="checkbox"/>
Alto	<input type="checkbox"/>
Muito alto	<input type="checkbox"/>

9) Na operação de calibração de sistemas e instrumentos de medição, a relação entre a incerteza do padrão e incerteza do instrumento adotada pela empresa é:
Observação: “U” significa *uncertainty* (incerteza).

$\frac{U}{3}$	<input type="checkbox"/>	$\frac{U}{10}$	<input type="checkbox"/>
$\frac{U}{4}$	<input type="checkbox"/>	$\frac{U}{20}$	<input type="checkbox"/>
$\frac{U}{5}$	<input type="checkbox"/>	Sem informação	<input type="checkbox"/>

10) A importância de se estimar a incerteza medição para o sistema produtivo da empresa é:

Nenhuma	<input type="checkbox"/>
Baixa	<input type="checkbox"/>
Média	<input type="checkbox"/>
Alta	<input type="checkbox"/>
Muito alta	<input type="checkbox"/>

11) O relacionamento existente entre a Rastreabilidade e a Qualidade é:

- Nenhum
- Baixo
- Médio
- Alto
- Muito alto

12) Você acha que a Rastreabilidade Metrológica afeta o controle de medidas de características de produtos?

Sim

Não

13) A empresa possui alguma certificação relacionada a sistemas de gestão da qualidade?

Sim

Não

Se respondeu sim, como essa certificação influi nas ações metrológicas da empresa?

14) Na sua opinião, quando a empresa adquire uma sofisticada máquina de medição, com elevada exatidão, o impacto no sistema produtivo é:

- Nenhum
- Baixo
- Médio
- Alto
- Muito alto

15) Para a escolha de sistemas e instrumentos de medição, o Controle de Qualidade adota: (Observação: IT significa intervalo de tolerância)

$\frac{IT}{5}$

$\frac{IT}{10}$

$\frac{IT}{20}$

Sem informação

Empresa: _____

Número de colaboradores da empresa: _____

Setor/Departamento: _____

Cargo: _____

Tempo de experiência na área de Metrologia:

- Menos que 1 ano
- De 1 a 2 anos
- De 2 a 5 anos
- De 5 a 10 anos
- Acima de 10 anos

Formação do respondente:

- | | |
|--------------------------|--------------|
| <input type="checkbox"/> | Nível médio |
| <input type="checkbox"/> | Graduado |
| <input type="checkbox"/> | Especialista |
| <input type="checkbox"/> | Mestre |
| <input type="checkbox"/> | Doutor |

Deseja receber os resultados dessa pesquisa?

Sim

Não

Caso responda sim; informe seu e-mail: _____

Anexo E

QUESTIONÁRIO DE PESQUISA “A” – RESPONDIDOS

Este questionário tem por finalidade a coleta de informações para a realização da pesquisa referente à Dissertação de Mestrado cujo tema é “A interface entre os conceitos, princípios e ferramentas de qualidade e a prática da Metrologia” que será apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Paulista – UNIP como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Engenharia de Produção.

Esperamos, com o resultado desta pesquisa, demonstrar às empresas a relevância da Metrologia, tentando revelar sua interação com a Qualidade nos sistemas de produção, suas interfaces e relacionamento com as ferramentas da Qualidade adotadas para a melhoria dos sistemas produtivos.

Dessa forma, pedimos sua contribuição solicitando que você responda as 15 questões. Ressaltamos que os dados da empresa e do respondente só serão revelados se este concordar.

Nome: Claudio Murari

- 1) Há quanto tempo vocês prestam serviços de calibração? Tem havido mudanças no que diz respeito aos preços? A tecnologia para calibração está mais acessível, mais barata?

São 8 anos em prestação de serviços de calibração. Quanto a preços encontramos hoje com um número maior de laboratórios oferecendo serviços e dessa forma o preço tem se mantido ou até caído. Importante lembrar que a concorrência tem sido em alguns casos desleal. Existem fabricantes de instrumentos e equipamentos de calibração/medição ou laboratórios outros que muitas vezes fazem o serviço praticando preços muito abaixo do mínimo para subsistência da entidade. Porém de alguma maneira se mantém.

- 2) Qual o papel da metrologia na organização?

No SENAI a metrologia é parte do currículo das áreas industriais. Com mais ou menos intensidade a metrologia se faz necessário na execução das atividades de oficina e ainda na garantia da qualidade do produto gerado. E falando dos laboratórios de prestação de serviços, foram criados para atender principalmente empresas com dificuldades de acesso a um serviço essencial na garantia da qualidade de seus produtos e assim gerando oportunidade para essa empresa manter-se no mercado com produtos aceitáveis e competitivos.

- 3) Quais os benefícios que os controles metrológicos acrescentam aos sistemas produtivos?

Resposta na resposta 2.

- 4) Qual a importância de se estimar a incerteza da medição?

Importante destacar que não existe qualquer resultado de medição sem estar acompanhado de sua incerteza.

Quando buscamos um instrumento/sistema de medição, com o objetivo de executar uma medição, temos convicção de que existem algumas interferências conhecidas que gerarão resultado diferente do que é realmente. Dizemos então que se o valor diferente for identificado poderemos corrigir o resultado da medição, porém sempre existirá uma parcela que restará dúvidas e nesse momento é adicionada como incerteza da medição.

- 5) Quais são os resultados positivos da adoção de Técnicas Metrológicas?

Principal - redução de refugos de objetos fabricados.

- 6) Como é o relacionamento do laboratório com os clientes que o procuram?

Procuramos atender dentro do prazo, informamos se o que esta sendo requisitado por ele é realmente necessário, muitas vezes uma acessória técnica vai dentro dessa solicitação de serviço.

- 7) Como se dá a manutenção dos padrões mantidos por esse laboratório?

Para manutenção dos equipamentos e padrões do laboratório precisamos fazer limpeza, verificações e calibrações dentro de determinados períodos. Procedemos com base em experiências próprias ou de outros laboratórios, recomendações dos fabricantes ou ainda recomendações por normas.

- 8) Como vocês determinam o período adequado de calibração para esses padrões?

Periodicidade entre calibrações é um trabalho que normalmente se inicia tomando como referencia experiência de outros. Com o tempo podemos determinar estatisticamente se o período utilizado pode ser expandido ou reduzido. É importante destacar que poderemos aumentar desde que não tenha tido variações significativa em seus últimos resultados das calibrações. Se na segunda vez que o padrão for calibrado a variação for significativa há uma indicação que a periodicidade esta curta.

- 9) O laboratório participa de atividades de pesquisa? Caso afirmativo, quais?

Não

- 10) Qual a importância da norma ISO-IEC 17025 para o laboratório?

Norteia os laboratórios para que haja uniformidade nos trabalhos de calibração e medição.

- 11) Qual é a maneira que a empresa garante que seus sistemas e instrumentos de medição estejam medindo com confiabilidade metrológica?

Além da calibração periodicamente, faz-se verificações entre calibrações assegurando a manutenção dos resultados obtidos durante a calibração. Caso não esteja conforme o sistema de medição ou os instrumentos deverão passar por manutenção e nova calibração.

- 12) Explique as formas existentes de medição dos impactos econômicos dos serviços de calibração. Como esses impactos econômicos podem ser contabilizados?

O que se percebe é que o impacto ocasionado pelos serviços de calibração é imensamente menor do que o custo da calibração.

- 13) Em geral, quanto tempo demora a se perceber os benefícios da calibração no orçamento da empresa que compra tais serviços?

O prazo para essa percepção é médio desde que se faça com critério toda a implantação do sistema (podendo ser longo). Depende principalmente do tamanho da empresa e ainda da disponibilização de capital para implantação.

- 14) Sabe-se, que atualmente, tem havido crescimento na procura de serviços de calibração por parte de pequenas e médias empresas. A que se deve este fato?

Normalmente as pequenas e médias empresas são fornecedoras de produtos para outras empresas maiores onde é exigido um controle dentro de um sistema de qualidade assegurada com base em uma norma. Seus trabalhos passam a serem aceitos a partir do momento que atendem a exigência do sistema de qualidade de seus contratantes ou do mercado.

- 15) A seu ver, no que diz respeito aos serviços de calibração, os clientes, valorizam mais o documento comprobatório de conformidade ou a necessidade de reduzir os custos em longo prazo?

Percebe-se que muitos dos usuários ainda não conseguiram enxergar a redução de custos em seu processo. Porém com o passar do tempo estarão assentados nesse processo e então perceberão o bem feito desse serviço dentro de seu processo produtivo.

Empresa/laboratório:

SENAI – Suiçlab

Áreas da Metrologia em que o laboratório atua:

Calibração - Metrologia Dimensional de Comprimento. Estamos por incluir Pressão e Termometria

Tempo de experiência na área de Metrologia Dimensional:

- | | |
|-------------------------------------|------------------|
| <input type="checkbox"/> | Menos que 1 ano |
| <input type="checkbox"/> | De 1 a 2 anos |
| <input type="checkbox"/> | De 2 a 5 anos |
| <input type="checkbox"/> | De 5 a 10 anos |
| <input checked="" type="checkbox"/> | Acima de 10 anos |

Formação do respondente:

- | | |
|-------------------------------------|--------------|
| <input type="checkbox"/> | Nível médio |
| <input type="checkbox"/> | Graduado |
| <input checked="" type="checkbox"/> | Especialista |
| <input type="checkbox"/> | Mestre |
| <input type="checkbox"/> | Doutor |

Anexo F

QUESTIONÁRIO DE PESQUISA “A” – RESPONDIDOS

Este questionário tem por finalidade a coleta de informações para a realização da pesquisa referente à Dissertação de Mestrado cujo tema é “A interface entre os conceitos, princípios e ferramentas de qualidade e a prática da Metrologia” que será apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Paulista – UNIP como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Engenharia de Produção.

Esperamos, com o resultado desta pesquisa, demonstrar às empresas a relevância da Metrologia, tentando revelar sua interação com a Qualidade nos sistemas de produção, suas interfaces e relacionamento com as ferramentas da Qualidade adotadas para a melhoria dos sistemas produtivos.

Dessa forma, pedimos sua contribuição solicitando que você responda as 15 questões. Ressaltamos que os dados da empresa e do respondente só serão revelados se este concordar.

Nome: Marisa Ferraz Figueira Pereira

- 1) Há quanto tempo vocês prestam serviços de calibração? Tem havido mudanças no que diz respeito aos preços? A tecnologia para calibração está mais acessível, mais barata?

O serviço de calibração é oferecido desde a época em que “certificado de calibração” chamava-se “certificado de aferição”, ou seja, há mais de 50 anos. Houve algumas mudanças no que se refere aos preços dos serviços de calibração, por exemplo, pequenas automações possibilitam a redução do preço de um determinado serviço, uma vez que o tempo gasto na calibração fica reduzido. A tecnologia para calibração está mais disponível; alguns padrões ficaram mais baratos, porém isso não é regra geral, ou seja, não pode ser generalizado para todo serviço e para todas as grandezas.

- 2) Qual o papel da metrologia na organização?

Em minha opinião, o papel é importante, embora essa importância seja muito pouco visível. Todos os resultados de ensaios relevantes que são realizados para clientes só têm real significado se os instrumentos ou as máquinas utilizados estiverem calibrados, garantindo o resultado apresentado. Como exemplo, podemos citar o relatório do desabamento da construção do Metro em Pinheiros, onde a confiabilidade de muitos dos resultados foi decorrente de serviços de calibração feitos pelo Laboratório de Metrologia Mecânica.

- 3) Quais os benefícios que os controles metrológicos acrescentam aos sistemas produtivos?

Os principais são o menor índice de peças refugadas e a diminuição do retrabalho.

4) Qual a importância de se estimar a incerteza da medição?

Todo resultado de medição deve estar acompanhado de uma incerteza. Ela reflete a variação de valores que aquele resultado pode ter, dentro de um nível de confiança. No caso de um instrumento de medição que apresenta erros grandes e incertezas de resultados pequenas, os valores dos erros podem ser corrigidos. No caso inverso, quando a incerteza dos resultados é maior que os valores dos erros, a correção não pode ser feita. Essa análise somente é possível quando as incertezas são apresentadas.

5) Quais são os resultados positivos da adoção de Técnicas Metrológicas?

O que são “técnicas metrológicas”? Seriam procedimentos de calibração?

6) Como é o relacionamento do laboratório com os clientes que o procuram?

A orientação foi sempre procurar um relacionamento amigável de forma a entender aquilo que o cliente realmente precisa. Muitas vezes a terminologia e a nomenclatura do cliente são diferentes da do laboratório, o que pode gerar insatisfações e desentendimentos graves. A utilização de termos existentes no VIM nem sempre é observada, muitas vezes até desconhecida. Por esse razão, entregar o serviço mais adequado às necessidades do cliente deve ser uma preocupação constante do laboratório.

7) Como se dá a manutenção dos padrões mantidos por esse laboratório?

A manutenção é feita normalmente pelo fabricante ou representante autorizado.

8) Como vocês determinam o período adequado de calibração para esses padrões?

Na grandeza dimensional, por exemplo, devido à grande quantidade de instrumentos e padrões de uso diversificado nas várias empresas, não há uma padronização quanto à periodicidade das calibrações. As normas existentes de instrumentos de medição dimensional não tratam desse assunto. Nesse caso, a determinação do período é feita baseada na frequência de utilização, cuidado no manuseio, limpeza do ambiente e principalmente do histórico das calibrações anteriores. Evidentemente para a grande maioria dos padrões de referência existe um tempo limite que não deve ser ultrapassado, independente de não ter sido usado e estar muito bem acondicionado, que é utilizado de praxe nas instituições internacionais e que tomamos como modelo. No caso de padrões de força, por exemplo, a periodicidade está definida nas normas. Esses dois exemplos estendem-se às particularidades das demais grandezas.

9) O laboratório participa de atividades de pesquisa? Caso afirmativo, quais?

Não exatamente de pesquisa, porém de desenvolvimento, sempre que surge a oportunidade. Em um passado recente, por exemplo, nos envolvemos com um projeto muito interessante, em parceria com o INMETRO que se intitulou “Desenvolvimento, fabricação e certificação de corpos de prova padrão de impacto”. Esses desenvolvimentos geralmente contam com o apoio financeiro das agências nacionais de fomento.

10) Qual a importância da norma ISO-IEC 17025 para o laboratório?

A importância da NBR ISO 17025 é grande uma vez que ela define os parâmetros que um laboratório deve seguir para assegurar a exatidão e a rastreabilidade das suas medições. A sua implementação pode ser traduzida como um instrumento poderoso para a aceitação dos serviços do laboratório, pelos clientes.

11) Qual é a maneira que a empresa garante que seus sistemas e instrumentos de medição estejam medindo com confiabilidade metrológica?

Assegurando-se que os resultados das suas medições são rastreáveis aos padrões nacionais. Isso abrange equipamento calibrado e em boas condições de uso e observação dos fundamentos da prática de medição.

12) Explique as formas existentes de medição dos impactos econômicos dos serviços de calibração. Como esses impactos econômicos podem ser contabilizados?

Imagino que uma das formas possa ser pelo crescimento das vendas de produtos ou serviços. A exportação de produtos também fica facilitada quando a sua qualidade pode ser comprovada, decorrente de uma metrologia séria.

13) Em geral, quanto tempo demora para se perceber os benefícios da calibração no orçamento da empresa que compra tais serviços?

Ao se estabelecer um sistema da qualidade, a primeira impressão é que além de se utilizar um tempo enorme para a sua implantação, o dinheiro investido pode ser considerado quase supérfluo. Entretanto, com o decorrer do tempo nota-se que a documentação gerada contribui para facilitar a resolução de problemas gerenciais e de organização do dia a dia, como também melhorar a aceitação do produto/serviço por parte dos clientes, devido ao aumento de confiança. Acredito que os benefícios sejam percebidos em prazo superior a um ano.

14) Sabe-se, que atualmente, tem havido crescimento na procura de serviços de calibração por parte de pequenas e médias empresas. A que se deve este fato?

Deve-se à crescente concorrência existente. Vende mais quem apresentar o produto mais confiável, por um preço justo.

15) A seu ver, no que diz respeito aos serviços de calibração, os clientes, valorizam mais o documento comprobatório de conformidade ou a necessidade de reduzir os custos a longo prazo?

O certificado de calibração não deve ter a conotação de documento comprobatório de conformidade. Ele mostra ao usuário as condições de medição do instrumento calibrado, como por exemplo, repetitividade, erro de exatidão, histerese, erro de zero, entre outros. Instrumento calibrado não necessariamente significa instrumento bom para uso! Este raciocínio aplica-se somente aos instrumentos pertencentes ao âmbito da metrologia legal, para os quais é emitido um documento denominado “Verificação”.

Voltando à pergunta, há clientes que se preocupam apenas com o certificado de calibração, ou seja, apenas com o documento, não se importando com o resultado da calibração ou até mesmo se ela foi ou não feita. O número de clientes com esse perfil tende a diminuir em função da concorrência de produtos com melhor qualidade.

Quanto aos clientes sérios, estes buscam serviços de calibração, a princípio, como um diferencial em relação aos seus concorrentes. A posterior redução de custos é uma consequência. Penso que a grande maioria enquadra-se neste caso.

Empresa/laboratório: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo

Setor/ Departamento: Centro de Metrologia Mecânica e Elétrica / Laboratório de Metrologia Mecânica

Cargo: Diretora

Áreas da Metrologia em que o laboratório atua: Dimensional, massa, força, torque e dureza, pressão e temperatura

Tempo de experiência na área de Metrologia Dimensional:

- | | |
|-------------------------------------|------------------|
| <input type="checkbox"/> | Menos que 1 ano |
| <input type="checkbox"/> | De 1 a 2 anos |
| <input type="checkbox"/> | De 2 a 5 anos |
| <input type="checkbox"/> | De 5 a 10 anos |
| <input checked="" type="checkbox"/> | Acima de 10 anos |

Formação do respondente:

- | | |
|-------------------------------------|--------------|
| <input type="checkbox"/> | Nível médio |
| <input type="checkbox"/> | Graduado |
| <input checked="" type="checkbox"/> | Especialista |
| <input type="checkbox"/> | Mestre |
| <input type="checkbox"/> | Doutor |

Nota: As informações dadas se referem até julho de 2008, quando deixei de ocupar o cargo de diretora do CME.

Anexo G

QUESTIONÁRIO DE PESQUISA “A” – RESPONDIDOS

Este questionário tem por finalidade a coleta de informações para a realização da pesquisa referente à Dissertação de Mestrado cujo tema é “A interface entre os conceitos, princípios e ferramentas de qualidade e a prática da Metrologia” que será apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Paulista – UNIP como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Engenharia de Produção.

Esperamos, com o resultado desta pesquisa, demonstrar às empresas a relevância da Metrologia, tentando revelar sua interação com a Qualidade nos sistemas de produção, suas interfaces e relacionamento com as ferramentas da Qualidade adotadas para a melhoria dos sistemas produtivos.

Dessa forma, pedimos sua contribuição solicitando que você responda as 15 questões. Ressaltamos que os dados da empresa e do respondente só serão revelados se este concordar.

Nome: Antonio Sergio Conejero

- 1) Há quanto tempo vocês prestam serviços de calibração? Tem havido mudanças no que diz respeito aos preços? A tecnologia para calibração está mais acessível, mais barata?

Há 17 anos. Temos mantido o mesmo preço há 4 anos, deveremos reajusta-los em breve. Sim a tecnologia para calibração está muito mais acessível e os meios modernos de informação e entidades de divulgação são grandes agentes de multiplicação das informações e da tecnologia de medição. Quanto ao fator “mais barato” não acredito que houve aumento ou redução dos custos, apenas adequações tecnológicas (equipamentos mais modernos) e custos compatíveis com o custo benefício do serviço de calibração.

- 2) Qual o papel da metrologia na organização?

Na empresa que atuo, a Metrologia é a “alma do produto”, ou seja, é a condição inicial para a qualidade do produto. A principal função é Garantir a Qualidade metrológica dos padrões e equipamentos de medição da empresa, principalmente assegurando a rastreabilidade dos resultados das medições.

- 3) Quais os benefícios que os controles metrológicos acrescentam aos sistemas produtivos?

Nível de Qualidade apropriada, é a base do sucesso no mercado.

- 4) Qual a importância de se estimar a incerteza da medição?

Assegurar que os resultados apresentados por uma medição, estejam dentro das expectativas qualitativas do processo.

5) Quais são os resultados positivos da adoção de Técnicas Metrológicas?

Agrega valor à imagem do produto e da empresa.

6) Como é o relacionamento do laboratório com os clientes que o procuram?

Além de sermos gratos ao cliente por ter nos escolhido, devemos demonstrar a seriedade pelos resultados que o nosso serviço agrega ao produto do cliente.

7) Como se dá a manutenção dos padrões mantidos por esse laboratório?

De forma planejada e programada, mantemos planos de manutenção e verificações periódicas mantendo a confiabilidade dos padrões.

8) Como vocês determinam o período adequado de calibração para esses padrões?

Baseados em nossa experiência e principalmente num custo benefício estimado entre o “custo da calibração” e do “Risco/Criticidade” da não execução da calibração em determinado período. Em outras palavras, se o risco de economizar algum custo de calibração oferecer um Alto Risco e Alto Custo de reparação, optamos por um período mais breve. Sistemicamente também adotamos acompanhamento do histórico das calibrações e resultados de verificações periódicas dos equipamentos/padrões, e obedecendo critérios iniciais poderemos alterar esses períodos.

9) O laboratório participa de atividades de pesquisa? Caso afirmativo, quais?

Sim. Melhoria do processo de medição, modernização de meios e métodos de medição na área Dimensional e Dureza.

10) Qual a importância da norma ISO-IEC 17025 para o laboratório?

Oferece uma organização sistematizadas às atividades do laboratório, também estabelece condições igualitárias e comparativas entre os níveis de laboratórios que a adotam e principalmente que são acreditados por órgão competente por atendimento à esta.

11) Qual é a maneira que a empresa garante que seus sistemas e instrumentos de medição estejam medindo com confiabilidade metrológica?

Por várias atividades :

- Assegurando a rastreabilidade a padrões nacionais e internacionais
- Por comparações interlaboratoriais,
- Por auditorias internas e de segunda e terceira parte,
- Por análises críticas periódicas

12) Explique as formas existentes de medição dos impactos econômicos dos

serviços de calibração. Como esses impactos econômicos podem ser contabilizados?

Impactos negativos: custos de calibração e de manutenção da estrutura metrológica, que em nosso caso é um custo de fabricação de nosso produto.

Impactos positivos: Valores percebidos pelos serviços disponibilizados (tangíveis), e positivamente da imagem da empresa e do produto (intangíveis).

13) Em geral, quanto tempo demora para se perceber os benefícios da calibração no orçamento da empresa que compra tais serviços?

Não consigo avaliar essa questão. Alguns clientes já possuem desde a primeira calibração. Outros apenas desejam um papel para mostrar ao seu cliente que o exige compulsoriamente.

14) Sabe-se, que atualmente, tem havido crescimento na procura de serviços de calibração por parte de pequenas e médias empresas. A que se deve este fato?

O crescimento se deve à adoção da série de normas ISO 9000, desde 1987, e exigido por grandes empresas (grande e importantes clientes). Em nossa empresa esse conceito antecede o surgimento dessa série de normas pois já era prática normal.

15) A seu ver, no que diz respeito aos serviços de calibração, os clientes, valorizam mais o documento comprobatório de conformidade ou a necessidade de reduzir os custos a longo prazo?

Existem ambos aspectos. Incentivo os que valorizam (não apenas o documento comprobatório) mas a qualidade e valor agregado ao instrumento/padrão calibrado, que influencia diretamente na qualidade de seu produto. Portanto mais qualidade gera mais lucro e produtividade.

Empresa/laboratório: Mitutoyo Sul americana Ltda

Setor/ Departamento: Garantia da qualidade

Cargo: Gerente de Divisão de Garantia da Qualidade

Áreas da Metrologia em que o laboratório atua: Dimensional e Dureza

Tempo de experiência na área de Metrologia Dimensional:

- | | |
|-------------------------------------|------------------|
| <input type="checkbox"/> | Menos que 1 ano |
| <input type="checkbox"/> | De 1 a 2 anos |
| <input type="checkbox"/> | De 2 a 5 anos |
| <input type="checkbox"/> | De 5 a 10 anos |
| <input checked="" type="checkbox"/> | Acima de 10 anos |

Formação do respondente:

- | | |
|-------------------------------------|--------------|
| <input type="checkbox"/> | Nível médio |
| <input type="checkbox"/> | Graduado |
| <input checked="" type="checkbox"/> | Especialista |
| <input type="checkbox"/> | Mestre |
| <input type="checkbox"/> | Doutor |

Anexo H

QUESTIONÁRIO DE PESQUISA “A” – RESPONDIDOS

Este questionário tem por finalidade a coleta de informações para a realização da pesquisa referente à Dissertação de Mestrado cujo tema é “A interface entre os conceitos, princípios e ferramentas de qualidade e a prática da Metrologia” que será apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Paulista – UNIP como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Engenharia de Produção.

Esperamos, com o resultado desta pesquisa, demonstrar às empresas a relevância da Metrologia, tentando revelar sua interação com a Qualidade nos sistemas de produção, suas interfaces e relacionamento com as ferramentas da Qualidade adotadas para a melhoria dos sistemas produtivos.

Dessa forma, pedimos sua contribuição solicitando que você responda as 15 questões. Ressaltamos que os dados da empresa e do respondente só serão revelados se este concordar.

Nome: Sérgio Eduardo Cristofolletti

- 1) Há quanto tempo vocês prestam serviços de calibração? Tem havido mudanças no que diz respeito aos preços? A tecnologia para calibração está mais acessível, mais barata?

A Starrett através do seu Laboratório de Metrologia Dimensional – LaroyLab vem atuando no mercado desde de 1996. As variações de preço seguem políticas da companhia. Com a popularização da informática e o desenvolvimento tecnológico a tendência é de que a metrologia fique mais acessível.

- 2) Qual o papel da metrologia na organização?

Fundamental sob o aspecto de melhoria na qualidade dos produtos.

- 3) Quais os benefícios que os controles metrológicos acrescentam aos sistemas produtivos?

Melhoria na qualidade dos produtos.

- 4) Qual a importância de se estimar a incerteza da medição?

Oferece melhores condições de avaliação da capacidade dos sistemas metrológicos.

- 5) Quais são os resultados positivos da adoção de Técnicas Metrológicas?

Maior confiança no controle produtivo e melhor gestão dos processos.

- 6) Como é o relacionamento do laboratório com os clientes que o procuram?

Confiabilidade adquirida pelo alto grau de qualidade dos serviços prestados.

- 7) Como se dá a manutenção dos padrões mantidos por esse laboratório?

O Laboratório tem autonomia total sobre os equipamentos que possui.

- 8) Como vocês determinam o período adequado de calibração para esses padrões?

Feito estudo de estabilidade dimensional bem como o uso de ferramentas estatísticas e MSA.

- 9) O laboratório participa de atividades de pesquisa? Caso afirmativo, quais?

O laboratório desempenha papel importante com a avaliação metrológica de novos produtos.

- 10) Qual a importância da norma ISO-IEC 17025 para o laboratório?

Fornecer credibilidade sob todos os aspectos.

- 11) Qual é a maneira que a empresa garante que seus sistemas e instrumentos de medição estejam medindo com confiabilidade metrológica?

Mantém um programa permanente de avaliação de seus colaboradores, através das comparações interpessoais e laboratoriais, além de avaliação de desempenho de equipamentos.

- 12) Explique as formas existentes de medição dos impactos econômicos dos serviços de calibração. Como esses impactos econômicos podem ser contabilizados?

Qualidade é intangível, mas a fidelização do cliente é o verdadeiro termômetro.

- 13) Em geral, quanto tempo demora para se perceber os benefícios da calibração no orçamento da empresa que compra tais serviços?

O simples fato do cliente não ter que contratar um novo prestador de serviço, e a fidelização do cliente para repetir o serviço dentro de um prazo razoável, pode-se inferir que os benefícios são imediatos.

- 14) Sabe-se, que atualmente, tem havido crescimento na procura de serviços de calibração por parte de pequenas e médias empresas. A que se deve este fato?

Pressão por parte dos seus clientes. O usuário de labs de metrologia em geral não se importa com o que vai ser feito no instrumento, ou até mesmo se vai ou não ser calibrado, por ele encarar que isto é um custo e não um investimento, faz cotação e elege o mais barato e apresenta os certificados para os auditores, que em muitas vezes não sabem ou desconhecem o conteúdo de um certificado de calibração. CICLO VICIOSO.

- 15) A seu ver, no que diz respeito aos serviços de calibração, os clientes, valorizam mais o documento comprobatório de conformidade ou a necessidade de reduzir os custos a longo prazo?

Encaram como uma obrigação pra sair bem na auditoria.

Empresa/laboratório: Laboratório de Metrologia Dimensional – LaroyLab - Starrett

Setor/ Departamento: Laboratório de Metrologia Dimensional

Cargo: Supervisor de Serviços Metrológicos ao Cliente

Áreas da Metrologia em que o laboratório atua: Dimensional

Tempo de experiência na área de Metrologia Dimensional:

- | | |
|-------------------------------------|------------------|
| <input type="checkbox"/> | Menos que 1 ano |
| <input type="checkbox"/> | De 1 a 2 anos |
| <input type="checkbox"/> | De 2 a 5 anos |
| <input type="checkbox"/> | De 5 a 10 anos |
| <input checked="" type="checkbox"/> | Acima de 10 anos |

Formação do respondente:

- | | |
|-------------------------------------|--------------|
| <input type="checkbox"/> | Nível médio |
| <input type="checkbox"/> | Graduado |
| <input type="checkbox"/> | Especialista |
| <input checked="" type="checkbox"/> | Mestre |
| <input type="checkbox"/> | Doutor |