

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA**

**SISTEMA DE GERENCIAMENTO DE INSTRUMENTOS DE
CONTROLE GEOMÉTRICO:
CARACTERIZAÇÃO E DESENVOLVIMENTO DE UM
PROTÓTIPO**

**DISSERTAÇÃO SUBMETIDA À UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM ENGENHARIA MECÂNICA**

LAURA ROSA GOMES FRANÇA

FLORIANÓPOLIS, MARÇO DE 1993

**SISTEMA DE GERENCIAMENTO DE INSTRUMENTOS DE
CONTROLE GEOMÉTRICO: CARACTERIZAÇÃO E
DESENVOLVIMENTO DE UM PROTÓTIPO**

LAURA ROSA GOMES FRANÇA

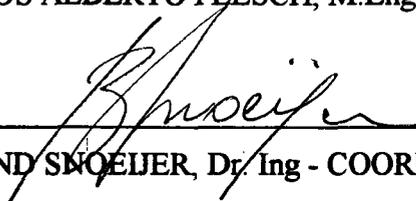
ESTA DISSERTAÇÃO FOI JULGADA ADEQUADA PARA OBTENÇÃO DO TÍTULO DE

MESTRE EM ENGENHARIA

ESPECIALIDADE ENGENHARIA MECÂNICA, ÁREA DE CONCENTRAÇÃO
METROLOGIA E AUTOMAÇÃO E APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELO PROGRAMA
DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA



Prof. CARLOS ALBERTO FLESCH, M.Eng - ORIENTADOR



Prof. BEREND SNOEIJER, Dr. Ing - COORDENADOR

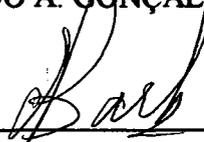
BANCA EXAMINADORA



Prof. CARLOS ALBERTO FLESCH, M.Eng - PRESIDENTE



Prof. ARMANDO A. GONÇALVES JÚNIOR, D.Eng



Prof. NELSON BACK, Ph.D



Eng. NELSON SCHOELER, M.Eng

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Carlos Alberto Flesch, pela orientação e principalmente pelo apoio e incentivo incomensuráveis para a concretização deste trabalho.

À Coordenadoria do Curso de Mecânica do CEFET/MG, na pessoa do Prof. Donato Guimarães Vitelli, pela valiosa oportunidade que me foi concedida para o meu aprimoramento profissional.

Aos colegas professores do CEFET/MG, que ao assumirem minhas aulas tornaram possível a concessão da licença para que eu pudesse fazer a pós-graduação.

À CAPES, pela concessão da bolsa de mestrado.

Aos colegas do CERTI/Labmetro e amigos da pós que direta ou indiretamente colaboraram para a execução deste trabalho.

Ao Cícero Triches, pela codificação do sistema de gerenciamento.

Aos meus pais e familiares, pelo apoio.

Ao Moacir, pela compreensão.

SUMÁRIO

	Página
RESUMO	vii
ABSTRACT	viii
CAPÍTULO 1	
INTRODUÇÃO	
1.1 Considerações preliminares	01
1.2 Gerenciamento de instrumentos	04
1.2.1 Abrangência necessária	04
1.2.2 Estado da arte	07
1.3 Proposta de trabalho	08
CAPÍTULO 2	
TERMINOLOGIA	
2.1 Introdução	09
2.2 Terminologia relacionada à metrologia geral	10
2.3 Terminologia específica do controle geométrico	33
CAPÍTULO 3	
CONTROLE GEOMÉTRICO	
3.1 Caracterização do controle geométrico	35
3.2 Parâmetros usuais no controle geométrico de peças	35
3.2.1 Tolerância dimensional	36
3.2.2 Tolerância de forma, orientação e posição	39
3.3 Instrumentos para controle geométrico	45
3.3.1 Classificação	45
3.3.2 Sistemas de medição	50
3.3.3 Medidas materializadas	55

3.4 Considerações acerca da seleção do sistema de medição para controle geométrico	55
3.4.1 Grandeza a medir	55
3.4.2 Outros fatores envolvidos na seleção do sistema de medição	63
3.5 O sistema de gerenciamento no contexto da seleção de instrumentos	68

CAPÍTULO 4

GARANTIA DA QUALIDADE METROLÓGICA DOS INSTRUMENTOS DE MEDIÇÃO

4.1 Instrumentos de medição no contexto da garantia da qualidade	69
4.2 Calibração de instrumentos de medição e hierarquia de padrões	69
4.3 Intervalos de calibração	73
4.3.1 Aspectos a considerar na determinação do intervalo de calibração	74
4.3.2 Intervalos de calibração iniciais	78
4.3.3 Verificação da eficiência dos intervalos de calibração adotados	79
4.4 Recomendações acerca da racionalização das operações de calibração	80
4.5 O sistema de gerenciamento no contexto da garantia da qualidade metrológica	82

CAPÍTULO 5

PROPOSTA DE UM SISTEMA DE GERENCIAMENTO DE INSTRUMENTOS DE CONTROLE GEOMÉTRICO

5.1 Caracterização do sistema de gerenciamento	83
5.1.1 Ambiente físico onde se insere o sistema	83
5.1.2 Atribuições	85
5.2 Metodologia para ajuste de intervalos de calibração	85
5.2.1 Características gerais	85
5.2.2 Descrição da metodologia	87
5.3 Seleção de instrumentos	90
5.4 Base de dados do sistema de gerenciamento	90

5.5 Implementação de um sistema computacional de gerenciamento de instrumentos de controle geométrico	92
5.5.1 Características computacionais	92
5.5.2 A estrutura do sistema de gerenciamento	93
5.6 Teste de funcionamento do protótipo desenvolvido	102
CAPITULO 6	
CONSIDERAÇÕES FINAIS	
6.1 Conclusões	104
6.2 Propostas para trabalhos futuros	109
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	110

RESUMO

Muitas das ações que asseguram a qualidade de produtos e processos estão alicerçadas em resultados de medições. Por esta razão os programas de garantia da qualidade, dentre os quais aqueles das normas da série ISO 9000, exigem que atenção especial seja dada aos instrumentos de medição. O atendimento a tal exigência se traduz em conhecer as características metroológicas de tais instrumentos e em garantir que estas sejam mantidas dentro de limites aceitos como satisfatórios. Neste contexto a operação de calibração, que permite a determinação de tais características, é a mais importante das ações relativas à garantia da qualidade dos instrumentos de medição.

Na definição do intervalo de tempo transcorrido entre duas calibrações sucessivas deve-se buscar o equilíbrio entre o risco de uso de um sistema de medição fora das especificações e o custo das operações de calibração.

Se dispor de instrumentos com qualidade assegurada é imprescindível, porém, a garantia de se ter medições confiáveis exige, dentre outras ações, a seleção de um sistema de medição adequado a cada uma das muitas variações de parâmetros a determinar e de condições de contorno encontradas no controle geométrico.

Estendendo-se estas questões a uma grande quantidade e diversidade de instrumentos usuais e considerando-se que as características metroológicas de tais instrumentos se alteram ao longo do tempo, fica evidente a importância do papel que um sistema computadorizado de gerenciamento de instrumentos assume em garantir a qualidade no controle geométrico.

No presente trabalho são analisados aspectos relativos ao controle geométrico, em especial os relacionados à instrumentos de medição, objetivando-se:

- a) a sistematização do problema de gerenciamento de instrumentos de controle geométrico;
- b) a proposição da compatibilização da divergente terminologia adotada por diferentes autores, instituições e normas;
- c) o estabelecimento de recomendações para determinação dos intervalos de calibração;
- d) o desenvolvimento de protótipo computacional de um sistema para o gerenciamento de instrumentos de controle geométrico;

ABSTRACT

A great number of actions that can assure the quality of products and processes are based on measurement results. For this reason, the programs of quality assurance (e.g. that of ISO 9000) require special attention on the measurement instruments. The attendance to this means to know the metrological characteristics of such instruments and to assure that them be kept into satisfactory limits. In this context, the operation of calibration is one of the most important action among those related to the quality assurance of measurement instruments.

In the definition of the time interval between two succeeding calibrations, one must find the equilibrium point between the risc of using a measurement system going out of tolerance and the cost of calibration operations.

Besides to assure the quality of the measurement systems, it is necessary to make an appropriate selection of it, according to the parameters to be determined, as well as the boundary conditions found in the geometric control.

Extending these questions to a great quantity and diversity of instruments and regarding that the metrological conditions change with the time, it becomes clear the importance of a computerized system of instrument management to the geometrical quality assurance.

In this work some aspects related to the geometrical control are analysed, in special those related to the measurement instruments, with the objectives that follow:

- a) The systematization of the problem of the management of geometrical control instruments;
- b) The proposition of a compatibilization to the terminology used by the different authors, institutions and standards;
- c) The establishment of guidelines to determine the calibration intervals;
- d) The development of a computational prototype for a system to the management of geometrical control instruments.

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1 - CONSIDERAÇÕES PRELIMINARES

Qualidade é requisito que a cada dia ganha maior importância como fator de competitividade, exigindo ações inovadoras por parte das empresas. Neste sentido, têm sido feitos investimentos visando não só a melhoria da qualidade do projeto mas também a melhoria da qualidade na fabricação.

A capacidade de uma empresa gerar qualidade de projeto é determinada, entre outros, pelos investimentos e esforços em pesquisa e desenvolvimento, pelos recursos humanos e laboratoriais e pelo nível da engenharia de projeto.

A capacidade de geração de qualidade de fabricação depende /1/:

- da capacidade do processo produtivo;
- da qualidade da mão-de-obra;
- da capacidade de desenvolvimento e aplicação de normas e padrões e dos recursos de metrologia industrial e;
- da capacidade do sistema de controle de qualidade.

Na indústria metal-mecânica, as atividades do sistema de controle de qualidade estão intimamente relacionadas ao controle geométrico, o qual pode ser executado de acordo com as seguintes abordagens /2/:

- Após o processo

Segundo esta abordagem, a avaliação é realizada após um fato consumado; a peça já processada. Falhas constatadas podem, eventualmente, ser corrigidas. Contudo, não se adquirem garantias de que outras peças em fabricação deixarão de apresentar as mesmas falhas.

- Junto ao processo (entre etapas do processo de fabricação)

O sistema de medição é colocado junto ou próximo à máquina, podendo atender uma ou mais máquinas.

- No processo

A medição na máquina pode ocorrer durante ou intermitente ao processo de fabricação. Durante o processo, a medição ocorre simultânea à usinagem. A medição intermitente ao processo pode ser realizada antes do início, durante pausas ou após concluída a operação de usinagem da peça em determinada máquina.

Independentemente do contexto em que o controle geométrico esteja inserido, bem como do método de medição utilizado, deve-se ter garantias quanto à qualidade dos resultados das medições, uma vez que as ações que asseguram e certificam a qualidade dos produtos e processos estão alicerçadas em tais resultados.

A qualidade dos resultados das medições depende de inúmeros elementos que compõem o processo de medição /3 a 6/, fig. 1.1.

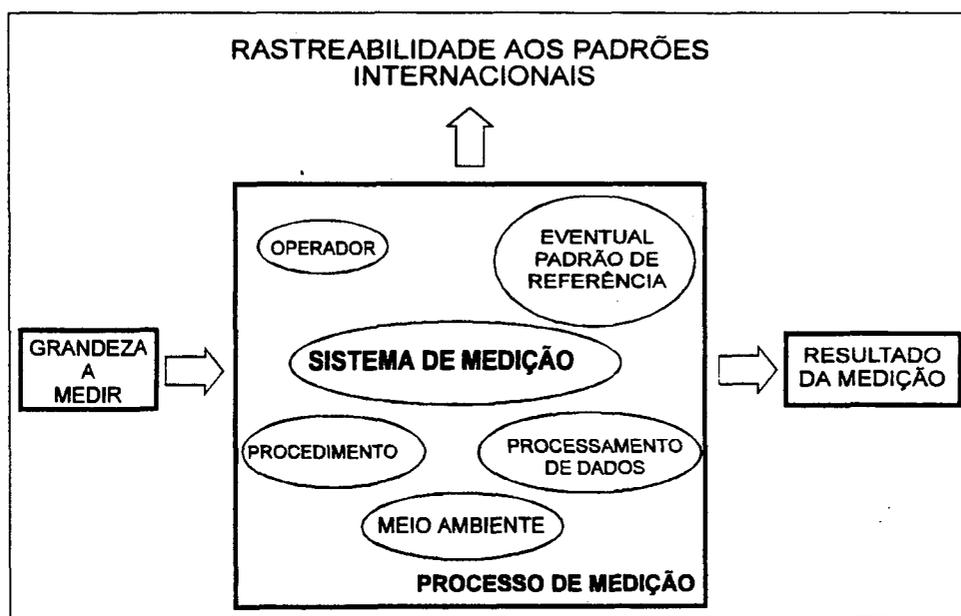


Figura 1.1 - Elementos do processo de medição

No processo de medição, o sistema de medição, conjunto de elementos físicos responsáveis pela conversão da grandeza a medir em um valor numérico, desempenha papel fundamental. É necessário pois, que não só o seu tipo seja adequado a uma dada tarefa de medição, mas que a sua qualidade metrológica esteja assegurada.

É evidente que quanto maiores forem a quantidade e diversidade dos instrumentos disponíveis maior será a probabilidade de haver um que seja adequado para uma dada tarefa de medição. Contudo, a seleção do sistema de medição prescinde do conhecimento das características metroológicas de todos os sistema de medição. Na prática, a seleção deve ainda considerar que tais características se alteram ao longo do tempo.

Além da solução dos problemas acima, de natureza essencialmente técnica, há necessidade de se considerar os custos diretos e indiretos relacionados aos instrumentos, dentre os quais tem-se:

a) manutenções, calibrações e ajustes:

se por um lado, manutenções excassas provocam a redução da vida útil e da confiabilidade dos instrumentos, por outro, manutenções, calibrações e ajustes feitos em excesso representam gastos desnecessários. Além disso, embora à primeira vista possa parecer que quanto mais frequentemente um instrumento for calibrado e ajustado, maiores as chances dele ser encontrado dentro das especificações, idéia esta reforçada inclusive pela MIL-STD-45662, estudos têm concluído que a excessiva manipulação e ajuste que quase sempre acompanham as calibrações, contribuem para a instabilidade do instrumento, e para a redução de sua vida útil /7,8/.

b) perdas e extravios:

podem tornar-se críticos no caso de acessórios e instrumentos de pequeno porte. Ocorrem como fruto da falta de controle do fluxo dos instrumentos dentro da instituição.

c) ociosidade:

decorrente do desconhecimento das reais características e disponibilidades dos instrumentos.

É interessante observar que a combinação dos três fatores acima acaba por tornar mais freqüente a necessidade de aquisição de novos instrumentos.

Por trás dos problemas aqui levantados, tanto os de ordem técnica quanto de ordem econômica, existe um elemento comum: falta, ou não utilização, de informações relativas aos instrumentos de medição.

De modo geral não existe preocupação por parte dos usuários em manter registradas as informações geradas durante o uso dos instrumentos ou levantadas durante a calibração, cujos resultados têm servido unicamente para dizer se um instrumento está conforme ou não. A prática mostra que mesmo quando existe esta preocupação, o registro não é feito de forma adequada e permanente, dificultando, ou mesmo impossibilitando, o conhecimento da história de cada instrumento.

Surge assim a necessidade das instituições estabelecerem mecanismos eficientes para o gerenciamento de seus instrumentos de medição. Neste sentido, programas de computador se constituem em ferramentas importantes, na medida em que permitem o armazenamento, a atualização e a utilização de uma grande quantidade de informações, de forma rápida, simplificada e confiável.

1.2 - GERENCIAMENTO DE INSTRUMENTOS

1.2.1 - ABRANGÊNCIA NECESSÁRIA

Um sistema de gerenciamento de instrumentos de controle geométrico (SGICG) deve atender aos requisitos das principais aplicações dos instrumentos de medição com a abrangência mostrada na fig. 1.2 e discutida a seguir.

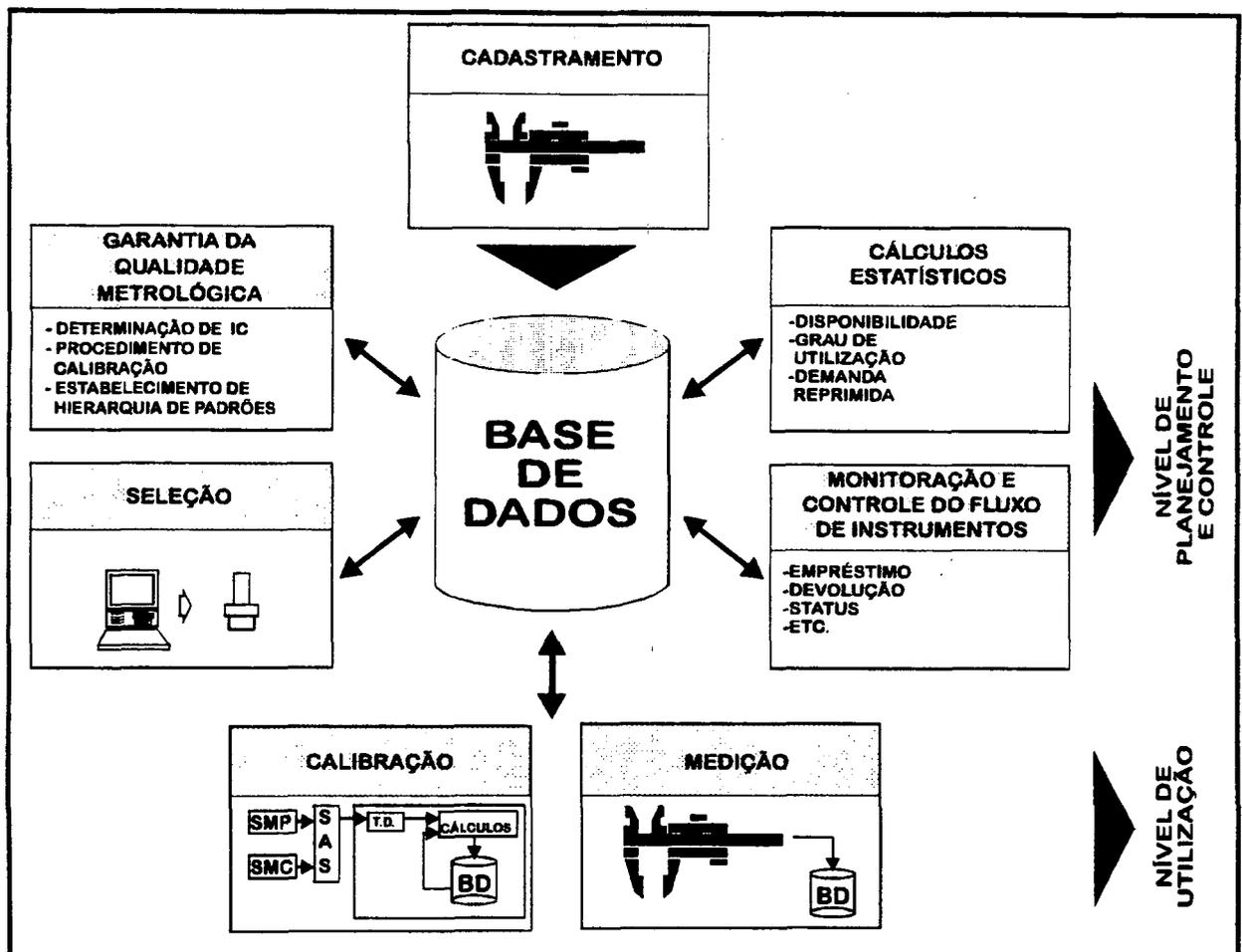


Figura 1.2 - Abrangência de atuação do gerenciamento de instrumentos de controle geométrico

a) Como suporte nas operações de calibração e medição:

Muito se tem feito pelo desenvolvimento da operação de calibração, via racionalização de procedimentos, com o propósito de se obter informações mais precisas e em menor tempo /9,10/.

Os esforços são no sentido de, na medida do possível, automatizar as operações de aquisição e tratamento dos dados, compensação de erros sistemáticos do padrão e cálculo dos parâmetros significativos da calibração (erro sistemático, dispersão, etc.).

Embora os procedimentos estejam bem definidos, muitas vezes não é possível fazer uso de todas as facilidades propostas. Não é rara a utilização de padrões com característico de resposta desconhecido, já que na maioria das vezes só se conhece a incerteza do padrão. Algumas vezes até se conhece o característico de resposta do padrão, mas este se apresenta na forma de gráficos ou tabelas, desestimulando o operador a proceder com a compensação de erros. Por outro lado, se o característico de resposta do padrão estiver devidamente armazenado na base de dados gerenciada pelo SGICG, fig.1.2, a tarefa de compensar os erros sistemáticos do padrão pode ser automaticamente efetuada após o tratamento dos dados e cálculo dos resultados da calibração, como mostrado na fig. 1.3.

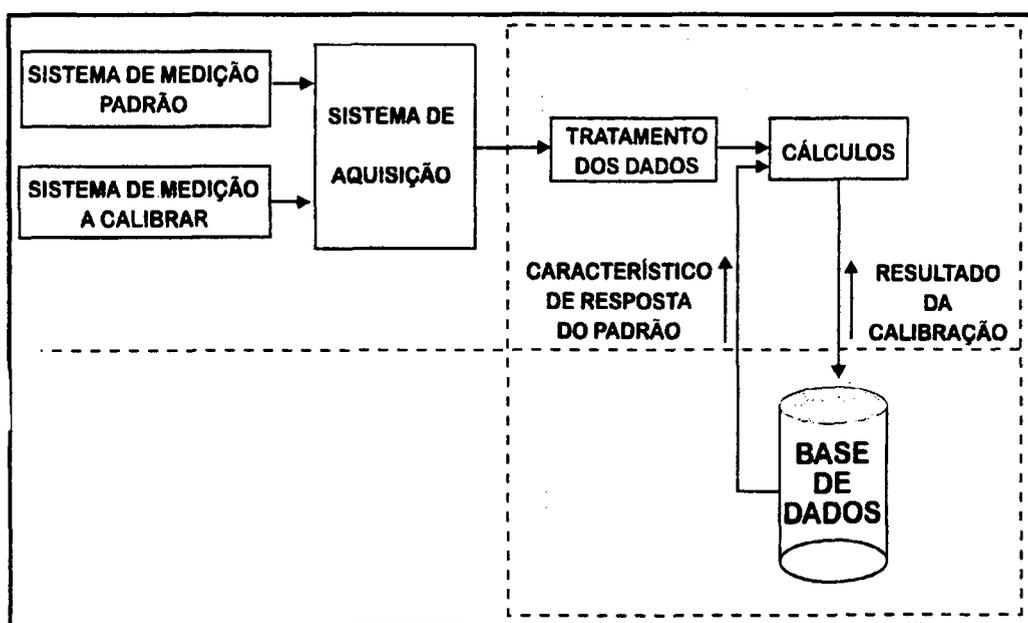


Figura 1.3 - Integração da base de dados do sistema de gerenciamento com o processo de calibração de instrumentos

Terminada a calibração, e desde que os resultados sejam armazenados na base de dados, pode-se utilizar tais resultados como suporte para a definição do próximo intervalo de calibração e na

compensação de erros em futuras operações de medição efetuadas com o sistema de medição então calibrado.

b) Como mecanismo de controle e planejamento

Neste nível um SGICG deve fornecer meios para selecionar instrumentos apropriados para uma tarefa de medição, gerenciar o programa de garantia da qualidade metrológica dos instrumentos cadastrados e realizar balanços sob diversos aspectos relacionados aos mesmos.

Os balanços incluem:

b.1) cálculos estatísticos

- grau de utilização;
- disponibilidade (representa a parcela de tempo em que um instrumento está em condições de ser utilizado. Um instrumento com baixa disponibilidade é aquele que passa grande parte do tempo em calibração ou manutenção);
- demanda reprimida (representa o quanto um instrumento poderia ser utilizado se tivesse uma disponibilidade maior);

b.2) controle

- controle de empréstimos e devoluções;
- controle do fluxo de trabalho de calibração na instituição;
- controle da condição atual do instrumento (emprestado ou não, em calibração ou em manutenção).

Em termos de controle da qualidade metrológica dos instrumentos, o sistema de gerenciamento deve:

- Determinar intervalos de calibração, segundo um modelo preestabelecido, em função dos resultados de calibrações anteriores, da severidade e intensidade de uso do instrumento e outros. Deve ser ressaltado que isto não se limita a apenas registrar uma data para a próxima calibração, como feito em /11,12/;
- Fazer a chamada periódica para calibração, uma vez determinados os intervalos de calibração;
- Indicar procedimentos de calibração;

- Registrar resultados de calibração e/ou ajuste;
- Estabelecer a hierarquia entre os padrões, tendo por objetivo alcançar a rastreabilidade;

Por fim, estabelecendo-se certas regras para a determinação das tarefas de medição e estando as informações relativas às características construtivas, metrológicas e operacionais de todos os sistemas de medição, armazenadas em uma base de dados, o SGICG pode proceder a uma seleção e apresentar aqueles que estejam aptos à realização de dada medição.

Esta seleção pode tanto ser uma atividade isolada dentro de um laboratório de metrologia, como pode ser um passo dentro de um planejamento de inspeção ou de qualificação de máquinas e processos, e dessa forma o SGICG pode ser visto como um elemento integrado ao CAQ "Computer aided quality control" /13/. As informações armazenadas na base de dados sobre os instrumentos podem vir a integrar uma base de dados de qualidade /14/.

1.2.2 - ESTADO DA ARTE

A despeito da grande importância do gerenciamento dos instrumentos de controle geométrico, como aqui mostrado, e das exigências constantes nas normas MIL-STD-45662 /15/ e NB 9004 (ISO 9004) /16/, não se tem conhecimento, até a presente data, de algum trabalho onde o assunto seja tratado de maneira mais ampla e integrada, como sugerido nos parágrafos anteriores. Os poucos trabalhos existentes na área abordam apenas pontos localizados do gerenciamento em questão e podem ser divididos em três grupos:

- a) Trabalhos /11,12,17,18/ que descrevem sistemas limitados a:
 - cadastrar instrumentos;
 - controlar o fluxo dos instrumentos;
 - informar se um dado instrumento se encontra dentro do prazo de validade da última calibração;
 - indicar a data da próxima calibração.
- b) Trabalhos que descrevem a possibilidade da utilização de arquivos de instrumentos como suporte em planejamento de inspeção /13/ e em sistemas de qualificação de máquinas /19/.
- c) Trabalho que descreve a aplicação de um sistema especialista na seleção de instrumentos de medição /20/.

1.3 - PROPOSTA DE TRABALHO

O presente trabalho tem como objetivos o estudo, de forma abrangente e sistematizada, do problema de gerenciamento de instrumentos de controle geométrico e o desenvolvimento de um sistema de gerenciamento computadorizado. Tais objetivos são alcançados com a execução das etapas:

- a) Levantamento e análise de adequação e compatibilização das terminologias adotadas por diferentes autores, instituições e normas.
- b) Estudo dos aspectos relativos ao controle geométrico, os quais incluem:
 - os parâmetros usuais no controle geométrico;
 - os instrumentos de medição e;
 - os fatores que devem ser considerados na seleção de um sistema de medição.
- c) Estudo dos aspectos envolvidos na garantia da qualidade metrológica dos instrumentos, a qual está alicerçada no conhecimento de suas características metrológicas e operacionais; conhecimento este obtido por meio de calibrações executadas em intervalos apropriados e com base em uma hierarquia de padrões.
- d) Estruturação de um sistema de gerenciamento dos instrumentos de controle geométrico. Esta etapa envolve:
 - Sistematização de informações numa base de dados relativos aos instrumentos;
 - Definição de uma metodologia para ajustar intervalos de calibração;
 - Definição de uma seqüência de passos para seleção de sistemas de medição adequados a uma tarefa;
 - Estabelecimento de mecanismos que garantam a integridade das informações prestadas pelo sistema de gerenciamento;
- e) Implementação de um sistema computadorizado para o gerenciamento de instrumentos de controle geométrico e realização de testes para avaliar o desempenho do sistema implementado.

CAPÍTULO 2

TERMINOLOGIA

2.1 - INTRODUÇÃO

Em metrologia e em instrumentação, observa-se a existência de um problema de âmbito internacional e especialmente pronunciado no Brasil; a falta de uma terminologia efetivamente aceita e empregada pelos usuários.

No Brasil, o INMETRO elaborou um vocabulário de termos fundamentais e gerais de metrologia (baseado no "International vocabulary of basic and general terms in metrology", um trabalho conjunto das instituições BIPM, IEC, ISO e OIML) instituindo-o através da Portaria 102/88 /21/.

No entanto, passados aproximadamente quatro anos da proposição do vocabulário, ainda existem muitos termos em torno dos quais há divergência de opiniões e até mesmo recusa de aceitação pelos usuários.

Parece claro que para que este problema possa ser superado é necessário analisar os pontos polêmicos e adequar-se o mais possível, a terminologia usual e a oficial a luz das terminologias adotadas pelas principais instituições internacionais. Só com o perfeito entendimento das definições associadas a um dado termo é que se poderá chegar a uma definição objetiva e completa.

Neste sentido, este capítulo tem por objetivo não apenas apresentar a terminologia empregada ao longo do presente trabalho, como se faz normalmente em um glossário, mas também, sempre que for o caso, apresentar e comentar as definições e os termos correlatos adotados por diferentes autores, instituições e normas. Os termos aqui apresentados são separados de acordo com a sua aplicação. No item 2.2 apresentam-se os termos relativos à metrologia geral e no item 2.3 aqueles relativos especificamente ao controle geométrico.

OBSERVAÇÃO:

Nos itens 2.2 e 2.3, quando se tratar de uma definição proposta no presente trabalho utilizar-se-á a simbologia /dp/. Quando se tratar de uma adaptação de uma definição apresentada em algumas das referências citadas anteriormente escrever-se-á /**adaptação - n**/, onde **n** representa o número da referência. que serviu de base para a definição.

2.2 - TERMINOLOGIA RELACIONADA À METROLOGIA GERAL

Estes termos têm como base o vocabulário de termos fundamentais e gerais em metrologia, Portaria INMETRO 102/88 /21/. As outras referências consideradas são /6,8,9,15,22 a 29/.

ACESSÓRIOS - Elementos ou grupo de elementos físicos que /dp/ :

- são associados a um instrumento, a fim de facilitar o seu uso ou lhe dar características especificadas.
- têm a função de apoio e fixação dos instrumentos de medição e das peças a serem medidas, na posição conveniente para a realização da medição.
- têm a função, nos casos em que não acoplados a um instrumento, de transmitir ao instrumento de medição a grandeza a medir.

Para os dois últimos casos é comum empregar-se o termo dispositivo.

Termos correlatos:

Em /23/

ACESSÓRIO (de instrumento de medição) - Elemento ou grupo de elementos de um circuito, ou um dispositivo, que é associado permanentemente ou não a um instrumento de medição, a fim de lhe dar características especificadas.

- *A definição em /23/ foi complementada, uma vez que ela não cobre todos os elementos físicos que podem complementar um instrumento em uma dada tarefa de medição para controle geométrico.*

AFERIÇÃO - Conjunto de operações que estabelece, em condições específicas, a relação entre os valores obtidos de um instrumento ou sistema de medição e os valores verdadeiros convencionais correspondentes /adaptação-22/.

Observação:

- a) O termo "aferição" aqui empregado representa operações realizadas com o objetivo de satisfazer exigências regulamentares estabelecidas por uma norma ou especificação.
 - *Os termos "aferição" e "calibração" podem ser agrupados em um único termo (calibração), como adotado no presente trabalho.*

- *Propõe-se, porém, a aceitação do termo "aferição", uma vez que o emprego do mesmo está nacionalmente consagrado, significando somente a operação de levantamento de erros (que também pode ser denominada "calibração") com o objetivo de atestar conformidade com normas e/ou especificações.*
- *Para termos correlatos ver "calibração".*

AJUSTE - Operação destina a fazer com que um sistema de medição tenha um funcionamento adequado à sua utilização /adaptação-21 e 22/.

Observações:

- a) O ajuste é uma operação que precede uma calibração.
- b) À operação executada pelo usuário para adequar o sistema de medição a uma medição específica, dá-se o nome de regulagem /21,22/.

- *Para termos correlatos ver "calibração".*

CALIBRAÇÃO - Conjunto de operações que estabelece, em condições específicas, a relação entre os valores obtidos de um instrumento ou sistema de medição e os valores verdadeiros convencionais correspondentes /adaptação-22/.

Observação:

- a) O resultado de uma calibração permite determinar um ou mais parâmetros como o característico de resposta e a incerteza do instrumento ou sistema de medição.

Termos correlatos:

- *Observa-se que, de um modo geral, não há um consenso quanto à definição dos termos a serem empregados para representar as operações de:*
 - I) *Levantamento do característico de resposta de um instrumento.*
 - II) *Determinação dos erros de um instrumento.*
 - III) *Ações sobre o instrumento com objetivo de minimização de seus erros.*

No presente trabalho as operações I e II, anteriores, podem ser agrupadas sob um único termo (calibração), como é feito em /9,15,22/ uma vez que para a determinação de erros é necessário fazer o levantamento do característico de resposta. Já o uso do termo "aferição" é aceito para caracterizar a operação II, quando esta é executada com o objetivo de atestar conformidade com especificações e/ou normas

Em /9/

CALIBRAÇÃO - Procedimento que estabelece, em condições específicas, a correspondência entre estímulo e resposta de um SM e a sua correlação com os valores verdadeiros da grandeza a medir. Como resultado de uma calibração, determinam-se a função transferência real e a curva de erros deste SM.

AFERIÇÃO - procedimento experimental que visa determinar se um sistema de medição satisfaz as exigências regulamentares estabelecidas por uma norma ou especificação. Normalmente é uma operação de cunho legal da qual é emitido um certificado.

AJUSTAGEM - Operação efetuada em um SM visando minimizar os erros de medição através de regulagens ou ajustes em seus elementos. Deve ser precedida de uma calibração.

Em /21/

AFERIÇÃO - Conjunto de operações que estabelece, em condições específicas, a correspondência entre os valores indicados por um instrumento de medir ou por um SM ou por uma medida materializada e os valores verdadeiros convencionais correspondentes da grandeza medida.

Observações:

- a) O resultado de uma aferição permite determinar os erros de indicação de um instrumento de medir, sistema de medição ou medida materializada.
- b) Uma aferição pode também, através de ensaios, determinar outras propriedades metroológicas.
- c) O resultado de uma aferição pode ser registrado num documento chamado certificado ou relatório de aferição.

CALIBRAÇÃO - Conjunto de operações que estabelece, em condições específicas, a correspondência entre o estímulo e a resposta de um instrumento de medir, sistema de medição ou transdutor de medição.

Observações:

- a) O resultado de uma calibração pode permitir a determinação de um ou mais parâmetros da curva característica, que relaciona o estímulo à resposta ou os valores de grandezas correspondentes às divisões de escalas de um instrumento de medir.
- b) Os termos "aferição" e "calibração" estão reunidos nos termos "etalonnage", em francês e "calibration", em inglês.

Em /21,22/

AJUSTE - Operação destinada a fazer com que um sistema de medição tenha um funcionamento e justeza adequados à sua utilização.

REGULAGEM - Idem ajuste, mas empregando somente os meios colocados à disposição do usuário.

Em /22/

CALIBRAÇÃO - Conjunto de operações que estabelece, sob condições específicas, a relação entre valores indicados por um instrumento de medição ou sistema de medição ou valores representados por uma medida materializada, e os correspondentes valores verdadeiros convencionais da grandeza medida.

Observações:

- a) O resultado de uma calibração permite estimar os erros de indicação dos instrumentos de medir, sistema de medição ou medida materializada, ou a atribuição de valores a marcas em uma escala arbitrária.
- b) A calibração pode também determinar outras propriedades metrológicas.
- c) O resultado de uma calibração pode ser registrado em um documento chamado certificado de calibração ou relatório de calibração.
- d) O resultado de uma calibração é algumas vezes expresso como um fator de calibração ou uma série de fatores, na forma de uma curva de calibração.

Em /23/

AFERIÇÃO - Determinação dos erros de um instrumento ou de uma medida materializada.

AJUSTE - Conjunto de operações especificadas pelo fabricante, que devem ser feitas antes de se utilizar um instrumento, para que ele funcione dentro da exatidão especificada.

REAJUSTE - Conjunto de operações especificadas pelo fabricante, que devem ser feitas durante a utilização de um instrumento, para que este continue a funcionar dentro da exatidão especificada.

CALIBRAÇÃO - Mamuseio dos dispositivos de ajuste de um instrumento, de modo a fazê-lo medir dentro dos erros admissíveis. Determinação dos erros de um instrumento ou de uma medida materializada.

- *O termo aferição em /23/ é idêntico àquele em /21/ e assemelha-se, ainda que de forma restrita, ao termo calibração como adotado no presente trabalho. Já os termos calibração e ajuste como definidos em /23/ são praticamente sinônimos, tendo o mesmo significado que o termo ajuste, como adotado no presente trabalho. Por fim, o termo reajuste, em /23/, representa aquilo que aqui recebe o nome de regulagem.*

Em /6/

VALIDAÇÃO - *Abrange duas operações básicas, a saber:*

CALIBRAÇÃO - *Ajustagem de resultados a um padrão ou a um modelo apropriado. Como tal, possui caráter ativo.*

AFERIÇÃO - *Processo de verificação e de registro de erros oriundos de comparação com padrão apropriado e que, por isso mesmo, apresenta caráter passivo.*

- *O termo "validação" /6/ abrange as operações I, II e III.*

Em/15/

CALIBRAÇÃO - *A comparação de equipamentos de teste e medição de precisão não conhecida com um padrão de medição de valor conhecido com o objetivo de detectar, correlacionar, registrar ou eliminar, através de ajuste, qualquer variação na precisão do instrumento sendo comparado.*

Em /26/

"CHECKING" - *Ato de verificar se o SM está ou não dentro dos limites de calibração.*

CALIBRAÇÃO - *Retificação ou ajuste que deve ser feito quando o SM é encontrado fora dos limites de calibração.*

- *Em /26/ utiliza-se o termo "calibração" como uma operação para corrigir eventuais erros no comportamento de um sistema de medição (no presente trabalho esta operação é denominada "ajuste").*
- *É interessante salientar que, no Brasil, o termo calibração, significando uma operação corretiva é largamente empregado pelos profissionais da área de qualidade, gerando conflitos com os profissionais da metrologia.*

CARACTERÍSTICO DE RESPOSTA - Para condições definidas, é a relação entre um estímulo (grandeza a medir / sinal de entrada) e a resposta correspondente /21,22/.

Observações:

- a) Quando um estímulo varia em função do tempo, uma forma de característico de resposta é a função de transferência (quociente da transformada de Laplace da resposta pela transformada de Laplace do estímulo).
- b) Uma forma mais adequada de apresentação do característico de resposta é a chamada curva de erro a qual mostra mais claramente a diferença entre o comportamento real e o ideal de um sistema de medição.

Termos correlatos:

Em /9/

FUNÇÃO TRANSFERÊNCIA REAL - É a equação que exprime o relacionamento real entre a grandeza de entrada do SM (grandeza a medir) e a sua saída (leitura/medida).

CURVA DE ERRO - Curva que mostra de uma maneira mais perceptível, o como e o quanto o comportamento real de um sistema de medição se afasta do ideal, em toda a sua faixa de operação.

CLASSE DE EXATIDÃO - Classe à qual pertence um sistema de medição/medida materializada que satisfaz certas exigências metrológicas destinadas a conservar os erros dentro de limites especificados /21,22/.

Observação:

- a) Uma classe de exatidão é usualmente indicada por um número ou símbolo adotado por convenção e denominado ÍNDICE DE CLASSE.

Termos correlatos:

Em /9/

CLASSE DE ERRO - Classe à qual pertence um SM que satisfaz certas exigências metrológicas destinadas a conservar os erros dentro de limites especificados.

Em /23/

CLASSE DE EXATIDÃO - Característica de instrumentos de medição que satisfazem um conjunto de exigências especificadas, relacionadas com a exatidão.

- *Todas as definições dadas em /9,21,22,23/ têm o mesmo significado. Apenas em /9/ é adotado o termo classe de erro, no lugar de classe de exatidão.*

CONSTANTE (de um SM) - Fator pelo qual uma "indicação direta" deve ser multiplicada para se obter a "indicação" de um sistema de medição /21,22/.

Observação:

- a) Para alguns sistemas de medição, a transformação da "indicação direta" em "indicação" pode ser mais complexa do que uma simples multiplicação por uma constante.

Termos correlatos:

Em /9/

PARÂMETRO CARACTERÍSTICO (do SM) - Fator pelo qual uma leitura deve ser multiplicada para ser transformada em medida.

Em /23/

CONSTANTE (de um SM) - Fator pelo qual deve ser multiplicada a indicação de um instrumento, para se obter o valor da grandeza medida.

- *Todas as referências, /9,21,22,23/, definem o termo com o mesmo sentido. Apenas em /9/ é adotado o termo parâmetro característico.*

DIMENSÃO - Expressão que representa uma grandeza que pertence a um sistema de grandezas como o produto das potências das grandezas de base desse sistema /21,22/.

Exemplo:

LMT^2 é a dimensão da força no sistema de grandezas comprimento, massa, tempo (l,m,t)

- *Não confundir com o termo "dimensão" comumente empregado em controle geométrico com o sentido, mais restrito, de comprimento.*

DISPERSÃO - Especifica a faixa de valores dentro da qual, com uma probabilidade estatística definida, se situará o erro aleatório /adaptação-9/.

Observações:

- a) Componente aleatória da incerteza.

- b) A fim de melhor caracterizar a sua aplicação, o termo dispersão deve vir acompanhado do nome do sistema ou do processo de medição ao qual estiver relacionado. Por exemplo, dispersão do SM, dispersão da medição.
- c) A dispersão deve ser acompanhada do valor da probabilidade de enquadramento dos erros aleatórios.

Termos correlatos:

Em /9/

DISPERSÃO DE MEDIÇÃO - *Especifica a faixa de valores dentro da qual, com probabilidade estatística definida, se situará o erro aleatório de uma medição.*

- *Para maior clareza ver "erro aleatório".*

DISPONIBILIDADE - A disponibilidade é a probabilidade de um sistema de medição operar corretamente (ou poder operar corretamente quando seus serviços são requeridos) em um tempo t , desde que o mesmo não seja mal utilizado /27/.

ERRO ALEATÓRIO - Parcela de erro que varia de uma forma imprevisível quando se efetuam várias medições de uma mesma grandeza /adaptação-21/.

Observação:

- a) A fim de melhor caracterizar a sua aplicação, o termo erro aleatório deve vir acompanhado do nome do sistema ou do processo de medição ao qual estiver relacionado. Por exemplo, erro aleatório do SM, erro aleatório da medição.

Termos correlatos:

Em /21,22/

ERRO ALEATÓRIO - *Componente do erro da medição que varia de uma forma imprevisível, quando se efetuam várias medições da mesma grandeza.*

ERRO DE FIDELIDADE - *Componente aleatória do erro de indicação de um "instrumento de medir".*

FIDELIDADE - *Aptidão de um instrumento de medir para dar, sob condições de utilização definidas, respostas muito próximas para aplicações repetidas de um mesmo estímulo.*

- O termo "erro de fidelidade" adotado em /21/ origina-se da tradução de /22/ do correspondente termo em francês "erreur de fidélité". O correspondente termo em inglês é "repeatability error".
- As referências /21,22/ propõem o emprego do termo "erro aleatório" quando se quer referir ao processo de medição e "erro de fidelidade" (/21,22/) ou "erro de repetibilidade" (/22/) quando se quer referir apenas ao SM.

Em /23/

REPETIBILIDADE - *Concordância, dentro de estreitos limites, entre os resultados de medições sucessivas do mesmo valor de uma grandeza, executadas pelo mesmo método de medição, mesmos instrumentos, mesmo observador, no mesmo laboratório, em intervalos de tempo relativamente pequenos e nas mesmas condições.*

ERRO SISTEMÁTICO - Parcela de erro que se mantém constante ou varia de uma forma previsível, quando se efetuam várias medições de uma mesma grandeza /adaptação-21 e 22/.

Observações:

- a) O erro sistemático é a componente sistemática da incerteza.
- b) A fim de melhor caracterizar a sua aplicação, o termo erro sistemático deve vir acompanhado do nome do sistema ou do processo de medição ao qual estiver relacionado. Por exemplo, erro sistemático do SM, erro sistemático da medição.

Termos correlatos:

Em /9/

ERRO SISTEMÁTICO - *Parcela de erro que sempre está presente nas medições efetuadas para um valor da grandeza a medir, realizada com um mesmo SM, sob mesmas condições.*

Em /21,22/

ERRO DE JUSTEZA - *Componente sistemática do erro de indicação de um instrumento de medir.*

ERRO SISTEMÁTICO - *Componente do erro da medição que se mantém constante, ou varia de uma forma previsível, quando se efetuam várias medições da mesma grandeza.*

JUSTEZA - *Aptidão de um instrumento de medir para dar indicações isentas do erro de justeza.*

EXATIDÃO - Aptidão de um instrumento de medir para dar indicações próximas do valor verdadeiro de uma grandeza medida.

- O termo "erro de justeza" foi adotado em /21/ a partir da tradução de /22/ do correspondente termo em francês "erreur de justesse". Em inglês o termo adotado é "bias error".

Em /23/

EXATIDÃO - Qualidade de um instrumento de medição ou de uma medida materializada, que caracteriza a sua aptidão de efetuar medições com resultados próximos dos valores aceitos como verdadeiros.

ESTABILIDADE - Tendência observada em um SM em manter constantes suas características metrológicas /adaptação-9/.

Termos correlatos:

Em /9/

CONFIABILIDADE - Tendência observada em um SM em manter constantes suas características metrológicas.

Em /21,22/

ESTABILIDADE - Aptidão de um SM em conservar constantes suas características metrológicas.

Em /23/

ESTABILIDADE - Aptidão de um instrumento de permanecer com suas características de funcionamento sem alteração durante um intervalo de tempo especificado, com todas as condições mantidas constantes.

- Todas as definições dadas em /9,21,22,23/ tem o mesmo significado. Somente em /9/ emprega-se o termo "confiabilidade".

FAIXA DE MEDIÇÃO ESPECIFICADA - Conjunto de valores de uma grandeza a medir para o qual admite-se que o erro de um sistema de medição mantém-se dentro de limites especificados /21,22/.

Termos correlatos:

Em /9/

FAIXA DE OPERAÇÃO - Intervalo entre o menor e o maior valor da grandeza a medir, no qual o sistema de medição opera, segundo especificações metroológicas estabelecidas.

Em /23/

FAIXA DE MEDIÇÃO - Faixa definida por dois valores da grandeza a medir ou da grandeza a ser fornecida, dentro da qual são especificados os limites de erro de um instrumento de medição.

FAIXA NOMINAL - Conjunto de valores da grandeza medida que pode ser fornecido por um sistema de medição /adaptação-21/.

Observações:

- a) A faixa nominal deve ser especificada pelos limites inferior e superior da escala na unidade da grandeza a medir.
- b) A denominação FAIXA DA ESCALA especifica os limites inferior e superior, na unidade marcada sobre a escala.
- c) A faixa nominal pode referir-se à escala ou ao instrumento. Quando a faixa nominal refere-se ao instrumento, consideram-se todas as faixas nominais de todas as suas escalas.

Termos correlatos:

Em /9/

FAIXA DE INDICAÇÃO - Intervalo entre o menor e o maior valor que um indicador de um SM teria condições de apresentar como leitura (medida).

Em /21/

FAIXA NOMINAL (de um instrumento) - Conjunto de valores da grandeza medida que pode ser fornecido por um instrumento de medir consideradas todas as suas faixas nominais de escala.

Em /21,22/

FAIXA DA ESCALA - Para uma dada escala, é o intervalo compreendido entre os valores correspondentes às marcas extremas da escala.

Observação:

a) A faixa da escala é expressa na unidade marcada sobre a escala.

FAIXA NOMINAL (da escala) - Conjunto de valores da grandeza medida para o qual o instrumento de medir fornece valores dentro da faixa de escala correspondente a uma determinada posição do(s) dispositivo(s) seletor(es).

Em /23/

FAIXA NOMINAL - Valor fiducial ou o limite superior da faixa de medição.

FAIXA DE UTILIZAÇÃO NOMINAL - Faixa de valores que uma grandeza de influência pode assumir, sem causar variação que exceda limites especificados.

- O significado do termo "faixa de utilização nominal", adotado em /23/, não é o mesmo do "termo faixa nominal", como adotado no presente trabalho. O termo em /23/ refere-se à grandeza de influência.

GRANDEZA A MEDIR - Grandeza submetida a medição /9,21,22,23/.

Observação:

a) Também denominada "estímulo".

HISTERESE - É um erro dado pela diferença entre a indicação para um dado valor da grandeza a medir quando esta foi atingida por valores crescentes e a indicação quando atingida por valores decrescentes da grandeza a medir /adaptação-9/.

Termos correlatos:

Em /9/

HISTERESE - É um erro de medição que ocorre quando a diferença entre a indicação para um dado valor da grandeza a medir quando esta foi atingida por valores crescentes e a indicação quando atingida por valores decrescentes da grandeza a medir.

Em /21,22/

HISTERESE - Propriedade de um instrumento de medir pela qual a resposta a um dado estímulo depende da sequência dos estímulos precedentes.

INCERTEZA - Faixa numérica que, com probabilidade definida ou estimada, indica o máximo valor de erro de um instrumento, de um sistema de medição ou de um processo de medição, sob condições especificadas de operação /dp/.

Observações:

- a) A fim de melhor caracterizar a sua aplicação, o termo **INCERTEZA** deve vir acompanhado do nome do instrumento, sistema ou processo de medição ao qual estiver relacionado. Por exemplo: Incerteza do transdutor, incerteza do SM, incerteza da medição, etc.
- b) As incertezas das medições, quando se consideram os erros de medição como um todo podem ser chamadas, indistintamente, de **INCERTEZA DA MEDIÇÃO** ou **INCERTEZA DO RESULTADO**.
- c) Para instrumentos e sistemas de medição, a incerteza ao longo da sua faixa de medição especificada pode ser expressa pelo parâmetro **CLASSE DE EXATIDÃO**, indicada por um número ou símbolo adotado por convenção e denominado **ÍNDICE DE CLASSE**. Isto é mais comum em instrumentos elétricos.
- d) Outro termo utilizado para caracterizar a incerteza é **PRECISÃO**. O uso deste termo não é recomendado nas referências /9,21,22/ e não definido em /23/.

Termos correlatos:

Em /9/

INCERTEZA DE MEDIÇÃO (do SM) - Expressa a faixa que necessariamente contém o erro máximo (em termos absolutos) que o SM poderá impor à medida, ao longo de toda a sua faixa de operação.

INCERTEZA DO RESULTADO - Faixa de valores em torno do resultado base dentro da qual se estima encontrar o valor verdadeiro da grandeza medida.

- O termo "incerteza de medição do SM", como empregado em /9/, é inconveniente, na medida em que as outras referências utilizam o termo "incerteza de medição" aplicado à medição e não ao SM.

Em /21,22/

INCERTEZA DA MEDIÇÃO - Estimativa caracterizando a faixa dos valores dentro da qual se encontra o valor verdadeiro da grandeza medida.

ERRO (de indicação) do SM - Diferença entre a indicação de um instrumento de medir e o valor verdadeiro convencional da grandeza medida. A componente sistemática do erro de indicação de um sistema de medição é denominada "erro de justeza". A componente aleatória é denominada "erro de fidelidade".

EXATIDÃO de um instrumento de medir - Aptidão de um instrumento de medição para dar indicações próximas ao valor verdadeiro de uma grandeza medida.

- É necessária a existência de um termo para exprimir o erro máximo de um SM. Contudo, pelo que se deduz das referências /21,22/, o termo "erro (de indicação) do SM" refere-se ao erro que é avaliado em cada ponto da faixa de medição especificada e não a um valor máximo, como necessário.

Em /23/

INCERTEZA DE MEDIÇÃO - Valores máximos dos erros que ocorrem durante uma medição.

EXATIDÃO - Qualidade de um instrumento de medição ou de uma medida materializada, que caracteriza a sua aptidão de efetuar medições com resultados próximos dos valores aceitos como verdadeiros.

- O termo "exatidão" é empregado em /21,22,23/, apenas de forma qualitativa.

INDICAÇÃO - Valor de uma grandeza a medir fornecido por um sistema de medição /21,22/.

Observação:

- a) A indicação é expressa em unidades da grandeza a medir, qualquer que seja a unidade marcada sobre a escala.

- Termos correlatos: Ver "indicação direta".

INDICAÇÃO DIRETA - Valor obtido diretamente da escala do sistema de medição /21,22/.

Termos correlatos:

Em /9/

LEITURA - Dado bruto obtido diretamente do sistema de medição, constituído de um número e da unidade de leitura.

MEDIDA - É o valor correspondente ao valor momentâneo da grandeza a medir no instante da leitura e obtido pela aplicação dos parâmetros do sistema de medição à leitura e expressa por um número acompanhado da unidade da grandeza a medir.

Em /21,22/

INDICAÇÃO - Ver a definição usada no trabalho.

INDICAÇÃO DIRETA - Ver a definição usada no trabalho.

VALOR TRANSFORMADO (de uma grandeza medida) - Valor de uma grandeza que está associado à grandeza medida e que tem uma função de interligação com esta grandeza.

Observação:

- a) O valor transformado pode ser interno a um sistema de medição ou pode ser fornecido como saída deste sistema.

Em /23/

INDICAÇÃO (de um instrumento de medição) - Valor indicado pelo instrumento. O valor da grandeza medida pode ser indicado diretamente em unidades dessa grandeza ou em unidades que devem ser multiplicadas pela constante do instrumento.

LEITURA - Valor indicado por um instrumento.

MEDIDA - Valor de uma grandeza física obtido por medição.

- De acordo com as definições adotadas nas referências /9,21,22,23/, observa-se que não há distinção de significado entre os termos "indicação direta" e "leitura" e entre "indicação" e "medida".

ÍNDICE DE CLASSE - Ver classe de exatidão

INTERVALO DE CALIBRAÇÃO - Tempo compreendido entre sucessivas calibrações de um sistema de medição ou de um instrumento /adaptação-28/.

Termos correlatos:

Em /28/

INTERVALO DE RECALIBRAÇÃO - Período máximo entre sucessivas calibrações de padrões de referência e equipamentos de medição.

Em /15/ utiliza-se o termo intervalo de calibração, sem que uma definição formal seja apresentada.

Outros termos com o mesmo significado são também utilizados, tais como período de recalibração /27/, intervalo de recalibração /28/, frequência de calibração /9/, intervalos de validação /6/ e ciclos de calibração /8/. O termo ciclo de calibração não é de uso recomendado, já que é utilizado na operação de calibração para descrever o modo e o número de vezes da aplicação de valores conhecidos da grandeza a medir (padrão) /9,29/.

INSTRUMENTAÇÃO - Conjunto de técnicas e instrumentos usados para observar, medir, registrar, controlar e atuar em fenômenos físicos. A instrumentação preocupa-se com o estudo, desenvolvimento, aplicação e operação dos instrumentos /9/.

INSTRUMENTO DE MEDIÇÃO - Elemento físico concebido com a função de fazer medições, sozinho ou agrupado com outros elementos /adaptação-21 e 22/. Por exemplo, micrômetros, ponte amplificadora, voltímetro, máquina de medir por coordenadas, medidor de rugosidade, esquadro, etc.

Termos correlatos:

Em /9/

INSTRUMENTO DE MEDIÇÃO - Sistema de medição de pequeno porte.

Em /21,22/

INSTRUMENTO DE MEDIÇÃO - Dispositivo destinado a fazer uma medição, sozinho ou em conjunto com outros equipamentos.

Em /23/

INSTRUMENTO DE MEDIÇÃO - Dispositivo destinado a detectar ou medir uma grandeza ou a fornecer uma grandeza para fins de medição.

LIMIAR (de mobilidade) - Menor variação da grandeza a medir que provoca uma variação quantificável na resposta de um instrumento de medir /adaptação-21/.

Observação:

- a) O termo que melhor expressa o conceito envolvido é "limiar (de quantificação)", contudo, neste caso não é justificável a criação de mais um termo.

Termos correlatos:

Em /9/

RESOLUÇÃO - *A menor variação da grandeza a medir que pode ser indicada/registrada pelo sistema de medição. A avaliação da resolução é feita em função do tipo de instrumento.*

- *O significado atribuído por /9/ ao termo "resolução" é o mesmo de "limiar (de mobilidade)" aqui adotado.*

Em /21,22/

MOBILIDADE - *Aptidão de um instrumento de medir para responder a pequenas variações do valor do estímulo.*

LIMIAR - *Menor variação de um estímulo que provoca uma variação perceptível na resposta de um instrumento de medir.*

Exemplo: Se a menor variação da carga que provoca um deslocamento perceptível do ponteiro de uma balança é de 90mg, então o limiar de mobilidade da balança é de 90mg.

- *O termo "mobilidade" adotado em /21/ e no presente trabalho é oriundo de /22/, do respectivo termo em francês "mobilité". Em /22/ o termo empregado em inglês é "discrimination".*
- *Relativamente ao termo "limiar" adotado em /21/, têm-se os termos em francês "seuil de mobilité" e em inglês "discrimination threshold".*

Em /23/

DISCRIMINAÇÃO - *Característica de um instrumento, pela qual ele é capaz de responder a pequenas variações da grandeza a medir.*

- *Para maior clareza ver "resolução".*

MANUTENÇÃO - *Operação que visa o restabelecimento do perfeito estado mecânico, elétrico/eletrônico, óptico, etc. de um instrumento a um especificado nível de desempenho /dp/.*

Observação:

- a) *Como exemplo de operações de manutenção pode-se citar as de limpeza, lubrificação, recuperação de partes oxidadas, consertos e troca de componentes.*

MEDIDA MATERIALIZADA - Elemento destinado a reproduzir ou fornecer de maneira permanente, um ou mais valores conhecidos de uma dada grandeza /adaptação-21 e 22/.

Termos correlatos:

Em /9/

GRANDEZA CORPORIFICADA - Elemento físico que representa um valor padrão, conhecido com pequenos erros, de uma grandeza específica. São exemplos: massa padrão, blocos padrão, etc.

Em /21,22/

MEDIDA MATERIALIZADA - Definição semelhante àquela adotada aqui. A única diferença está na troca da palavra dispositivo pela palavra elemento.

Em /23/

MEDIDA MATERIALIZADA - Dispositivo de medição que reproduz de maneira permanente durante a sua vida útil, um ou mais valores conhecidos de uma dada grandeza.

PADRÃO - É um sistema de medição/instrumento de medição/medida materializada destinado a definir, realizar, conservar ou reproduzir uma unidade ou um ou vários valores conhecidos de uma grandeza a fim de transmiti-los por comparação a outros sistemas de medição/instrumento de medição /21,22/.

Observação:

- a) Os padrões podem receber diversas denominações: primário ou secundário, internacional ou nacional, referência ou trabalho e de transferência, de acordo com sua aplicação ou nível hierárquico.

Termos correlatos:

Em /23/

PADRÃO - Instrumento de medição, equipamento ou sistema destinado a definir, representar fisicamente, conservar ou reproduzir, quer a unidade de uma grandeza ou múltiplo ou submúltiplo da mesma (por exemplo, pilha padrão).

PADRÃO DE REFERÊNCIA - Padrão da mais alta qualidade metrológica disponível em um determinado local, em relação ao qual derivam as medições efetuadas nesse local /9,21,22/.

PADRÃO DE TRABALHO - Padrão que é calibrado geralmente por comparação com um padrão de referência, e que é utilizado para calibrar ou ajustar medidas materializadas ou instrumentos de medição /9,21,22/.

Termos correlatos:

Em /23/

PADRÃO DE SERVIÇO - Mesmo significado de padrão de trabalho.

PROCEDIMENTO DE CALIBRAÇÃO - Conjunto completo de operações teóricas e práticas, envolvidas na execução de calibrações, de acordo com um dado método /dp/.

Observação

a) Termo não definido nas referências.

PROCEDIMENTO DE MEDIÇÃO - Conjunto completo de operações teóricas e práticas, envolvidas na execução de medições, de acordo com um dado método /21,22/.

PROCESSO DE CALIBRAÇÃO - Todos os elementos (instrumentos, operador, padrões, condições ambientais, procedimentos, etc.) relativos a uma dada calibração /dp/.

a) Observações:

b) O processo de calibração abrange todos os aspectos relativos à execução e à qualidade da calibração.

c) Termo não definido nas referências.

PROCESSO DE MEDIÇÃO - Todos os elementos (instrumentos, operador, padrões, condições ambientais, procedimentos, etc.) relativos a uma dada medição /adaptação-21 e 22/.

Observação:

a) O processo de medição abrange todos os aspectos relativos à execução e à qualidade da medição.

Termos correlatos

Em /21,22/

PROCESSO DE MEDIÇÃO - Todas as informações, equipamentos e operações relativas a uma dada medição.

RASTREABILIDADE - Propriedade de referenciar o resultado de uma medição a um padrão nacional ou internacional por meio de uma cadeia de comparações, segundo uma hierarquia de padrões /9,21,22/.

RESOLUÇÃO - Expressão quantitativa da aptidão de um sistema de medição de distinguir valores muito próximos da grandeza a medir sem necessidade de interpolação /21,22/.

Termos correlatos:

Em /9/

RESOLUÇÃO - *A menor variação da grandeza a medir que pode ser indicada/registrada pelo sistema de medição. A avaliação da resolução é feita em função do tipo de sistema de medição.*

- *O significado do termo "resolução", como adotado em /9/ é o mesmo de "limiar (de mobilidade)", como adotado neste trabalho.*

Em /23/

RESOLUÇÃO - *A menor variação da grandeza a medir ou fornecer à qual pode ser atribuído um valor numérico sem interpolação.*

- *Para maior clareza, ver o termo "limiar (de mobilidade)".*

RESULTADO DA MEDIÇÃO - Faixa de valores que expressa com segurança estatística definida o valor de uma grandeza medida /adaptação-9/.

Observação:

- É composto de duas parcelas: um valor de referência e uma incerteza do resultado.

Termos correlatos:

Em /9/

RESULTADO DE UMA MEDIÇÃO - *Faixa de valores da grandeza medida que expressa propriamente o que se pode determinar com segurança sobre o valor da grandeza a medir, a partir da aplicação do SM sobre esta. É composto de duas parcelas - o resultado base e a incerteza do resultado.*

- *A forma como se define resultado de uma medição em /9/ dá a entender que apenas o sistema de medição influi na incerteza do resultado da medição.*

Em /21,22/

RESULTADO DE UMA MEDIÇÃO - *Valor de uma grandeza obtido por medição.*

Observações:

- Ao se utilizar este termo deve-se indicar se ele se refere à indicação, ao resultado bruto ou corrigido e se corresponde à média de várias determinações.*
 - Uma expressão completa do resultado de uma medição compreende também a incerteza de medição e os valores de referência das grandezas de influência.*
- *A definição para resultado de uma medição, como apresentada em /21,22/ é um tanto confusa e portanto não foi adotada no presente trabalho.*

Em /23/

MEDIDA - *Valor de uma grandeza física obtido por medição.*

RESULTADO DE UMA MEDIÇÃO - *termo não definido.*

SENSIBILIDADE - *Quociente da variação da resposta de um SM pela variação correspondente da grandeza a medir (estímulo) /9,21,22,23/.*

SENSOR - *Elemento de um sistema de medição que é diretamente aplicado à grandeza a medir e através do qual o sistema de medição é capaz de perceber uma variação da grandeza /adaptação-21 e 22/.*

Termos correlatos:

Em /21,22/

SENSOR - *Elemento de um instrumento de medir ou de uma cadeia de medição, que é diretamente aplicado à grandeza a medir.*

Em /23/

SENSOR - *Dispositivo de entrada de um instrumento de medição, em geral uma unidade separada e ligada ao instrumento por um cordão flexível, que lhe transmite de maneira apropriada a grandeza a medir.*

SISTEMA DE MEDIÇÃO - Conjunto completo de instrumentos de medir e acessórios acoplados para executar uma medição específica /adaptação-21 e 22/.

Termos correlatos:

Em /9/

SISTEMA DE MEDIÇÃO - Denominação genérica para o elemento que, quando aplicado sobre a grandeza a medir, possibilita a sua medição.

Em /21,22/

SISTEMA DE MEDIÇÃO - Conjunto completo de instrumentos de medir e outros dispositivos acoplados para executar uma medição específica.

Em /25/

SISTEMA DE MEDIÇÃO - Conjunto de elementos independentes associados, constituído para atingir um objetivo determinado, realizando medições específicas.

UNIDADE - Determinada grandeza adotada por convenção, utilizada para expressar quantitativamente grandezas de mesma dimensão /21,22/.

Termos correlatos:

Em /9/

UNIDADE - Valor de uma grandeza adotado por convenção, para expressar quantitativamente grandezas de mesma natureza.

VALOR DE UMA DIVISÃO - Diferença entre os valores da escala correspondentes a duas marcas sucessivas /21,22/.

Observação:

a) O valor de uma divisão é expresso na unidade marcada sobre a escala, qualquer que seja a unidade da grandeza a medir.

Termos correlatos:

Em /9/

DIVISÃO DE ESCALA - Corresponde ao valor nominal de variação da leitura entre dois traços adjacentes da escala.

INCREMENTO DIGITAL - *Corresponde à variação do último dígito em instrumentos com indicação digital.*

Em /21,22/

DIVISÃO DA ESCALA - *Parte compreendida entre duas marcas sucessivas quaisquer de uma escala.*

COMPRIMENTO DE UMA DIVISÃO - *Distância entre duas marcas sucessivas quaisquer, medida ao longo da linha do comprimento da escala (unidade de comprimento)*

VALOR DE UMA DIVISÃO - *Definição adotada no trabalho.*

Em /23/

DIVISÃO DA ESCALA - *Intervalo entre dois traços consecutivos quaisquer da graduação da escala.*

COMPRIMENTO DE UMA DIVISÃO - *Parte do comprimento da escala, compreendida entre dois traços consecutivos da graduação da escala.*

INTERVALO DA ESCALA - *Diferença entre os valores da grandeza medida, correspondentes a dois traços consecutivos da graduação da escala.*

- *O termo "resolução", como adotado no presente trabalho, abrange o significado do termo "incremento digital".*

VALOR VERDADEIRO - Valor que caracteriza uma grandeza perfeitamente definida nas condições existentes quando ela é considerada /9,21,22/.

Observação:

- a) O valor verdadeiro de uma grandeza é um conceito ideal e, em geral, não pode ser conhecido exatamente.

VALOR VERDADEIRO CONVENCIONAL - Valor de uma grandeza que, para um determinado objetivo, pode ser assumido como o valor verdadeiro por apresentar erros desprezíveis levando em consideração o objetivo /9,21,22/.

2.3 - TERMINOLOGIA ESPECÍFICA DO CONTROLE GEOMÉTRICO

Estes termos têm como base a terminologia de tolerâncias e ajustes, NBR 6173 /30/ e a norma NB-273 (ISO R-1110) /31/, sobre tolerância de forma e de posição. As outras referências consideradas são /32,33/.

AFASTAMENTO - Diferença entre as dimensões limites de tolerância (máxima e mínima) e a nominal /30/.

CONTROLE GEOMÉTRICO - Compreende o processo de determinação da geometria de elementos sólidos (peças) /adaptação-32/.

DIMENSÃO EFETIVA - Valor obtido medindo-se a peça e que mais se aproxima da dimensão real /adaptação-30/.

Observação:

- a) A dimensão real da peça é impossível de ser determinada pois toda medição está acompanhada de uma incerteza.

Termos correlatos

Em /30/

DIMENSÃO EFETIVA - Valor obtido medindo-se a peça.

DIMENSÃO MÁXIMA ($D_{\text{máx}}$) - Valor máximo admissível para a dimensão efetiva /30/.

DIMENSÃO MÍNIMA ($D_{\text{mín}}$) - Valor mínimo admissível para a dimensão efetiva /30/.

DIMENSÃO NOMINAL (D) - Dimensão em relação a qual os afastamentos são referidos /adaptação-30/.

Observação:

- a) A dimensão nominal é indicativa da ordem de grandeza de cada dimensão da peça.

Termos correlatos:

Em /30/

DIMENSÃO NOMINAL - Dimensão que fixa a origem dos afastamentos.

TOLERÂNCIA DE FABRICAÇÃO - Designa genericamente as tolerâncias dimensional, de forma e de orientação/posição, quando não houver necessidade de se fazer distinção entre cada um dos tipos de tolerância /dp/.

Observação:

- a) Este termo não é definido em nenhuma das referências adotadas neste capítulo.

TOLERÂNCIA DE FORMA, ORIENTAÇÃO/POSICÃO - Define o campo em cujo interior deve ficar situado um elemento geométrico (ponto, linha, superfície ou plano) /31/.

TOLERÂNCIA DIMENSIONAL - Variação admissível da dimensão da peça, dada pela diferença entre as dimensões máxima e mínima /adaptação-30/.

Observação:

- a) Em /30/ o termo tolerância não se encontra adjetivado, uma vez que tal referência trata especificamente de dimensões.

CAPÍTULO 3

CONTROLE GEOMÉTRICO

3.1 - CARACTERIZAÇÃO DO CONTROLE GEOMÉTRICO

Entende-se por controle geométrico o conjunto de meios e procedimentos que levam à determinação da geometria real de elementos sólidos (peças). A descrição da geometria de uma peça envolve a definição dos parâmetros geométricos associados à sua dimensão, forma, orientação/posição. Dimensões e formas são definidas por si só, enquanto que na definição de orientação/posição, algum tipo de referência, pertencente ou não à própria peça é requerido /34/.

Para o presente trabalho é importante considerar os seguintes aspectos associados ao controle geométrico:

- a apresentação do parâmetro geométrico a medir;
- o comportamento metrológico do sistema de medição a ser utilizado;
- o estabelecimento de critérios para a seleção do sistema de medição.

3.2 - PARÂMETROS USUAIS NO CONTROLE GEOMÉTRICO DE PEÇAS

A forma de apresentação dos parâmetros relacionados à geometria de uma peça depende do grupo (dimensão, orientação/posição e forma) ao qual o parâmetro pertence. A fig.3.1 mostra os parâmetros geométricos mais usuais.

Os parâmetros geométricos associados à dimensão são apresentados através de uma dimensão nominal e de um intervalo dentro do qual a dimensão efetiva é aceitável. O tamanho deste intervalo, denominado tolerância dimensional é analisado no item 3.2.1.

Para os grupos "forma" (macrogeometria) e "orientação/posição", os parâmetros são especificados, respectivamente através das tolerâncias de forma e de orientação/posição. No presente trabalho é dada ênfase às tolerâncias de forma e orientação/ posição quando aplicadas a peças, item 3.2.2, onde o parâmetro a ser verificado está relacionado com a posição relativa de elementos geométricos tais como pontos, linhas e superfícies. Em se tratando de máquinas operatrizes, dá-se

um enfoque maior à verificação do parâmetro geométrico trajetória. Para este caso sugere-se a consulta das referências /35,36/.

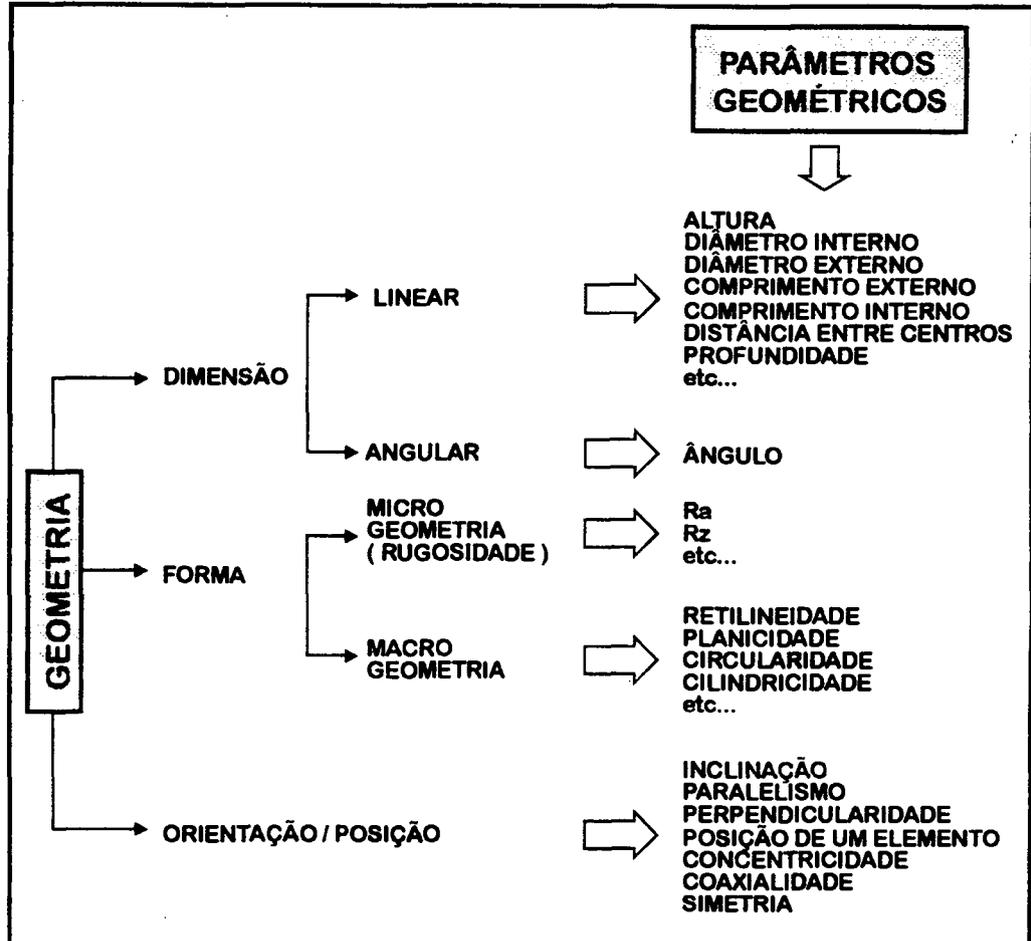


Figura 3.1 - Parâmetros geométricos

3.2.1 - TOLERÂNCIA DIMENSIONAL

A norma ABNT NBR-6173 /30/ descreve a terminologia para tolerância e ajustes, enquanto que as normas ABNT NB-86 /37/, ISO R286 e DIN 7182 definem um sistema constituído de princípios, regras, fórmulas e tabelas que permite a escolha racional da tolerância dimensional de peças mecânicas.

As tolerâncias podem ser indicadas através de símbolos ISO e/ou valores numéricos, como mostrado na fig.3.2.

A simbologia ISO é composta por um número que caracteriza o índice de qualidade de trabalho e por uma letra denominada campo de tolerância que caracteriza a posição da tolerância em relação à linha zero (linha que fixa a dimensão nominal e que serve de origem aos afastamentos). Para furos usam-se letras maiúsculas, enquanto que para eixos usam-se letras minúsculas.

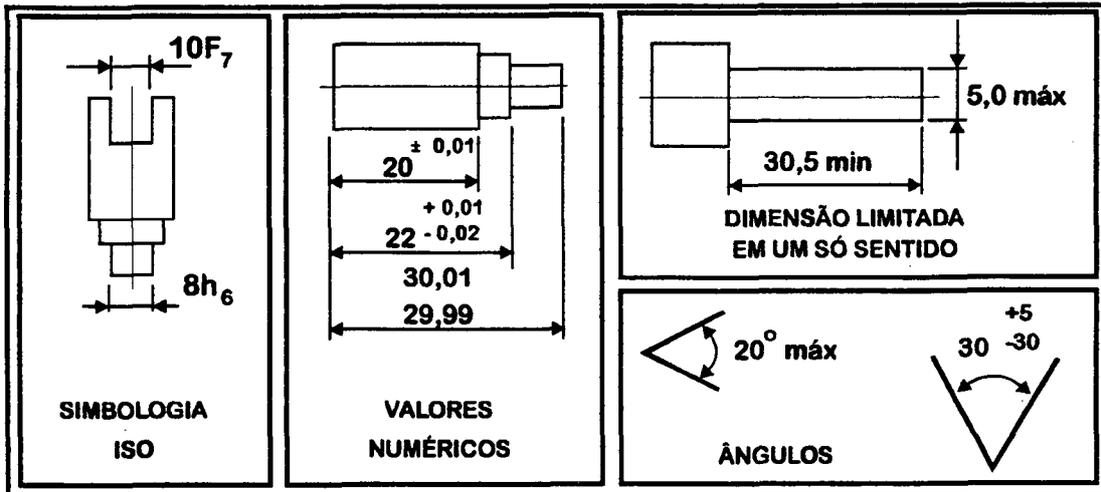


Figura 3.2 - Exemplos de tolerâncias dimensionais

O valor da tolerância é estabelecido em função da qualidade de fabricação (a qual depende da aplicação da peça) e da unidade de tolerância (i), que por sua vez leva em consideração a dimensão nominal (D). Na fig.3.3 é mostrado como se dá a dependência da tolerância com a qualidade de trabalho e a unidade de tolerância. Observe-se que tolerâncias mais estreitas, normalmente aplicadas em calibradores e padrões de medidas /38/, estão associadas a índices de qualidade menores.

Uma vez conhecida a tolerância dimensional, é necessário que se defina um afastamento de referência para que o outro afastamento possa ser calculado. Os afastamentos de referência são valores normalizados /37/ e são determinados pelas posições dos campos de tolerância, conforme representado esquematicamente na fig.3.4.

Não é raro encontrar especificações (desenhos) sem indicação de tolerância (cotas livres). Para estes casos as normas ABNT 112 /39/ e DIN 7168 estabelecem regras para determinar os valores das tolerâncias da dimensão nominal. As tolerâncias são tomadas simétricas em relação à dimensão nominal e são classificadas em função do acabamento da peça e do grupo de dimensão no qual a cota livre estiver enquadrada. Isto é mostrado na fig.3.5.

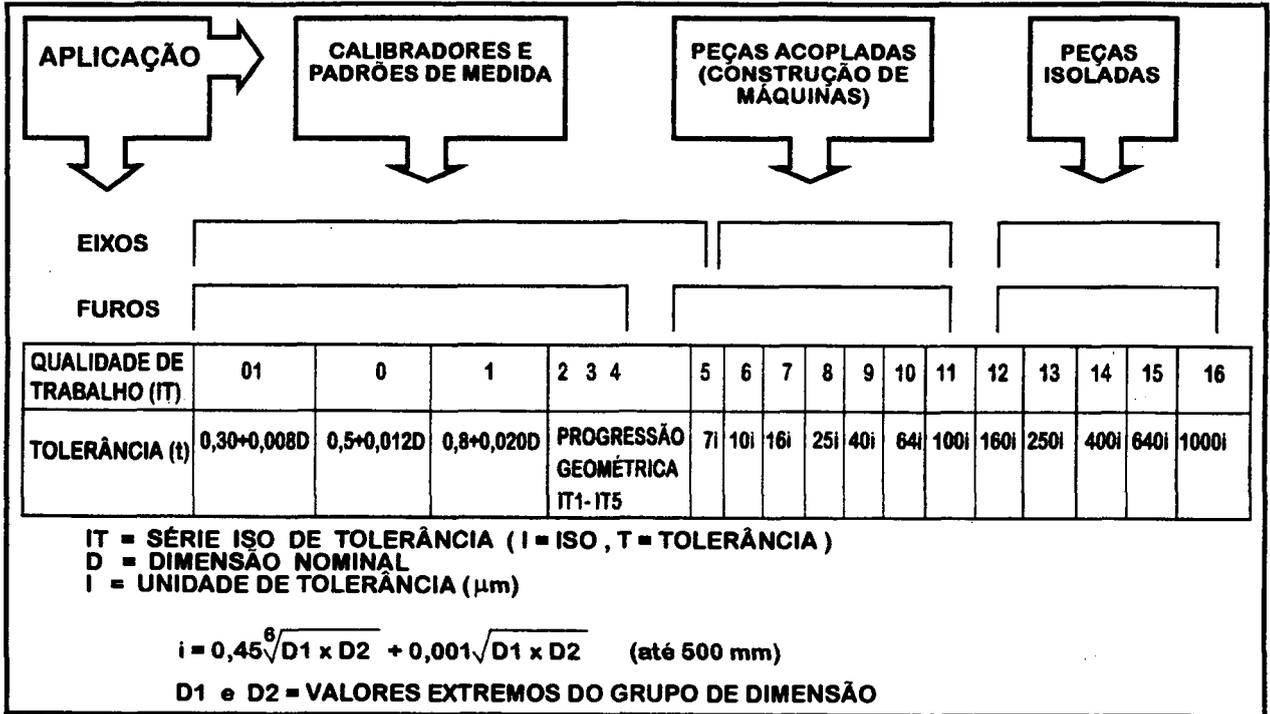


Figura 3.3 - Tolerância dimensional e qualidade de trabalho

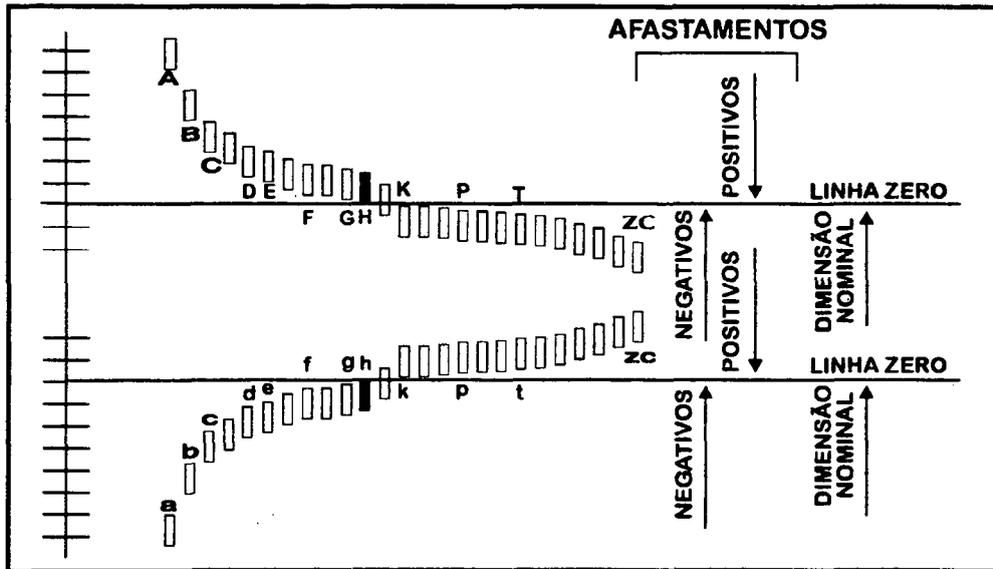
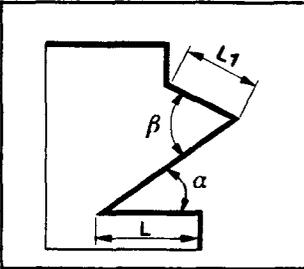


Figura 3.4 - Tolerância dimensional - campos de tolerância

AFASTAMENTOS E TOLERÂNCIAS PARA DIMENSÕES LINEARES (mm)									
GRAU DE PRECISÃO		GRUPOS DE DIMENSÕES							
		ATÉ 6	DE 6 a 30	DE 30 a 120	DE 120 a 315	DE 315 a 1000	DE 1000 a 2000	DE 2000 a 4000	ACIMA DE 4000
GROSSEIRA	AFASTAMENTO	± 0.2	± 0.5	± 0.8	± 1.2	± 2	± 3	± 4	± 5
	TOLERÂNCIA	0.4	1.0	1.6	2.4	4	6	8	10
MÉDIA	AFASTAMENTO	± 0.1	± 0.2	± 0.3	± 0.5	± 0.6	± 1.2	± 2	± 3
	TOLERÂNCIA	0.2	0.4	0.8	1	1.6	2.4	4	6
PRECISO	AFASTAMENTO	± 0.05	± 0.1	± 0.15	± 0.2	± 0.3	± 0.5	-	-
	TOLERÂNCIA	0.1	0.2	0.3	0.4	0.6	1	-	-

AFASTAMENTOS E TOLERÂNCIAS PARA DIMENSÕES ANGULARES					
	GRAU DE PRECISÃO	GRUPO DE DIMENSÕES			
		Dimensões do lado menor (ver a figura ao lado)			
		DE 3 A 6	DE 6 A 30	DE 30 A 120	ACIMA DE 120
GROSSEIRO					
MÉDIO		± 1'	± 30'	± 20'	± 10'
PRECISO					

CONSIDERA-SE O LADO MENOR: para o ângulo α , dimensão L
para o ângulo β , dimensão L1

Figura 3.5 - Afastamentos e tolerâncias para dimensões livres

3.2.2 TOLERÂNCIA DE FORMA, ORIENTAÇÃO/POSIÇÃO

As tolerâncias de forma são definidas como o grau de variação das superfícies reais com relação aos sólidos geométricos que as definem. Podem ser classificadas em microgeométricas (rugosidade superficial) e macrogeométricas /33/.

As tolerâncias de orientação/posição são definidas como o afastamento espacial entre as diversas superfícies reais entre si, com relação ao seu posicionamento teórico.

As normas ABNT NB-273 /31/, ISO R1110 e DIN 7184 estabelecem uma metodologia para representar tolerâncias de forma, orientação e posição através da combinação de números, letras e símbolos, montados em uma estrutura normalizada, como exemplificado na fig.3.6.

	SIMBOLOGIA	PARÂMETRO GEOMÉTRICO	DESVIO EM RELAÇÃO A	DEFINIÇÃO	ESQUEMA	NÚMERO DE REFERÊNCIAS
FORMA		RETILINEIDADE	UMA RETA			—
		PLANICIDADE	UM PLANO			—
		CIRCULARIDADE	UMA CIRCUNFERÊNCIA			—
		CILINDRICIDADE	UM CILINDRO			—
ORIENTAÇÃO / POSIÇÃO		PARALELISMO	UMA DISTÂNCIA			1
		PERPENDICULARIDADE OU ORTOGONALIDADE	UM ÂNGULO RETO			1
		INCLINAÇÃO	UM ÂNGULO NOMINAL			1
		POSIÇÃO	COORDENADAS			2 / 3
		SIMETRIA	UM PLANO OU RETA			1
		COAXIALIDADE	POSIÇÃO DE EIXOS			2 / 3
			CONCENTRICIDADE	COORDENADAS DOS CENTROS		

Figura 3.7 - Simbologia das tolerâncias de forma/orientação/posição

A maneira como o símbolo \textcircled{M} deve ser interpretado é melhor explicada através dos exemplos mostrados na fig.3.9 e na fig.3.10. No primeiro caso, o \textcircled{M} acompanhando a especificação da tolerância de posição/orientação de um conjunto de parâmetros geométricos indica que a tolerância de posição/orientação de cada parâmetro geométrico em particular pode ser aumentada caso o mesmo se afaste da condição de \textcircled{M} . A quantidade que o valor do parâmetro geométrico se desvia da \textcircled{M} é somado à tolerância especificada. Esta tolerância extra é chamada bônus, fig.3.9.

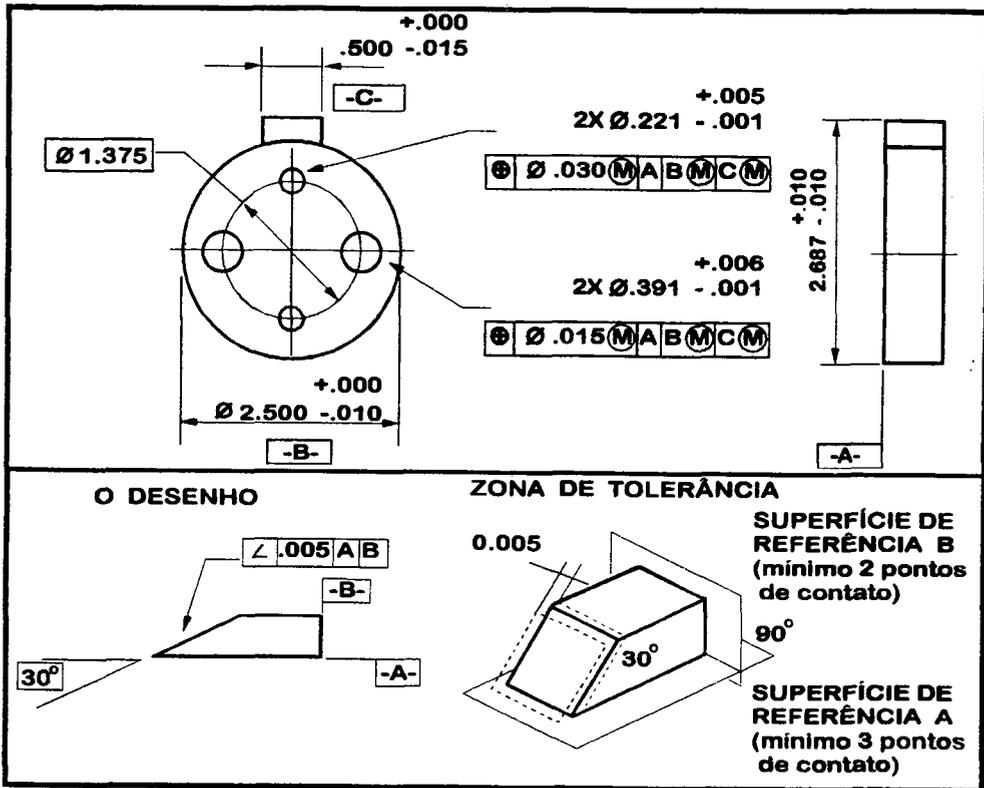
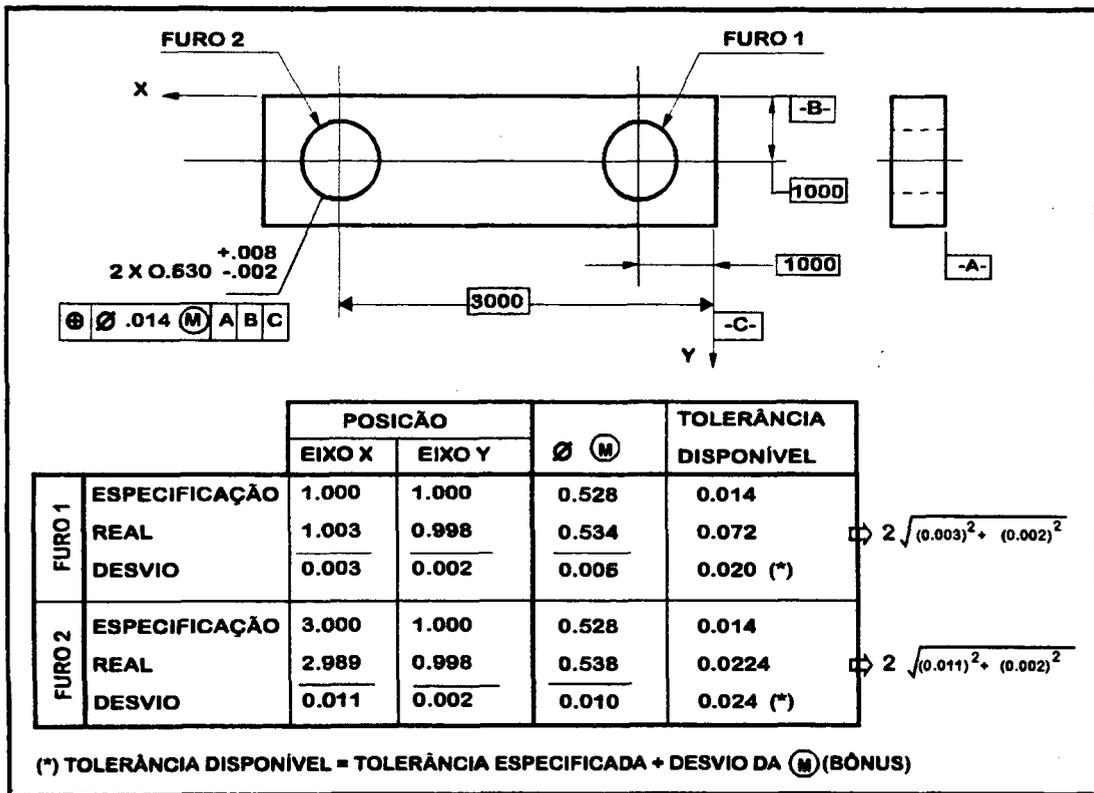


Figura 3.8 - Exemplos de elementos de referência na indicação das tolerâncias de posição/orientação /40/



Quando o símbolo \textcircled{M} acompanha um elemento dimensional de referência, então pode-se admitir uma tolerância adicional no posicionamento do conjunto dos parâmetros geométricos (tomado como um todo), caso o elemento de referência se afaste da sua condição de \textcircled{M} . Ver fig.3.10.

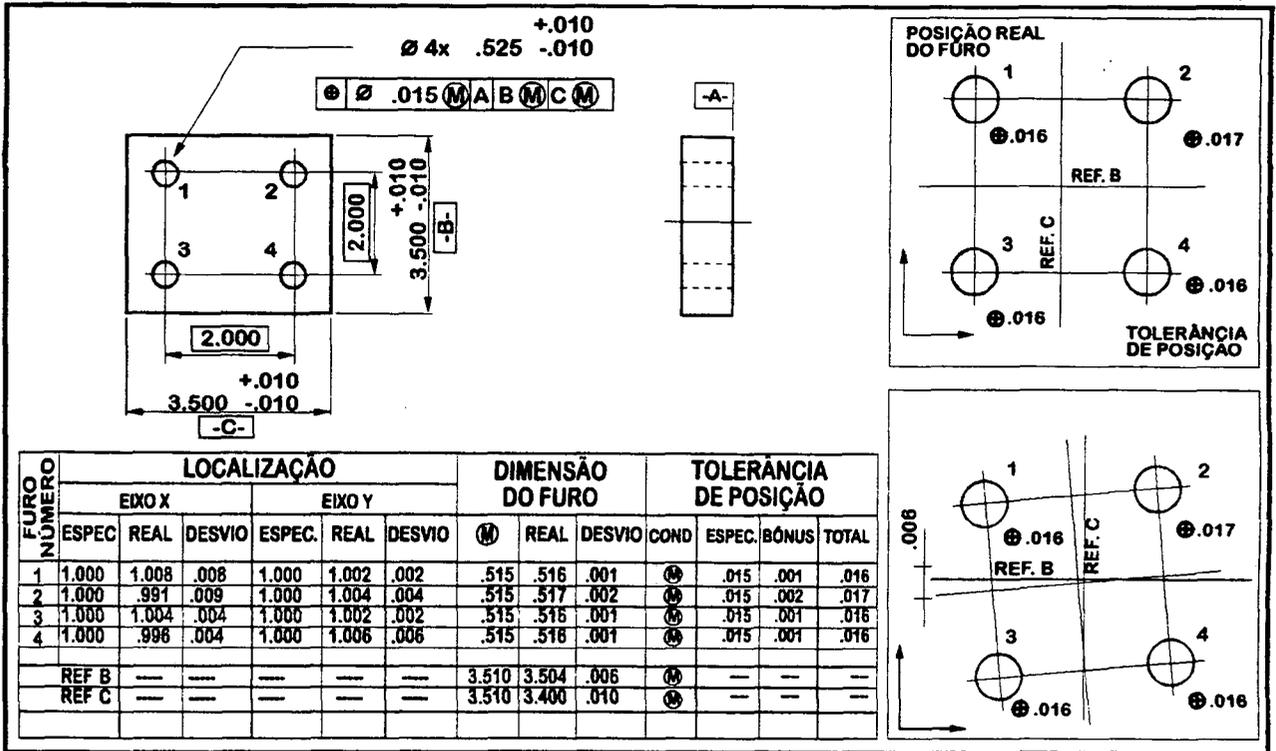


Figura 3.10 - Exemplo de aplicação da condição de máximo material ao elemento de referência /41/

Outros aspectos relativos à apresentação dos parâmetros geométricos e que devem ser considerados no controle geométrico são:

- se apenas uma tolerância dimensional é prescrita, deve-se entender que ela limita também algumas tolerâncias de forma e de posição /31,42/. A fig.3.11 mostra a ordem de grandeza das tolerâncias;
- uma tolerância de forma e de posição pode estar indicada, ainda que alguma tolerância dimensional não tenha sido prescrita /31,33/;
- a falta de indicações de uma tolerância de forma ou de posição não implica, necessariamente, no uso de um processo particular de medição ou verificação /31,33/.

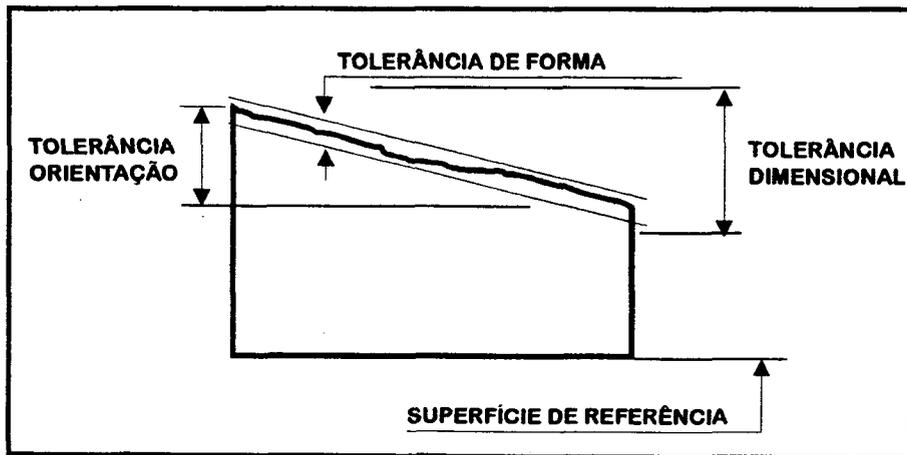


Figura 3.11 - Ordem de grandeza relativa das tolerâncias /42/

Exemplos de ordem de grandeza de tolerância de fabricação para alguns componentes são mostrados na fig. 3.12 .

FAIXAS DE TOLERÂNCIA	MECÂNICOS	ELETRÔNICOS	ÓPTICOS
200 μm	- ACESSÓRIOS AUTOMOTIVOS	- PEÇAS ELÉTRICAS DE USO GERAL (p. ex. motores, conectores)	- CORPOS DE CÂMERAS, TELESCÓPIOS E BINÓCULOS
50 μm	- PEÇAS MECÂNICAS DE USO GERAL (p. ex. para motores)	- TRANSISTORES, DIODOS - CABEÇAS MAGNÉTICAS PARA GRAVADORES	- DIAFRAGMA DE CÂMERAS, DISPOSITIVOS DE FIXAÇÃO DE LENTES PARA CÂMERAS E MICROSCÓPIOS
5 μm	- PARTES MECÂNICAS DE ALGUNS RELÓGIOS - MANCAIS PARA MÁQUINAS-FERRAMENTAS - ALGUMAS ENGRENAGENS - PARAFUSOS DE ESFERAS RECIRCULANTES - PARTES ROTATIVAS DE COMPRESSORES	- RELÉS ELÉTRICOS, RESISTORES, - CONDENSADORES - WAFERS DE SILÍCIO - MÁSCARAS PARA TV COLORIDO	- LENTES - PRISMA - FIBRAS ÓPTICAS E CONECTORES MULTI-MODO
0,5 μm	- ROLAMENTOS DE ESFERAS E ROLETES - FIOS TREFILADOS DE PRECISÃO - SERVO-VÁLVULAS HIDRÁULICAS - MANCAIS AEROSTÁTICOS - MANCAIS AERODINÂMICOS PARA GIRO	- ESCALAS MAGNÉTICAS, CCD - OSCILADORES DE QUARTZO - MEMÓRIAS MAGNÉTICAS - LINHAS, IC, TRANSDUTORES DE PRESSÃO - CABEÇAS IMPRESSORAS TÉRMICAS	- LENTES DE PRECISÃO - ESCALAS ÓPTICAS - MÁSCARAS PARA IC - ESPELHOS PARA POLÍGONOS (LASER) - ESPELHOS PARA RAIOS X - CONECTORES PARA FIBRA ÓPTICA MONOMODO
0,05 μm	- BLOCOS PADRÃO - INDENTADORES DE DIAMANTE - MESAS XY DE GRANDE PRECISÃO	- MEMÓRIAS IC - VÍDEO DISCO (eletrônica)	- PLANO ÓPTICO - LENTES FRESNEL DE PRECISÃO - GRADES DE DIFRAÇÃO - VÍDEO DISCO (óptica)
0,005 μm		- VLSI - FILMES SUPERFINOS	- GRADES DE DIFRAÇÃO DE GRANDE PRECISÃO

GCD - CHARGE COUPLED DEVICE
IC - INTEGRATED CIRCUIT
VLSI - VERY LARGE SCALE INTEGRATION

Figura 3.12 - Tolerância de fabricação para alguns componentes modernos /43/

3.3 - INSTRUMENTOS PARA CONTROLE GEOMÉTRICO

3.3.1 - CLASSIFICAÇÃO

O universo de sistemas de medição (SM) e medidas materializadas empregados no controle geométrico pode ser classificado em "famílias", fig.3.13, cada uma delas abrigando, em geral, diferentes modelos de sistemas de medição, ou medidas materializadas.

FILOSOFIA CONTROLE QUALIDADE		DENOMINAÇÃO USUAL DAS "FAMILIAS"		ORDEM DE GRANDEZA INCERTEZA [μ m]	
SISTEMAS DE MEDIÇÃO	ATRIBUTO E POR VARIÁVEL	ESCALAS PAQUÍMETROS MICRÔMETROS		1 a 1000 40 a 100 2 a 10	
		MED. DE DESLOCAMENTOS	- USO GERAL - DE APLICAÇÃO DEDICADA	0,1 a 100	
		MEDIDORES DEDICADOS	- DE BLOCO PADRÃO - DE ÂNGULO - DE RUGOSIDADE - DE ENGRENAGEM - DE ERRO DE FORMA	- CIRCULARIDADE - CONTORNO	
		TRANSFERIDORES NIVEIS			
		MÁQUINAS DE MEDIR	- ÓTICAS - EIXO ÚNICO - TRÊS EIXOS	- PROJETOR DE PERFIL - MICROSCÓPIO DE MEDIÇÃO - VERTICAL - HORIZONTAL	0,5 a 30
		MÁQ. DE MEDIR DEDICADAS	- ENGRENAGEM - DIVISORAS		
		MÁQ. DE MEDIR POR COORDENADAS			0,7 a 70
ATRIBUTO	CALIBRADORES				
MEDIDAS MATERIALIZADAS		BLOCOS PADRÃO DESEMPENOS ESQUADROS RÉGUA/MESA SENO RETAS PADRÃO			

Figura 3.13 - Famílias de sistemas de medição e medidas materializadas mais usuais

As fig.3.14 a 3.18 mostram com maior detalhe as "famílias" das medidas materializadas, medidores de deslocamentos, calibradores, paquímetros, micrômetros e escalas.

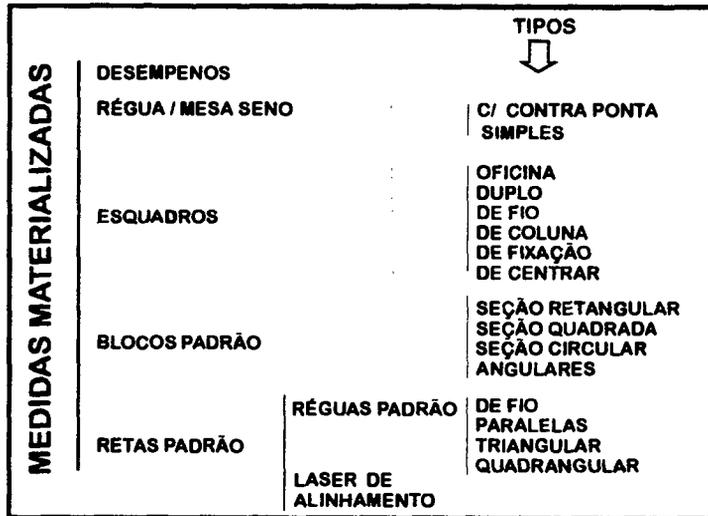


Figura 3.14 - Medidas materializadas mais usuais

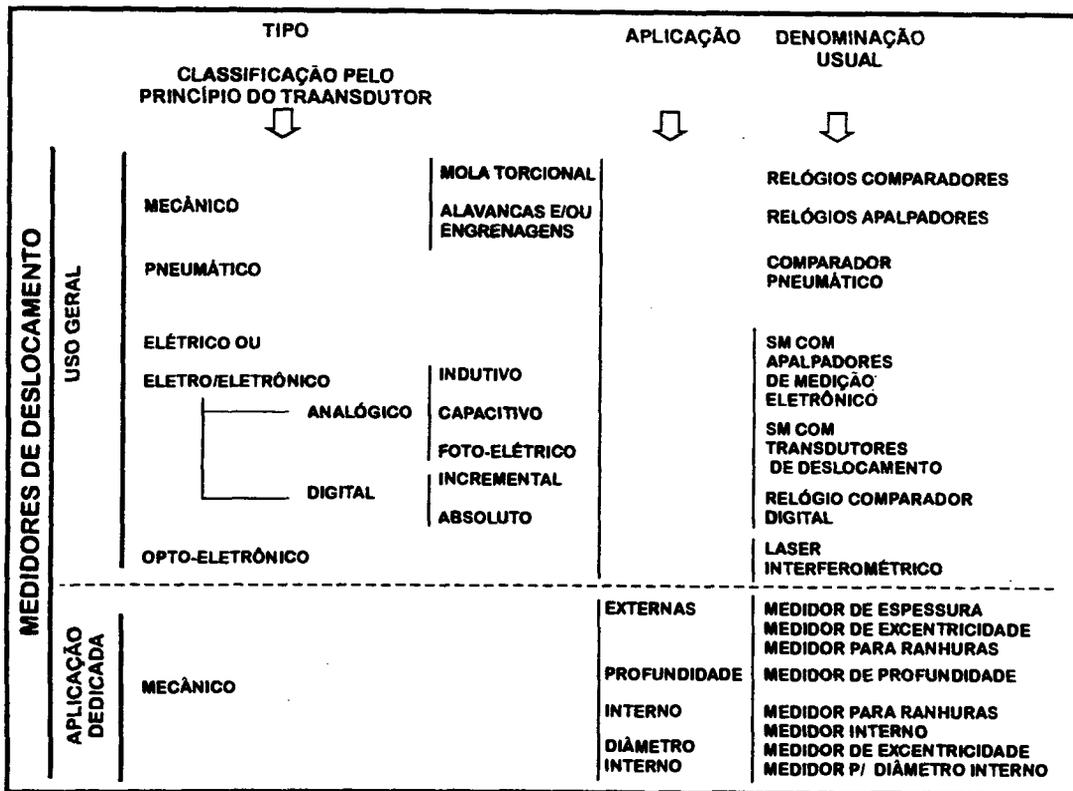


Figura 3.15 - Medidores de deslocamento mais usuais

A classificação dos SM e medidas materializadas em "famílias" como a aqui feita não se apresenta de maneira formal em nenhuma das referências /41,44 a 49/ consultadas para este levantamento. O objetivo de tal classificação é apenas o de permitir uma visão global do universo de SM e medidas materializadas.

Quanto aos nomes empregados, deve-se ressaltar que os mesmos não são padronizados. Existem casos em que a referência a um determinado SM tanto pode ser feita em função de um aspecto construtivo quanto em função da aplicação para a qual o SM é mais comumente empregado. Um exemplo disso são os micrômetros com batentes de forma abaulada /44,45/, os quais são conhecidos também por micrômetros para tubos /46/.

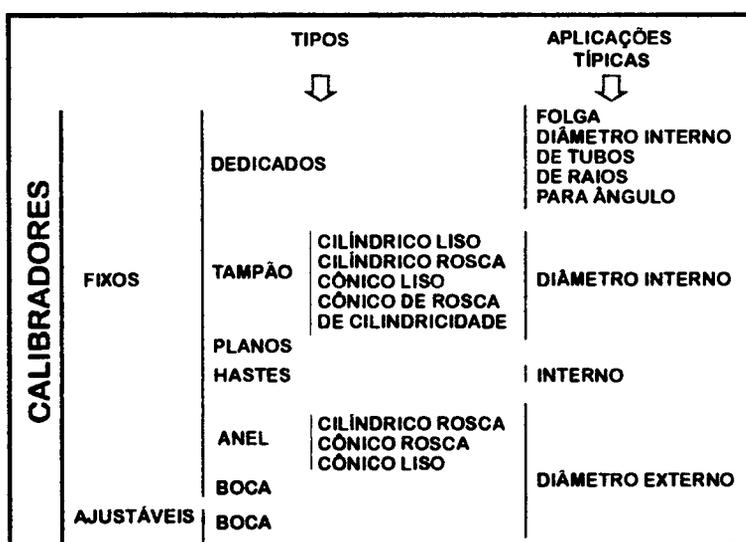


Figura 3.16 - Calibradores mais usuais

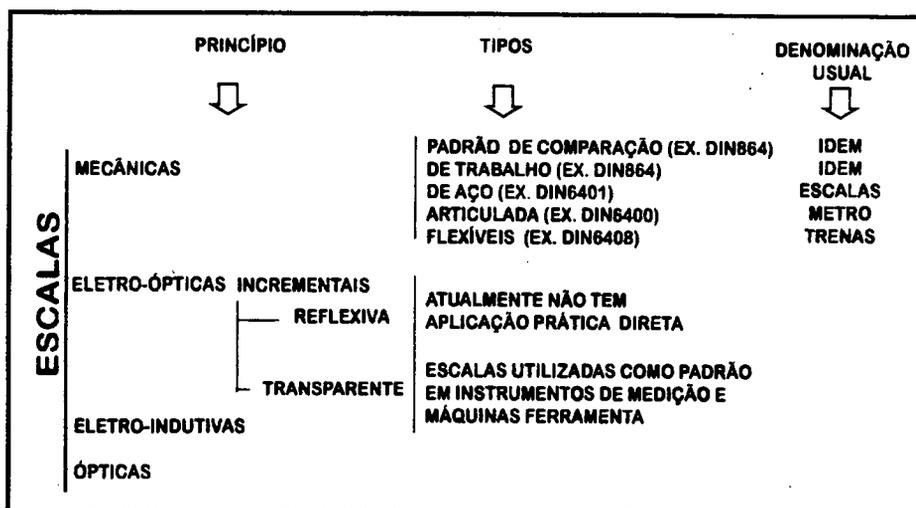


Figura 3.17 - Escalas mais empregadas: tipos e princípios

	TIPO ↓	APLICAÇÃO TÍPICA ↓	DENOMINAÇÃO USUAL ↓
PAQUÍMETROS	MECÂNICO - NÔNIO - RELÓGIO COMPARADOR	EXTERNA	UNIVERSAL BICOS E ORELHAS LONGOS BICOS LONGOS BICOS DE ALTURA REGULÁVEL REVERSÍVEL BICOS CÔNICOS DE ALTURA REGULÁVEL
		INTERNA	COM PONTAS EM ÂNGULO AGUDO BICOS TIPO LÂMINA BICOS FINOS E COMPRIDOS BICOS TIPO GANCHO EXTERNO BICOS TIPO GANCHO INTERNO
	ELETRÔNICO - DIGITAL	PROFUNDIDADE	BICOS CILÍNDRICOS BICOS CURTOS E FINOS BICOS CURTOS COM GANCHO BICOS EXTERNOS MÓVEIS PROFUNDIDADE
		ESPECIAIS	PARA SERVIÇOS PESADOS FORÇA DE MEDIÇÃO AJUSTÁVEL
MICRÔMETROS	MECÂNICO - NÔNIO - DIGITAL - RELÓGIO COMPARADOR	EXTERNAS	EXTERNO BATENTES INTERCAMBIÁVEIS BATENTES DESLIZANTES FUSO NÃO-ROTATIVO ARCO RASO PONTAS TIPO LÂMINAS PONTAS FINAS PONTAS CÔNICAS BATENTE EM V PONTAS HEMISFÉRICAS / PLANAS BATENTES CILÍNDRICOS BATENTE ABAULADO BATENTE RETANGULAR TIPO PAQUÍMETRO PONTAS INTERCAMBIÁVEIS
		PROFUNDIDADE	PROFUNDIDADE HASTES INTERCAMBIÁVEIS
		INTERNO	TIPO PAQUÍMETRO TIPO TUBO HASTE EXPANSIVA
	ELETRÔNICO - DIGITAL	ESPECIAIS	TRÊS PONTOS DE CONTATO (IMICRO) - exclusivo para diâmetros internos
		DIÂMETRO EXTERNO	REBORDO DE LATAS MATERIAIS MACIOS PARA ADAPTAÇÕES
	ÓPTICOS		MICRÔMETRO A LASER
OBSERVAÇÕES			
- AS DENOMINAÇÕES ACIMA SE REFEREM À INDICAÇÃO COM NÔNIO			
- PARA OS DEMAIS CASOS AS DENOMINAÇÕES SÃO ACRESCIDAS DO RESPECTIVO TIPO OE INDICAÇÃO			

Figura 3.18 - Micrômetros e paquímetros mais usuais

Os sistemas de medição podem ser classificados, ainda, considerando diversas outras abordagens, dentre as quais destacam-se:

a) Filosofia do controle de qualidade

No controle de qualidade os parâmetros geométricos podem ser verificados através de controles por variáveis e controles por atributos /50/. No primeiro o objetivo é determinar o valor efetivo do parâmetro, enquanto que no segundo procura-se apenas saber se o parâmetro encontra-se dentro de uma determinada faixa (intervalo).

Enquadram-se na categoria de controle por atributos, os vários tipos de calibradores, fixos e ajustáveis, largamente empregados na verificação de peças produzidas em série. À medida em que se empregam técnicas mais avançadas, automatizadas, na produção e controle de peças, o controle por atributos torna-se menos utilizado. Os sistemas de medição para verificação atributiva são destinados a aplicações específicas e não são explorados neste trabalho.

A grande maioria dos sistemas de medição é destinada à verificação por variáveis, embora possa também, ser utilizada para a verificação atributiva.

b) Aplicabilidade

Existem SM que se aplicam apenas à medição de parâmetros geométricos de uma mesma natureza. É o caso, por exemplo, dos paquímetros, micrômetros, medidores dedicados e outros.

Há também SM capazes de medir um número maior de parâmetros geométricos bem distintos como as máquinas de medir por coordenadas, os microscópios, as máquinas de medir engrenagens, entre outros.

Para fazer distinção entre os SM dos dois grupos, é comum fazer referência aos primeiros, de aplicabilidade mais restrita, como sendo "instrumentos" e aos últimos, de caráter mais universal, como "máquinas" ou "equipamentos". Esta distinção não está prevista na terminologia estabelecida no capítulo 2 e neste trabalho, portanto, emprega-se apenas o termo "sistema de medição", independentemente da aplicabilidade ser menor ou maior.

3.3.2 - SISTEMAS DE MEDIÇÃO

a) Constituição lógica e física

No trajeto percorrido pela informação acerca da grandeza a medir, desde o momento da percepção do estímulo até a resposta em forma inteligível, observa-se, de maneira geral para a grande maioria dos SM, a existência de três elementos lógicos: o transdutor, a unidade de tratamento de sinal (UTS) e o indicador.

O transdutor é o elemento que, submetido à grandeza a medir, percebe a existência desta e como resultado do estímulo recebido gera um sinal de saída no domínio de energia em que se processará o condicionamento do sinal.

O sinal gerado pelo transdutor é processado por uma unidade de tratamento de sinal e entregue ao indicador que apresenta a indicação em um domínio de energia e em uma forma perceptíveis ao usuário.

Maiores detalhes sobre a composição lógica de um sistema de medição podem ser vistos em /9,51,52/.

Os elementos lógicos podem se apresentar de diversas maneiras, dando origem a SM de um ou mais elementos físicos, isto é, SM compostos por um ou mais instrumentos.

Exemplos de medidores de deslocamento de 1,2 ou 3 elementos físicos e os respectivos elementos lógicos são mostrados na fig.3.19.

Escalas e paquímetros são exemplos de sistemas de medição que não possuem estes três elementos lógicos.

Os sistemas de medição podem ser avaliados através de suas características metrológicas e operacionais e características construtivas.

Embora as características construtivas imponham restrições às conexões entre instrumentos e entre instrumentos e acessórios e constituam fatores limitantes à utilização dos SM, estas não são consideradas no presente trabalho.

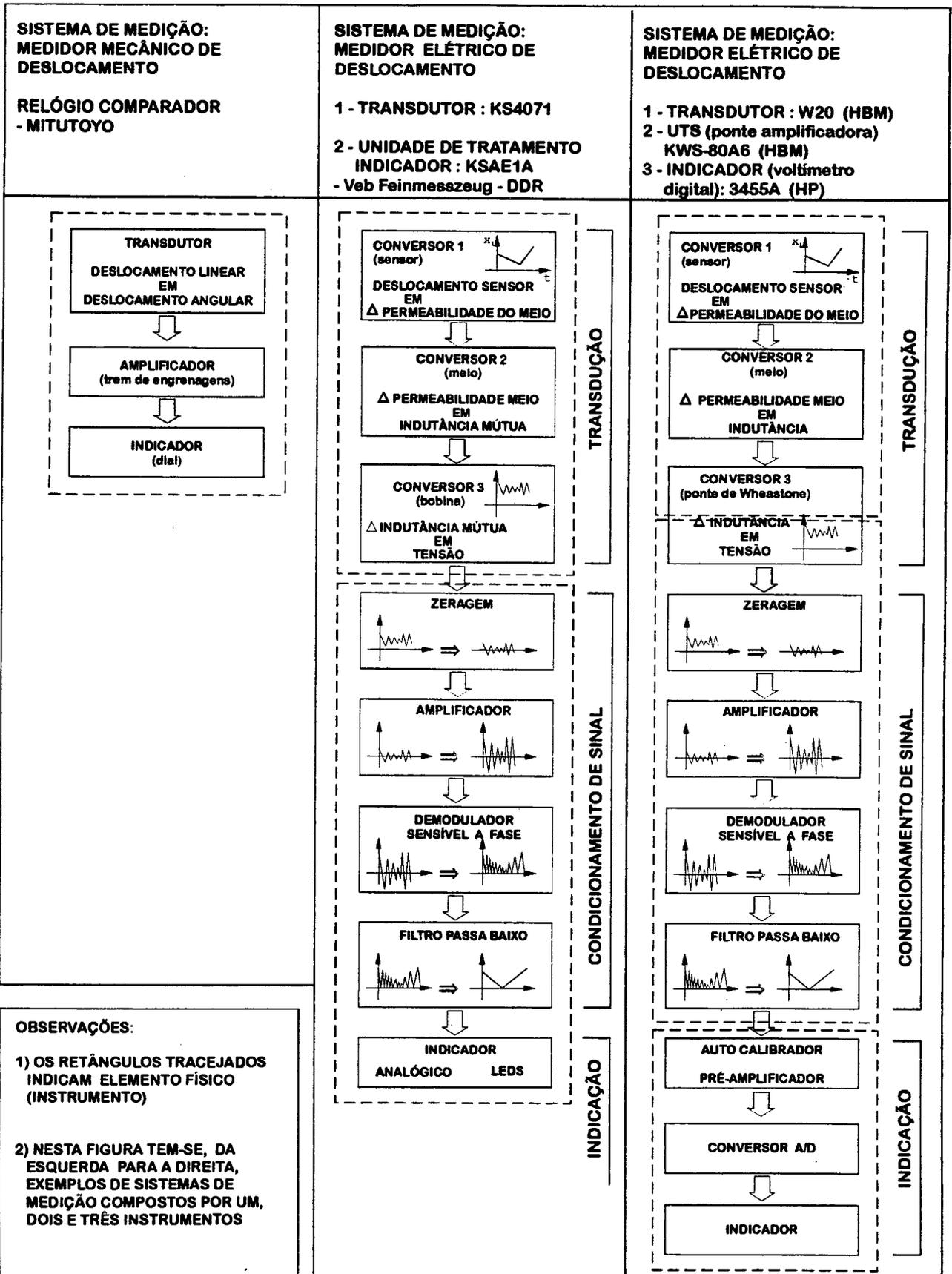


Figura 3.19 - Exemplos de sistemas de medição de 1,2, e 3 módulos /53/

b) Características metroológicas e operacionais

A correta e melhor utilização de um SM requer o conhecimento de suas características metroológicas e operacionais, as quais podem ser classificadas em gerais e específicas /51/.

As características gerais são aquelas que estão presentes na maioria dos SM e que servem de base para a comparação entre eles, fig.3.20. Dentre elas merecem destaque aquelas que tratam dos erros do SM.

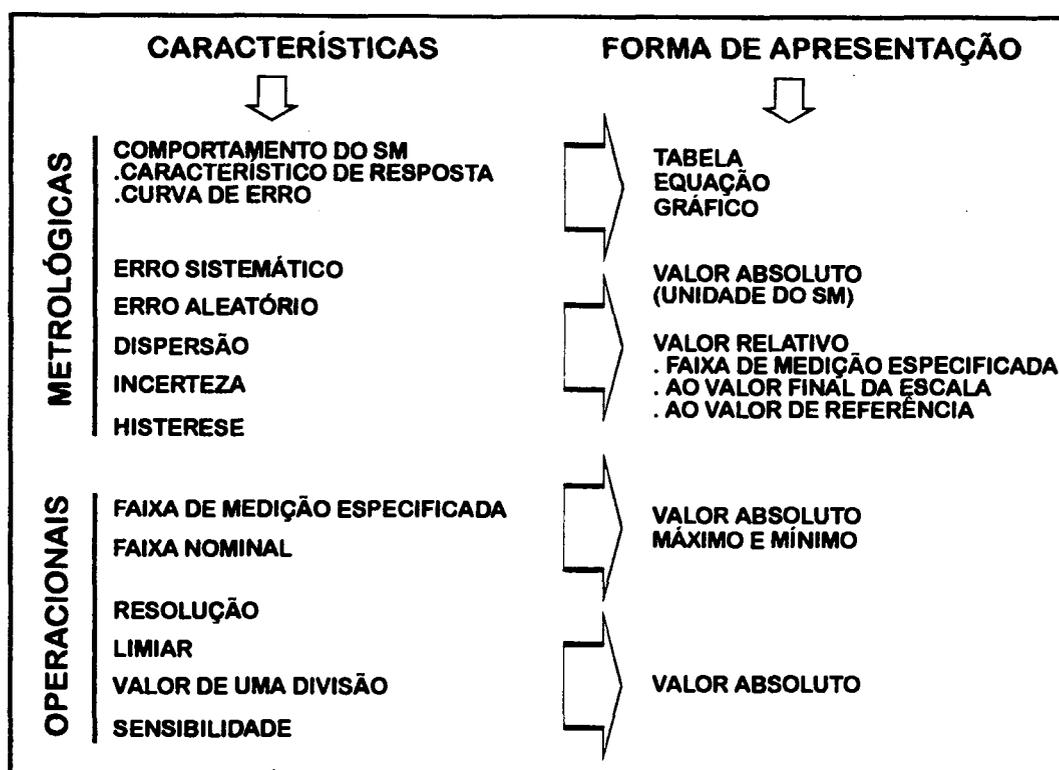


Figura 3.20 - Características metroológicas e operacionais comuns a quase todos os sistemas de medição

O característico de resposta, quando avaliado em toda a faixa de medição, descreve o comportamento do SM, relacionando a indicação (resposta) à grandeza a medir (estímulo). Alternativamente, pode-se apresentar o característico de resposta como uma relação entre erro e indicação. Neste caso emprega-se o termo curva de erro.

A curva de erro é de aplicação mais prática, permitindo uma pronta visualização dos erros sistemáticos e aleatórios do SM em cada ponto da sua faixa de medição especificada.

A curva de erro de um SM pode ser obtida de duas formas. A primeira delas é através de uma composição matemática das curvas de erros individuais de cada instrumento que compõe o SM. Esta alternativa pressupõe que cada instrumento seja calibrado separadamente. A curva de erro assim obtida pode vir a possibilitar apenas uma avaliação aproximada do comportamento do SM, o que, muitas vezes pode ser suficiente para a seleção de um SM para uma tarefa de medição, mas não é o meio adequado para compensação de erros.

A segunda forma de obtenção da curva de erro é através de uma calibração do SM como um todo, isto é, com todos os instrumentos envolvidos. Neste caso obtém-se o comportamento real do SM, sem o conhecimento dos erros individuais dos instrumentos que o compõem.

Para fins de seleção e considerando-se a situação em que se disponha de um grande número de instrumentos que possam ser agrupados de diversas formas para dar origem a SM distintos, certamente será mais conveniente usar curvas de erros obtidas através de composições.

As características metrológicas e operacionais específicas complementam o conjunto de características gerais que estabelecem condições mínimas para a utilização dos SM e são de interesse apenas para cada tipo particular de SM. O estabelecimento de tais características é feito por normas e fabricantes, como exemplificado na fig.3.21.

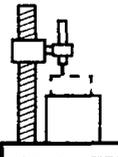
CARACTERÍSTICAS METROLÓGICAS E OPERACIONAIS		
	GERAIS	ESPECÍFICAS
 <p>MEDIDOR DE DESLOCAMENTO ELETRÔNICO (comparador eletrônico)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - FAIXA NOMINAL - FAIXA DE MEDIÇÃO ESPECIFICADA - RESOLUÇÃO - LIMIAR - SENSIBILIDADE - HISTERESE - INCERTEZA - CARACTER. DE RESPOSTA (comportamento do SM) - ERRO SISTEMÁTICO - DISPERSÃO DO SM 	<ul style="list-style-type: none"> - ESTABILIDADE NA INDICAÇÃO (tempo) - INDICAÇÃO DAS DIFERENÇAS (MOD. INDICAÇÃO DIFERENCIAL (A-B)) - INFLUÊNCIA DA VARIAÇÃO DE TENSÃO NA FONTE DE INDICAÇÃO - VARIAÇÃO NA INDICAÇÃO DO ZERO EM DIFERENTES ESCALAS - TEMPO DE RESPOSTA - CURSO DO AJUSTE DO ZERO - TESTE DE ISOLAÇÃO - RIGIDEZ DIELÉTRICA <p>(NORMA JIS B7536 / 82) /54/</p>
 <p>MICRÔMETRO (0,01 mm)</p>		<ul style="list-style-type: none"> - BATIMENTO AXIAL - AJUSTE DO ZERO - FLEXÃO NO ARCO - PLANICIDADE - PARALELISMO <p>(NORMA ABNT - EB 1164/79) /55/</p>

Figura 3.21 - Exemplo de características específicas de dois sistemas de medição

3.3.3 - MEDIDAS MATERIALIZADAS

As medidas materializadas são empregadas como elementos de referência nos processos de medição e de calibração. No primeiro caso é comum o emprego do termo "elemento auxiliar". O uso deste termo não é previsto na terminologia estabelecida no capítulo 2.

Um exemplo clássico da aplicação de medidas materializadas é o uso de blocos padrão na medição diferencial de um comprimento e na calibração de um micrômetro.

As características metroológicas são particulares de cada tipo de medida materializada. A fig.3.23 contém uma relação das principais medidas materializadas e das características metroológicas associadas e/ou erros a serem verificados.

DESEMPENO	PLANICIDADE
ESQUADROS	RETILINEIDADE PERPENDICULARIDADE PARALELISMO INCERTEZA
RETAS	RETILINEIDADE PARALELISMO INCERTEZA
BLOCO PADRÃO	CLASSE DE EXATIDÃO CONSTÂNCIA DE AFASTAMENTO ERROS DE COMPRIMENTO DO MEIO PLANICIDADE

Figura 3.23 - Medidas materializadas: Características

3.4 - CONSIDERAÇÕES ACERCA DA SELEÇÃO DO SISTEMA DE MEDIÇÃO PARA CONTROLE GEOMÉTRICO.

A escolha otimizada de um sistema de medição para controle geométrico só pode ser feita a partir da perfeita caracterização da tarefa de medição. Tal caracterização implica definir o que será medido, bem como estabelecer as condições de contorno que envolvem a medição. Método de medição, ambiente, interação com outros processos e disponibilidade de recursos, precisam obrigatoriamente ser consideradas; fig.3.24. O peso relativo de cada item depende do campo de trabalho onde a tarefa de medição é requerida.

A seguir, analisa-se como se dá a influência de cada um dos fatores determinantes da tarefa de medição na escolha do SM. É dada maior ênfase à grandeza a medir, item 3.4.1, pois esta está diretamente associada às características metroológicas e operacionais e constitui elemento fundamental na seleção do SM. Os demais fatores são agrupados no item 3.4.2.

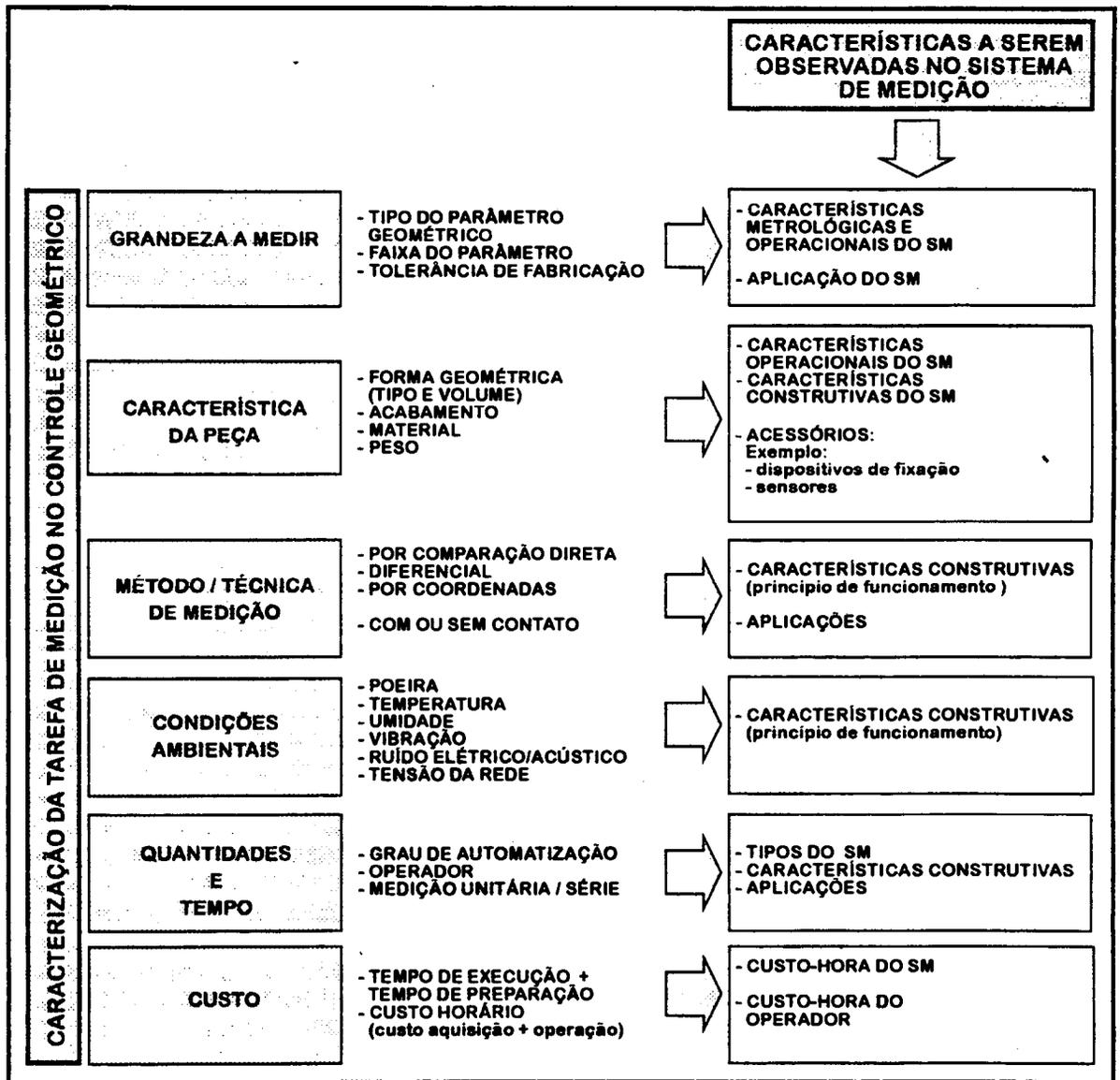


Figura 3.24 - Caracterização da tarefa de medição no controle geométrico

3.4.1 - GRANDEZA A MEDIR

A etapa mais importante na caracterização da tarefa de medição é o levantamento das informações relativas à grandeza a medir. O conjunto de tais informações compreende tipo de parâmetro geométrico a medir, a faixa de valores que a mesmo pode assumir e a tolerância de fabricação.

a) Tipo de parâmetro geométrico:

Exemplos de parâmetros pertinentes ao controle geométrico estão mostrados na fig.3.1. Esta informação é a primeira a ser levada em consideração na escolha de um SM, por ser, em quase todos os casos, a mais restritiva.

b) Faixa de valores que o parâmetro geométrico a medir pode assumir:

É necessário que a faixa de valores do parâmetro geométrico a medir, ou o valor nominal deste, se for o caso, esteja contida dentro da faixa de medição especificada do sistema de medição.

A faixa de valores do parâmetro geométrico a medir depende do método de medição, direto ou diferencial, a ser empregado.

c) Tolerância de fabricação:

Aspecto da maior importância em metrologia envolve a relação entre a incerteza da medição (I_m) e a tolerância de fabricação (t). Esta relação não é única e deve ser determinada de forma adequada para cada nova aplicação, ponderando-se entre o que é realizável e entre o que é necessário.

Dentre as diversas relações I_m/t mais comumente empregadas, fig.3.25, a que mais tem sido utilizada, por ser a mais conservativa, é a chamada "regra de ouro da metrologia", também conhecida por "regra dos dez" ou "regra um para dez", que estabelece que a incerteza da medição deve ser dez vezes menor que a tolerância da fabricação da peça a verificar.

Se por um lado o emprego da "regra de ouro" pode ser necessário nos casos em que o custo associado ao refugo da peça (custo do erro) é elevado, por outro, à medida em que se fabricam peças com tolerâncias menores, característica fundamental da mecânica de precisão,

o emprego da "regra de ouro" é inviável tanto do ponto de vista técnico quanto do econômico. Neste caso, relações menos conservativas devem ser usadas, como sugerido por /58/. Esta mesma referência apresenta valores da incerteza do processo de medição a ser empregado, em função dos grupos de dimensões e qualidade de trabalho (padronizados pela ISO).

REFERÊNCIA	RELAÇÃO
9/47/48/52 regra de ouro da metrologia	$Im = \pm t / 10$
/56,57/	$Im \leq \pm (1/10 \dots 1/5) t$
/58,59/	$Im = \pm t/2,5$

Figura 3.25 - Relações Im/t usuais

Uma justificativa mais consistente para o emprego de uma ou outra relação, excetuadas as situações especiais, é apresentada a seguir, para os casos de controle geométrico de peças e na calibração de instrumentos.

Em se tratando de processos controlados estatisticamente, a definição da relação Im/t determina a capacidade do processo de medição em controlar o processo de fabricação e em permitir, em conjunto com o índice de capacidade¹ do processo de fabricação /60/, um nível satisfatório de decisões corretas em relação à aceitação ou rejeição de peças.

Conforme mostrado qualitativamente na fig.3.26, para uma peça cuja dimensão efetiva está longe dos valores limites (dimensão máxima e dimensão mínima), não existem riscos de a incerteza da medição levar à rejeição da peça. Neste caso, a probabilidade de aceitação é praticamente 100%. Por outro lado, para uma peça cuja dimensão efetiva está próxima dos valores limites, existe a possibilidade de se cometer erros de avaliação. Isto é, existe a probabilidade de uma peça boa ser tomada como ruim, risco α , e de uma peça ruim ser tomada como boa, risco β . Neste caso a probabilidade de aceitação é bem menor que 100%.

¹ O índice de capacidade (CI), para um processo centrado em relação aos valores limites (dimensão máxima e dimensão mínima) é definido como:

$CI = \text{tolerância de fabricação} / \text{dispersão do processo de fabricação}$.

Para o caso de um processo não centrado, o índice de capacidade é o menor valor entre:

$CI_{inf} = (\text{média do processo} - \text{dimensão mínima}) / \text{dispersão do processo de fabricação}$.

$CI_{sup} = (\text{dimensão máxima} - \text{média do processo}) / \text{dispersão do processo de fabricação}$.

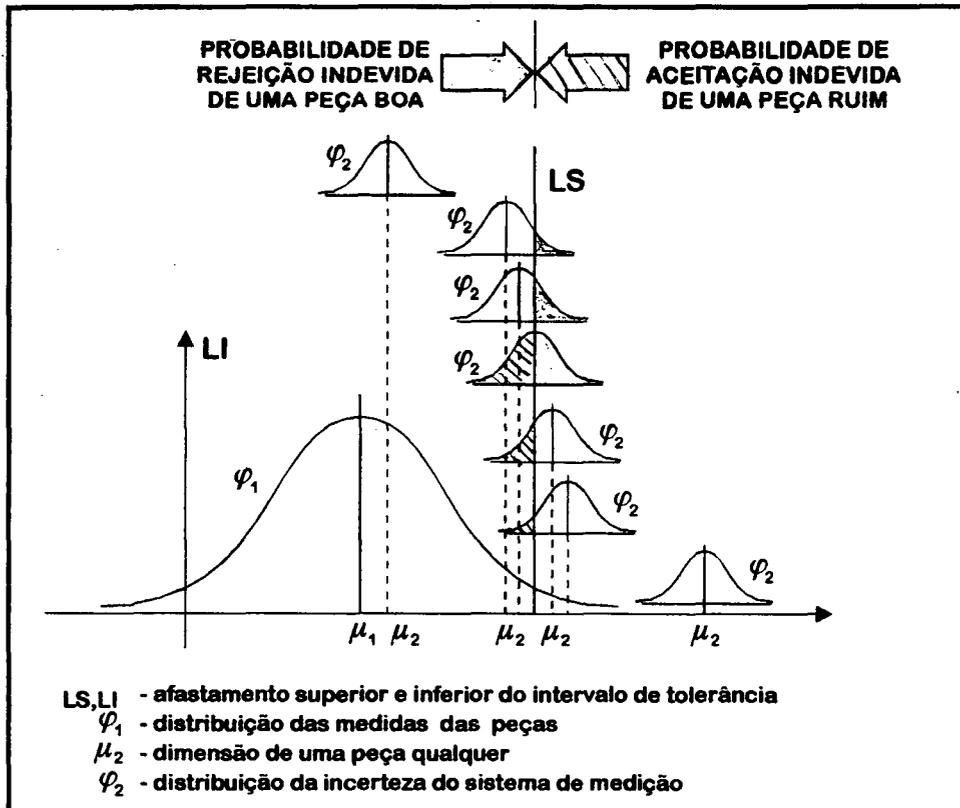


Figura 3.26 - Influência da incerteza da medição sobre a probabilidade de aceitação ou rejeição de peças

Para um certo processo de medição, a curva que mostra a probabilidade de aceitação de qualquer peça em função da sua dimensão efetiva é denominada curva característica do processo de medição, fig.3.27.

Atribuindo-se valores aceitáveis aos riscos α e β , estabelece-se a chamada região crítica da curva característica do processo de medição, mostrada também na fig.3.27. A região crítica é tanto menor, quanto maior a relação Im/t .

As probabilidades de aceitação mostradas na fig.3.27 se aplicam a cada peça isoladamente. Para se determinar o índice de decisões corretas é preciso saber qual o percentual de peças dentro da região crítica da curva característica do processo de medição. Isto é, precisa-se conhecer a média, e o desvio padrão das peças fabricadas; em resumo, a capacidade do processo de fabricação.

Quando o índice de capacidade do processo é elevado, um grande número de peças encontra-se fora da região crítica do processo de medição e assim níveis altos de decisões corretas serão possíveis até mesmo se uma relação $Im/t = 1/2$ for empregada. Por outro lado,

à medida que o índice de capacidade diminui, aumenta-se a quantidade de peças dentro da região crítica e o nível de decisões corretas cai de forma significativa quando $Im/t = 1/2$, enquanto que se uma relação $Im/t = 1/10$ for usada, o nível de decisões corretas ainda permanece elevado, em torno de 97%. Estes resultados, obtidos por /5/ através de simulações matemáticas, são apresentados na fig.3.28 e indicam que se o índice de capacidade do processo de fabricação for elevado não se faz necessário o emprego de relações Im/t tão conservativas quanto a "REGRA DOS DEZ".

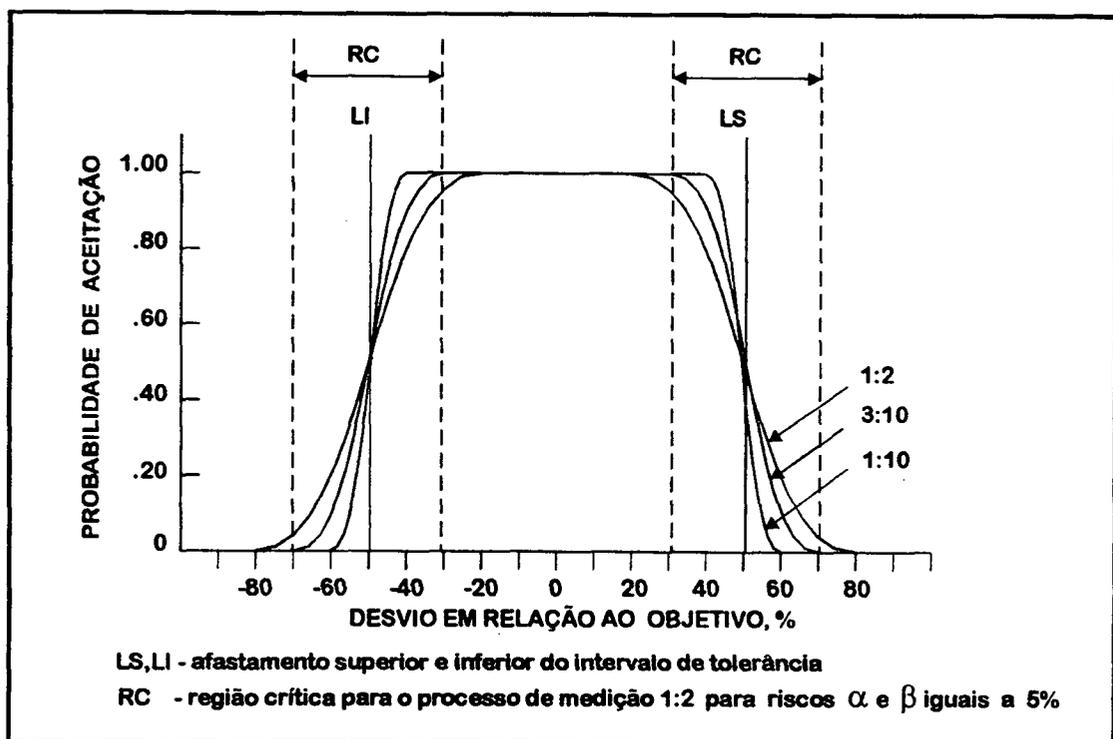


Figura 3.27 - Processos de medição: Curvas características e região crítica para diversas relações Im/t

A comparação entre a incerteza da medição e a tolerância de fabricação especificada como um dos requisitos a serem estabelecidos na seleção de um SM é consistente com a filosofia ocidental de produção, onde é permitido, ou melhor, é tido como aceitável que a variabilidade total do processo de produção seja igual à tolerância de fabricação especificada.

Para processos centrados no valor nominal da especificação e com variabilidade pequena, meta da filosofia de Taguchi /61/, conclui-se que o papel da medição é ainda mais importante. Para que os objetivos de tal filosofia sejam alcançados a comparação a ser estabelecida deve

ser entre I_m e a variabilidade do processo de produção. Comparativamente com a filosofia ocidental, a filosofia de Taguchi é mais severa quanto aos erros cometidos pela medição. Na prática é como se a tolerância de fabricação especificada fosse menor.

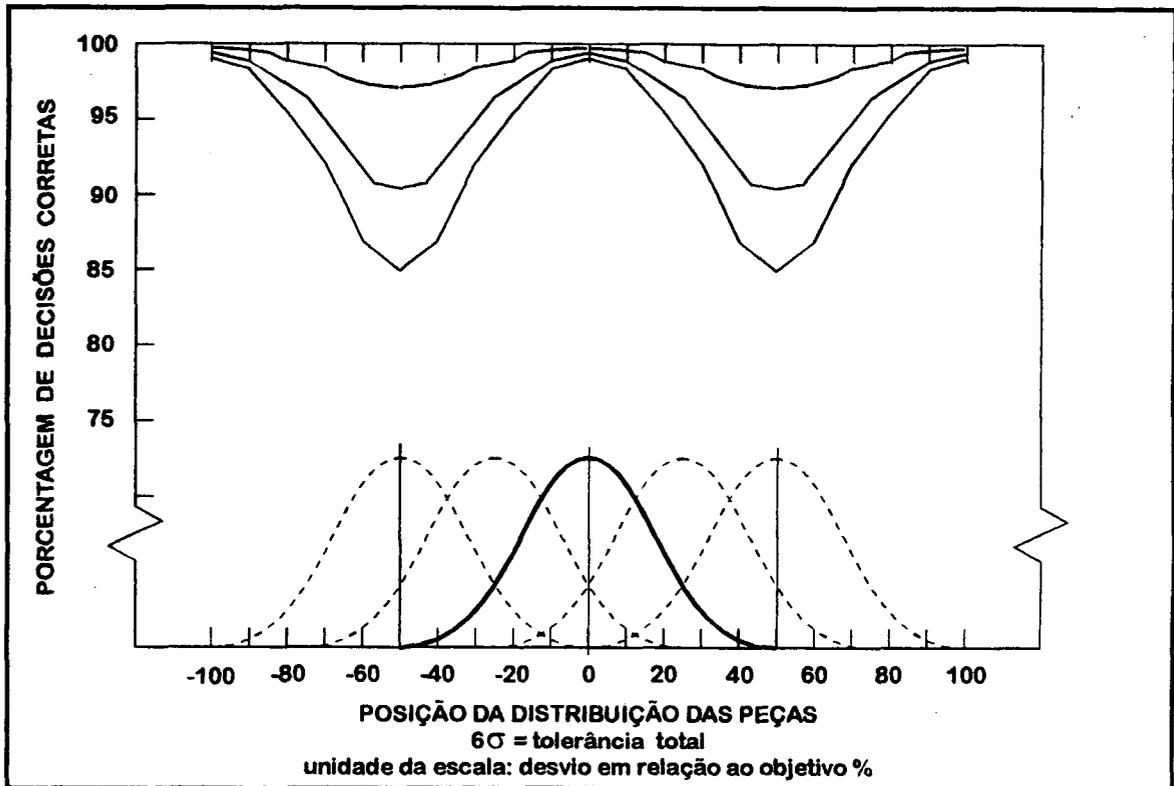


Figura 3.28 - Nível de decisões corretas em função da capacidade do processo de fabricação

Até agora tratou-se de um caso, controle estatístico de processo, em que a incerteza do processo de medição é levantada para uma situação particular, a partir de um procedimento específico, o chamado teste de “reprodutibilidade e repetibilidade”, que envolve a realização de uma série de medições em condições semelhantes àquelas em que o SM deverá ser utilizado durante o controle do processo. Um exemplo é dado em /60/.

Para uma medição de uma peça isolada, contudo, o levantamento da incerteza do processo de medição a ser usado, via teste de reprodutibilidade e repetibilidade, irá representar mais trabalho e custo do que a própria medição da peça.

Para este caso, então, ao invés da incerteza do processo de medição, usa-se a incerteza do SM (I_{sm}) como parâmetro a ser comparado com a tolerância de fabricação para a escolha do SM.

Isto é particularmente válido quando as condições são favoráveis para se dizer que os erros devidos aos outros elementos participantes do processo de medição são desprezíveis quando comparados aos erros do SM.

No caso de não se conhecer a incerteza do SM e apenas o seu limiar (de mobilidade) recomenda-se a utilização de um SM cujo limiar seja de 1/5 a 1/10 da unidade decimal que se deseja conhecer na medição /9/.

Para calibrações, a escolha do SM padrão leva em conta a relação entre a incerteza deste (I_{smp}) e a incerteza do SM a calibrar (I_{smc}).

O uso da relação $I_{smp}/I_{smc} = 1/10$ é justificado /62/ com base no fato de que as incertezas, tanto do SM padrão quanto do SM a calibrar, são caracterizadas por um único algarismo significativo e a partir do critério segundo o qual a incerteza da calibração é dada pelo somatório das incertezas dos sistemas que participam da calibração.

Se, por outro lado, a incerteza da calibração for dada pela expressão

$$IR = \sqrt{I_{smp}^2 + I_{smc}^2}$$

chega-se à conclusão que a relação menos conservativa a ser usada é 1/3, conforme obtido por /62/.

Do exposto neste item observa-se que ao se ignorar a necessidade do estabelecimento de uma relação I_m/t mais adequada a cada caso pode-se, por um lado, correr um risco excessivamente alto de a medição não ter validade em virtude de seus erros serem grandes se comparados à tolerância de fabricação e, por outro lado, pode-se estar perdendo tempo, esforço e dinheiro valiosos para alcançar níveis desnecessários de perfeição. Portanto, é de fundamental importância o conhecimento/disponibilidade das informações acerca dos instrumentos e das condições em que os mesmos podem ser melhor empregados.

3.4.2 - OUTROS FATORES ENVOLVIDOS NA SELEÇÃO DO SISTEMA DE MEDIÇÃO

a) Características da Peça

A seguir são abordadas várias situações em que as características da peça podem ser fatores limitantes na seleção do sistema de medição.

No controle geométrico é necessário garantir o correto posicionamento da peça em relação ao SM, de modo a diminuir ou evitar erros de medição e assegurar a estabilidade durante o processo de medição. Para tanto é necessário que os dispositivos de posicionamento e fixação escolhidos sejam apropriados ao peso, tamanho e geometria da peça em questão.

A forma da superfície da peça, a sua resistência mecânica, o seu acabamento e a facilidade de acesso ao parâmetro geométrico a medir são outros aspectos a serem considerados.

Com relação à forma da superfície da peça, o elemento do SM que toca a peça (sensor) deve ter o formato adequado para a obtenção de um contato geometricamente bem definido. Assim, se a superfície da peça a medir é plana é aconselhável utilizar sensores esféricos e vice-versa.

Nas medições com contato, sempre existe uma força de medição que provoca deformações elásticas na superfície de contato. As deformações dependem da força aplicada, do diâmetro de contato e de uma variável de deformação, definida experimentalmente e que leva em conta os materiais e formas dos corpos em contato, entre outros. A expressão para cálculo do valor das deformações é dada pela fórmula clássica de Hertz /63/. A fig.3.29 mostra diversas situações de contato, ordenadas de acordo com valores crescentes de deformação.

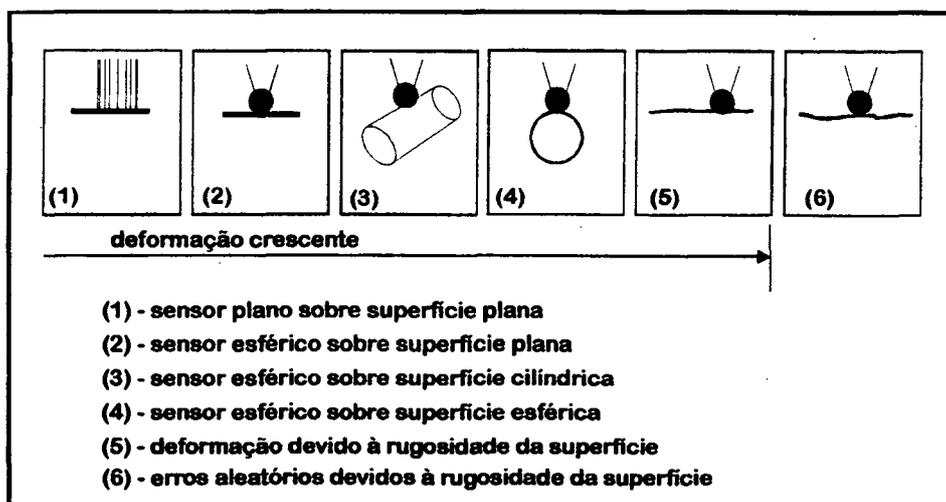


Figura 3.29 - Deformações no contato entre sensor e peça - /63/

Para superfícies com maior rugosidade, situação (6) da fig.3.29, existe a possibilidade do sensor cair alternadamente em regiões de picos e vales. Isso se constitui em uma fonte adicional de erros aleatórios. A fim de minimizar estes erros recomenda-se /63/ que a força a ser aplicada seja maior, uma vez que o achatamento parcial da superfície rugosa, provocado por tal força torna a medição mais estável. É certo que neste caso as deformações são maiores, mas, ao contrário dos erros aleatórios, elas são constantes e possíveis de serem calculadas.

Quanto à influência da forma geométrica da peça na seleção do SM, na fig.3.30 são mostrados alguns exemplos de como o acesso ao parâmetro geométrico a medir restringe o universo de SM que podem ser utilizados.

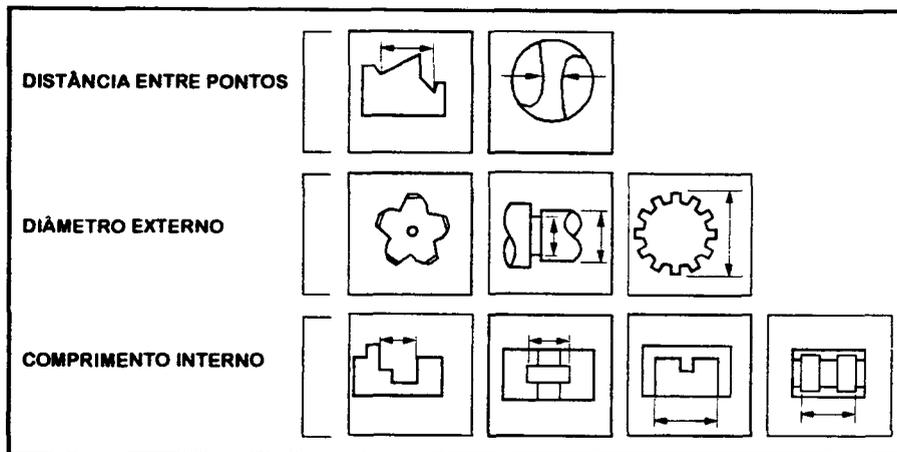


Figura 3.30 - Exemplos de como a forma geométrica da peça pode limitar a aplicação de um sistema de medição

Um outro exemplo em que uma característica da peça representa fator limitante ao uso de um SM é o da medição de peças porosas, tais como aquelas obtidas por metalurgia do pó. Para esta situação não é aconselhável o uso de medidores de deslocamento pneumáticos, uma vez que os poros da peça podem absorver parte do jato de ar incidente, conduzindo a resultados falsos /47/.

b) Métodos de medição

Em controle geométrico, a quantificação da grandeza a medir pode ser obtida pelos seguintes métodos:

I) Medição por comparação direta (absoluta)

É um método de medição no qual a grandeza a medir é comparada diretamente com uma grandeza de mesma espécie que tenha um valor conhecido /21/. Como exemplo podem ser citadas as medições obtidas com paquímetros, micrômetros, máquinas de medir, etc.

II) Medição diferencial

É baseado na determinação da diferença entre o valor da grandeza a medir e um valor próximo e conhecido de uma grandeza de mesma espécie /9,21/. A fig.3.31 mostra um exemplo de medição diferencial.

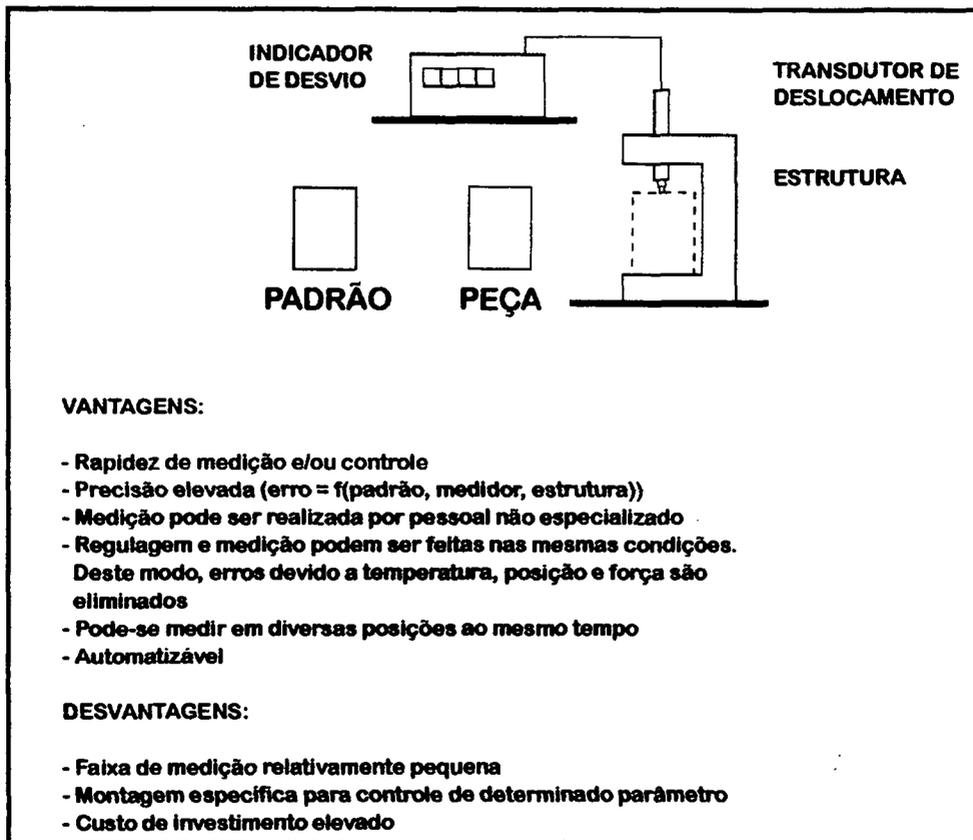


Figura 3.31 - Método de medição diferencial: vantagens e desvantagens

III) Medição por coordenadas

É baseado no conhecimento da posição que um dispositivo localizador (sensor) ocupa dentro do espaço de trabalho da máquina de medir. A determinação dos parâmetros geométricos da peça a ser controlada se dá a partir do levantamento das coordenadas de uma série de pontos de contato entre a peça e o sensor do dispositivo localizador. As coordenadas desses pontos de

contato são tomadas em relação a um ponto de referência conhecido dentro do sistema coordenado /65/. Ver fig.3.32.

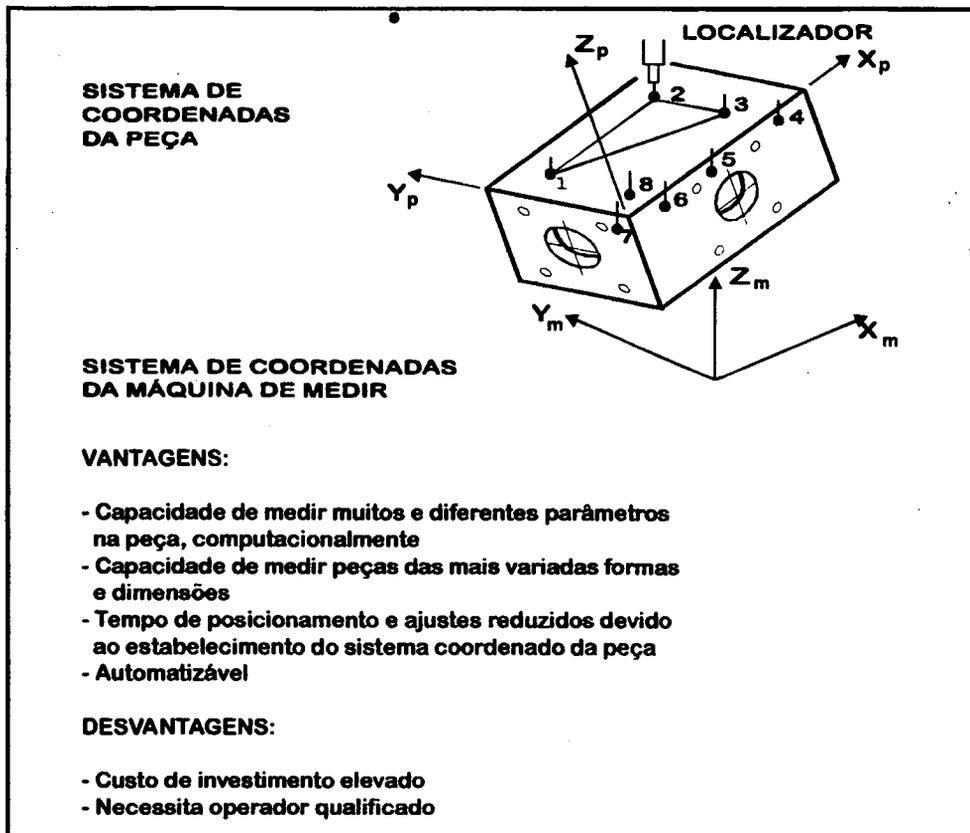


Figura 3.32 - Método de medição por coordenadas: vantagens e desvantagens

Independentemente do método, a medição pode ser com ou sem contato, de acordo com o princípio do transdutor empregado.

c) Condições ambientais e de instalação

A utilização dos SM deve se dar dentro de condições ambientais e de instalação apropriadas. O grau e forma da influência das condições ambientais e de instalação sobre o comportamento do SM depende de aspectos construtivos e do princípio de funcionamento do SM. Assim, por exemplo, medições baseadas na interferometria são sensíveis à temperatura, à pressão atmosférica e à umidade relativa.

Este item é bastante crítico quando da execução de medições em ambientes de fabricação, já que as mais diversas condições ambientais são encontradas.

d) Quantidades e tempos

A escolha do SM deve levar em conta, também, o tempo disponível para a medição, a quantidade de medições similares a serem feitas e o tipo de inspeção adotado, 100% ou por amostragem. A fig.3.33 mostra os mais aplicados meios de controle para os vários tipos de produção.

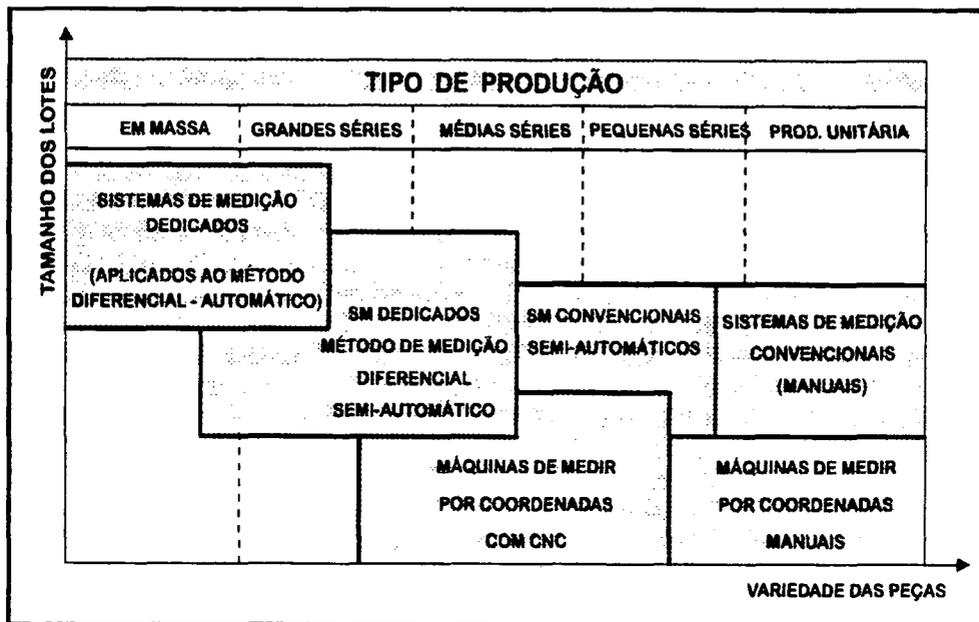


Figura 3.33 - Aplicação dos sistemas de medição em função do tipo de produção /2/

e) Custo

Ao se considerar o fator custo na escolha de um SM para a execução de uma dada tarefa, deve-se ter em mente que uma escolha inadequada pode, por um lado, encarecer desnecessariamente o produto ou serviço objeto da medição, e por outro elevar a níveis significativos a probabilidade de que a medição seja de qualidade insatisfatória.

O custo total de uma medição pode ser decomposto em /5/:

I) Custos iniciais

Os custos iniciais envolvem a aquisição do SM, de padrões e materiais de referência, além do treinamento do operador e elaboração de procedimentos de operação.

II) Custos de operação

Incluem os custos de produção da medição (inclusive os associados ao registro e análise de dados), custo de manutenção e de calibrações e custo de reciclagem de operadores.

3.5 - O SISTEMA DE GERENCIAMENTO NO CONTEXTO DA SELEÇÃO DE INSTRUMENTOS

É grande a diversidade de parâmetros envolvidos no controle geométrico e são as mais variadas as condições de contorno. Limitações tecnológicas fazem com que se necessite uma grande gama de diferentes tipos de instrumentos para que haja o atendimento adequado a cada particular situação. Assim, a configuração do processo de medição adequado é tarefa que exige o domínio das formas de especificação e quantificação dos parâmetros, bem como das reais limitações de cada instrumento disponível.

Num universo tão amplo, garantir a qualidade do controle geométrico pode se tornar tarefa quase impossível se não houver um sistema de gerenciamento de instrumentos adequado.

Tem-se visto na prática que, na falta de tais sistemas de gerenciamento, a otimização da seleção dos instrumentos e a garantia global da qualidade das medições industriais têm sido limitadas a procedimentos locais, menos otimizados e de qualidade menos assegurada.

Neste contexto, um sistema computadorizado de gerenciamento de instrumentos de controle geométrico que se encarregue não só dos aspectos administrativos do controle de instrumentos, mas que supervisione a qualidade destes e que auxilie na seleção dos instrumentos e procedimentos mais adequados para cada particular aplicação, é ferramenta fundamental para a obtenção da qualidade do controle geométrico, sejam em aplicações industriais ou laboratoriais.

CAPÍTULO 4

GARANTIA DA QUALIDADE METROLÓGICA DOS INSTRUMENTOS DE MEDIÇÃO

4.1 - INSTRUMENTOS DE MEDIÇÃO NO CONTEXTO DA GARANTIA DA QUALIDADE

Instrumentos de medição desempenham papel fundamental no controle de qualidade. A obtenção de medições confiáveis tem como pré-requisito a garantia da qualidade metrológica dos instrumentos. Deve-se pois, assegurar, através das operações de manutenção, calibração e ajuste, que estes se comportem segundo especificações preestabelecidas.

A preocupação com a garantia da qualidade metrológica dos instrumentos está manifestada fortemente nos chamados programas de qualidade e de calibração ou sistemas de calibração /15,59,66 a 68/.

Na prática, garantir a qualidade metrológica dos instrumentos significa:

- Conhecer as características metrológicas e operacionais, por meio de calibrações executadas em intervalos apropriados e com base em uma hierarquia de padrões.
- Manter as características metrológicas e operacionais dentro de limites aceitos como satisfatórios, por meio de manutenções e ajustes.

Questões relativas à hierarquia de padrões e aos intervalos de calibração são analisadas nos itens 4.2 e 4.3 respectivamente. Por fim, no item 4.4 são propostos meios de racionalização da calibração.

4.2 - CALIBRAÇÃO DE INSTRUMENTOS DE MEDIÇÃO E HIERARQUIA DE PADRÕES

A operação de calibração envolve as etapas de planejamento, execução da atividade experimental, processamento de dados e análises dos resultados.

O planejamento de uma calibração depende, em primeiro plano, do objetivo da calibração, a qual pode ser realizada em diversos níveis de rigor e abrangência. De um modo geral fazem parte do planejamento /9,69/:

- O estudo do instrumento a calibrar, identificando-se as características a serem verificadas;
- A escolha e o estudo de padrões, seguindo-se as recomendações apresentadas no item 3.4 relativas à escolha;
- Definição do método de calibração. Estes se classificam em direto e indireto. No primeiro o instrumento a calibrar atua sobre uma grandeza padrão de valor conhecido, por exemplo um bloco padrão. No método de calibração indireta, comparam-se os resultados fornecidos pelo instrumento a calibrar e pelo padrão, quando ambos atuam, simultaneamente, sobre uma mesma grandeza;
- Elaboração do procedimento experimental, que descreve passo a passo a sequência de calibração;
- Definição das etapas de processamento e documentação dos dados.

Fundamental para que uma calibração tenha resultado aproveitável é que o padrão tenha características metrológicas devidamente asseguradas. Isto leva a um encadeamento de calibrações que deve se estender a níveis hierárquicos cada vez mais elevados até um padrão primário da grandeza de base. Ao se efetivar as comparações ao longo da hierarquia de padrões, fig.4.1, garante-se, automaticamente, a transferência da unidade representada pelo padrão primário até as medições realizadas na indústria /70 a 72/. Esta transferência de unidade é denominada rastreabilidade. Na afirmação anterior está implícito que todas as comparações, em cada nível hierárquico, são executadas adequadamente. Isto implica se dominar o processo de medição, principal objetivo dos programas interlaboratoriais /73,74/.

Em cada elo da cadeia de comparações, ocorre uma transferência (acréscimo) da dispersão do padrão, conforme mostrado na fig.4.2. Dessa forma, seria interessante se os instrumentos utilizados na indústria fossem calibrados diretamente com os padrões primários. Entretanto, diante da impossibilidade de uma calibração contra padrão primário, surge a necessidade de se estabelecer uma rede de laboratórios de calibração que se responsabilize pela rastreabilidade. A cada laboratório desta rede, fig 4.2, são atribuídas funções específicas /75,76/.

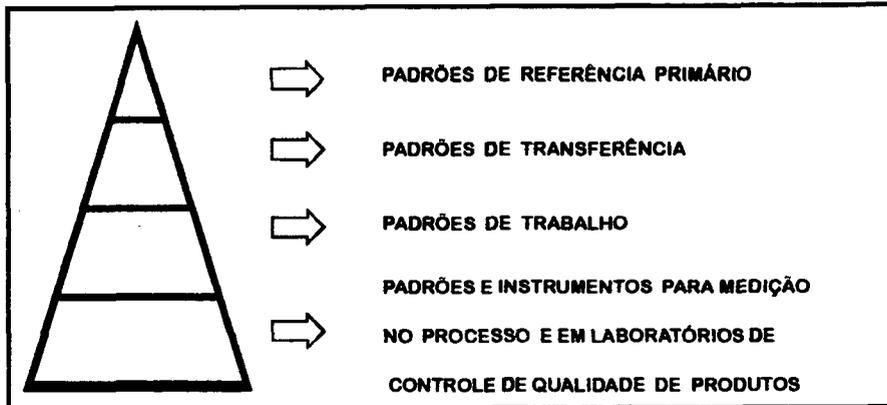


Figura 4.1 - Hierarquia de padrões

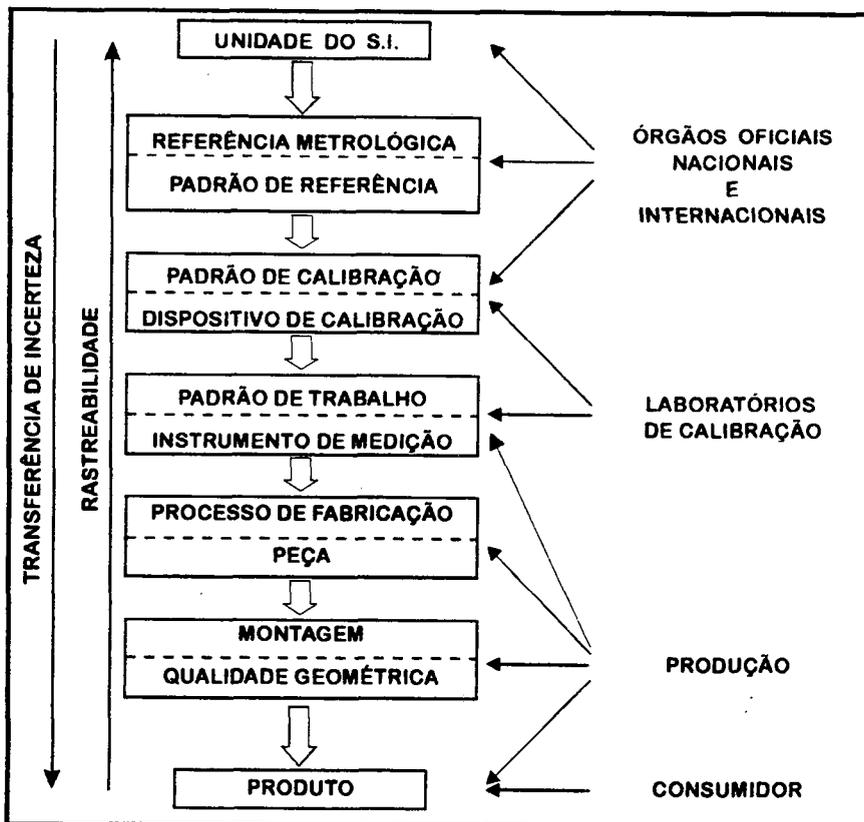


Figura 4.2 - Rastreabilidade

No Brasil, o Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO) é o responsável pela Rede Brasileira de Calibração (RBC), um conjunto de entidades credenciadas que, utilizando regras e procedimentos baixados pelo INMETRO, executam serviços de calibração de instrumentos não incluídos no âmbito da metrologia legal.

A RBC constitui o elo entre os laboratórios do DIMCI (Diretoria de Metrologia Científica e Industrial) e as comunidades industrial, tecnológica e científica do país, como mostra a fig.4.3. Maiores detalhes sobre a RBC são apresentados em /76/.

É necessário também que cada laboratório de metrologia estabeleça a hierarquia de seus instrumentos e a represente através de um diagrama de níveis de incerteza, assegurando desta forma um sistema interno de limitação de transferência de incertezas, através da adequada rastreabilidade /77/, como exemplificado pela fig.4.4.

		REDE DE CALIBRAÇÃO	PROCESSO	
NÍVEL	LABORATÓRIOS	EXEMPLO: REDE DE CALIBRAÇÃO - BRASIL	DESCRIÇÃO DO PROCESSO	ERRO (mm)
ZERO	LABORATÓRIO REFERÊNCIA INTERNACIONAL	BIPM Bureau International de Pesos e Medidas	LASER IODO ESTABILIZADO COMPARADO A LASER HeNe ESTABILIZADO	
	LABORATÓRIO REFERÊNCIA NACIONAL		INTERFEROMETRIA LÂMPADAS DE CRIPTÔNIO MEDE BLOCO-PADRÃO : REFERÊNCIA LABORATÓRIO OU COMPARAÇÃO BLOCO-PADRÃO : REFERÊNCIA NACIONAL CONTROLA BLOCO-PADRÃO : REFERÊNCIA LABORATÓRIO	1×10^{-6} 1×10^{-5}
	LABORATÓRIOS DE TRANSFERÊNCIA		COMPARAÇÃO BLOCO-PADRÃO : REFERÊNCIA LABORATÓRIO CONTROLA BLOCO-PADRÃO : REFERÊNCIA INDÚSTRIA	5×10^{-5}
	LABORATÓRIOS INDUSTRIAIS		BLOCO-PADRÃO : REFERÊNCIA INDÚSTRIA CONTROLA SISTEMA DE MEDIÇÃO / CALIBRADOR	1×10^{-4}
TRÊS	SETORES DE INSPEÇÃO		SISTEMA DE MEDIÇÃO / CALIBRADOR MEDE / COMTROLA PEÇA	

Figura 4.3 - Rede Brasileira de Calibração

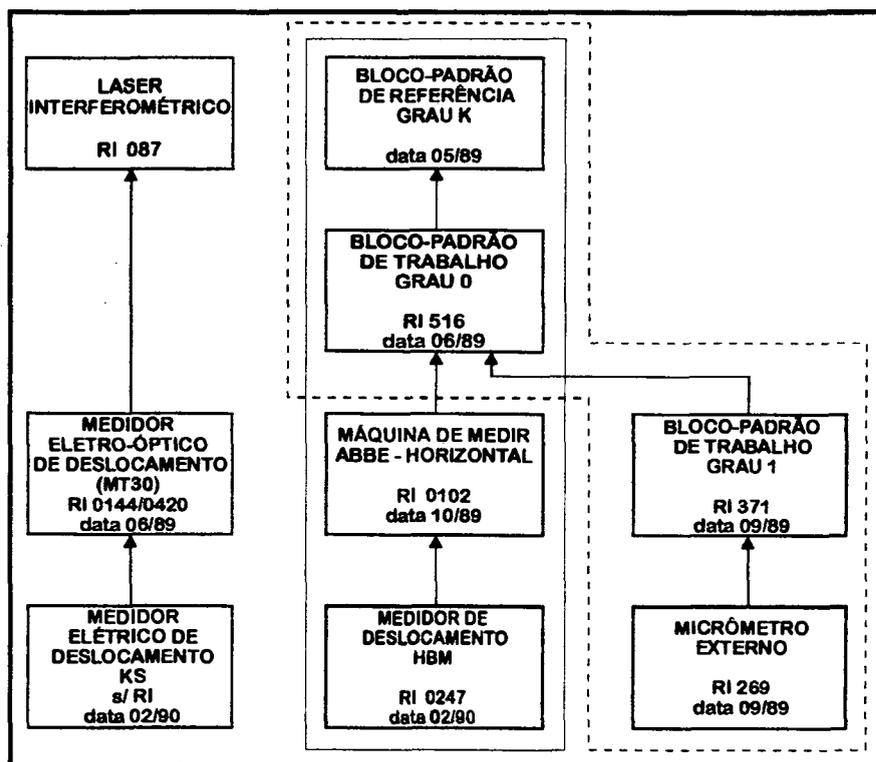


Figura 4.4 - Exemplo da Hierarquia de padrões a nível de laboratório

É importante observar que tal diagrama deve ser continuamente revisto em função das alterações nas características metrológicas e operacionais dos instrumentos

4.3 - INTERVALOS DE CALIBRAÇÃO

Nos programas de qualidade e de calibração e em normas de requisitos para sistemas de calibração, são feitas exigências no sentido de se calibrar os instrumentos periodicamente. Entretanto as exigências não são acompanhadas por nenhuma informação que permita a definição dos intervalos de calibração (IC).

Existem dois aspectos genéricos básicos /28/ cuja conciliação de forma otimizada é necessária para a definição dos IC:

- A minimização do risco de uso de um instrumento fora das especificações e,
- A minimização do custo de calibrações periódicas;

A busca do equilíbrio entre os dois aspectos acima deve ser feita considerando-se a possibilidade dos instrumentos não serem tão estáveis quanto o esperado e que o uso dos mesmos não se dê exatamente como o previsto. Isto confere uma característica dinâmica ao IC, ou seja, o IC inicialmente estabelecido, por exemplo quando da aquisição do instrumento, deve ser revisto ao longo da vida útil do mesmo

4.3.1 - ASPECTOS A CONSIDERAR NA DETERMINAÇÃO DO INTERVALO DE CALIBRAÇÃO

Para a determinação do IC os seguintes pontos devem ser analisados:

a) **Características do instrumento e de sua utilização**

O primeiro passo para a definição dos IC é procurar estabelecer os fatores próprios do instrumento e de sua utilização que exercem influência direta sobre o comportamento do mesmo. Alguns desses fatores foram citados e algumas vezes analisados, ora em conjunto, ora isoladamente por /6,9,78 a 85/ e estão mostrados na fig.4.5. No presente trabalho eles são divididos em primários e históricos.

Os fatores agrupados sob o título de "fatores primários" se constituem na base de informações a ser utilizada para a definição do IC inicial de cada instrumento.

Os fatores históricos são aqueles obtidos com as informações provenientes de manutenções e calibrações do instrumento com o passar do tempo e são considerados na definição dos próximos IC. Os fatores históricos podem ser influenciados pela combinação de determinados fatores primários. Assim, os três primeiros fatores primários da fig.4.5 são responsáveis pela variação, ao longo do tempo, da estabilidade do "característico de resposta". O correlacionamento de tais fatores, como indicado na fig.4.6, determina o grau de estabilidade do característico de resposta.

A quantificação de alguns desses fatores é bastante difícil. Desta forma devem ser abordados de maneira qualitativa (atributiva). Isto permite concluir que a experiência é um elemento fundamental para a determinação do IC.

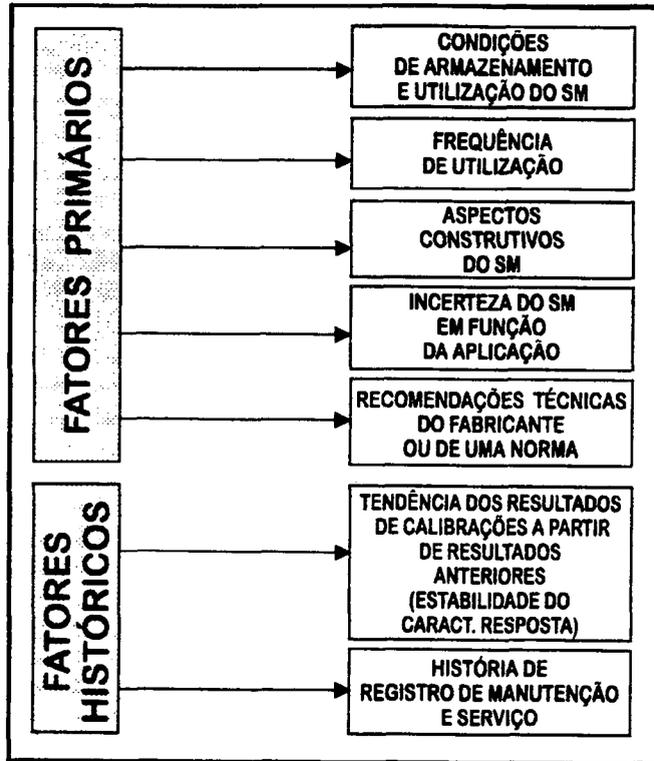


Figura 4.5 - Fatores que influenciam a definição dos intervalos de calibração

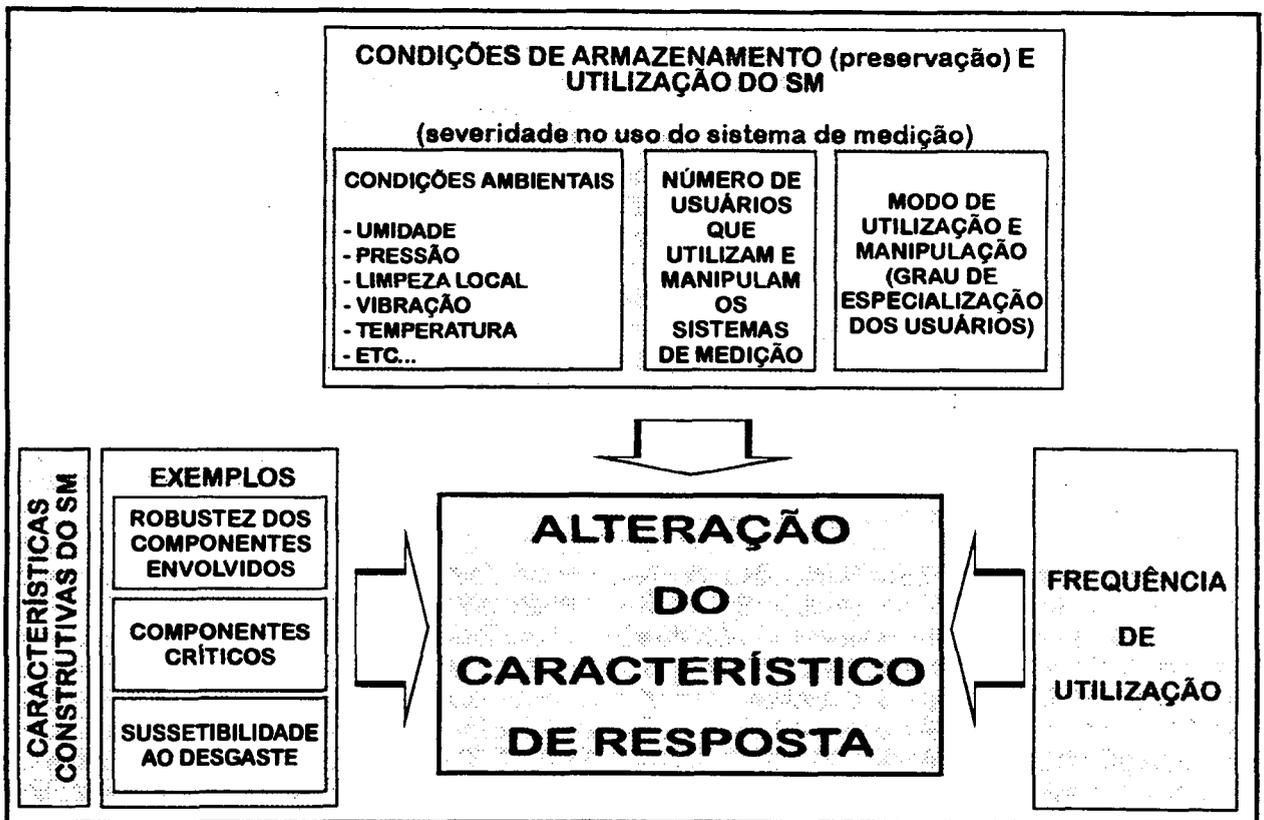


Figura 4.6 - Fatores que influenciam a estabilidade do característico de resposta

A facilidade de obter informações e a importância atribuída a cada uma delas são próprias de cada tipo de local (por exemplo, laboratório ou ambiente fabril). A fig.4.7 apresenta um resumo das características normalmente observadas em visitas a laboratórios, empresas de fabricação em série e empresas de construção e montagem.

	LABORATÓRIO	LINHA DE FABRICAÇÃO	EMPRESA DE CONSTRUÇÃO E MONTAGEM
OPERADOR	MAIS QUALIFICADO	MENOS QUALIFICADO ROTATIVIDADE	MENOS QUALIFICADO ALTA ROTATIVIDADE
CONDIÇÕES AMBIENTAIS	CONTROLADA	DIVERSIFICADA	DIVERSIFICADA MAIS SEVERA
APLICAÇÃO DO SM	DIVERSIFICADO SM MAIS COMPLEXOS	DEDICADOS	DIVERSIFICADOS SM MAIS SIMPLES
FREQUÊNCIA DE UTILIZAÇÃO	CONTROLÁVEL	CONTROLÁVEL	DIFÍCIL DE CONTROLAR

Figura 4.7 - Condições de trabalho observadas em diferentes ambientes

b) Forma de acompanhamento dos instrumentos

Em se tratando de determinação de IC, existem duas situações extremas na forma de acompanhamento dos instrumentos.

Um mesmo IC pode ser definido para um grupo de instrumentos, a partir das características e comportamento de uma amostra desse grupo. Esta situação será denominada acompanhamento em grupo /7,8,28,80,85/.

É importante deixar claro que o acompanhamento em grupo em geral não significa calibrar apenas uma amostra, já que a menos que condições muito homogêneas possam ser asseguradas, todos os instrumentos do grupo devem ser calibrados.

O acompanhamento em grupo se aplica mais quando se dispõe de muitos instrumentos de um mesmo tipo e com pouca variedade. Os IC, nesse caso, são alterados com menor frequência. É recomendável, então, que o IC adotado para o grupo seja menor que a média dos IC que seriam adotados caso o acompanhamento fosse individual.

O outro extremo é o acompanhamento individual, onde cada instrumento tem o seu próprio IC, independentemente dos demais /7,8,79,85/.

O acompanhamento individual é adequado quando se dispõe de poucos instrumentos distribuídos em uma grande variedade de tipos e quando um mesmo instrumento é utilizado para várias aplicações.

Os IC podem ser alterados com maior frequência, já que uma mudança no IC de um instrumento não interfere nos IC dos demais. Assim, pode-se trabalhar com IC maiores que aqueles recomendáveis para um acompanhamento em grupo. O acompanhamento individual permite um conhecimento maior do comportamento de cada instrumento e é mais efetivo.

Combinações dessas duas formas de acompanhamento podem ser feitas, dando origem aos acompanhamentos mistos. Um exemplo de acompanhamento misto é aquele apresentado por GLASSMAN /79/ no qual os instrumentos de um mesmo grupo são separados em subgrupos que requerem cuidados específicos. A cada subgrupo associa-se um IC diferente.

Além de outros fatores a considerar em cada situação particular, a capacidade de armazenamento e correlacionamento de informações é extremamente importante para se optar por uma ou outra forma de acompanhamento. Por exemplo, ao se dispor de um sistema computacional adequado, pode-se pensar no acompanhamento individual dos instrumentos, até mesmo para um grande número deles. Já em um controle manual a quantidade de informações que podem ser trabalhadas eficientemente ao mesmo tempo é bastante reduzida, tornando impraticável o acompanhamento individual dos instrumentos.

c) Fluxo de trabalho

Os IC devem possuir uma certa flexibilidade que permita um cronograma homogêneo das calibrações. Um fluxo de trabalho mais bem distribuído diminui a possibilidade de, em um dado momento, a maioria dos instrumentos da instituição estarem fora de condições de uso, isto é, aguardando calibração. Além disso, existem casos em que os serviços de calibração devem ser entregues a terceiros, devendo ser programados com antecedência ainda maior.

4.3.2 - INTERVALOS DE CALIBRAÇÃO INICIAIS

A base para determinação dos IC iniciais é a experiência, aliada ao bom senso. Estes IC iniciais podem ser estimados considerando:

- Os fatores primários relacionados na fig.4.5;
- A experiência de metrologistas em medição de modo geral ou em particular em calibração de instrumentos;
- IC utilizados por outras instituições;

A fig.4.9 mostra alguns intervalos de calibração adotados para instrumentos de controle geométrico e que podem ser usados como IC iniciais.

INSTRUMENTOS	INTERVALOS DE CALIBRAÇÃO (meses)	REFER.
BLOCOS PADRÃO (grau-referência) - angulares/paralelos	12 a 24	77/86
CALIBRADORES (tampão/anel) - lisos, de rosca, cilíndricos e cônicos	3 a 6	77
DESEMPENOS	6 a 12	77
ESCALAS MECÂNICAS	12	77
ESQUADROS	6 a 9	77
INSTRUMENTOS ÓPTICOS	6	77
MÁQUINAS DE MEDIR - (ABBE, PEÇAS LONGAS, etc.)	12	77
MEDIDORES DE DESLOCAMENTO ELETRO/ELETRÔNICO	6 a 12	77
MEDIDORES DE DESLOCAMENTO MECÂNICOS (relógios comparadores/apalpadores)	12/ 3 a 6	77/86
MEDIDORES DE DESLOCAMENTO PNEUMÁTICOS	6 a 12	77
MEDIDORES DE ESPESSURA DE CAMADA	6 a 12	77
MICRÔMETROS	3/ 6	77/86
MICROSCÓPIOS	12	77
NÍVEIS DE BOLHA E ELETRÔNICO	6	77
PAQUÍMETROS	6	86
PLANOS E PARALELOS ÓPTICOS	12	77
RÉGUAS	6 a 12	77
RUGOSÍMETRO E MEDIDOR DE FORMA	12	77
TRANSFERIDORES	6	77
TRENAS	6	86

Figura 4.9 - Exemplos de intervalos de calibração que podem ser utilizados como intervalos iniciais

A estimativa do IC inicial é uma tarefa importante. Tal afirmação justifica-se pelo fato de que provavelmente este é mantido constante nas primeiras calibrações, já que uma mudança adequada do IC só é possível após um razoável conhecimento sobre o comportamento do instrumento ter sido adquirido, via análise dos resultados de calibrações anteriores.

4.3.3 - VERIFICAÇÃO DA EFICIÊNCIA DOS INTERVALOS DE CALIBRAÇÃO ADOTADOS

No item 4.3.1 foram apresentadas as linhas gerais que podem conduzir à definição dos intervalos de calibração. Não há, contudo, meios que permitam uma definição precisa destes intervalos. É necessário, portanto, fazer uma verificação da eficiência dos IC que em dado momento estejam sendo adotados. Uma maneira de determinar tal eficiência é através de uma contínua monitoração e controle da fração de tempo na qual os instrumentos são utilizados em conformidade, de acordo com o proposto por SCHUMACHER /80/.

A fração de tempo em conformidade, ftc , é definida como:

$$ftc = 100\% - \frac{0,5 (\sum p_i \times Ic_i)}{\sum q_i \times Ic_i}$$

Onde

p = número de instrumentos fora de conformidade, com $IC = i$

q = número total de instrumentos calibrados com $IC = i$

A fração de tempo em conformidade é uma medida global, isto é, resume em um único número a condição em que os instrumentos de uma instituição estão sendo utilizados. O acompanhamento da variação, ao longo do tempo, da fração de tempo em conformidade pode ser feito através de um gráfico de controle do tipo média móvel.

Como uma base para a definição de um valor mínimo a ser alcançado pela fração de tempo em conformidade, segundo SCHUMACHER /80/, níveis da ordem de 70% podem ser facilmente atingidos sem muito esforço. Por outro lado, sabendo que a relação entre a fração de tempo em

conformidade e o custo de manutenção e calibração dos instrumentos é aproximadamente exponencial /7/, conclui-se que a obtenção de níveis muito elevados (maiores que 97%) é praticamente impossível.

Característica importante da fração de tempo em conformidade consiste no fato dela não ser tendenciosa, como é o caso da fração de instrumentos em conformidade na calibração a qual não leva em consideração o IC de cada instrumento.

Normalmente, instrumentos que são mais confiáveis têm maiores IC, enquanto que os menos confiáveis têm menores IC. Desta forma, quando se calcula a fração de instrumentos em conformidade na calibração, os menos confiáveis (com menores IC) são contados muito mais vezes que aqueles que são mais confiáveis (com maiores IC). Assim, do total de instrumentos fora de conformidade a maior parcela é de instrumentos menos confiáveis. Apesar desta característica tendenciosa, a fração de instrumentos em conformidade na calibração é largamente utilizada.

É importante não se limitar a ajustar IC para melhorar o nível da fração de tempo em conformidade. Instrumentos não confiáveis, que estão repetidamente sendo encontrados fora de conformidade, devem ser analisados quanto ao fato de não serem confiáveis e devem ser reparados. A experiência de SCHUMACHER /7/ é de que tal medida é mais importante na obtenção de altas frações do que o simples ajuste dos intervalos de calibração.

4.4 - RECOMENDAÇÕES ACERCA DA RACIONALIZAÇÃO DAS OPERAÇÕES DE CALIBRAÇÃO

Manter um instrumento calibrado é uma operação onerosa. Diversos são os fatores que contribuem para isso, sendo que geralmente os de maior peso são adquirir e manter os padrões /83/. Ademais, calibrações são trabalhosas, quase sempre demandando muito tempo e exigindo mão-de-obra especializada, sem contar que quanto mais tempo um instrumento estiver em calibração, menor será a sua disponibilidade. Portanto, esforços devem ser envidados para racionalizar a calibração diminuindo gastos sem comprometer a qualidade dos instrumentos.

Algumas possibilidades para se alcançar tais objetivos incluem:

- Contratar os serviços de um laboratório especializado em calibrações. Isto pode ser particularmente interessante para pequenas indústrias, na medida em que evita a necessidade de mão-de-obra especializada em calibração e, principalmente a aquisição de padrões;
- Procurar reduzir o custo de cada calibração. Isto pode se dar através de:
 - Calibrações voltadas para a aplicação do instrumento, ou seja, calibrá-lo apenas para a medição de um determinado tipo de parâmetro geométrico e na faixa requerida /67/.
 - Redução do número de ciclos em uma calibração, o que é possível quando a característica metrológica e operacional sendo verificada apresenta baixa dispersão /53/.
- otimização dos intervalos de calibração, a qual implica estender os intervalos ao máximo sem comprometer a qualidade dos instrumentos.

Estas medidas, em especial quando adotadas simultaneamente, podem representar economia significativa sem comprometimento da garantia da qualidade metrológica dos instrumentos para determinadas aplicações.

Dentre tais medidas, destaca-se a otimização dos intervalos de calibração. As vantagens associadas a esta prática são:

- Redução de custos na aquisição e manutenção de padrões, visto que os mesmos são expostos a um desgaste menor e portanto têm a vida útil aumentada;
- Redução de custos no gerenciamento dos instrumentos;
- Redução de custos em mão-de-obra direta na execução de calibrações.

4.5 - O SISTEMA DE GERENCIAMENTO NO CONTEXTO DA GARANTIA DE QUALIDADE METROLÓGICA

Conhecer e manter sob controle as características metrológicas e operacionais dos instrumentos de medição são tarefas de fundamental importância para a obtenção de medições com qualidade. Na prática, para instrumentos usualmente empregados em controle geométrico, isso significa executar calibrações em intervalos apropriados. Contudo, determinar o intervalo de calibração mais apropriado a cada instrumento não é uma tarefa fácil uma vez que este depende das próprias características do instrumento e das condições de uso, na maioria das vezes de difícil quantificação. Além disso os intervalos de calibração devem ser dinâmicos, adequando-se a cada situação, visto que os fatores dos quais dependem geralmente variam com o tempo.

Estendendo-se a necessidade da determinação e controle de intervalos de calibração para uma grande diversidade de instrumentos, chega-se a conclusão de que é altamente interessante que a solução deste problema seja uma das preocupações de um sistema computadorizado de gerenciamento de instrumentos.

CAPÍTULO 5

PROPOSTA DE UM SISTEMA DE GERENCIAMENTO DE INSTRUMENTOS DE CONTROLE GEOMÉTRICO

5.1 - CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA DE GERENCIAMENTO

O sistema de gerenciamento ora proposto foi desenvolvido para atuar sobre os instrumentos de controle geométrico em um laboratório prestador de serviços. Contudo, na medida do possível, dentro do nível de abrangência do trabalho proposto, procurou-se um alto grau de universalidade de aplicação e de modularidade de construção, de forma que o uso do sistema possa ser estendido, eventualmente com pequenas modificações, para controle geométrico em ambientes fabris e também para o gerenciamento de instrumentos destinados à medição de outras grandezas, tais como pressão, temperatura e outras. Com esta finalidade procurou-se fazer também com que a estrutura do sistema fosse o mais independente do ambiente em que o mesmo deva ser implantado e da aplicação dos instrumentos.

5.1.1 - AMBIENTE FÍSICO ONDE SE INSERE O SISTEMA

O ambiente para o qual o sistema de gerenciamento foi desenvolvido caracteriza-se normalmente por:

- Mão-de-obra mais especializada em medições;
- Tarefas bastante diversificadas;
Estas incluem os serviços de calibração dos padrões do próprio laboratório e aqueles prestados a terceiros, medições de peças especiais e calibração de máquinas, os quais podem ser efetuados nas instalações do laboratório ou do cliente;
- Grande variedade de tipos de instrumentos disponíveis para controle geométrico;
- Pequena quantidade de instrumentos de um mesmo tipo;
- Uso não rotineiro dos instrumentos;
- Uso de um mesmo instrumento para diferentes aplicações, em diferentes condições e por diversos usuários;

A interação entre usuários, sistema de gerenciamento e instrumentos é esboçada na fig.5.1.

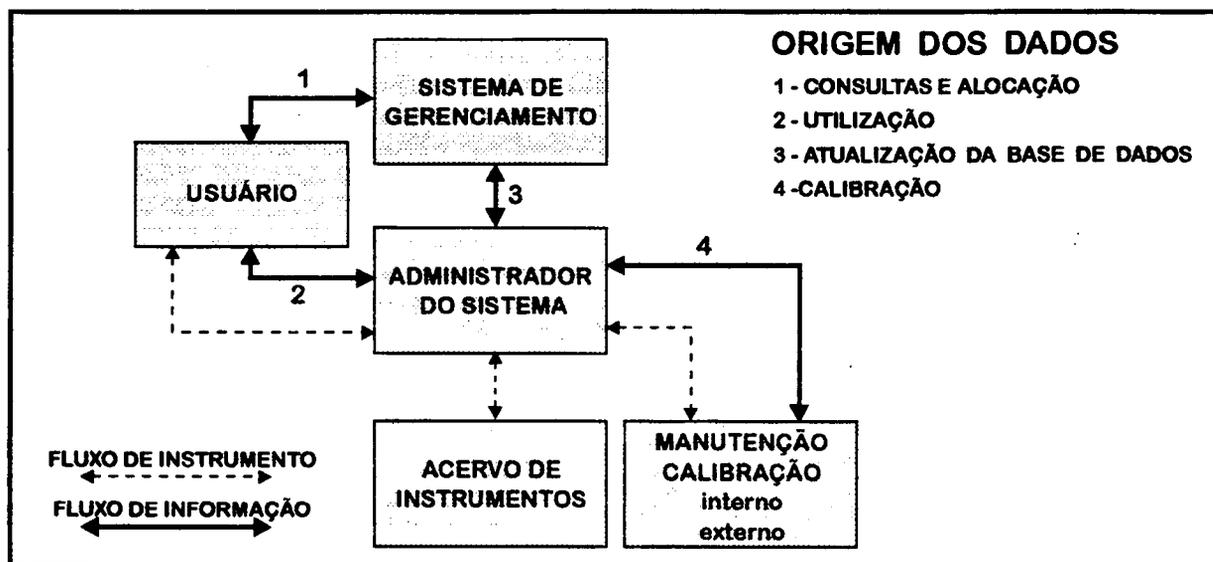


Figura 5.1 - Interação entre usuários e o sistema de gerenciamento

Dentro deste ambiente é necessário que um usuário assuma a função de administrador, cabendo-lhe:

- Manter atualizadas as informações contidas na base de dados, em especial aquelas relativas à garantia da qualidade metrológica dos instrumentos;
- Cadastrar novos instrumentos;
- Supervisionar o acervo e o fluxo dos instrumentos.

Para que o sistema funcione a contento, é imprescindível que os usuários dos instrumentos de medição:

- Somente utilizem os instrumentos que estejam em perfeitas condições de uso e para aquelas aplicações para as quais os mesmos tenham sido recomendados pelo sistema de gerenciamento e,
- Retornem ao sistema de gerenciamento, através do administrador do sistema, toda e qualquer informação decorrente do uso de um instrumento, como o tempo real de utilização e eventuais irregularidades constatadas.

5.1.2 - ATRIBUIÇÕES

O protótipo desenvolvido do sistema de gerenciamento executa as seguintes tarefas:

- a) Armazenamento e fornecimento de informações sobre:
 - As diversas características dos instrumentos;
 - Os usuários do sistema;
 - O controle e o histórico de utilização dos instrumentos;
- b) Atualização dos intervalos de calibração;
- c) Controle (programação) das operações de manutenção, calibração e ajuste;
- d) Seleção de um padrão para uma tarefa de calibração, considerando as características metroológicas e operacionais do padrão e as atuais do instrumento a calibrar;
- e) Seleção de um instrumento para uma dada tarefa de medição, considerando as características metroológicas e operacionais do mesmo;
- f) Controle do fluxo (empréstimo/devolução) dos instrumentos que são utilizados;
- g) Imposição de restrições ao uso de instrumentos não calibrados;

Além das tarefas anteriormente mencionadas, usando a base de dados construída, é fácil implementar módulos adicionais, por exemplo, para:

- Cálculo de disponibilidade, grau de utilização e demanda reprimida;
- Estabelecimento da hierarquia de padrões, de forma direta, em mais de um nível;
- Descrição de procedimentos de calibração;
- Fazer composição matemática das curvas de erro dos instrumentos que compõem os sistemas de medição.

5.2 - METODOLOGIA PARA AJUSTE DE INTERVALOS DE CALIBRAÇÃO

5.2.1 - CARACTERÍSTICAS GERAIS

A partir do estudo desenvolvido no capítulo 4 foi desenvolvida uma metodologia para determinar os intervalos de calibração que se caracteriza por:

a) Tratamento individual de cada instrumento

- Analisando-se conjuntamente os itens 4.3.1.b, que mostra as condições para a aplicação das formas de acompanhamento dos instrumentos, e 5.1.1, que mostra as condições geralmente encontradas em um laboratório de metrologia, observa-se que o acompanhamento individual dos instrumentos, onde o intervalo de calibração de um instrumento é definido independentemente dos demais, mostra-se como o mais adequado.

b) Tratamento não diferenciado dos instrumentos em virtude dos mesmos permitirem, ou não, previsão do comportamento de suas características metrológicas.

- Tem-se observado que os instrumentos mecânicos tais como esquadros, réguas, blocos padrão, micrômetros, paquímetros, etc, que em função do uso sofrem alterações previsíveis, estão dando lugar a instrumentos eletro-eletrônicos. Para estes últimos, a menos que recursos específicos estejam incorporados, não é possível, sem um estudo prévio de cada caso, afirmar que alguma tendência de comportamento possa ser verificada.

c) Utilização de critérios empíricos para ajustar os IC.

- Considerando-se que um tratamento estatístico poderia permitir conclusões mais seguras quanto à determinação dos intervalos de calibração, foram feitos estudos na tentativa de avaliar como tais técnicas poderiam ser empregadas.
- A pequena quantidade de dados gerados, em decorrência do acompanhamento individual, leva à necessidade de execução de várias calibrações antes que uma abordagem estatística possa ser empregada, de forma satisfatória. Do contrário, a incerteza associada a estas previsões pode ser razoavelmente grande, o que torna sem sentido o uso destas técnicas.
- Paralelamente ao problema da pequena quantidade de dados, existe o problema do número de características que devem ser verificadas em um mesmo sistema de medição.

d) Utilização de informações fornecidas por fabricantes e/ou normas para a definição dos intervalos de calibração iniciais.

e) Consideração da intensidade de uso do instrumento.

Objetivando uma otimização entre IC e gastos com calibração, propõe-se que instrumentos pouco utilizados sofram calibrações menos frequentes.

5.2.2 - DESCRIÇÃO DA METODOLOGIA

De acordo com a presente metodologia, o IC de um instrumento é caracterizado por dois parâmetros designados limite-uso e limite-tempo. O que primeiro ocorrer define a ação "calibrar o instrumento", conforme a fig.5.2. Paralelamente ao monitoramento destes dois limites, consideram-se também, eventuais irregularidades constatadas durante o uso.

O parâmetro limite-tempo estabelece um período de tempo corrido, findo o qual o instrumento deve ser calibrado mesmo que a sua utilização tenha sido bem pouca.

Tradicionalmente, os intervalos de calibração são tratados por normas, procedimentos técnicos e recomendações de fabricantes, em termos de um período de tempo corrido, independente do grau de utilização do instrumento.

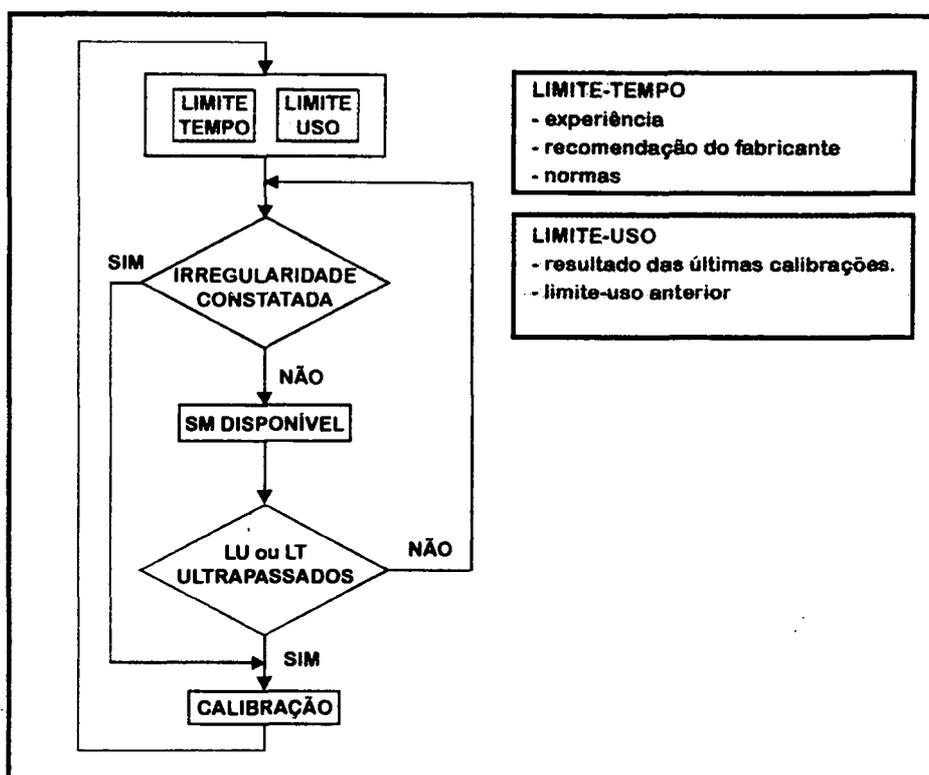


Figura 5.2 - Parâmetros para determinação de IC

O limite-tempo inicial pode ser definido segundo:

- Experiências anteriores com instrumentos e condições de aplicações similares;
- Informações fornecidas por fabricante ou contidas em normas, desde que não sejam conflitantes com as experiências anteriores.

O parâmetro limite-uso estabelece um certo número de horas de real utilização do instrumento, antes que uma nova calibração seja necessária.

Os limites de uso e de tempo guardam uma relação entre si. Esta relação é expressa em termos de um valor médio de horas diárias de utilização do instrumento. Por exemplo, na literatura encontram-se recomendações no sentido de que micrômetros sejam calibrados em intervalos que variam de três a seis meses. Tomando-se o limite-tempo inicial como sendo três meses, isto é, 90 dias, e considerando-se que, por hipótese, a utilização diária média seja de duas horas, então o limite-uso inicial seria de 180 horas.

Quando o limite-uso for corrigido, de acordo com o procedimento a ser apresentado a seguir, corrige-se também o limite-tempo. Esta correção é processada com o objetivo de fazer com que a ação "calibrar o instrumento" seja definida preferencialmente pelo limite-uso, ou seja, instrumentos pouco usados são calibrados menos frequentemente.

A correção do parâmetro limite-uso se dá em função da história de calibração do instrumento, a qual é contada através de códigos representando as condições em que o instrumento foi encontrado no momento das calibrações, fig.5.3.

CÓDIGO	SIGNIFICADO
0	<ul style="list-style-type: none"> - Calibração inicial de um SM - Perda do histórico de calibração do SM - SM não utilizado a longo tempo - Mudanças nas especificações para as quais o SM tem sido calibrado
1	- CONFORMIDADE - todas as especificações verificadas do SM estão dentro da tolerância
3	- SEM CONFORMIDADE - pelo menos uma das especificações está fora da tolerância
5	- INDETERMINADO - necessita reparo para execução de calibração

Figura 5.3 - Definição dos códigos de situação do SM

Através de uma combinação dos códigos referentes às três calibrações mais recentes (incluindo a atual), obtém-se um indicador de ação, fig.5.4, a partir do qual decide-se pelo aumento, diminuição ou permanência de um dado limite-uso (LU).

COMBINAÇÃO DAS DUAS ÚLTIMAS CALIBRAÇÕES	NOVO CÓDIGO OBTIDO				NOVO LIMITE - USO
	1	3	5	0	
+0	P	P	P	I	P = permanecer A = aumentar D = diminuir R = reduzir significativamente M = metrologista decide I = limite-uso inicial (+) qualquer código
01	A	P	P	I	
03	P	R	P	I	
05	P	P	P	I	
11	A	P	P	I	
13	P	R	P	I	
15	P	P	P	I	
31	P	D	P	I	
33	P	R	M	I	
35	P	D	M	I	
51	A	P	P	I	
53	P	R	M	I	
55	P	M	M	I	

Figura 5.4 - Indicador de ação do limite-uso

Com o indicador de ação (atitude a ser tomada em relação ao novo LU) obtido pela fig.5.4 e o LU corrente, obtém-se o novo LU através da fig.5.5. Este novo LU representa o número de horas para utilização real do instrumento.

Os valores constantes na fig.5.5 foram sugeridos por /80/, muito provavelmente a partir do método de aproximações sucessivas. Contudo, em função da experiência adquirida, o administrador do sistema deve adequá-los à sua necessidade. Pode-se, por exemplo, criar novos valores para o limite-uso.

ÚLTIMO LIMITE-USO	INDICADOR DE AÇÃO		
	A	R	D
40	80	METROL	METROL
80	120	40	40
120	180	60	80
160	240	80	120
200	300	100	160
240	360	120	200
.	.	.	.
800	1200	400	400
1600	1600	800	400

Figura 5.5 - Novos intervalos de calibração

5.3 - SELEÇÃO DE INSTRUMENTOS

A seleção de instrumentos obedece os critérios já estabelecidos no capítulo 3. Após o usuário haver estabelecido o tipo de parâmetro a medir, a faixa do parâmetro, tolerância e método de medição, uma pesquisa é feita entre todos os instrumentos cadastrados na base de dados e todos aqueles que forem capazes de verificar o parâmetro de medição obedecendo os requisitos de natureza metrológica/operacional são apresentados ao usuário. A pesquisa é feita entre todos os instrumentos independentemente deles estarem emprestados, em manutenção ou necessitando calibração. Entretanto, um empréstimo ou uma reserva para uso futuro, só é permitido se o instrumento estiver em perfeitas condições de uso e devidamente cadastrado no módulo de Garantia da Qualidade.

Cabe ao usuário escolher um SM dentre aqueles indicados pelo sistema de gerenciamento, levando em conta as características da peça, condições ambientais e custo, dentre outros.

Durante o processo de definição da tarefa de medição, caso o usuário opte por uma medição diferencial, o sistema de gerenciamento faz também a escolha da caixa de bloco-padrão a ser usada.

5.4 - BASE DE DADOS DO SISTEMA DE GERENCIAMENTO

A base de dados do SGICG é constituída de três grupos de informações:

a) Cadastros gerais

Neste grupo são armazenadas as informações relativas a nomes (palavras-chaves) usadas ao longo do sistema de gerenciamento. Fazem parte deste grupo informações tais como designação e abreviatura dos SM e medidas materializadas, fabricantes, "status" (p. ex. em calibração, em uso, etc.), aplicação e unidades.

b) Cadastros de usuários;

Relativamente aos usuários armazenam-se sigla, senha, setor, operações permitidas dentro do sistema de gerenciamento, situações (atrasos e débitos).

c) Instrumentos

As informações relativas aos SM e medidas materializadas estão sub-divididas em quatro classes, conforme mostrado na fig.5.6.

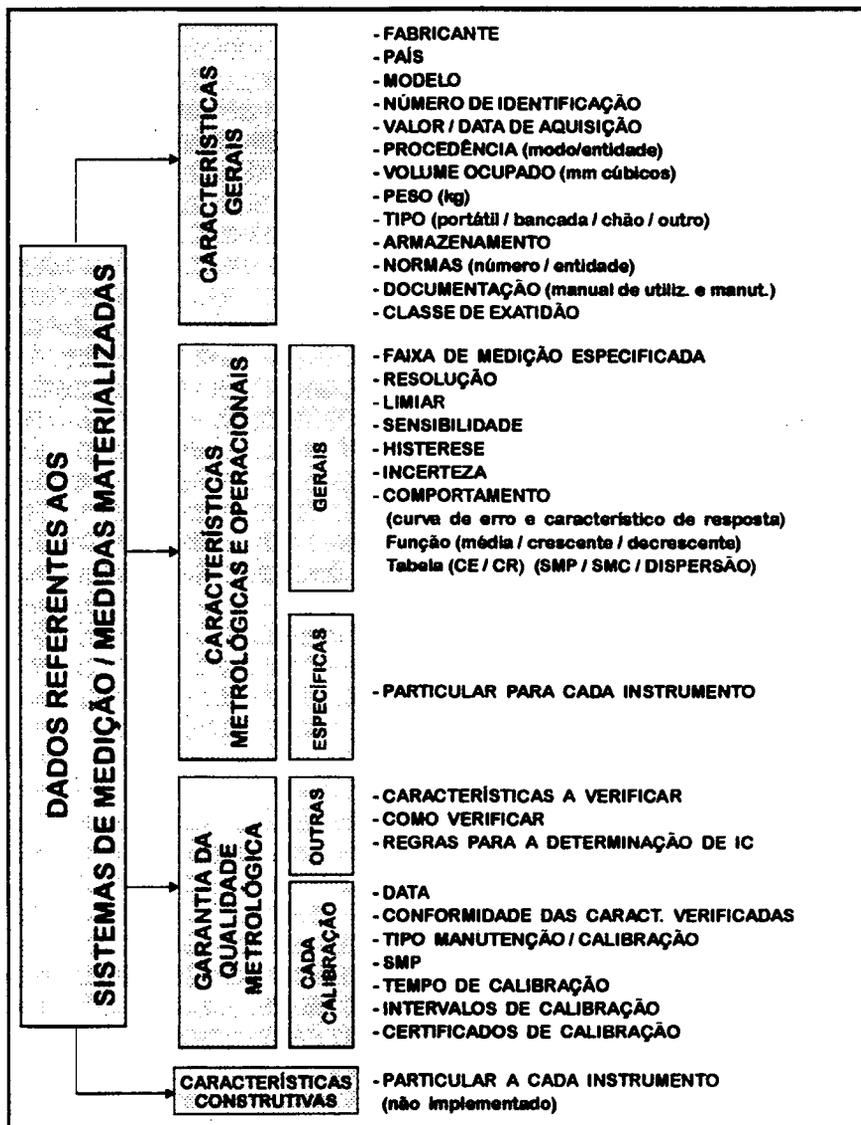


Figura 5.6 - Informações armazenadas na base de dados do sistema de gerenciamento

As relações possíveis entre as classes estão mostradas na fig.5.7.

No que concerne à implementação, a base de dados foi desenvolvida utilizando a mesma linguagem dos demais aplicativos, objetivando uma maior facilidade de interfaceamento com os mesmos.

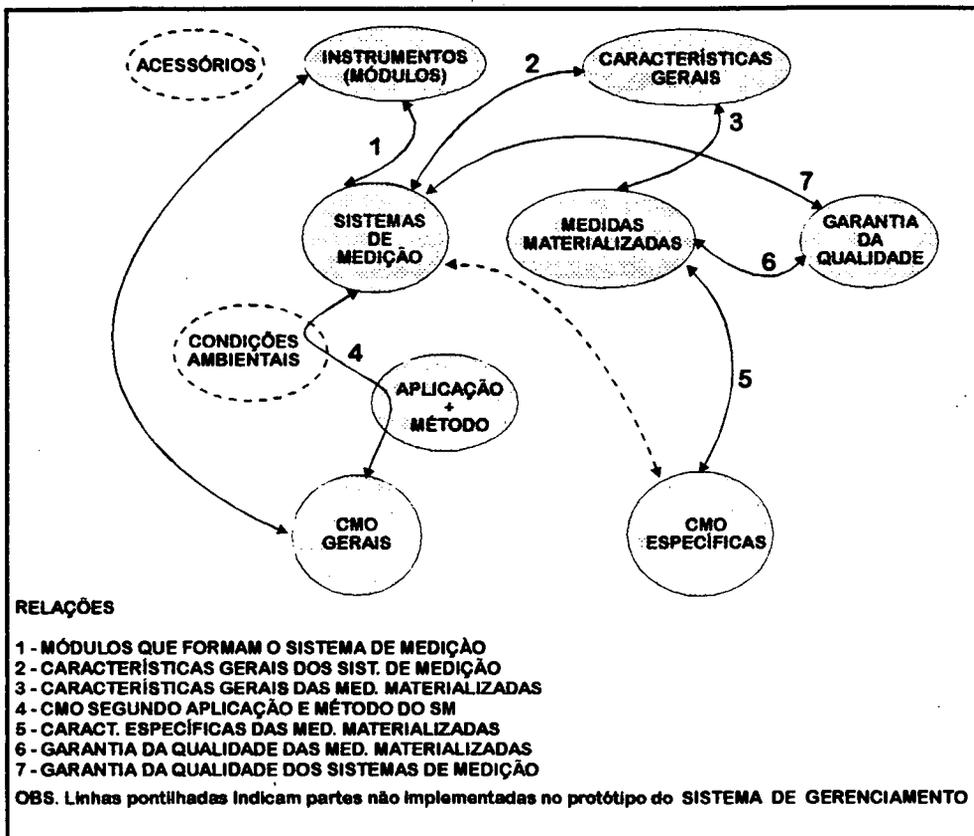


Figura 5.7 - Fluxo de informações na base de dados

5.5 - IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA COMPUTACIONAL DE GERENCIAMENTO DE INSTRUMENTOS DE CONTROLE GEOMÉTRICO

5.5.1 - CARACTERÍSTICAS COMPUTACIONAIS

O sistema de gerenciamento foi desenvolvido usando a técnica de diagrama de fluxo de dados, DFD, /87/ e apresenta as seguintes características:

a) Facilidade de interação sistema/usuário.

Para tanto fez-se uso de telas com menus, sistemas de janelas sobrepostas e "help on-line".

b) Flexibilidade para manipulação de informações de uma grande variedade de instrumentos.

c) Possibilidade de integração com outros sistemas.

d) Capacidade de crescimento, sem a necessidade de alteração da estrutura do sistema.

Neste sentido optou-se pela construção em módulos.

e) Segurança na prestação de informações.

Apenas usuários devidamente autorizados têm acesso aos módulos destinados à atualização das informações relativas aos instrumentos.

Os diagramas de fluxo de dados do sistema de gerenciamento podem ser vistos em detalhe no manual de referência técnica /88/.

5.5.2 - A ESTRUTURA DO SISTEMA DE GERENCIAMENTO

O SGICG implementado é constituído de uma base de dados (apresentada no item 5.4) e dos módulos mostrados na fig. 5.8, cada um executando tarefas específicas.

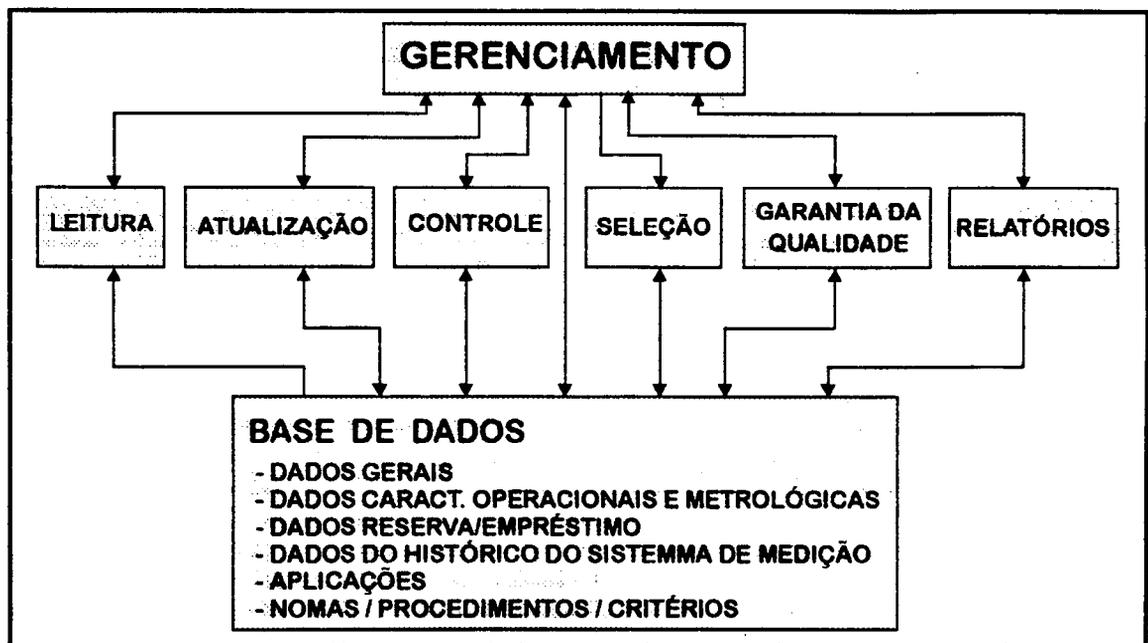


Figura 5.8 - Módulos do sistema de gerenciamento

As funções, o diagrama da lógica e a tela de inicialização de cada módulo são apresentadas a seguir. Explicações detalhadas de como trabalhar com o sistema estão presentes no manual do usuário /89/.

a) Módulo de leitura de dados

Permite o acesso às informações referentes a:

- Constituição (instrumentos) dos sistemas de medição;
- Características metrológicas e operacionais dos instrumentos em função de uma dada aplicação e coordenada.

Um exemplo é mostrado na fig.5.9, para o caso de um transdutor de deslocamento;

- Características gerais;
- Garantia da qualidade (resultados das cinco últimas calibrações);
- Relação de instrumentos e usuários cadastrados;
- Palavras-chave;

```
LEITURA DE DADOS

Opcoes de Consulta
Dados Cadastrais Instrumentos
Caract. Metrol./Operac.
Caracteristicas Gerais
Garantia da Qualidade
Relacao Instrum./Usuarios Cadastrados
Cadastrros Gerais (Elementos Chaves)
Consultar outro instrumento
Retornar

ENTER - Selecionar
```

Tela 1 - Opções do módulo de leitura de dados

b) Módulo de atualização

Possibilita as operações de inclusão, alteração e eliminação dos dados relativos aos instrumentos e usuários e relativos aos arquivos de palavras-chave. A estrutura lógica é mostrada na fig.5.10.

```
ATUALIZACAO DE DADOS

Tipos de Atualizacao
Cad/Alter - Usuarios
Cad/Alter - Cadast. Gerais
Cadastrar Novos instrumentos
Alterar Dados dos instrumentos
Atualizar Caracter./Aplicacao
Excluir instrumentos
Retornar

ENTER - Selecionar Opcao
```

Tela 2 - Opções do módulo de atualização de dados

INSTRUMENTOS							
IDENTIFICACAO							
REFER.	Modulo 1	Modulo 2	Modulo 3	DESIGNACAO	Num Ace	Codigo	Status
1	RL 0247	RL 0047	RL 0038	MODELE	3	11	1

Características Metrologicas - Operacionais		
1 -	Coordenada	Aplicacao - Metodo de medicao
2 -	X	COPEX - MCO
3 -		
4 -		
5 -		
6 -		
7 -		
8 -		
9 -		
10 -		
11 -		
12 -		
13 -		
14 -		
15 -		
16 -		
17 -		
18 -		
19 -		

Características Metrologicas - Operacionais	
Codigo :11	Coordenada :X
Valor de uma divisao :	Resolucao :0.001
Faixa de Medicao Especificada (FME)	
Unidade :mm	
Limite Inferior (FMEI) :-20.000	Limite Superior (FMES) :20.000
Histerese :0.0353	
Erro linearidade: menor 0.5%	
Sensibilidade :80mV/V	
Incerteza do SM :0.1	Unidade :mm

PgUp - Pagina Anterior

PgDn - Pg

F1 - Prosseguir F2 - Help Unidade

Características Metrologicas - Operacionais	
Comportamento : EQUACOES	
Codigo :11	Coordenada :X
Unidade :	
Tipo:(CE/CR/RT/OUTRO):	
Sentido - Avanco :	
Sentido - Retorno :	
Comp. do SM (F. Media) :	

Tabela Numerica	
Características	
Tipo (CE/CR/RT/OUTRO):	CE
Unidade SMP :	mm
Unidade Medida :	mm
Unidade Dispersao :	mm
Numero de Pontos :	22

F1 - Prosseguir F2 - Help Unidade

F1 - Prosseguir

Tabela Numerica			
i	Valor Verd. Convenc.(SMP)	Medida Media no SM (SMC)	Dispersao (95%)
1	-20.0190	-20.000	0.0187
2	-17.9713	-18.000	0.0854
3	-15.9220	-16.000	0.0187
4	-13.9433	-14.000	0.0124
5	-11.9817	-12.000	0.0099
6	-10.0103	-10.000	0.0090
7	-8.0277	-8.000	0.0099
8	-6.0327	-6.000	0.0066
9	-4.0260	-4.000	0.0043
10	-2.0130	-2.000	0.0043
11	0.0000	0.000	0.0000
12	2.0123	2.000	0.0050
13	4.0203	4.000	0.0025
14	6.0203	6.000	0.0025
15	8.0080	8.000	0.0043
16	9.9810	10.000	0.0043
17	11.9387	12.000	0.0066
18	13.8863	14.000	0.0124

PgUp - PgDn F1 - Incluir ESC - Retornar

Figura 5.9 - Leitura das características metrologicas e operacionais para um transdutor de deslocamento

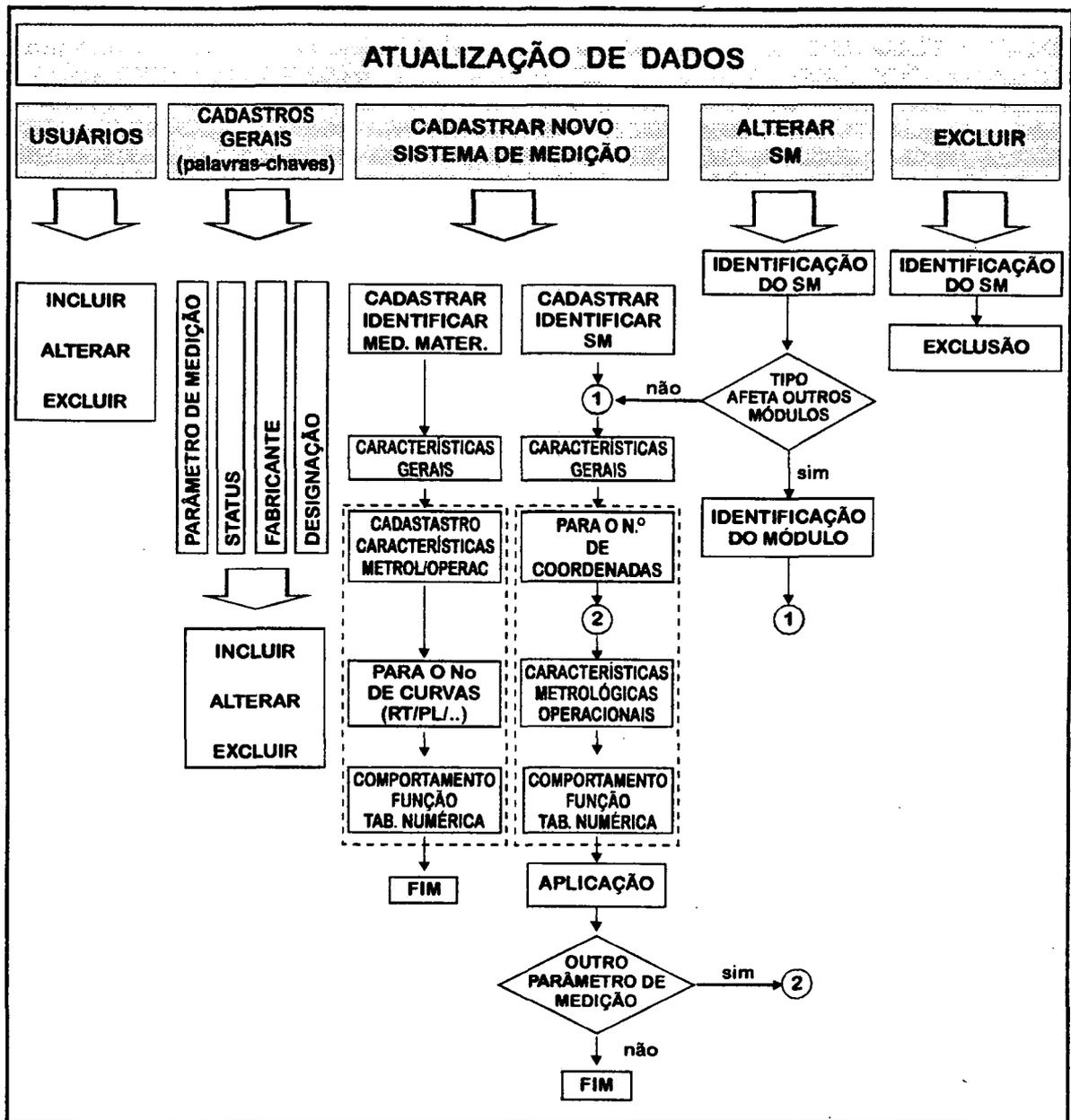


Figura 5.10 - Estrutura lógica do módulo de atualização de dados do sistema de gerenciamento

c) Módulo de controle

Executa as tarefas de reserva, empréstimo e controle da devolução dos instrumentos, bem como permite, a qualquer momento, localizar um instrumento. A fig.5.11 mostra a estrutura lógica do módulo de controle.

Na tentativa de disciplinar o uso dos instrumentos, algumas regras foram impostas:

- Qualquer instrumento só pode ser emprestado por um prazo não superior ao estabelecido. Caso este prazo seja insuficiente, é necessária a aprovação do administrador do sistema de gerenciamento. O prazo extra concedido deve levar em conta a importância que o instrumento tem dentro do laboratório;
- Cada usuário só poderá ter um número limitado de instrumentos alocados em seu nome simultaneamente;
- Ao devolver um instrumento o usuário deve informar o tempo real de utilização do mesmo, visto que um dos fatores que determinam o intervalo de calibração é o tempo real de utilização.

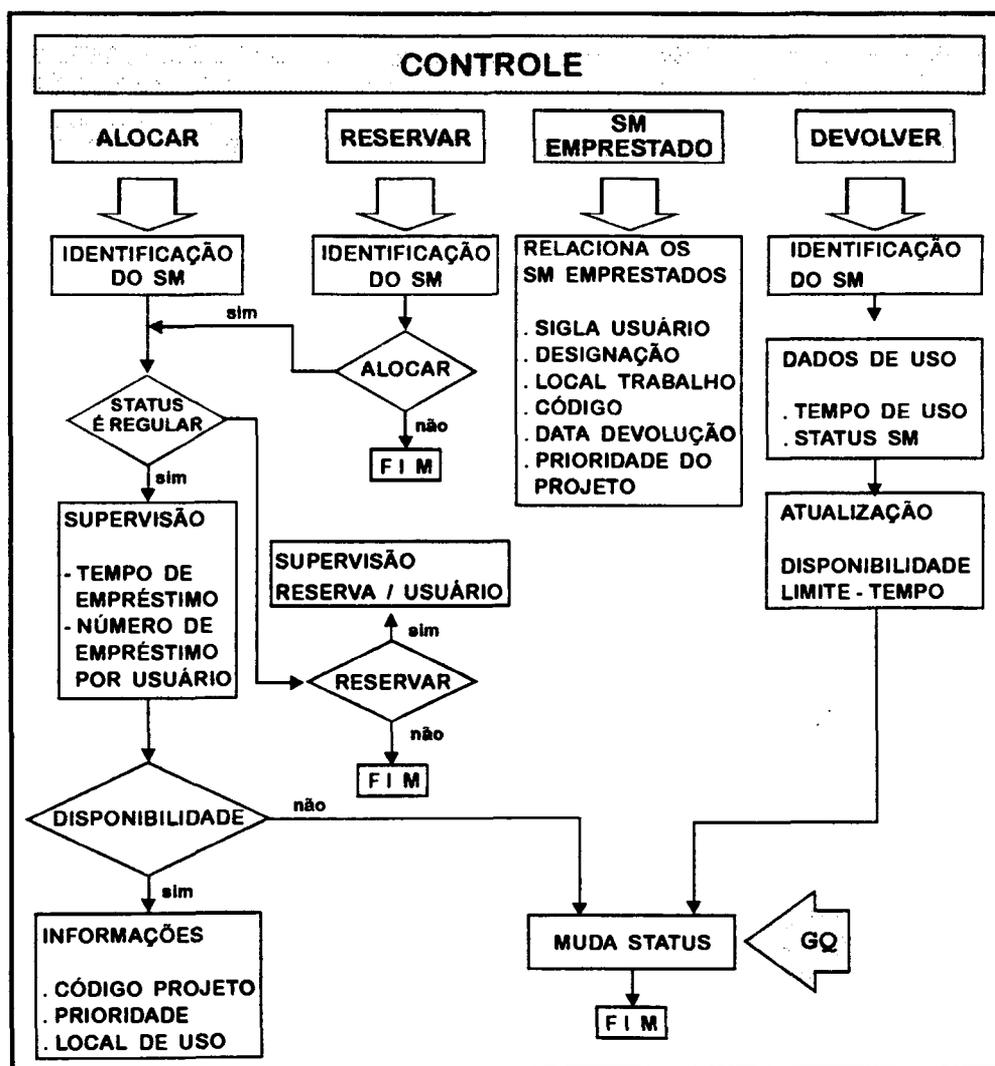


Figura 5.11 - Estrutura lógica do módulo de controle

CONTROLE - INSTRUMENTOS						
<table border="1"><thead><tr><th>Opcoes de Controle</th></tr></thead><tbody><tr><td>Alocar</td></tr><tr><td>Devolver</td></tr><tr><td>Inst. Reservados</td></tr><tr><td>Inst. Alocados</td></tr><tr><td>Retornar</td></tr></tbody></table>	Opcoes de Controle	Alocar	Devolver	Inst. Reservados	Inst. Alocados	Retornar
Opcoes de Controle						
Alocar						
Devolver						
Inst. Reservados						
Inst. Alocados						
Retornar						
ENTER - Seleccionar						

Tela 3 - Opções do módulo de controle

d) Módulo de seleção

SELECAO DE INSTRUMENTOS				
<table border="1"><thead><tr><th>Opcoes de Seleccion</th></tr></thead><tbody><tr><td>Medicao de uma Grandeza</td></tr><tr><td>Calibr. de instrumentos</td></tr><tr><td>Retornar</td></tr></tbody></table>	Opcoes de Seleccion	Medicao de uma Grandeza	Calibr. de instrumentos	Retornar
Opcoes de Seleccion				
Medicao de uma Grandeza				
Calibr. de instrumentos				
Retornar				
ENTER - Selecciona				

Tela 4 - Opções do módulo de seleção

Este módulo permite a seleção de instrumentos para uma dada tarefa de medição ou calibração. A fig.5.12 mostra a estrutura lógica deste módulo.

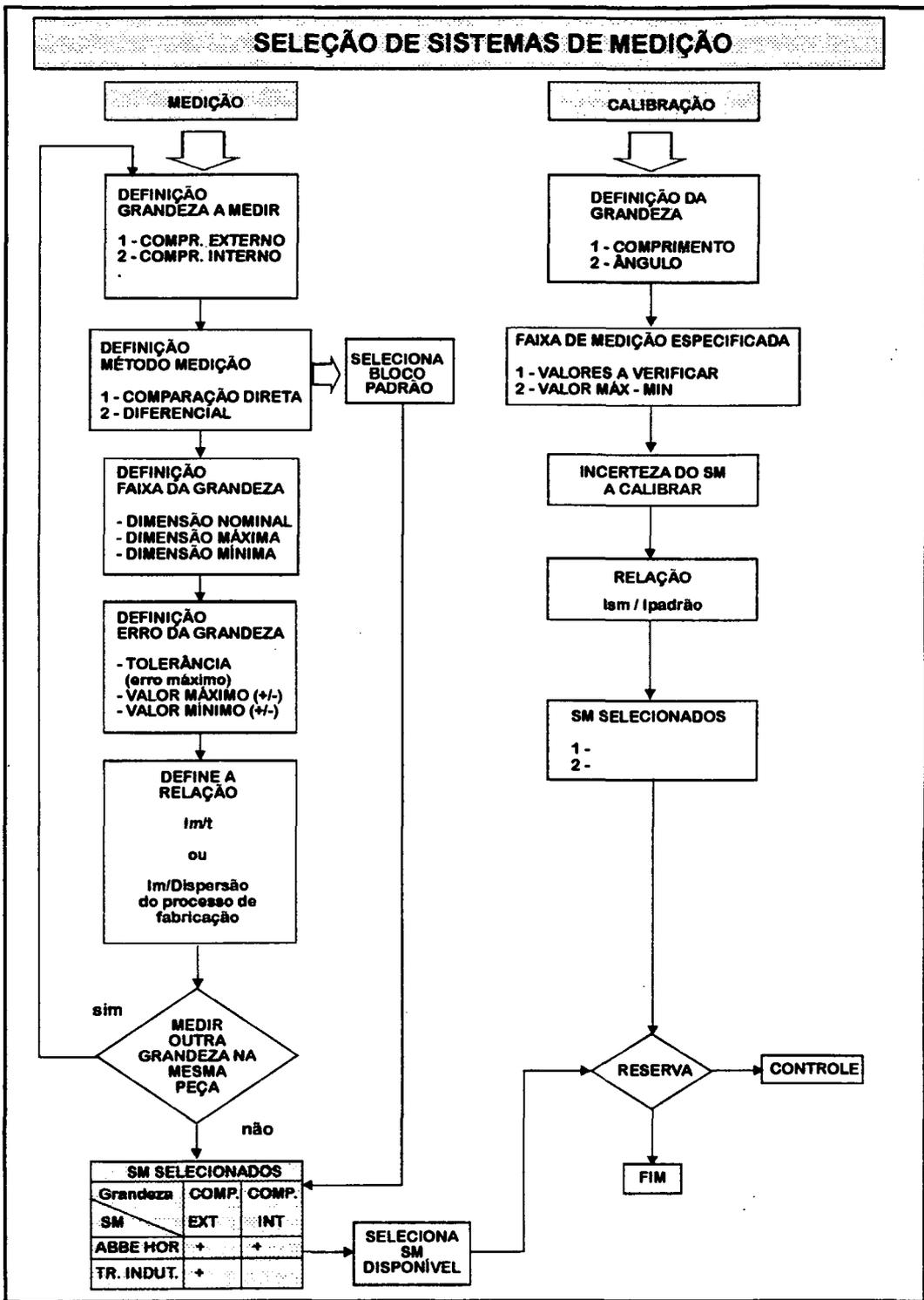
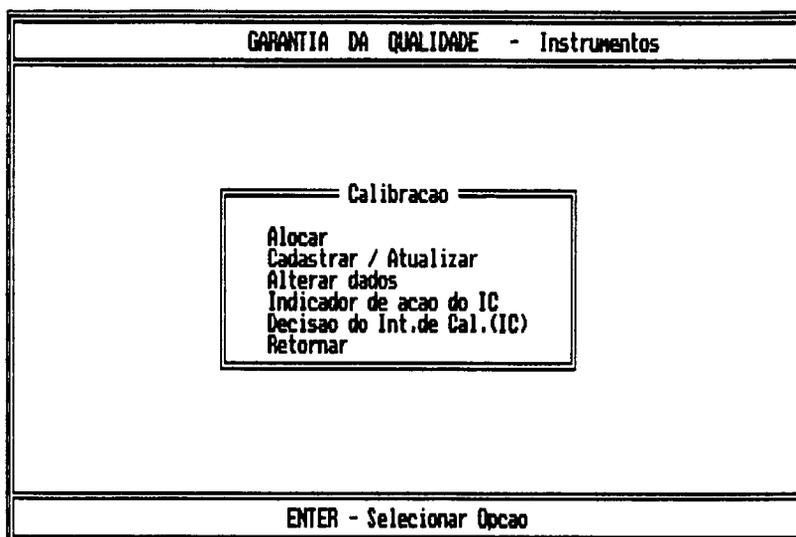


Figura 5.12 - Estrutura lógica do módulo de seleção

e) Módulo de garantia de qualidade

Através deste módulo executam-se todas as tarefas de gerenciamento necessárias para garantir a qualidade metroológica dos instrumentos:

- Alocação para a calibração;
- Atualização de informações relativas às calibrações;
- Determinação de um novo limite-uso mediante um indicador de ação e o intervalo atual;
- Atualização do indicador de ação e da tabela de limite-uso



Tela 5 - Opções do módulo de garantia da qualidade

A fig.5.13 mostra como este módulo foi implementado, enquanto que a fig.5.14 mostra um fluxograma da implementação da metodologia descrita no item 5.2.2 para determinação do limite-uso.

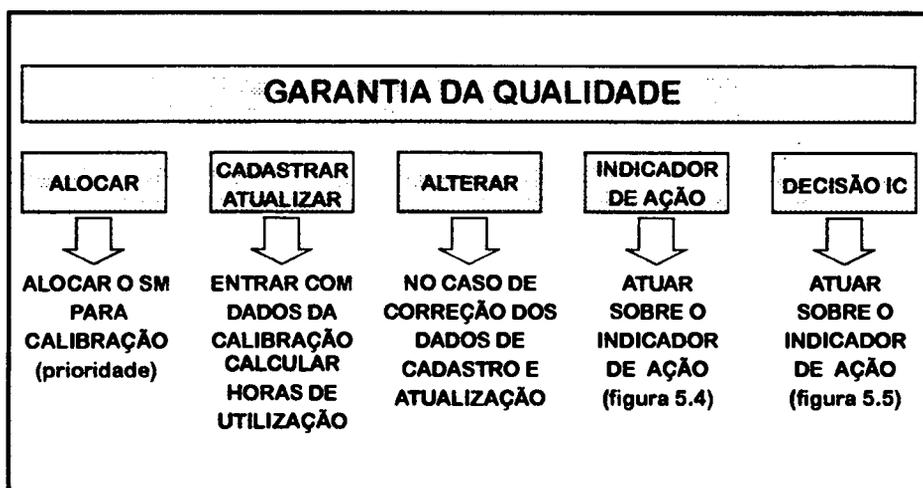


Figura 5.13 - Estrutura do módulo da garantia da qualidade

A obtenção e o controle dos parâmetros limite-tempo, limite-uso e eventuais irregularidades, empregados na determinação do intervalo de calibração, são executadas pelos módulos da garantia da qualidade (letra a da fig.5.14), gerenciador (letra b da fig. 5.14) e pelo módulo de controle do SM (letra c da fig.5.14).

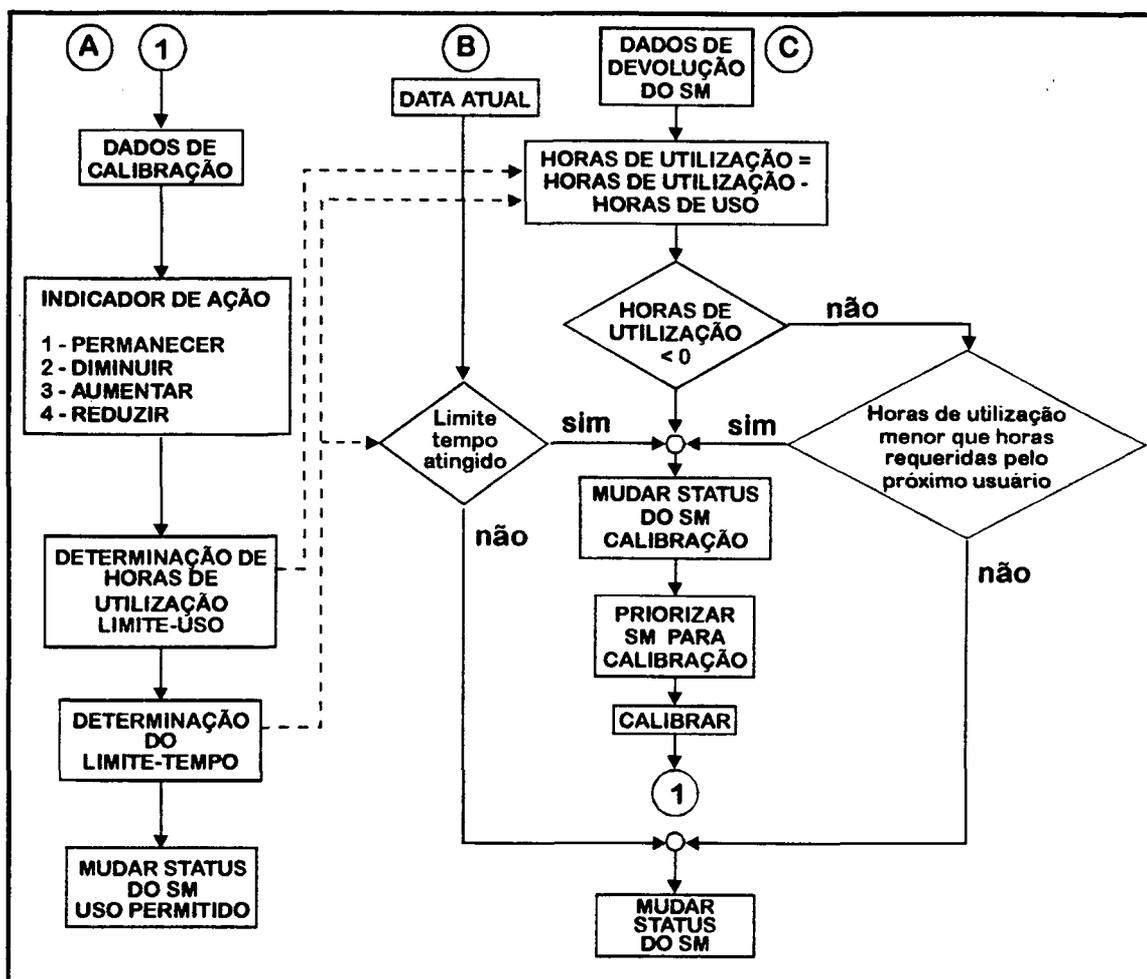


Figura 5.14 - Obtenção e controle dos parâmetros limite-tempo e limite-uso

f) Módulo de relatórios

Quatro relatórios foram implementados:

- Instrumentos com devolução em atraso;
- Instrumentos a serem calibrados;
- Instrumentos emprestados;
- Instrumentos devolvidos.

Tais relatórios fornecem uma visão global do fluxo dos instrumentos.



Tela 6 - Opções do módulo de relatórios

5.6 - TESTE DE FUNCIONAMENTO DO PROTÓTIPO DESENVOLVIDO

Uma avaliação precisa da eficiência do sistema de gerenciamento proposto requer que o mesmo seja implantado em um laboratório e que após essa implantação toda e qualquer utilização dos instrumentos se processe obedecendo as regras impostas pelo sistema de gerenciamento. Esse tipo de avaliação, por envolver todo o pessoal do laboratório e demandar tempo razoavelmente grande, não pôde ser feita.

Contudo, após concluído, o sistema foi testado funcionalmente por aproximadamente 160 horas pelo responsável pelo desenvolvimento, sem que fossem identificadas falhas de operação.

Adicionalmente, após preencher a base de dados com informações relativas a vinte instrumentos de diversos tipos e submeter o sistema de gerenciamento à simulação de uso por três potenciais usuários com larga experiência em controle geométrico, por períodos variando de 8 a 40 horas cada, foi possível avaliar alguns pontos que são relacionados a seguir.

a) Terminologia

Ao longo das telas do sistema de gerenciamento emprega-se a terminologia apresentada no capítulo 2. Como não há um consenso nesse ponto, como era de se supor, os usuários que não adotam a terminologia tal como a apresentada manifestam desejo de que a terminologia seja compatibilizada com o que lhe é usual.

b) Apresentação das informações

Em função da abrangência que se pretendeu conferir ao sistema de gerenciamento, um grande número de informações é manipulado. Estas informações estão distribuídas em aproximadamente 82 tipos de telas. Apesar do elevado número, algumas telas apresentam uma alta densidade de informações, dificultando a visualização e a entrada de dados. Neste particular fica claro que o desenvolvimento do sistema ficou prejudicado pelo uso das ferramentas ETRTEL e TELAS /90/, disponíveis quando do desenvolvimento do sistema.

c) Avaliação geral

O sistema foi investigado em todas as suas possibilidades e nenhum erro de lógica foi percebido. Também não houve manifestações no sentido de armazenar outras informações além daquelas já trabalhadas no sistema de gerenciamento e tampouco foram percebidas inadequações das informações apresentadas.

A metodologia para determinação de intervalos de calibração não pôde ter a sua eficiência real avaliada em função do curto período em que o protótipo foi submetido a testes. Entretanto, através de simulações, foi constatado o correto funcionamento do sistema no que se refere à determinação de novos intervalos.

CAPÍTULO 6

CONSIDERAÇÕES FINAIS

6.1 - CONCLUSÕES

Independentemente da filosofia de garantia da qualidade adotada, a qualidade de produtos e processos é fortemente influenciada por resultados de medições.

Para que resultados com níveis de incerteza satisfatórios sejam obtidos é imprescindível que instrumentos adequados sejam utilizados e que suas características sejam conhecidas nas reais condições de utilização.

Há necessidade de se adequar a utilização de instrumentos de modo a se garantir a qualidade das medições sem que a operação de medição seja injustificadamente onerada. Neste contexto, um sistema de gerenciamento de instrumentos de controle geométrico pode auxiliar decisivamente na otimização da relação garantia dos resultados/custo das medições.

Através de um sistema de gerenciamento é possível conhecer as características de todos os instrumentos disponíveis, supervisionar a qualidade dos instrumentos e selecionar instrumentos adequados, com facilidade. Isto torna viável, na prática, o estabelecimento de procedimentos de medição mais eficientes. Por exemplo, ao se compensar os erros sistemáticos e minimizar, por meio de procedimentos estatísticos, os erros aleatórios do processo de medição, pode-se realizar medições com muito bom nível de incerteza, utilizando instrumentos simples, de custo de aquisição e de manutenção mais baixos.

Dentro do presente trabalho desenvolveu-se um sistema computadorizado para gerenciamento de instrumentos de controle geométrico. Para se chegar a uma especificação fundamentada do sistema posteriormente implementado, aprofundou-se o estudo teórico e o levantamento de informações de caráter prático acerca de questões fundamentais como a terminologia básica de metrologia e instrumentação; a seleção de instrumentos e a garantia da qualidade metrológica de instrumentos de medição. Cada um desses temas é abordado individualmente a seguir:

a) Terminologia

A inexistência de uma terminologia efetivamente aceita e empregada representa um obstáculo extra ao entendimento das demais questões envolvidas no gerenciamento de instrumentos e até mesmo uma ameaça aos sistemas laboratoriais e industriais de garantia da qualidade. Contribui para esse quadro a constatação durante o estudo realizado de que nem mesmo referências de alta aceitação internacional apresentam os significados de todos os termos de forma clara.

Neste trabalho foi feita uma revisão da terminologia empregada em controle geométrico e em metrologia geral, buscando um entendimento das definições associadas a cada termo. Propostas foram feitas no sentido de adequar terminologias empregadas em diferentes instituições nacionais. Acredita-se ter-se dado um passo para que se chegue a uma terminologia objetiva que seja aceita pelos profissionais da área de metrologia.

b) Seleção de sistemas de medição

Na seleção de um sistema de medição adequado a uma tarefa, é preciso a consideração de inúmeros fatores relativos a:

- grandeza a medir;
- características da peça;
- método de medição;
- tempo disponível e quantidade de medições;
- condições ambientais e custo.

Dentre estes, os fatores essenciais, que estão diretamente ligados às características metrológicas dos instrumentos, são aqueles relacionados à grandeza a medir (parâmetro geométrico, faixa de valores, tolerância especificada). Os demais podem ser tratados como condições de contorno, particulares, do problema de medição.

Para possibilitar o correlacionamento da grandeza a medir com as concernentes características relevantes dos instrumentos de medição, foram, neste trabalho, apresentados os principais parâmetros geométricos e suas formas usuais de representação.

Ficou constatado que a grande variedade de parâmetros geométricos que devem ser medidos sob as mais diferentes situações, aliada à grande variedade de instrumentos disponíveis, torna difícil a sistematização de procedimentos para implementação de algoritmo computacional universal que possibilite a seleção otimizada de instrumentos.

c) Garantia da qualidade metrológica dos sistemas de medição

Está alicerçada na hierarquia de padrões e em calibrações executadas em intervalos apropriados.

A forma sucinta e por vezes até com relativa simplicidade como os aspectos relacionados à definição de intervalos de calibração são tratados no dia-a-dia e até mesmo nos diversos programas de calibração e em sistemas de qualidade, como na ISO 9000, dá a impressão que o processo para definição dos intervalos de calibração é bem conhecido e dominado. Na realidade, entretanto, constatou-se ser um problema complexo, não admitindo generalizações.

A correta definição dos intervalos de calibração depende de fatores que podem ser de difícil quantificação e desta forma, a experiência e o bom senso são ferramentas, por vezes, insubstituíveis.

Uma vez analisadas as questões fundamentais do gerenciamento de instrumentos, foi possível desenvolver um protótipo de um sistema de gerenciamento. Deste sistema destacam-se as seguintes características:

- Quanto à terminologia
 - Adota-se a terminologia apresentada no capítulo 2, a qual foi estabelecida procurando-se uma compatibilização com referências de aceitação internacional. Dessa forma, uma aceitação do sistema de gerenciamento está condicionada à própria aceitação da terminologia. Este problema foi observado durante os testes do sistema. Além disso, nota-se também que este ponto poderá trazer dificuldades para a integração do sistema de gerenciamento com outros sistemas existentes, por exemplo o Software Universal de Calibração - SUC /10/.

- Quanto à seleção de instrumentos
 - O sistema de gerenciamento só é capaz de avaliar os fatores associados à grandeza a medir. A análise dos demais fatores fica sob responsabilidade do usuário do sistema de gerenciamento. Mesmo considerando propostas de aplicação de sistemas especialistas baseados em inteligência artificial /20/, não foi ainda possível, devido ao grande número de variáveis a serem consideradas, estabelecer um sistema computadorizado que seja totalmente capaz de selecionar um sistema de medição para uma determinada tarefa sem qualquer intervenção do usuário.
 - Considerando-se que as características dos sistemas de medição se alteram ao longo do tempo, um sistema de gerenciamento computadorizado permite que tais características sejam facilmente atualizadas. Isto tem como consequência um processo de seleção que, além de mais rápido e confiável, é mais otimizado do ponto de vista econômico.

- Quanto à garantia da qualidade metrológica
 - A atuação do sistema de gerenciamento no campo da garantia da qualidade metrológica consiste em fornecer mecanismos para a determinação de intervalos de calibração e em impor restrições ao uso de sistemas de medição que não estejam calibrados.
 - A metodologia proposta para determinação de intervalos de calibração apresenta as seguintes características:
 - Fácil utilização via computador;
 - Permite um equilíbrio do fluxo de trabalho do laboratório de
 - Calibração, mediante a definição de um cronograma de instrumentos a serem calibrados numa dada época;
 - O número de informações necessárias para determinar os intervalos de calibração é pequeno;
 - Otimização da relação entre intervalo de calibração e custo de calibração, segundo o tempo real de utilização;
 - Aplicável ao acompanhamento individual dos sistemas de medição

- O método para determinar intervalos de calibração pode ser facilmente adaptado para atender às exigências das mais diversas situações, seja em aplicações laboratoriais ou industriais.
 - Esforços foram envidados na tentativa de aplicar teorias estatísticas na determinação de intervalos de calibração. O pequeno número de dados disponíveis, obtidos em cada calibração e a grande variedade de parâmetros a verificar em um único sistema de medição inviabilizaram o uso destas teorias.
- Quanto ao armazenamento de características metrológicas
 - O sistema de gerenciamento permite que sejam armazenadas as curvas de erro de cada instrumento, separadamente, bem como o armazenamento da curva de erro do SM como um todo. Entretanto, no protótipo implementado não existe um módulo que permita a composição matemática das curvas. Isto não implica limitações significativas na grande maioria dos sistemas de medição aplicados ao controle geométrico, porém pode se tornar limitante para sistemas de medição de grandezas físicas tais como temperatura e pressão, onde se verifica uma grande combinação de instrumentos para formar sistemas de medição distintos.
 - Quanto à introdução dos dados que compõem uma curva de erro, há necessidade de se complementar o protótipo desenvolvido para que haja a opção de informá-los diretamente a partir de um arquivo em disco, para viabilizar a integração com outros sistemas e tornar o sistema de gerenciamento mais confortável.

Por fim, para se alcançar os objetivos pretendidos com a implantação de um sistema de gerenciamento os usuários devem ser conscientizados com relação à importância do sistema como mecanismo para obtenção de medições confiáveis.

As questões analisadas no presente trabalho, bem como o sistema de gerenciamento implementado representam apenas um primeiro passo na direção de um sistema mais abrangente, como o descrito no capítulo 1. Considerando a importância do tema para todo o sistema metrológico nacional, muitas das questões analisadas neste trabalho merecem ser aprofundadas em trabalhos futuros, como sugerido a seguir.

6.2 - PROPOSTAS PARA TRABALHOS FUTUROS

- Estudo e desenvolvimento de um sistema para seleção de instrumentos considerando fatores como característica da peça, tempo disponível para medição e quantidade de peças, condições ambientais e custo;
- Considerando que a experiência é um fator importante na determinação de intervalos de calibração, fazer um levantamento dos intervalos de calibração utilizados em laboratórios e empresas a nível nacional e as condições em que os mesmos são adotados, com o objetivo de estabelecer uma base de conhecimento para a determinação de intervalos iniciais;
- Explorar o correlacionamento das características metrológicas sistemáticas e aleatórias de cada um dos instrumentos constituidores do sistema de medição, como forma de otimização na seleção deste e dos demais itens que compõem o processo de medição;
- Fazer um detalhado estudo de caso da aplicação do SGICG desenvolvido para avaliar a sua real adequação sob condições de uso no dia-a-dia de um laboratório;
- Adequar o SGICG para o ambiente fabril;
- Adequar o sistema de gerenciamento para empresas de representação de instrumentos, onde, a partir de um determinado pedido do cliente, com relação a uma tarefa de medição, a empresa fornece, dentre diferentes fabricantes, o melhor conjunto de instrumentos;
- Adequação de SGICG para aplicação em bancadas modulares automatizadas de desenvolvimento de produtos e de controle da qualidade levando em consideração os modelos equivalentes de Thevenim sob cada particular situação.
- Expandir o sistema a fim de torná-lo apto ao gerenciamento de instrumentos de outras grandezas;
- Aprofundar e, em especial, expandir o estudo da terminologia para as áreas da metrologia e da instrumentação que transcendem o controle geométrico;
- Análisar detalhadamente a aplicação da inteligência artificial na implementação de sistemas especialistas para determinação de intervalos de calibração e para seleção de instrumentos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- /1/ TOLEDO, José Carlos de Qualidade Industrial: conceitos, sistemas e estratégias.
Ed. Atlas. São Paulo, 1987
- /2/ LEPIKSON, Herman Padronização e interação das unidades de fabricação,
Augusto inspeção e manutenção de uma célula flexível de manufatura.
Dissertação de mestrado. UFSC-EMC, 1990
- /3/ JUDISH, Robert M. Quality Control of Measurements - measurement assurance.
Proceedings of the IEEE vol. 74 N° 1, January, 1986
- /4/ TAYLOR, John Keenan Quality Assurance of Chemical Measurements. Lewis
Publishers, 1990
- /5/ SALVENDY, J., GAVRIEL Handbook of Industrial Engineering.
A. Willey Interscience Publication, 1989
- /6/ ABIPTI/INMETRO Guia para implantação da confiabilidade metrológica, 1986
- /7/ SCHUMACHER, Rolf B. F Recalibration Cycles and Goals at Rockwell International
Corporation in Anaheim. Rockwell International, June 1986
- /8/ GREB, Donald I. Calibration intervals specification and instrument quality.
Journal of Quality Technology. Vol. 11 N° 2. April, 1979
- /9/ CERTI/Labmetro Qualificação de instrumentos - Apostila de curso
CERTI/Labmetro - Florianópolis, 1990
- /10/ CERTI SUC - Software Universal de Calibração - CERTI.
Florianópolis, 1991
- /11/ HERTZLER, Paul Computerized gage control systems. Rubber World. July,
1987

- /12/ MITSUCON Q-MAN (Manutenção de Instrumentos) - Software comercial para controle de instrumentos - 1990
- /13/ FENKNER, Klaus Computer Aided Inspection Planning as part of a CAQ system in operation. Ball and Roller Engineering. Industrial Engineering (FAG), 28 - 1989
- /14/ SAVAGE, Barbara M., TANNOCK, James D. T. Requirements for the Quality Database. International journal of quality & reability management - vol 6 - N° 6, 1989
- /15/ MILITARY STANDARD MIL-STD-45662A - Calibration Systems Requirements 01/08/1988. Superseding (MIL-C-45662A) - 1962
- /16/ ABNT NB 9004 (ISO 9004) - Gestão da Qualidade e Elementos do Sistema da Qualidade - Diretrizes - 1990
- /17/ GREENE, D. Statistical Process Control. Microcomputer Software Buyer's Guide. Industrial Engineering. July, 1986
- /18/ Guide to software products. Quality Progress, March, 1986
- /19/ MELLICHAMP, Joseph, M. MILLER, David and JUN WANG Computer aided machine qualification. International journal of quality & reability management - vol 6 - N° 1, 1988
- /20/ VANDER, David e MAHDAVIAN, Mehdi Application of expert systems in selection of measuring instruments. Imeko, Japan, 1991
- /21/ INMETRO Vocabulário de metrologia legal e vocabulário de termos fundamentais e gerais de metrologia. Portaria 102 - 1988
- /22/ BIPM/IEC/ISO/OIML International vocabulary of basic and general terms in metrology - 1984
- /23/ ABNT NBR 6509 - Instrumentos elétricos e eletrônicos de medição Novembro, 1986

- /24/ DIN DIN 1319 - Conceptos fundamentales de la técnica de medida - Novembro, 1983
- /25/ IEE Standard dictionary of electrical and electronics terms - 1978
- /26/ JURAN, J.M. Quality control handbook - McGraw-Hill Book - 1988
- /27/ KLAASSEN, K.B.,
VAN PEPPEN, J.C.L. Reliability in instrumentation. I. Phys. E. Sci. Instruments N° 19 - 1986
- /28/ OIML Guidelines for the determination of recalibration intervals of measuring equipment used in testing laboratories - International Document N° 10 - 1984
- /29/ NORTON, N. Harry Handbook of transducers for electronic measuring systems. Prentice Hall - 1969
- /30/ ABNT NBR 6173 - Terminologia de tolerância e ajuste - 1980
- /31/ ABNT NB 273 (ISO R1110) - Tolerância de forma e tolerância de posição - 1980
- /32/ Labmetro Técnicas de medição, instrumentação e padrões aplicados ao controle dimensional. Apostila da disciplina metrologia dimensional. CPGEM - UFSC - 1989
- /33/ AGOSTINHO, Osvaldo Luís Tolerância, ajustes, desvios e análise de dimensões. Ed. Edgard Blucher - São Paulo - 1977
- /34/ JAML, Shah J.,
MILLER, David A Structure for supporting geometric tolerances in product definition systems for CIM. Manufacturing Review. Vol. 3, March - 1990
- /35/ VALENTINA, L. V. O. Automatização de ensaios geométricos com laser de alinhamento. Dissertação de mestrado. EMC - UFSC - 1986

- /36/ SILVA, A. D. Ensaio geométrico de peças e máquinas. Uma metodologia automatizada. Dissertação de mestrado. EMC -UFSC - 1984
- /37/ ABNT NB 86 (ISO R286/DIN 7182) Tolerância e Ajuste, 1979
- /38/ BACK, Nelson e Tolerâncias e ajustes - Departamento de Engenharia
LEAL, Longuinho C. M. Mecânica - UFSC - 1975
- /39/ ABNT NB 112 (DIN 7168) - Tolerância para dimensões sem especificação - 1980
- /40/ PRUITT, George Geometric dimensioning and tolerancing manufacturing engineering - Tech Report - July, 1986
- /41/ Society of Manufacturing Tool and manufacturing engineers handbook. Quality
Engineers Control and Assembly. Vol IV - 4th Edition - 1983
- /42/ VALAER, Paul The problems with geometric dimensioning and tolerancing.
HALL, James Machine Design, August 23, 1990
- /43/ MCKEOWN, P.A. The role of precision engineering in manufacturing of the future. Annals of the CIRP -vol.36/2/1987
- /44/ PANAMBRA Catálogo de instrumentos 505/1991
- /45/ MITUTOYO Catálogo de instrumentos, PG21(11/1991) e PG11(1989)
- /46/ STARRET Catálogo de instrumentos, B27, Junho/1990
- /47/ FARAGO, Francis T. Handbook of dimensional measuring. Industrial Press Inc.
New York - 1968
- /48/ BUSCH, Ted Fundamentals of dimensional metrology.
Delmar Publishers Inc. N. York - 1989
- /49/ Society of Manufacturing Handbook of Industrial Metrology - Prentice Hall, 1967
Engineers

- /50/ PALADINI, Edson
Pacheco
Controle da Qualidade - Uma abordagem abrangente.
Ed. Atlas - 1990
- /51/ DOEBLIN, Ernest O.
Measurement Systems Application and Design.
McGraw Hill Book - 1983
- /52/ BENTLEY, John P.
Principles of measurement systems.
Longman Inc. - New York - 1983
- /53/ FRANÇA, L.R.G.
Estudo de medidores eletro/eletrônicos de deslocamento.
Trabalho da disciplina de Sistemas de Medição - Curso de
Pós-Graduação - EMC - UFSC - 1989
- /54/ MITUTOYO DO BRASIL
Norma de Inspeção - Série 519 - Fevereiro - 1986 (Baseada
na Norma JIS-B.7536-82)
- /55/ ABNT
EB 1164 - Micrômetros externos com leitura 0,01 mm -
1979
- /56/ CARL ZEISS
Cálculo dos erros na técnica de medição de comprimentos -
Apostila do curso: Técnicas sobre aparelhos de medição
físico-ópticos e metrologia - realizado na UFRGS / PUC-RS
- 1970
- /57/ MITUTOYO
METROLOGY
INSTITUTE
Fundamentals of precision measurement - Textbook N07004
- /58/ HOFMAN, Dietrich
Rechnergestützte Qualitätssicherung - Veb Verlag Technik.
Berlim, 1988
- /59/ ROMANCHIK, Daniel
(Technical Editor)
Standardizing cab lab practice. Test & Measurement World.
April, 1990
- /60/ INTER. BUSINESS
MACHINES -IBM
Process control, capability and improvement - Manual
International Business Machine Corporation - 1984

- /61/ ROSS, P.J. Taguchi techniques for quality engineering. McGraw-Hill, 1988
- /62/ SANTOS, M.J. Sistema opto-eletrônico automatizado para medição de rosca de precisão. Projeto de Tese - EMC - UFSC - 1991
- /63/ MOORE, W.R. Foundations of mechanical accuracy. The Moore Special Tool Company -Bridgeport - Connecticut - 1970
- /64/ SCHNEIDER C. A. e outros Técnicas de medição na fabricação mecânica. Encontro Nacional de Atualização Tecnológica em Engenharia Mecânica. Conferência 04 - 1982
- /65/ CERTI Máquinas de medir por coordenadas. Medição - Qualificação - Automação - Apostila de curso do CERTI - 1991
- /66/ TURNBULL, Donald M. Measuring and test equipment calibration systems. Quality Progress, May 1983
- /67/ THOMAS, C.F., KLOSTER, W.E. Setting up a calibration program. Quality Progress. December, 1975
- /68/ BREMMER, Bob Verify accuracy through calibration. Quality Progress. March, 1991
- /69/ CARRO, J., PÉREZ, A.M. Sanches Calibration procedures on dimensional metrology instruments in Spain. VDI BERICHTE NR761, 1989
- /70/ BEYER, W., KUNZMANN, H. Today's realization of traceability in dimensional metrology. VDI BERICHTE NR761, 1989
- /71/ SAWABE - MASAJI Normas metrológicas y su rastreabilidad. I Congresso de Metrologia e Controle de Qualidade. México 1985
- /72/ BELANGER, Brian C. Traceability: an evolving concept. ASTM Standardization News, January, 1980

- /73/ SULLIVAN, E.R. The ASTM standards development system. The Interlaboratory test program. ASTM Standardization News, July, 1983
- /74/ JAECH, John. L. Estimating within-laboratory variability from interlaboratory test data. Journal of Quality Technology. Vol 11, Nº 4, October, 1979
- /75/ MARIN, Amira La metrologia como base imprescindible para la normalización. I Congreso de Metrologia e Controle de Qualidade. México 1985
- /76/ INMETRO Rede Brasileira de Calibração (RBC) - 1992
- /77/ BOTELLO, Ruiz e outros Importância del plan de calibracion en laboratórios de metrologia. I Congresso de Metrologia e Controle de Qualidade. México 1985
- /78/ PATTON Jr., Joseph D. Maintainability and maintenance management. Instrument Society of America (ISA) 1980
- /79/ GLASSMAN, Jerry Intervals by exception. NBS Special Publication 335 - National Bureau of Standards - 1971
- /80/ SCHUMACHER, R.B.F. Keys to optimum calibration intervals. NBS Special Publication 335 - National Bureau of Standards - 1971
- /81/ SCHUMACHER, R.B.F. Quality control in a calibration laboratory - Part I. Quality Progress. February, 1976
- /82/ SCHUMACHER, R.B.F. Quality control in a calibration laboratory - Part II. Quality Progress. February, 1976
- /83/ SOBRALSKE, Bob Measuring up to MIL STD 45662 A. Quality Progress, September, 1989

- /84/ CORNISH, D.C.,
TIMMERMANS, F.A.G. Laboratory Procedures for the maintenance of evaluation quality. ISA transactions. Vol 19 N° 3, 1980
- /85/ WAENY, J.C. de Castro Otimização de ciclos de validação. Seminário ABCQ. Outubro, 1987
- /86/ INSTITUTO BRASILEIRO DO PETRÓLEO - IBP Guias para a garantia da qualidade - Capítulo 9: Aferição e Calibração - 1987
- /87/ PAJE-JONES, Meilir Projeto estruturado de sistemas, McGraw-Hill 1988
- /88/ FRANÇA, L.R.G Manual de referência técnica do sistema de gerenciamento de instrumentos de controle geométrico EMC -UFSC - 1991
- /89/ FRANÇA, L.R.G. Manual do usuário do sistema de gerenciamento de instrumentos de controle geométrico - EMC - UFSC - 1991
- /90/ CERTI ETRTEL - Software para construção e controle de telas gráficas - Florianópolis - 1990