

Universidade Federal de Santa Catarina

Centro Tecnológico

Departamento de Engenharia Mecânica

**Pós-Graduação em Metrologia Científica e Industrial
Labmetro - Laboratório de Metrologia e Automatização**

**Concepção do Módulo de Melhoria da
Confiabilidade Metrológica, Inserido
no Âmbito de Serviços e
Assessoramento Remoto**

Dissertação submetida à: Universidade Federal de Santa Catarina para a
obtenção do título de Mestre em METROLOGIA

Frederico Miglio Neiva

Florianópolis, 16 de setembro de 2002

CONCEPÇÃO DO MÓDULO DE MELHORIA DA CONFIABILIDADE METROLÓGICA, INSERIDO NO ÂMBITO DE SERVIÇOS E ACESSORAMENTO REMOTO

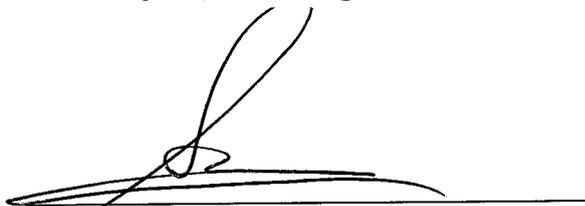
Frederico Miguel Neiva

Esta dissertação foi julgada adequada para obtenção do título de

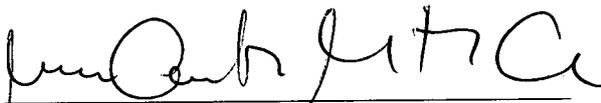
Mestre em METROLOGIA

e aprovada na sua forma final pelo

Programa de Pós Graduação em Metrologia Científica e Industrial

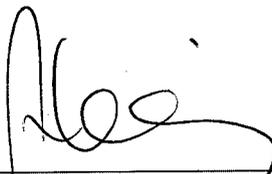


**Professor Alberto Schneider, Dr.-Ing.
Orientador**

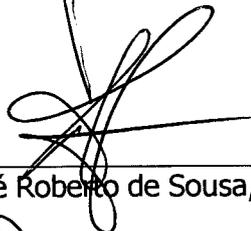


**Professor Marco Antonio Martins Cavaco, Ph.D.
Coordenador do Curso**

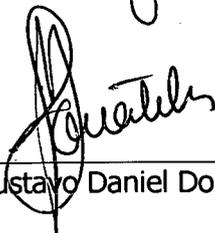
Banca Examinadora:



Prof. Abelardo Alves de Queiroz, Ph.D.



Prof. André Roberto de Sousa, Dr. Eng.



Prof. Gustavo Daniel Donatelli, Dr. Eng.

À VIDA, por ser bela e proporcionar momentos maravilhosos como este, além de possibilitar o crescimento em cada "amanhecer".

Agradeci mentos

Expresso meus agradecimentos sinceros:

- **Aos meus pais, Braz e Belém, pelo apoio e confiança que sempre depositaram em mim, desde o início da minha vida até os dias de hoje, fato que foi e continuará sendo muito importante para o meu desenvolvimento pessoal e profissional.**
- **Aos meus irmãos, Thaís e Iurilo, que sempre me incentivaram.**
- **Às minhas tias, que mesmo de longe não esqueceram do sobrinho.**
- **Às minhas avós, Lucita e Eunice, que com suas orações transmitiram muita paz, força e amor durante esta caminhada.**
- **À minha prima Verônica que me acolheu em Floripa, durante estes dois anos e meio, com sua amizade, companheirismo e dedicação.**
- **À Pricila, pela compreensão da importância da minha saída de Belém e cumplicidade ao longo deste trabalho.**
- **À amiga Janaína, que, desde o início do curso de graduação, vem seguindo o desenvolvimento profissional, fazendo parte desta caminhada.**
- **À Turma 2000, que nos momentos difíceis demonstrou o que é e como se faz uma GRANDE TURMA.**
- **Aos amigos do Labmetro, que agora são amigos para a vida inteira, Max, Cesare (Sânia), Daniel (Karina), Ribeiro (Dalva), Leal, Pedro, Alberto, Heike, Prudêncio, Tiago, Sutério, Luciana e Vera (Óóóó Vera).**
- **Ao grupo do LASAR (Ribeiro, Leal e Salgado), pelo trabalho de equipe realizado ao longo deste último ano e pelas importantíssimas viagens de estudos.**
- **Ao Engenheiro Gilberto, da Fundação CERTI, pelos conhecimentos transmitidos, durante os últimos dois anos, nos cursos por ele ministrado e quando por mim solicitado.**
- **Às Turmas 2001 e à recente 2002.**
- **Ao Labmetro, pela maneira que me recebeu e sua infra-estrutura que proporcionou o êxito no desenvolvimento deste trabalho.**
- **À Rosana, pelo seu profissionalismo e dedicação.**
- **Ao Professor Schneider, pelo compartilhamento dos seus conhecimentos, orientação e diversas reuniões realizadas nos finais de semana.**
- **À CAPES, pelo financiamento deste projeto de mestrado.**
- **A DEUS.**

Resumo

A globalização da economia faz com que a concorrência no mercado mundial torne-se cada vez mais acirrada, exigindo das indústrias confiabilidade nos produtos fabricados e disponibilizados para o mercado mundial. A metrologia tem papel fundamental e determinante na busca por essa confiabilidade do que se produz, sendo que um dos fatores primordiais a se destacar é a implantação de sistemas da qualidade por parte das indústrias. Para um país garantir a confiabilidade dos seus produtos fabricados, não basta que as indústrias façam o seu papel, é necessário que se obedeça a uma cadeia contínua de responsabilidades. Esta cadeia vem desde o órgão nacional responsável pela metrologia, passando pelos diversos laboratórios de serviços metrológicos credenciados, posteriormente pelos laboratórios existentes na indústria e por último as atividades exercidas no ambiente fabril da indústria.

Neste trabalho propõe-se uma sistemática para a confiabilidade metrológica das medições realizadas no chão de fábrica (ambiente laboratorial e ambiente fabril), considerando a aplicação de ferramentas, para serem utilizadas na indústria, com funções educativa e executiva. A função educativa foi desenvolvida para atender uma demanda por conhecimentos, conceitos e interpretações de documentos relacionados às atividades metrológicas nas empresas. Está relacionada à caracterização das variáveis do processo de medição e às informações contidas nos certificados de calibração. A função executiva foi desenvolvida para introduzir ferramentas que agreguem valor às atividades já existentes atualmente nas empresas, facilitando tomadas de decisão. Está relacionada ao cálculo da incerteza do processo de medição e à adequação do intervalo de calibração dos sistemas de medição.

Para a validação da sistemática desenvolvida, foram realizados dois estudos de caso. Estes estudos serviram para viabilizar a aplicação da sistemática proposta, identificar pontos de melhoria e de novos formatos para serem implantados, além de efetivar a praticidade e factibilidade de Inserção do módulo no ambiente industrial. Os resultados alcançados dizem respeito à percepção, por parte das empresas, dos diversos fatores que influenciam o resultado da medição; interpretação dos certificados de calibração, para que compreenda-se o comportamento dos sistemas de medição, com o intuito de ser utilizado de maneira otimizada nas calibrações e medições realizadas; adequação dos intervalos de calibração; cálculo e avaliação da incerteza do processo de medição, aumentando a confiabilidade metrológica das medições realizadas.

Palavras-chaves: confiabilidade metrológica, processo de medição, metrologia.

Abstract

The economy's globalization makes competition in the world-wide market becomes more and more incited each time, demanding reliability in products manufactured by industries and arranged for the world-wide market. The metrology has basic and determinative paper in fetching for this reliability of what it's produced, being one of the primordial factors stood out for the implantation of quality systems by industries. A country to guarantee the reliability of its manufactured products, is not enough that industries play its role, is necessary that it obeys a continuous responsibility string. This string comes since the responsible national agency for metrology, passing by diverse laboratories of credential metrological jobs, later for the existing laboratories in the industry and finally by the activities exerted in the industry environment manufacturer.

In this work a systematic for the metrological reliability of measurements carried through in the plant is considered (laboratorial and manufacturer environment), considering the application of tools, to be used in the industry with educative and executive functions. The educative function was developed to take care of a demand for knowledge, concepts and interpretations of documents related to metrological activities in companies. It is related to the characterization of variables from measurement process and to the information contained in calibration certificates. The executive power was developed to introduce tools that currently add value to existing activities already in companies, facilitating decision making process. It is related to uncertainty calculation of measurement process and to adequacy of calibration interval of measurement systems.

For validating the systematic developed, two case studies had been carried through. These studies had served to make possible the application of proposed systematic, to identify points of improvement and new formats to be implanted, besides accomplishing the practice and possibility of inserting the module in the industrial environment. The reached results respect to the perception, by companies, about diverse factors that influence in measurement result; interpretation of calibration certificates, so that the measurement systems behavior can be understood, intending to be used in a optimized way in calibrations and measurements carried through; adequacy of the calibration intervals; uncertainty calculation and evaluation of measurement process, increasing metrological reliability of carried through measurements.

Key-words: metrological reliability, measurement process, metrology.

Sumário

Aprovação	■
Resumo	v
Abstract	v
Sumário	vi
Capítulo 1	
Um sistema utilizando a Tecnologia da Informação como suporte à medição no ambiente de fábrica	1
1.1 CONJUNÇÃO NECESSÁRIA PARA A CONFIABILIDADE DAS MEDIÇÕES	2
1.2 CULTURA METROLÓGICA NAS EMPRESAS	4
1.3 PROPOSTA DO TRABALHO NO CONTEXTO DA TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO 6	
1.3.10 LASAR - Laboratório Associado de Sen/ões e Assessoramento Remoto	6
1.3.20 Módulo de confiabilidade metrológica das medições como objeto desta pesquisa	8
1.3.3 Condição de contorno para o desenvolvimento do LASAR	9
1.3.4 Desenvolvimento do trabalho	10
Capítulo 2	
A prática das atividades metrológicas para garantir a confiabilidade das medições no ambiente fabril	11
2.1 A INSPEÇÃO NO AMBIENTE FABRIL	12
2.1.10 Processo de Medição	13
2.1.2 Cálculo da incerteza do processo de medição	16
2.1.3 Ligação da inspeção no ambiente fabril e o laboratório de metrologia da empresa	16
2.2 O LABORATÓRIO DE METROLOGIA DA EMPRESA	17
2.2.1 Medições realizadas no ambiente laboratorial	17
2.2.2 Controle dos sistemas de medição utilizados no ambiente fabril	18
2.2.3 Controle dos padrões de referência da empresa	20
2.2.4 Confiabilidade nos laboratórios	21
2.2.5 Ligação entre o laboratório da empresa e o laboratório prestador de serviços metrológicos credenciados	23
2.3 O LABORATÓRIO PRESTADOR DE SERVIÇOS METROLÓGICOS CREDENCIADOS	23
2.3.10 Credenciamento	24

2.3.2 A importância do credenciamento	24
2.3.3 Ligação entre o laboratório prestador de serviços metroológicos credenciados e o organismo credenciador	29
2.4 O ORGANISMO CREDENCIADOR	29
Capítulo 3	
Desenvolvimento do módulo de melhoria da confiabilidade metrológica das medições	31
3.1 A FUNCIONAÛDADE DO MÓDULO	31
3.1.1 Função de caráter educativo	32
3.1.2 Função de caráter executivo	33
3.2 A ESTRUTURA DO MÓDULO	35
3.3 DESENVOLVIMENTO DO SUB-MÓDULO - CARACTERIZAÇÃO DAS VARIÁVEIS DO PROCESSO DE MEDIÇÃO	35
3.4 DESENVOLVIMENTO DO SUB-MÓDULO - USO DOS RESULTADOS DE CALIBRAÇÃO DOS SISTEMAS DE MEDIÇÃO	37
3.4.1 Informações sobre o certificado de calibração	37
3.4.2 Determinação e adequação do intervalo de calibração dos sistemas de medição	46
3.5 DESENVOLVIMENTO DO SUB-MÓDULO - AVALIAÇÃO DA INCERTEZA DO PROCESSO DE MEDIÇÃO	50
3.5.1 Apresentação do procedimento para gerenciamento da incerteza (PUMA)	51
3.5.2 Exemplo de aplicação do PUMA	54
3.5.3 Inserção da Avaliação da Incerteza do Processo de Medição no LASAR	57
3.6 INSERÇÃO DO MÓDULO NO AMBIENTE INDUSTRIAL	59
3.6.1 Relacionamento entre os sub-módulos	59
3.6.2 Relacionamento entre os módulos do LASAR	60
Capítulo 4	
Aplicações do Módulo Desenvolvido para a confiabilidade metrológica das medições	63
4.1 ESTRATÉGIA ADOTADA PARA AVALIAÇÃO/VALIDAÇÃO DO MÓDULO	63
4.1.1 Objetivos	63
4.1.2 Modo adotado para as atividades desenvolvidas nas empresas	63
4.1.3 Modode Abordagem nas empresas	64
4.2 ESTUDO DE CASO 1 - EMPRESA A	64
4.2.1 Apresentação da Empresa A	64
4.2.2 Abordagem na Empresa A	65
4.2.3 Aplicação do sub-módulo de caracterização das variáveis do processo de medição	65
4.2.4Aplicação do sub-módulo relacionada às informações sobre o certificado de calibração	66
4.2.5Aplicação do sub-módulo relacionado à adequação do intervalo de calibração dos sistemas de medição	67
4.2.6Aplicação do sub-módulo de avaliação da incerteza do processo de medição	70

4.2.7	Conclusões do Estudo de Caso realizado na Empresa A	73
4.3	ESTUDO DE CASO 2 - EMPRESA B	74
4.3.1	Apresentação da Empresa B	74
4.3.2	Abordagem na Empresa B	74
4.3.3	Aplicação do sub-módulo relacionado à caracterização das variáveis do processo de medição	75
4.3.4	Aplicação do sub-módulo relacionado às informações sobre o certificado de calibração	76
4.3.5	Aplicação do sub-módulo relacionado à adequação do intervalo de calibração dos sistemas de medição	76
4.3.6	Aplicação do sub-módulo de avaliação da incerteza do processo de medição	78
4.3.7	Conclusões do Estudo de Caso realizado na Empresa B	80
Capítulo 5		
Conclusões e Considerações Finais		81
Referências Bibliográficas		84

Capítulo 1

Um sistema utilizando a Tecnologia da Informação como suporte à medição no chão de fábrica

A economia global integrada traz como consequência o livre comércio mundial e permite o acesso das empresas aos mercados do mundo inteiro. Isto tende à redução das barreiras ao comércio, liberação de economias nacionais e de mercados importantes [1], além de fazer com que a concorrência tome-se cada vez mais acirrada. Isto exige das empresas confiabilidade nos produtos disponibilizados para o mercado mundial, o que implica em maior qualidade, preços competitivos e produtos desenvolvidos conforme as necessidades específicas dos clientes.

No atual panorama do mercado mundial, observa-se a substituição gradativa das barreiras tarifárias por barreiras técnicas [2], sendo que as exigências técnicas estão cada vez mais complexas [3]. As funções da Tecnologia Industrial Básica (CTIB), como Metrologia, Normalização, Regulamentação Técnica e Avaliação da Conformidade são objetos do Acordo de Barreiras Técnicas da Organização Mundial do Comércio (Acordo TBT), fato este que impulsiona o desenvolvimento da infraestrutura tecnológica como suporte à atividade produtiva, dado o seu papel estruturante na organização das funções presentes na padronização de bens e serviços e seu impacto no fluxo internacional do comércio [4].

As exigências de certificações de um país para o outro podem ser usadas como barreiras técnicas ao comércio [5], isto faz com que a implantação de Sistemas da Qualidade tome-se um requisito mínimo para a sobrevivência das empresas, enquanto que em um passado não muito distante este fator era apenas uma vantagem competitiva em relação a outras empresas no mercado [6].

Existem diversas normas voltadas para o Sistema da Qualidade, entre elas a série ISO 9000, que foi revisada e lançada em nova versão no ano de 2000; QS 9000, VDA 6.1, EAQF são normas exigidas pela indústria automobilística e estão sendo unificadas em apenas uma norma, a ISO/TS 16949, com o

intuito de facilitar o esquema montado pelas empresas que fornecem componente para diversos fabricantes mundiais, sendo que atualmente cada fabricante exige uma destas normas. A implantação de Sistemas da Qualidade conforme as normas existentes, se dará de acordo com a necessidade de cada empresa e o mercado no qual pretende atuar.

A implantação de Sistemas da Qualidade incentiva as empresas a analisar os requisitos do cliente, definir os processos que contribuem para a obtenção de um componente aceitável para o cliente e manter estes processos sob controle. Um sistema de gestão da qualidade pode fornecer a estrutura para melhoria contínua com o objetivo de aumentar a probabilidade de ampliar a satisfação do cliente. Este sistema assegura confiança à empresa e a seus clientes de que é capaz de fornecer componentes que atendam aos requisitos do cliente de forma consistente [7]. Neste caso o cliente é a organização ou pessoa que recebe o componente, responsável por montar o produto e disponibilizar para o mercado.

Para a produção do produto, agrega-se o trabalho de diversas empresas fornecedoras de componentes, que podem estar espalhadas pelo mundo inteiro. Estes componentes devem estar de acordo com as especificações exigidas para que seja possível integrar o produto. Isto faz com que as medições na geometria das peças, as quais formam os componentes, sejam necessárias como suporte da metrologia para a identificação e solução de problemas, controle da produção e avaliação de produtos e serviços [8].

1.1 CONJUNÇÃO NECESSÁRIA PARA A CONFIABILIDADE DAS MEDIÇÕES

Na prática não existe medição perfeita, toda medição apresenta um erro, mas é preciso conviver com ele. É impossível eliminar completamente o erro de medição, mas é possível, ao menos, delimitá-lo. Sabendo da existência do erro de medição, é possível obter informações confiáveis da medição, desde que a ordem de grandeza e natureza deste erro sejam conhecidas [9].

A confiabilidade da medição no chão de fábrica (denominação comumente utilizada para os laboratórios internos e unidades de serviços para controle da qualidade em fábricas, indústrias e demais sistemas produtivos - unidade fabril - [10]), depende de alguns fatores, dentre os quais destaca-se a necessidade de ter pessoas esclarecidas que conheçam todas as variáveis que influenciam o resultado da medição, operadores bem treinados, o sistema de medição escolhido de acordo com as incertezas requeridas aos processos de medição, correto funcionamento dos sistemas de medição, método de medição apropriado e condições ambientais conhecidas e controladas (Figura 1.1). A confiabilidade metrológica é a confiança ou a certeza nos resultados de uma medição.

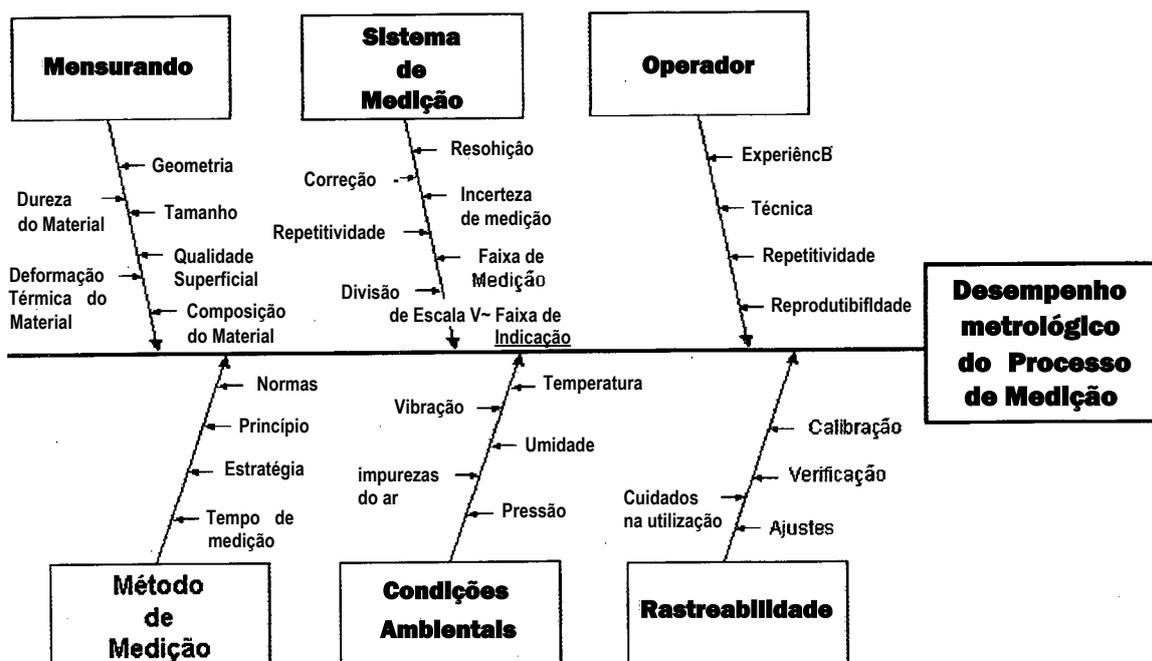


Figura 1.1 Variáveis que influenciam o desempenho metrológico do processo de medição

A comprovação da rastreabilidade das medições conforme ilustra a figura 1.2 é uma exigência das normas do Sistema da Qualidade. Conforme a ISO 9001 [11] e a QS 9000 [12], quando for necessário assegurar resultados válidos, o sistema de medição deve ser calibrado ou verificado a intervalos especificados ou antes do uso, contra padrões de medição rastreáveis a padrões de medição internacionais ou nacionais. Quando este padrão não existir, a base usada para calibração ou verificação deve ser registrada.

Sendo assim a calibração pode ser realizada em um laboratório de metrologia credenciado, o que comprova a rastreabilidade a padrões de medição nacionais e internacionais e tem assegurada a competência do laboratório. A calibração também pode ser realizada em um laboratório não credenciado, mas neste caso, os laboratórios não credenciados têm que comprovar a competência técnica do pessoal e a implantação e utilização do sistema da qualidade segundo a NBR ISO/IEC 17025, além de fornecer os certificados de calibração dos padrões do laboratório, que devem ter sido calibrados em um laboratório credenciado, o que comprova a rastreabilidade a padrões de medição nacionais e internacionais. Com a unificação das normas da indústria automobilística, a partir da ISO/TS 16949, é exigido que as calibrações realizadas em laboratórios de metrologia externos à empresa sejam em laboratórios aceitos pelo cliente/fabricante ou em laboratórios credenciados de acordo com a NBR ISO/IEC 17025, com exceção das áreas em que não possuam laboratórios credenciados [13].



Figura 1.2 Cadeia para assegurar a rastreabilidade

1.2 CULTURA METROLÓGICA NAS EMPRESAS

Freqüentemente depara-se com dificuldades de tratar as questões relacionados à metrologia nas empresas, pois o pensamento, em muitas, é de que a "metrologia é custo" (Figura 1.3). É corrente julgar que as atividades metrológicas são responsáveis pelo aumento dos tempos de produção, geração de gargalos na produção e aumento dos custos de produção, sem agregar valor ao produto [14], fatos estes resultantes do uso errôneo e desconhecimento da correta aplicação da metrologia. Quando as atividades metrológicas são aplicadas corretamente deixam de ser simplesmente uma ferramenta de avaliação para ser também uma ferramenta de melhoria contínua [14].

O paradigma encontrado nas empresas

Metrologia é Custo !!



Figura 1.3 O paradigma encontrado nas empresas em relação a metrologia [15]

Os problemas encontrados nas empresas atualmente, por falta da real motivação para a qualidade, dizem respeito a:

- **Existência de recursos humanos não qualificados [16][17], devido ao alto custo para mantê-los treinados e atualizados com os avanços tecnológicos, além da complexidade de solução para determinados problemas de metrologia;**
- **Dificuldade no atendimento aos requisitos metrológicos das normas dos sistemas da qualidade [18][19][20], o que ocasiona a maior incidência de não-conformidades na certificação de sistemas da qualidade implantado nas empresas [15]. Isto ocorre em função de que a metrologia é vista apenas como um custo necessário para obter e manter a certificação [21], não sendo atribuída a atenção necessária para esta atividade;**
- **Dificuldade no cálculo da incerteza de medição em ambiente laboratorial, devido à complexidade de criar uma sistemática para o cálculo de incerteza, necessitando conhecimentos em metrologia e estatística;**
- **Ausência do cálculo da incerteza de medição no ambiente fabril [16][22][23] por falta de conhecimento da importância deste fator para o processo de medição;**
- **Falta de conhecimento e controle das variáveis dos processos de medição [18] pela dificuldade de controlar todas as variáveis e desconhecimento das pessoas responsáveis, de quais são e como devem ser controladas estas variáveis, sendo necessário uma conscientização de todas as pessoas envolvidas;**
- **Utilização incorreta da terminologia aplicada à metrologia [16], não observando a utilização do VIM - Vocabulário Internacional de Metrologia [24] seja por falta de conhecimento da existência deste vocabulário ou por "vícios" existentes entre as pessoas que lidam com a metrologia.**

O comportamento das empresas perante os investimentos necessários em metrologia e os que são realmente efetuados apresentam-se da seguinte maneira: algumas empresas investem muito na aquisição e manutenção de sistemas de medição, sem que seja necessário o alto investimento, o que ocasiona a subutilização dos sistemas de medição. Outras empresas investem pouco na aquisição e manutenção de sistemas de medição e seria necessário um investimento maior, o que ocasiona um controle incorreto das geometrias das peças fabricadas. Estes fatores acontecem por desconhecimento da metrologia, gerando alto custo, prejuízo e baixa qualidade dos produtos.

A solução desta problemática exigiria recursos humanos qualificados, experiência de pessoal, muito investimento e um fluxo grande de informações. Este não é o foco e nem o grande negócio das empresas. Além disso, os problemas que surgem de metrologia devem ser resolvidos com rapidez, confiabilidade metrológica e segurança dos conhecimentos e resultados gerados.

1.3 PROPOSTA DO TRABALHO NO CONTEXTO DA TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO

A indústria apresenta necessidades que, devido a uma certa complexidade, devem ser supridas por meio dos centros metroiológicos. Porém os centros metroiológicos enfrentam grandes dificuldades para atendê-las devido à grande diversidade dos serviços e problemas no fluxo de informações entre o cliente e o centro metroiológico. Nas diversas fases do ciclo de vida de um produto existem demandas que se constituem oportunidades de negócios para os centros metroiológicos, porém o fluxo de informações entre cliente e o centro metroiológico nem sempre é eficiente para expressá-las no momento da solicitação do serviço. A sistemática de trabalho de um centro metroiológico pode gerar perdas de algumas informações ou não ser capaz de captar dados suficientes para apresentar resultados úteis para o cliente, sendo grande gerador de insatisfação [25].

Neste contexto apresentado, observa-se um problema de continuidade entre os serviços prestados e as informações trocadas entre os centros metroiológicos e a indústria. No caso em que os problemas são complexos e que a indústria está distante geograficamente do centro metroiológico, as falhas de comunicação são mais frequentes, sendo que as informações repassadas podem ser incompletas ou não caracterizarem claramente a verdadeira necessidade da indústria [25].

Esta ligação descontínua gera, por parte da indústria, o desconhecimento da infra-estrutura e potencialidade dos centros metroiológicos em resolver os seus problemas e gera por parte dos centros metroiológicos o desconhecimento das necessidades da indústria, além das já conhecidas e tradicionais necessidades, como a calibração dos sistemas de medição.

A solução para este panorama atual está em um dos principais avanços do mundo contemporâneo. A explosão informacional proporcionada pelas tecnologias da informação lideradas pela internet e a disseminação das informações on line e em tempo real são produzidas, processadas, captadas e interpretadas através do uso do computador conectado em rede [26]. O centro metroiológico e a indústria poderão estar ligados continuamente através de computadores, localizados na empresa e no centro metroiológico.

1.3.1 O LASAR - Laboratório Associado de Serviços e Assessoramento Remoto

No ambiente de relação entre a indústria e o centro metroiológico, o E-Business (Electronic Business) surge como uma estratégia de solução, conjugando diversas ferramentas da tecnologia de informação para disponibilizar as soluções requeridas pelo setor empresarial com a rapidez, o custo e a qualidade que o novo cenário competitivo exige. O E-Business é a transformação dos negócios de uma organização e de seus processos funcionais para prover valor adicional ao cliente através da aplicação

de tecnologias, filosofias e paradigmas computacionais da nova economia digital [26].

O LASAR é um novo conceito de atuação de um centro tecnológico. É um laboratório prestador de serviços externo e independente associado à indústria para dar suporte através de serviços tecnológicos e trabalhos de assessoramento que envolve forte cooperação entre o laboratório (centro tecnológico) e a indústria. O conceito prevê a disponibilização de sistemáticas interativas que utilizam o recurso da internet como meio de troca de informações e disponibilização de soluções, viabilizando o assessoramento remoto. No desenvolvimento do LASAR, está se trabalhando com a abordagem de uma nova sistemática de assistência metrológica industrial (AMI). A AMI, vista com um dos produtos do LASAR, deve atuar com as funções de: disponibilizar informações, gerenciar sistemas de medição, assessorar atividades para a confiabilidade metrológica das medições, prover educação e treinamento, prover avaliação econômica da atividade metrológica. O setor responsável pela metrologia nas empresas pode estar configurado através de laboratórios intemos de metrologia ou mesmo por uma, pequena, estrutura interna da empresa habilitada para acessar os meios de comunicação disponibilizados pelo LASAR. A estrutura do LASAR, presente no ambiente industrial, estará disponível através do chamado Ponto de Presença do LASAR (PP). O modelo pressupõe uma estrutura de comunicação, entre centro metrológico e empresas, trabalhando com plataformas computacionais compatíveis ao tráfego de informações que é pretendido. Este conceito pode ser observado na figura 1.4.

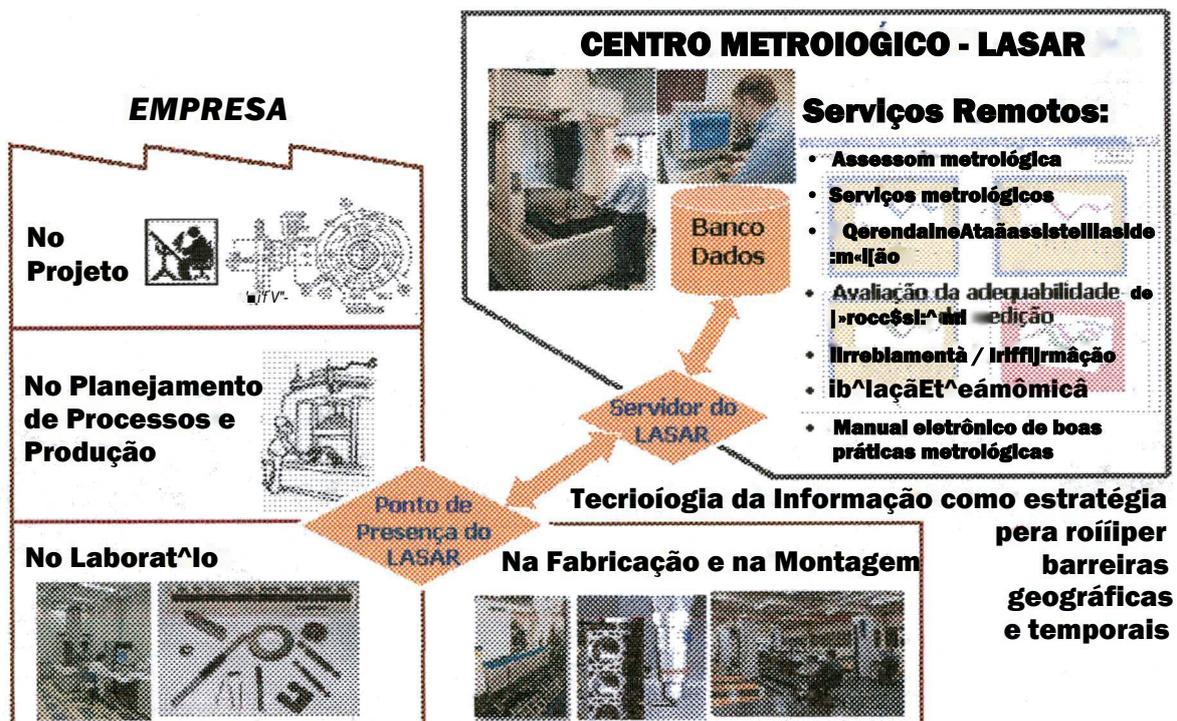


Figura 1.4 Aplicação do conceito LASAR - Laboratório Associado de Serviços e Assessoramento Remoto [27]

A assistência metrológica industrial, inserida no LASAR, pretende atuar nas empresas para solucionar problemas nas áreas de Projeto (confiabilidade, tolerâncias, qualidade, etc.). Planejamento do Processo (plano de inspeção, programação, capacidade do processo, etc.). Produção (controle do processo, inspeção, melhoria contínua, etc.) e Laboratório de Metrologia (calibração, verificação, rastreabilidade, cálculo de incerteza, supervisão dos sistemas de medição, etc.), fazendo com que todas estas áreas estejam interligadas.

O LASAR desenvolveu-se no âmbito do PósMQ (Pós Graduação em Metrologia Científica e Industrial), Labmetro (Laboratório de Metrologia e Automatização da Universidade Federal de Santa Catarina) e Fundação CERTI (Centros de Referência em Tecnologias Inovadoras) com o objetivo de gerar conhecimentos e conceitos de metrologia para atender as demandas de metrologia provenientes da indústria. O LASAR é composto de módulos, que estão ligados uns aos outros. Atualmente têm-se os seguintes módulos:

- **Gerenciamento dos Sistemas de Medição (GSM)**: representa a sistematização de procedimentos para realizar o controle dos sistemas de medição e meios auxiliares e integração destes aos procedimentos de medição, inspeção e ensaios. Através da função de GSM deve-se cobrir as atividades de supervisão, garantia da rastreabilidade, seleção e aquisição de sistemas de medição e avaliação da adequabilidade de processo de medição.
- **Desenvolvimento de uma metodologia de avaliação e otimização de processos de medição**: visa estruturar uma sistemática de trabalho relacionada à utilização e entendimento das ferramentas disponibilizadas através do MSA, a partir da determinação do(s) método(s) de avaliação mais indicado(s) para um processo de medição, orientação para análise crítica dos resultados e otimização do processo de medição.
- **Avaliação Econômica das atividades metrológicas influenciada pela contratação de serviços e assessoramento remoto**: visa obter os custos relacionados à metrologia na empresa, dentro dos custos da qualidade, projetando o impacto econômico causado pela implantação do LASAR. Estes custos da qualidade estão relacionados aos custos de conformidade (avaliação e prevenção) e não-conformidade (falha interna e falha externa).

1.3.2 O Módulo de confiabilidade metrológica das medições como objeto desta pesquisa

O módulo a desenvolver, no contexto do presente trabalho de curso, está dividido em duas funções. Uma função de caráter educativo com o intuito de suprir a carência em conhecimentos metrológicos e a necessidade da correta utilização dos documentos gerados pelo setor responsável pela metrologia. A outra função é de caráter executivo com o objetivo de utilizar alguns dados existente nas empresas e que não estão sendo utilizados de maneira ótima ou estão sendo utilizados com outra finalidade, além de introduzir novas ferramentas/orientações para estabelecer uma solução metrologicamente confiável.

Entre as ferramentas está a adequação do intervalo de calibração dos sistemas de medição e o cálculo e avaliação da incerteza do processo de medição. O módulo a desenvolver pode ser observado na figura 1.5.

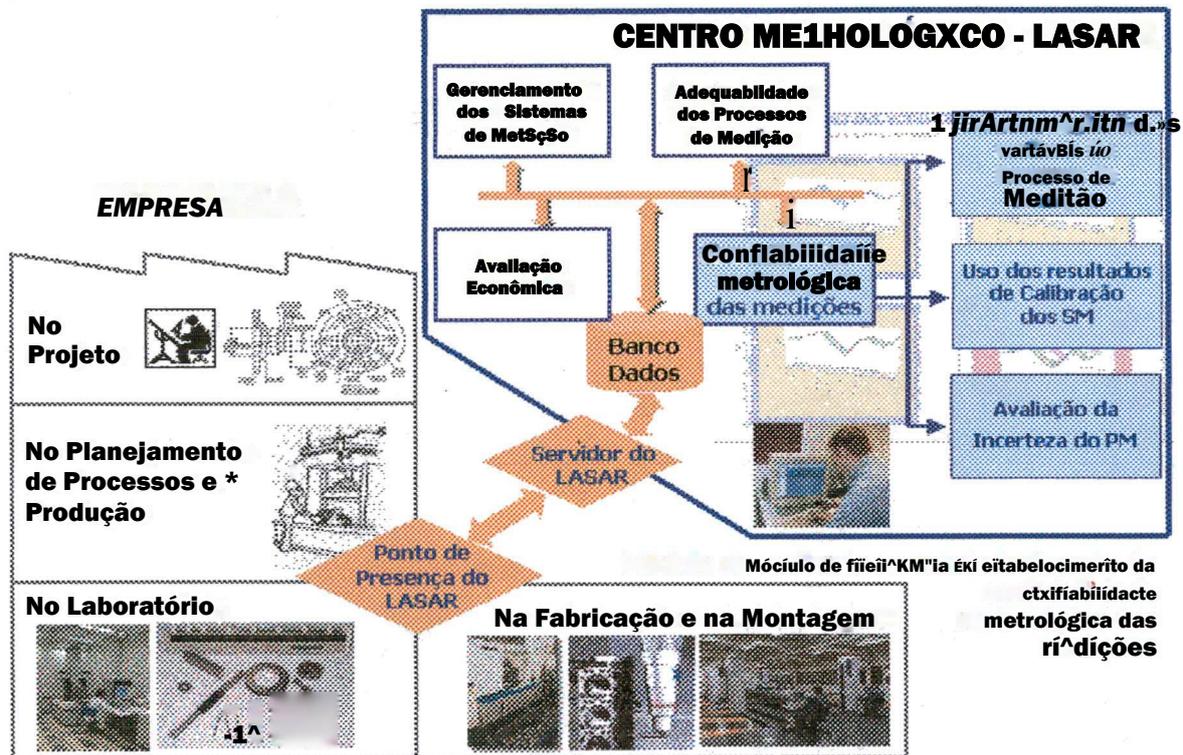


Figura 1.5 Aplicação do módulo a desenvolver inserido no LASAR [27]

1.3.3 Condições de contorno para o desenvolvimento do LASAR

o projeto LASAR, em sua fase inicial de desenvolvimento, estabeleceu por razões de concentração de esforços algumas condições de contorno relacionadas ao perfil dos usuários desse sistema:

- Empresa industrial;
- Preferencialmente de pequeno ou médio porte;
- Ramo metal-mecânico;
- Produção de peças seriadas;
- Sistema da qualidade implantado ou com decisão para implantar;
- Demandas por soluções metrológicas.

Essas condições foram delimitadas com o objetivo de caracterizar um segmento de indústrias pertencente a um grupo que concentre demandas por soluções provenientes de atividades metrológicas e que tenham uma organização comprometida com a busca pela melhoria contínua de seus processos e produtos [26].

1.3.4 Desenvolvimento do trabalho

No desenvolvimento deste trabalho, uma vez determinado os objetivos, as etapas planejadas coincidem com os capítulos desta dissertação, sendo que, os mesmos foram divididos conforme descrito a seguir.

Para descrever a prática atual das atividades metrológicas desenvolvidas nos níveis da cadeia de rastreabilidade, foram estudados os fatores importantes para serem aplicados e garantir a confiabilidade metrológicas das atividades realizadas no chão de fábrica (que configura-se dividido entre o ambiente fabril e o laboratório de metrologia da empresa), laboratório prestador de serviços metroiológicos credenciados e órgão credenciador. Estas atividades consideradas importantes estão expostas no Capítulo 2.

No Capítulo 3 está decrtta a estrutura do módulo desenvolvido, destacando o desmembramento do módulo em três sub-módulos, relacionados à: caracterização das variáveis do processo de medição, uso dos resultados de calibração e avaliação da incerteza do processo de medição. No capítulo estão presentes os fluxogramas que evidenciam a estrutura para a utilização e acesso das informações através do LASAR.

Após a configuração do módulo desenvolvido, foram realizados alguns estudos de caso nas empresas alinhadas com as condições de contorno estabelecidas no item 1.3.3. Estes estudos foram realizados para comprovar a utilização e importância do módulo de confiabilidade metrológica das medições. Esta etapa de desenvolvimento do trabalho realizado está exposta no Capítulo 4.

Capítulo 2

A prática das atividades metrológicas para garantir a confiabilidade das medições no ambiente fabril

As atividades metrológicas devem estar presentes e sendo executadas de maneira correta nos diversos níveis da cadeia de rastreabilidade, com o objetivo de estabelecer a confiabilidade das medições realizadas no ambiente fabril. Tem que haver uma conscientização e ligação contínua entre os níveis que compõem a cadeia de rastreabilidade, não sendo suficiente que as atividades sejam exercidas corretamente somente no ambiente fabril.

Os laboratórios de metrologia das empresas têm que exercer as atividades de acordo com alguns requisitos da NBR ISO/IEC 17025, a fim de garantir a qualidade dos serviços realizados, dentre os quais destacam-se a calibração, verificação, manutenção e ajuste dos sistemas de medição, além das medições realizadas em determinadas peças fabricadas, as quais exigem um nível de incerteza menor. Os laboratórios prestadores de serviços metroiológicos credenciados têm que exercer as atividades conforme a NBR ISO/IEC 17025, calibrando os sistemas de medição das empresas. O órgão credenciador - INMETRO - tem que exercer as atividades de acordo com o ISO Guia 58, concedendo o credenciamento aos serviços metroiológicos dos laboratórios.

Essas obrigações e relacionamentos entre os níveis da cadeia de rastreabilidade podem ser observados na figura 2.1. No caso de algum nível pertencente à cadeia de rastreabilidade não executar as atividades que lhe são pertinentes, isto é suficiente para que, a partir do nível hierárquico ocupado para baixo na cadeia de rastreabilidade, não se tenha continuidade e conseqüentemente confiabilidade metrológica dos serviços de medições e calibrações realizados.

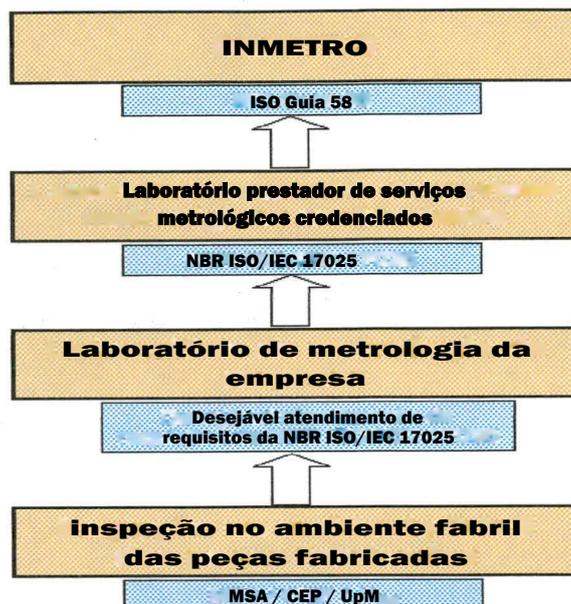


Figura 2.1 Relacionamentos e obrigações dos níveis da cadeia de rastreabilidade

Existem atividades que devem ser exercidas nos diversos níveis da cadeia de rastreabilidade, com o intuito de garantir a confiabilidade das medições no ambiente fabril e laboratorial, entre as quais destacam-se algumas, que estão expostas na figura 2.2 e serão detalhadas ao longo deste capítulo.

Níveis da Cadeia de Rastreabilidade	Atividades				
	MSA	CEP	UpM	ISO 17025	ISO 9001
Ambiente Fabril	X	X	X		
Laboratório de Metrologia da empresa	X	X	X		
Laboratório prestador de serviços metrológicos credenciados		X	X	X	
Organismo Credenciador		X			X

Figura 2.2 Atividades realizadas nos níveis da cadeia de rastreabilidade

2.1 A INSPEÇÃO NO AMBIENTE FABRIL

A inspeção no ambiente fabril, efetuada através de medições que estão relacionadas a um processo de medição, durante e ao final do processo de fabricação é importante no momento em que gera informações sobre a peça fabricada. A conformidade geométrica das peças só é possível de demonstrar

através da utilização de processos de medição adequados, permitindo conhecer e, conseqüentemente, corrigir desvios e variações no comportamento dos processos de fabricação [28][29].

2.1.1 O Processo de Medição

O processo de medição adequado permite classificar corretamente as peças fabricadas em "dentro" e "fora" da especificação, além de possibilitar a melhoria do desempenho dos processos de fabricação. Caso o processo de medição não esteja adequado para realizar o controle geométrico das peças fabricadas, pode causar a classificação de peças ruins como sendo boas e peças boas como sendo ruins, ocasionando o envio das peças ruins para o cliente/mercado e/ou refugando peças boas. Poderá ainda causar problemas no controle do processo de fabricação, a partir da tomada de uma decisão baseada nas informações fornecidas pelo processo de medição. Esta decisão poderá ser de modificar o processo de fabricação sem que seja necessário, ocasionando desvios que não existiam antes ou poderá ser de não modificar o processo de fabricação, mantendo os desvios na fabricação das peças (Figura 2.3). Para evitar esta problemática é necessário conhecer todas as variáveis do processo de medição que influenciam o resultado da medição.

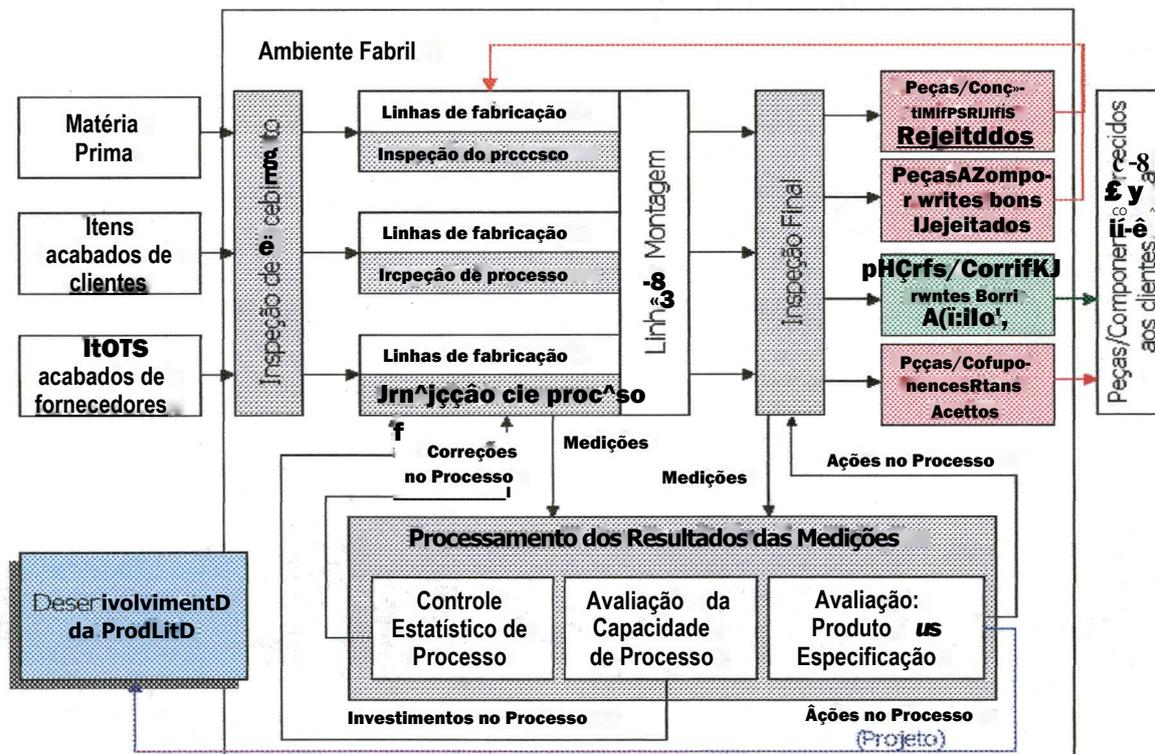


Figura 2.3 Classificação das peças/componentes através das inspeções [26]

a) Mensurando

O *mensurando* é o "objeto da medição ou a grandeza específica submetida à medição" [24]. Para a correta medição é necessário conhecer todas as características do objeto da medição, que está

relacionada à geometria da peça. São características do mensurando aspectos relacionados ao que medir/geometria (altura, diâmetro interno, diâmetro externo, comprimento interno, comprimento externo, distância entre centros e profundidade, entre outras), limitação do material para captação da grandeza a medir e conhecimento do material que compõe o mensurando, dureza e deformação térmica. Os parâmetros geométricos associados ao valor nominal são apresentados através de uma dimensão nominal e de um intervalo de tolerância, dentro do qual a dimensão efetiva é aceitável.

b) Sistema de Medição

O sistema de medição é o "conjunto completo de instrumentos de medição e outros equipamentos acoplados para executar uma medição específica" [24]. O sistema de medição possui características que devem ser destacadas, entre elas a *divisão de escala* que é a "parte de uma escala compreendida entre duas marcas sucessivas quaisquer" [24]; *resolução* que é a "menor diferença entre indicações de um dispositivo mostrador que pode ser significativamente percebida" [24]; *incerteza de medição* que é o "parâmetro associado ao resultado de uma medição, que caracteriza a dispersão dos valores que podem ser fundamentalmente atribuídas a um mensurando" [24]; *correção* que é o "valor adicionado algebricamente ao resultado não corrigido de uma medição para compensar um erro sistemático" [24]; *faixa de medição* que é "conjunto de valores de um mensurando para o qual admite-se que o erro de instrumento de medição mantém-se dentro dos limites especificados" [24]; *faixa de indicação* que é o "conjunto de valores limitados pelas indicações extremas" [24].

No caso de sistemas de medição com indicação analógica, a resolução não é igual necessariamente ao valor de uma divisão de escala, podendo ser igual a metade, um quinto ou um décimo do valor de uma divisão de escala. Esta relação é em função das limitações do operador, da qualidade do dispositivo indicador e da própria necessidade de leituras criteriosas. Já no caso de sistemas de medição com indicação digital, a resolução corresponde ao incremento digital (menor variação da indicação direta possível de ser percebida) [9].

Ainda devem ser levados em consideração aspectos relacionados à confiabilidade dos resultados gerados a partir do sistema de medição, para isso é necessário realizar a *calibração* que é o "conjunto de operações que estabelece, sob condições especificadas, a relação entre os valores indicados por um instrumento de medição ou sistema de medição ou valores representados por uma medida materializada ou um material de referência, e os valores correspondentes das grandezas estabelecidas por padrões" [24], além da necessidade da realização de verificações periódicas. *Verificação* é a comparação realizada em um ponto de calibração, para verificar se os resultados obtidos encontram-se dentro dos obtidos na calibração e aceitáveis para as medições que estão sendo realizadas.

Na calibração de sistemas de medição é importante destacar em quais pontos ela deve ser realizada (pontos de calibração). Estes pontos serão determinados em função da utilização do sistema de medição. Caso o sistema de medição seja utilizado em um ponto em que não foi realizada a calibração.

os valores de correção podem ser interpolados para obter a correção para o ponto intermediário, no entanto, a incerteza de medição não pode ser interpolada para obter um novo valor de incerteza para o ponto intermediário.

É importante conhecer o material do sistema de medição e os cuidados que devem-se ter para evitar desgaste, má utilização e conseqüentemente erros no momento das medições. Entre os cuidados destacam-se as questões de utilizá-lo somente na faixa de medição, em ambiente propícios e por operadores treinados, mantê-lo limpo e armazenado em lugares seguros para evitar quedas e danos na funcionalidade do mesmo.

c) Operadores

Os operadores que fazem as medições devem estar treinados para utilizar o sistema de medição de maneira correta, conhecer o mensurando e o método de medição. Bom senso, conhecimento e honestidade são aspectos importantes que os operadores devem possuir. Os operadores devem estar atentos para o que medir e com que frequência, além de entender e conhecer o funcionamento da peça.

É importante destacar a *reprodutibilidade*, que é "o grau de concordância entre os resultados das medições de um mesmo mensurando, efetuadas sob condições variadas de medição" [24], com o objetivo de medir o grau de concordância das medições realizadas por diferentes operadores; *repetibilidade* é que "grau de concordância entre os resultados de medições sucessivas de um mesmo mensurando efetuadas sob as mesmas condições de medição" [24]. Ambos os fatores são fonte de incerteza para o cálculo e avaliação da incerteza do processo de medição.

d) Método de Medição

O *método de medição* é a "seqüência lógica de operação, descritas genericamente, usadas na execução das medições" [24]. É importante, pois descreve a seqüência necessária para efetuar a medição. Deve ser elaborado com o objetivo de otimizar os resultados alcançados na medição, com base em normas e experiência dos responsáveis pelas medições e deve-se levar, ainda, em consideração a estratégia de medição, que consiste em determinar o número de pontos medidos e fixação da peça para medição; facilidade da medição, que consiste em determinar a disposição para medir a peça, dimensão da peça, forma da peça e forma de contato para medição; princípio de medição, que consiste em determinar qual a base científica da medição; e *tempo de resposta da medição*, que consiste em saber o "intervalo de tempo entre o instante em que um estímulo é submetido a uma variação brusca e o instante em que a resposta atinge e permanece dentro de limites especificados em torno do seu valor final estável" [24].

e) Condições Ambientais

O processo de medição no ambiente fabril também sofre influências do ambiente, que influencia no

resultado da medição. Estas fontes de influência incluem a temperatura, vibrações, umidade relativa do ar, pressão atmosférica, impurezas do ar e campos eletromagnéticos. Dentre estas fontes, a temperatura é uma das mais críticas na área dimensional. A calibração dos sistemas de medição da área dimensional é realizada em laboratório de metrologia com controle de temperatura, que tem como temperatura de referência 20 °C. A temperatura influencia tanto na deformação do sistema de medição quanto do mensurando. É necessário conhecer o material do qual é composto o sistema de medição e o mensurando para que o coeficiente de expansão térmica seja conhecido e os valores de incerteza possam ser estimados, através da incerteza do processo de medição.

2.1.2 Cálculo da Incerteza do processo de medição

As peças fabricadas têm que sofrer um controle geométrico e este controle normalmente acontece no ambiente fabril. Acontece que existe a incerteza calculada na calibração, sob condições específicas, e a incerteza calculada para compor o resultado da medição, obtido nas inspeções das peças fabricadas. A incerteza calculada na calibração é apenas uma fonte de incerteza que contribuirá para a valor de incerteza que compõe o resultado da medição. Diante desta situação, procura-se estabelecer o valor da incerteza do processo de medição levando em consideração as condições reais de uso do sistema de medição, que sofrem influências do mensurando, sistema de medição, operador, método de medição e condições ambientais, realizadas no ambiente fabril [22][23].

Neste panorama, existe a norma ISO/TS 14253-2 [30] que vem com o intuito de solucionar esta lacuna existente, a partir da utilização da ferramenta do PUMA (Capítulo 3, item 3.5.1). A implantação desta estrutura traz um diferencial para a confiabilidade das medições realizadas no ambiente fabril, o que permite conhecer a(s) principal(is) fonte(s) de incerteza, com isso, possibilita agir na principal causa do problema.

2.1.3 Ligação da Inspeção no ambiente fabril e o laboratório de metrologia da empresa

As inspeções realizadas no ambiente fabril, a partir das medições, devem estar rastreadas e para isto os sistemas de medição utilizados têm que estar calibrados ou verificados. A calibração pode ser realizada em um laboratório da própria empresa ou em um laboratório externo à empresa. A decisão de ter uma infra-estrutura interna de um laboratório de metrologia depende da necessidade de cada empresa, além de levar em consideração o fator custo.

As empresas que não têm uma infra-estrutura de um laboratório de metrologia interno, acabam por terceirizar as atividades de calibrações, verificações, ajustes e manutenção de sistemas de medição para um laboratório de metrologia externo e independente da empresa, no entanto este laboratório deve comprovar a rastreabilidade dos sistemas de medição a padrões nacionais e internacionais. As

atividades sob a responsabilidade da empresa são: senso crítico para garantir a qualidade dos serviços prestados; interpretações dos resultados emitidos e disponíveis no certificado de calibração; alocação dos sistemas de medição para os processos de medição no ambiente fabril, a partir de estudos realizados internamente à empresa; e adequação dos intervalos de calibração dos sistemas de medição.

As empresas que têm uma infra-estrutura de um laboratório de metrologia interno, acabam por realizar internamente as atividades de calibrações, verificações, manutenção e ajuste dos sistemas de medição, tanto os utilizados no ambiente fabril como alguns padrões de referência do laboratório, além de realizar no ambiente laboratorial as medições que requerem um nível de incerteza menor em função das tolerâncias de fabricação na geometria das peças. Neste caso, os serviços prestados por laboratórios de metrologia externos, e independente à empresa, dizem respeito à calibração dos padrões de referência do laboratório ou algum sistema de medição utilizado no ambiente fabril para o qual a empresa não tenha infra-estrutura para realizar a calibração.

2.2 O LABORATÓRIO DE METROLOGIA DA EMPRESA

O laboratório de metrologia da empresa tem algumas atribuições e funções, dentre as quais destacam-se as medições que necessitam ser realizadas no ambiente laboratorial e o controle dos sistemas de medição, tanto os utilizados no ambiente fabril quanto os utilizados no ambiente laboratorial como padrão de referência do laboratório. Para isto, as atividades exercidas no ambiente laboratorial, tem que ser confiáveis metrologicamente, o que implica em atender alguns requisitos do sistema da qualidade e aplicação do cálculo da incerteza de medição.

2.2.1 Medições realizadas no ambiente laboratorial

Um dos aspectos principais da metrologia dimensional nos processos de fabricação é verificar se a peça fabricada atende aos requisitos funcionais e geométricos estabelecidos em projeto, para que seja feita a classificação das peças em "dentro" ou "fora" da especificação. Uma das situações possíveis para a tomada de decisão diz respeito à: caso a peça esteja "dentro" da especificação, o lote a que a peça pertence estará aprovado, caso a peça esteja "fora" da especificação, deve-se tomar a decisão de retrabalhar ou refugar as peças deste lote ou ainda medir outras peças deste lote, para que se possa tomar uma decisão [31].

A inspeção de peças com geometria complexa e tolerâncias de fabricação estreitas geralmente é realizada por meio da tecnologia de medição por coordenadas em um ambiente laboratorial controlado, a qual viabiliza a verificação de características que seriam de difícil execução com outros sistemas de medição e em ambiente não controlado (ambiente fabril). No caso do controle do processo auxiliado pela tecnologia de medição por coordenadas, um dos aspectos preferenciais é a possibilidade da

inspeção geométrica da primeira peça produzida, para em seguida, fazer os ajustes necessários na máquina ferramenta. É crescente a necessidade da redução dos tempos para a execução das medições das peças fabricadas. A redução dos tempos de inspeção implica em respostas mais rápidas sobre possíveis problemas do processo de fabricação, oferecendo condições de se atuar corretivamente sobre os parâmetros do processo, evitando-se perdas e mantendo-o sob controle [25].

2.2.2 Controle dos sistemas de medição utilizados no ambiente fabril

Existem alguns fatores que devem ser considerados para garantir a confiabilidade das medições realizadas no ambiente fabril, dentre estes destacam-se os descritos a seguir.

a) Calibração dos sistemas de medição utilizados no ambiente fabril

A calibração dos sistemas de medição deve ser realizada com procedimentos documentados, de acordo com as normas técnicas específicas para cada caso. Fatores importantes e que devem ser ressaltados são: a implantação de um sistema da qualidade (vide item 2.2.4 - a), o qual deve estar de acordo com a NBR ISO/IEC 17025 e o cálculo da incerteza de medição (vide item 2.2.4 - b), o qual deve estar de acordo com o ISO GUM [32], EA 4-02 [33] e EA 4-02 SI [34], além de pessoal técnico qualificado e condições ambientais controladas.

b) Verificação dos sistemas de medição utilizados no ambiente fabril

A verificação deve ser realizada periodicamente, em intervalos de tempo estabelecidos, com o intuito de comprovar que os resultados encontram-se dentro dos obtidos na calibração anterior, evitando fazer medições com valores de correção e incerteza maiores aos obtidos nas calibrações. Caso os valores observados estejam dentro dos obtidos na calibração, o sistema de medição está apto a continuar efetuando medições e o intervalo de calibração é mantido. Caso os valores observados sejam maiores dos obtidos na calibração, tem que ser observado as medições realizadas com este sistema de medição no período em que pode ter ocasionado erros nas classificações das peças, dados de entrada errados para o controle do processo de fabricação, além de calibrar o sistema de medição e rever o intervalo de calibração. Não é preciso esperar a próxima calibração para perceber que o sistema de medição está fora das condições de uso.

c) Ajuste dos sistemas de medição utilizados no ambiente fabril

Após um dano causado no sistema de medição em função de uma queda, sobrecarga ou mau uso, realiza-se a manutenção e posteriormente a verificação do mesmo. Caso os valores obtidos sejam fora do esperado, realiza-se um ajuste, e caso os valores obtidos estejam dentro do esperado não realiza-se o ajuste. Em ambos os casos realizam-se uma calibração com o intuito de conhecer o comportamento do sistema de medição ao longo dos pontos de calibrado. Os ajustes são realizados para minimizar os erros de medição [35][36].

d) Interpretação do certificado de calibração dos sistemas de medição utilizados no ambiente fabril

A correta interpretação do certificado de calibração dos sistemas de medição utilizados no ambiente fabril da empresa é importante, pois permite definir ou optar por qual sistema de medição poderá ser utilizado para efetuar uma determinada medição. Além de garantir que os resultados contidos nos certificados sejam transportados corretamente para o cálculo da incerteza do processo de medição.

e) Relação entre a Incerteza de medição e as tolerâncias de fabricação

O fato do sistema de medição ter sido calibrado não garante que esteja apto a efetuar uma medição para controlar uma determinada tolerância geométrica, não garantindo a confiabilidade da medição [37]. Este é um "erro comum" cometido por muitos, que entendem que a calibração atesta que o sistema de medição está apto a medir uma determinada característica da peça. Enquanto que a realidade é que a calibração significa conhecer os erros e incertezas fornecidas pelo sistema de medição, sob condições controladas, podendo o sistema de medição não possuir características metrológicas adequadas às tolerâncias do processo [21].

É importante definir a relação entre incerteza de medição e tolerância. Acontece que a incerteza de medição pode estar relacionada ao valor obtido na calibração ou ao valor obtido nas inspeções realizadas, que compõe o resultado da medição. As relações de incerteza de medição e tolerância mais comumente usadas são: $1/3$, $1/5$ ou $1/10$ [28]. Esta relação dependerá do rigor da medição, importância da grandeza controlada e consequências derivadas de erros de classificação das peças fabricadas, além da definição de que valor de incerteza de medição está sendo utilizado, o obtido na calibração ou o obtido nas inspeções. Inicialmente, pode-se definir a relação utilizando o valor de incerteza de medição obtido na calibração, no entanto, para se fazer um estudo de adequabilidade do processo de medição mais criterioso, é melhor utilizar o valor de incerteza obtido nas inspeções.

f) Adequação do intervalo de calibração dos sistemas de medição utilizados no ambiente fabril

A adequação do intervalo de calibração pode ser realizada com base no histórico de calibração dos sistemas de medição [35]. Os intervalos apropriados devem ser estabelecidos com base na estabilidade, propósito e uso do sistema de medição e devem ser tais que a calibração seja realizada antes de ter ocorrido qualquer mudança significativa na qualidade das medições realizadas [38]. Caso os resultados das calibrações anteriores demonstrem estabilidade, o intervalo de calibração pode ser aumentado, com o objetivo de diminuir os custos com as calibrações, custos estes que são de prevenção (Figura 2.4). Caso os resultados das calibrações anteriores sejam significativamente diferentes, o intervalo de calibração pode ser diminuído, com o objetivo de manter a qualidade das medições e evitar erros na classificação das peças e consequentemente custos de falhas internas e custos de falhas externas (Figura 2.4).

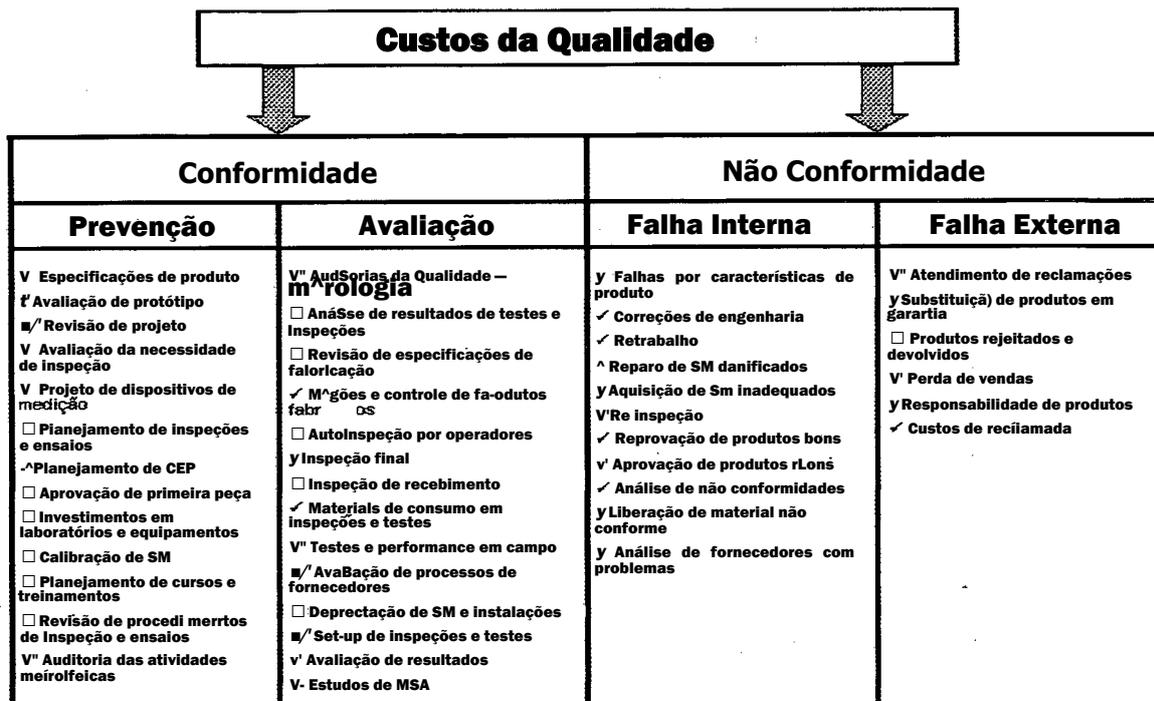


Figura 2.4 Exemplos de custos da qualidade relacionados às atividades metrofelficas [39]

2.2.3 Controle dos padrões de referência da empresa

Existem alguns fatores que devem ser considerados para garantir a confiabilidade dos padrões de referência da empresa, utilizados para realizar as calibrações ou verificações dos sistemas de medição utilizados no ambiente fabril e medições de peças fabricadas, dentre estes destacam-se os descritos a seguir.

a) Calibração de padrão de referência da empresa

As calibrações dos padrões devem ser realizadas preferencialmente em laboratórios credenciados, pois garante a rastreabilidade a padrões nacionais e internacionais, além da garantia de um serviço que foi avaliado por um órgão independente. Com a unificação das normas da indústria automobilística, isto passa a ser uma exigência para as empresas certificadas segundo a ISO/TS 16949, com exceção de áreas em que não exista laboratório credenciado ou que os fabricantes previamente aceitem um outro laboratório [13].

b) Interpretação do certificado de calibração de padrão de referência da empresa

A interpretação do certificado de calibração, de maneira correta, dos padrões de referência do laboratório é importante, pois define quais sistemas de medição poderão ser utilizados para efetuar as calibrações dos sistemas de medição utilizados no ambiente fabril. Isto garante ainda que os resultados contidos nos certificados sejam transportados corretamente para o cálculo da incerteza realizado nas calibrações efetuadas pelo laboratório.

c) Adequação do Intervalo de calibração dos padrões de referência da empresa

A adequação do intervalo de calibração pode ser realizada com base no histórico de calibração dos sistemas de medição [35]. Os intervalos apropriados devem ser estabelecidos com base na estabilidade, propósito e uso do sistema de medição e devem ser tais que a calibração seja realizada antes de ter ocorrido qualquer mudança significativa na qualidade das calibrações realizadas [38].

2.2.4 Confiabilidade nos laboratórios

Existem alguns fatores que devem ser considerados para garantir a confiabilidade nos laboratórios das empresas. Não é suficiente ter uma estrutura montada e não utilizá-la de maneira a gerar resultados confiáveis, dentre estes destacam-se a implantação do sistema da qualidade e aplicação do cálculo da incerteza de medição.

a) Implantação do Sistema da Qualidade segundo NBR ISO/IEC 17025

É desejável que os laboratórios das empresas tenham o sistema da qualidade implantado de acordo com alguns itens da NBR ISO/IEC 17025 [40], norma esta que é obrigatória para o credenciamento de laboratório junto ao órgão nacional de credenciamento. Os itens que devem ser implantados de acordo com a norma dependerão das atividades exercidas por cada laboratório. De acordo com as atividades exercidas, o laboratório pode vir a implantar o sistema da qualidade na íntegra de acordo com a norma, com o objetivo de garantir a qualidade de serviços realizados. No item 2.3.2 está descrito a importância do credenciamento. Pode ser que as atividades exercidas por cada laboratório necessitem da implantação de alguns itens, entre os quais destacam-se [40]:

- Definição e documentação de responsabilidade, além de supervisão adequada das atividades desenvolvidas;
- A documentação deve ser compreendida por todos que utilizam e deve estar disponível nos locais onde as operações são realizadas;
- Controle dos documentos como normas, procedimentos técnicos e administrativos, especificação, manual de operação dos equipamentos, planilhas e formulários. Estes documentos devem ser periodicamente analisados criticamente e todas as alterações devem ser revisadas e autorizadas pelos responsáveis por cada tarefa específica;
- Controle de não-conformidade, que deve ter um procedimento para analisar a gravidade, verificar quais resultados foram afetados, definir a responsabilidade e autoridade e definir as ações corretivas;
- Controle de registros, os quais devem possibilitar condição de repetir as calibrações ou medições realizadas. É importante identificar por meio de código o sistema de medição calibrado, o padrão utilizado, as condições ambientais e quem foi quem o executor da calibração/medição;

- **Assegurar competência técnica do pessoal e ter um programa de treinamento, necessários a partir de uma mudança de uma norma técnica, aquisição de um novo equipamento ou mudança na organização;**
- **Assegurar e monitorar as condições ambientais que influenciam na qualidade dos resultados, como por exemplo a temperatura, umidade, vibrações, interferências magnéticas, entre outras;**
- **Ter e aplicar procedimentos para avaliação da incerteza para todas as calibrações realizadas, usando métodos de análises apropriados;**
- **Controle dos padrões do laboratório com programa de calibração evidenciando o status dos sistemas de medição, no qual deve constar a data da última e da próxima calibração;**
- **Comprovar a rastreabilidade dos padrões do laboratório, a partir dos certificados de calibração;**
- **Conteúdo dos certificados de calibração devem conter todas as informações necessárias para correta utilização dos resultados, como os pontos de calibração com os respectivos valores de correção e incerteza.**

b) Aplicação do cálculo da Incerteza de medição

O cálculo de incerteza deve ser realizado de acordo com o ISO GUM [32], EA 4-02 [33] e EA 4-02 SI [34]. Não basta calibrar os padrões em laboratórios credenciados, é necessário garantir que as calibrações dos sistemas de medição utilizados no ambiente fabril sejam realizadas de maneira correta e os cálculos sejam feitos corretamente. Na calibração, as fontes de incertezas mais comuns na metrologia dimensional são [41][42]:

- **Incerteza do sistema de medição padrão;**
- **Incertezas associadas com a diferença de temperatura entre o sistema de medição padrão e sistema de medição à calibrar;**
- **Estabilidade do sistema de medição padrão em função do tempo (grau de utilização/atividade do meio);**
- **Resolução dos sistemas de medição;**
- **Deformação elástica do sistema de medição padrão e sistema de medição a calibrar. Estas deformações são mais críticas nas medições mais exatas e nos casos em que envolve materiais diferentes. A magnitude dessa deformação é função da força de medição e da natureza do contato entre apalpador e mensurando ou padrão;**
- **Erros de cosseno, devido ao desalinhamento entre o padrão e o eixo de medição do sistema de medição, causado por não obedecer o Princípio de ABBÉ;**
- **Erros na geometria do padrão e do sistema de medição: planeza e esfericidade de sensores, retilineidade, planeza, paralelismo ou perpendicularidade de dispositivos auxiliares, circularidade em padrões cilíndricos e padrões de referência.**

2.2.5 Ligação entre o laboratório da empresa e o laboratório prestador de serviços metrológicos credenciados

As calibrações e medições realizadas no laboratório de metrologia interno à empresa devem estar rastreadas a padrões nacionais e internacionais. Para isto os padrões utilizados nestas calibrações e medições têm que ser preferencialmente calibrados em um laboratório prestador de serviços metrológicos credenciados, com o intuito de dar continuidade à cadeia para assegurar a rastreabilidade. Pode acontecer do laboratório da empresa possuir serviços metrológicos credenciados e estar ligado diretamente ao órgão credenciador na cadeia de rastreabilidade, no entanto, não é um fato comum de ser observado.

Além da ligação existente, no que diz respeito aos serviços de calibrações, o laboratório prestador de serviços metrológicos credenciados, em função da competência do pessoal e do conhecimento agregado existente, abre ou intensifica as oportunidades relacionadas à [43]:

- Gerenciamento, total ou parcial, dos sistemas de medição das empresas, assumindo todas as tarefas necessárias para isto, em conformidade com os requisitos de certificação;
- Assessoramento técnico para as empresas atenderem os requisitos metrológicos dos sistemas da qualidade presentes na ISO 9001 [11], QS 9000 [12], ISO/TS 16949 [13], entre outras;
- Assessoramento para melhoria da confiabilidade metrológica e/ou otimização do controle de processos industriais.

2.3 O LABORATÓRIO PRESTADOR DE SERVIÇOS METROLÓGICOS CREDENCIADOS

A existência de laboratório prestador de serviços metrológicos credenciados no Brasil faz-se necessário em função da crescente participação das empresas brasileiras nos fluxos comerciais internacionais e nas redes mundiais de produção. Isto faz com que o Brasil tome-se cada vez mais dependente de um sistema nacional de metrologia que atenda a esta nova realidade. Vai se tornando condição básica para a competitividade em escala mundial a existência de uma rede de laboratórios não apenas qualificada para responder às novas exigências, como também disseminada e ágil para atender com presteza as necessidades das empresas [17].

Os laboratórios credenciados terão que atender a demanda proveniente das empresas cuja tendência é a terceirização das atividades metrológicas rotineiras. Posterior a esta demanda, terão que identificar os processos de medição e inspeções críticas, solucionando-os com satisfatória confiabilidade metrológica. Para isto o laboratório tem que ter pessoal técnico qualificado para atender a demanda das atividades metrológicas dentro das empresas, entre as quais destaca-se a estruturação de procedimentos de medição e ensaios, seleção de sistemas de medição para tarefas específicas, avaliação da incerteza de resultados e elaboração de procedimentos técnicos [43].

2.3.1 O Credenciamento

O credenciamento é o modo pelo qual um organismo autorizado, oficial e imparcial, dá reconhecimento formal de que um laboratório, instituição ou pessoa é competente para realizar tarefas específicas [40][44]. Deve ser salientado que credenciamento é diferente de certificação. A certificação é o procedimento pelo qual um organismo imparcial credenciado atesta por escrito que o sistema da qualidade, produto, processo ou serviço está conforme requisitos especificados [40].

O credenciamento de laboratório é concedido como resultado satisfatório de uma avaliação laboratorial e seguido por um acompanhamento adequado. No Brasil, os laboratórios de calibração credenciados são pertencentes à Rede Brasileira de Calibração (RBC) e os laboratórios de ensaios credenciados são pertencentes à Rede Brasileira de Laboratórios de Ensaio (RBLE).

As normas que devem ser seguidas para o credenciamento de laboratório são: a NBR ISO/IEC 17025, a qual contém todos os requisitos que os laboratórios de calibração e ensaio devem atender, caso desejem demonstrar que têm implementado um sistema da qualidade, são tecnicamente competentes e que são capazes de produzir resultados tecnicamente válidos [45]; ISO GUM, o qual estabelece consenso mundial para se expressar a incerteza de medição com o objetivo de obter a equivalência dos padrões nacionais e dos certificados de calibração emitidos por Laboratórios Nacionais de Metrologia, estabelecendo uma nova e robusta base para fundamentar acordos de comércio [32]; EA 4-02, o qual objetiva padronizar e harmonizar a sistemática relacionada à expressão da incerteza de medição, facilitando a avaliação de laboratórios de calibração, permitindo ao organismo credenciador caracterizar a melhor capacidade de medição do laboratório credenciado ou postulante ao credenciamento [33]; o EA 4-02 SI fornece orientação para calcular a incerteza de medição em alguns campos e especialidade de calibração, uma vez que os orienta na expressão das suas incertezas de medição, por intermédio de exemplos práticos de aplicação [34].

2.3.2 A Importância do credenciamento

Os produtos dos laboratórios são os resultados de calibrações e ensaios [46]. Desta maneira é interessante que estes resultados tenham sido avaliados por um órgão independente e imparcial, atestando a competência do produto que será vendido. É destacada a importância do credenciamento dos laboratórios, face às exigências dos clientes quanto à credibilidade dos resultados [47].

No entanto, a implantação de um sistema da qualidade não é uma garantia da excelência de uma calibração. Deve haver uma forte presença da liderança do laboratório conduzindo um processo de mudança organizacional envolvendo as pessoas em todos os níveis [48], com o intuito de conscientizar todos da importância da implantação e manutenção da qualidade dos serviços prestados.

a) Visão para Implantação do Sistema da Qualidade

O sistema da qualidade tem que estar implantado conforme a NBR ISO/IEC 17025 [45] e será avaliado pelo INMETRO, que é o órgão brasileiro responsável por conceder o credenciamento aos laboratórios. Estes laboratórios têm rastreabilidade comprovada ao INMETRO e sofrem anualmente uma avaliação periódica do INMETRO. Alguns pontos que devem ser implantados, foram vistos no item 2.2.4.

- **O que é => É possuir uma estrutura organizacional, responsabilidades, procedimentos, processos e recursos para implementação da gestão da qualidade. Os requisitos são estabelecidos em normas reconhecidas e adotadas internacionalmente. O sistema da qualidade aplicado a um laboratório é o conjunto de medidas adotadas para garantir a qualidade requerida dos ensaios e calibrações;**
- **Implantação ^ Para implantar o sistema da qualidade é necessário o treinamento de recursos humanos para a formação de equipes eficazes, conduzir o programa da qualidade com simplicidade, de forma global e agindo localizadamente, além de planejar e programar avaliações da efetividade da implantação;**
- **Importância da implantação => A implantação do sistema da qualidade é o melhor caminho para obter resultados confiáveis, pois esta confiabilidade surge de procedimentos de calibração adequados, infra-estrutura adequada (condições ambientais, equipamentos, espaço), sistemas de medição rastreados, pessoal técnico qualificado e auditorias (internas e do INMETRO) periódicas, conforme ilustrado na figura 2.5. O sistema da qualidade deve ser entendido como sinônimo de organização;**
- **Dificuldades na implantação => As maiores dificuldades no momento de implantação são: o desacordo sobre documentar alguns procedimentos técnicos e administrativos os quais são normalmente envolvidos com sucesso, a crença de que alguns trabalhos de garantia da qualidade irão aumentar a burocracia e que estas "burocracias" são menos importantes que os trabalhos técnicos e a complexidade do sistema de calibração e ensaio interno para garantir a rastreabilidade. Além disso, tem o fator relacionado aos altos custos de: treinamento, desenvolvimento de documentação, manutenção do credenciamento e investimento em novos equipamentos para melhorar os processos;**
- **Êxito na implantação ^ Para que a implantação do sistema da qualidade tenha êxito é importante que o laboratório tenha uma equipe de pessoal experiente, familiarizada com o uso de normas e especificações técnicas, que tenha sistematização dos serviços tecnológicos de calibração a partir da aplicação de procedimentos pré-definidos, além de ter um bom sistema de armazenamento e registro dos resultados de calibrações realizadas.**

Abordagem	Laboratório Credenciado	Laboratório não credenciado
Sistema da Qualidade Implantado segundo a ISO/IEC 17025	Sim	Pode ter
Rastreabilidade	Sim, em laboratórios reconhecidos pelo INMETRO	Sim
Avaliação periódica do INMETRO	Anualmente	Não
Recursos Humanos	Comprovar competência técnica ao INMETRO	Auditado pelo cliente
Infra-estrutura	Avaliada pelo INMETRO	Auditada pelo cliente
Procedimentos documentados	Avaliados tecnicamente pelo INMETRO	Auditado pelo cliente
Conteúdo dos certificados e relatórios	Padronizados e avaliados pelo INMETRO	Não padronizado
Auditorias Internas e Análise Crítica	Mínimo uma vez por ano	Nem sempre são realizadas
Auditoria de Medição (Intercomparação)	Periodicamente realizadas	Não

Figura 2.5 Abordagens dos laboratórios credenciados x laboratórios não credenciados [40]

b) Capacitação de pessoal técnico qualificado

O laboratório credenciado tem que comprovar competência técnica ao INMETRO dos recursos humanos existentes no laboratório. É necessário assegurar a competência técnica na operação de equipamentos, realização de calibrações, avaliação de resultados. Deve existir uma lista com os nomes de pessoas autorizadas por avaliar os resultados e uma lista com os signatários autorizados (pessoas autorizadas a assinar os certificados de calibração emitidos). O pessoal técnico deve ter conhecimento das tecnologias envolvidas e conhecimento dos requisitos gerais existentes como legislações ou normas. Devem ser treinados conforme as necessidades identificadas, a partir da mudança de uma norma técnica, aquisição de um novo equipamento ou mudança na organização.

c) Comprovação da rastreabilidade dos padrões do laboratório

A rastreabilidade é a "propriedade de um resultado de uma medição ou do valor de um padrão estar relacionado a referências estabelecidas, geralmente padrões nacionais ou internacionais, através de uma cadeia contínua de comparações, todas tendo incertezas estabelecidas" [24]. Os padrões dos laboratórios devem estar rastreados ao órgão nacional, no caso do Brasil o INMETRO, com o intuito de realizar calibrações nos sistemas de medição das empresas, principalmente os utilizados no ambiente laboratorial.

d) Avaliações periódicas do INMETRO

Na avaliação inicial para a obtenção do credenciamento, feita pelo INMETRO, é exigida uma cópia do Manual da Qualidade, procedimentos técnicos (procedimentos para executar a calibração), relação dos certificados de calibração dos sistemas de medição padrão, procedimento de cálculo da incerteza de

medição, balanço de incertezas, lista dos signatários autorizados, definição do gerente técnico, gerente da qualidade e preenchimento do questionário padrão do INMETRO. O INMETRO faz uma avaliação em toda a documentação e caso julgue que o laboratório ainda não está preparado, é realizada uma visita de pré-avaliação. Caso contrário, é feita a avaliação inicial, tentando cobrir 100% do sistema da qualidade. Paralelo a isto é realizada a auditoria de medição (vide item 2.3.2 - f). Após a avaliação inicial, o laboratório faz as ações corretivas para corrigir as não-conformidades e o INMETRO envia o documento formalizando o credenciamento.

Após a concessão do credenciamento, o INMETRO realiza anualmente uma auditoria nos laboratórios. No primeiro ano, analisa um terço do sistema da qualidade mais os critérios técnicos. No segundo ano, analisa mais um terço do sistema da qualidade (podendo ser atividades que já tinham sido avaliadas na auditoria anterior) mais os critérios técnicos e pendências da auditoria anterior. No terceiro ano, analisa novamente um terço do sistema da qualidade (podendo ser atividades que foram avaliadas nas auditorias anteriores) mais os critérios técnicos e pendências da auditoria anterior. No quarto ano, analisa 100% do sistema da qualidade mais critérios técnicos e pendências da auditoria anterior. Esta sistemática de auditorias está evidenciada na figura 2.6.

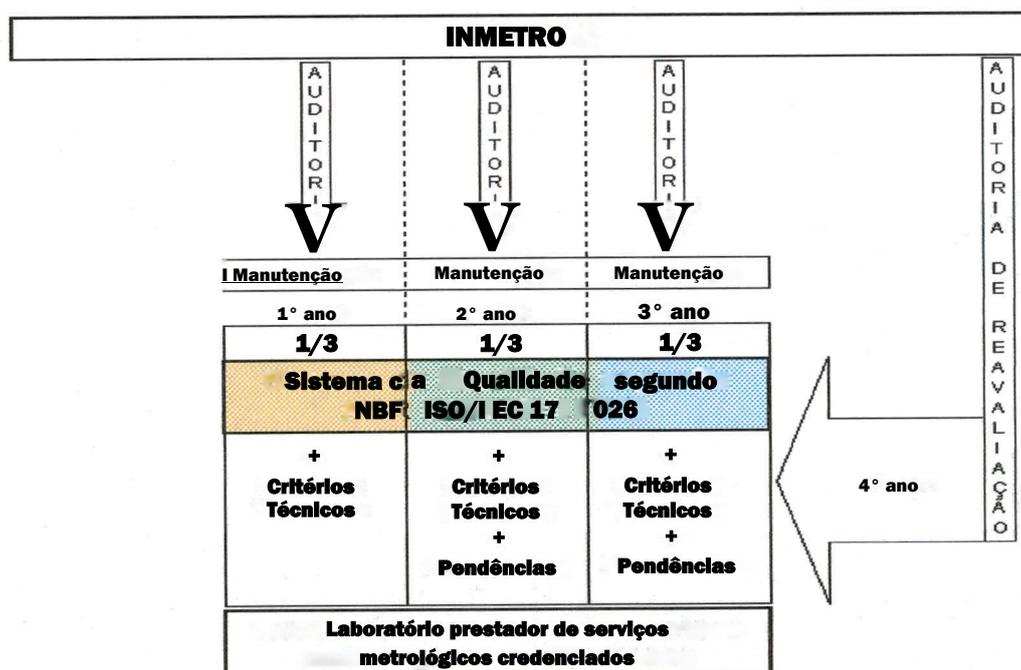


Figura 2.6 Sistemática para manutenção e reavaliação para o credenciamento dos serviços metrológicos dos laboratórios

e) Realização de auditorias internas e análises críticas

As auditorias internas são exames periódicos que a gerência deve realizar para assegurar que o sistema da qualidade continua a atender os requisitos do organismo credenciador, bem como os requisitos de qualidade estabelecidos internamente. Tem como objetivo reavaliar o sistema da qualidade para garantir sua contínua adequação, eficácia e introduzir melhorias necessárias. É recomendado que

ocorra com uma frequência de no mínimo uma vez por ano, podendo ser realizada semestralmente ou trimestralmente. As auditorias são realizadas com base nos resultados das auditorias e avaliações do organismo credenciador, reclamações de clientes, revisão de procedimentos e do manual da qualidade, auditorias de medição, treinamento de pessoal, mudanças na organização e introdução de melhorias e mudanças no sistema da qualidade [40].

f) Participação de auditorias de medição

São realizadas com o objetivo de comparar os resultados de calibrações realizadas pelos laboratórios credenciados, para detectar divergências entre laboratórios de todo o país. O plano do INMETRO é que estas auditorias ocorram a cada dois anos, porém atualmente não está sendo possível realizar as auditorias com esta frequência, em função das diversas atividades gerenciadas pelo INMETRO.

g) Vantagens do credenciamento

A conquista e manutenção de clientes, base para a consolidação de qualquer negócio, só é possível a partir da melhoria contínua de sua competência técnica. O resultado mais significativo desta evolução técnica é o aumento de sua credibilidade junto aos clientes, que passam a confiar ao laboratório serviços de maior responsabilidade e, portanto, de maior valor agregado. Este fato só se estabelece na medida em que a base técnica de um laboratório se consolida, capacitando-o a ampliar a oferta de soluções aos clientes. É o sistema da qualidade laboratorial que possibilita o amplo domínio e melhoria contínua dos procedimentos técnicos e administrativos, trazendo ainda como vantagens adicionais a racionalização e otimização de rotinas, que resultam no aumento da produtividade e redução de custos [43]. As vantagens em termos financeiros e de qualidade dos serviços prestados pode ser observado na figura 2.7.

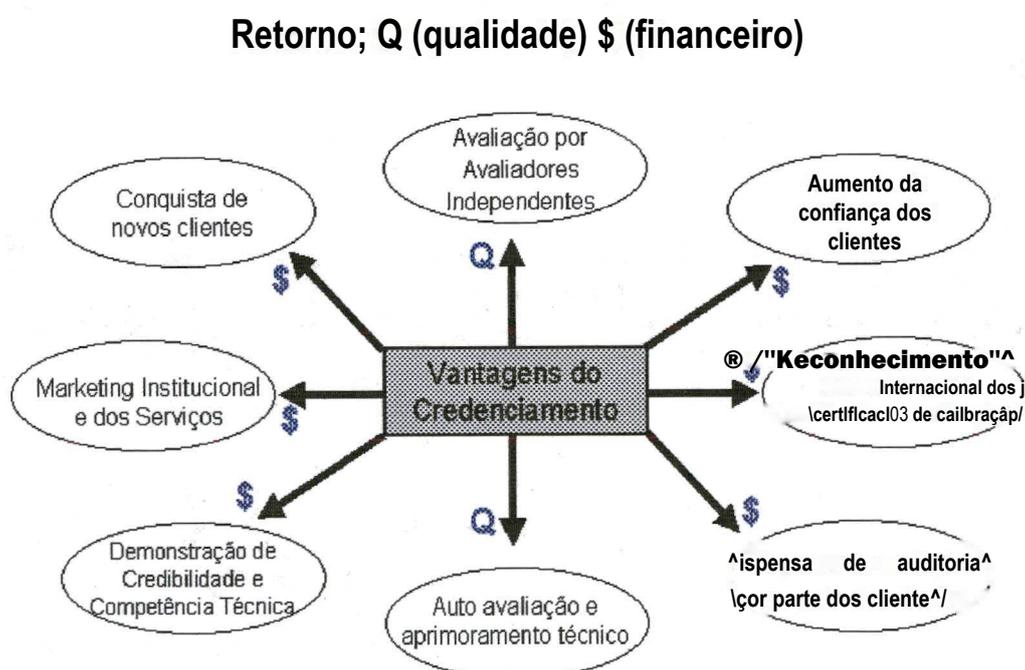


Figura 2.7 Vantagens do credenciamento de laboratórios [40]

2.3.3 Ligação entre o laboratório prestador de serviços metroiológicos credenciados e o organismo credenciador

É importante que o organismo credenciador esteja apto a atender as demandas de credenciamento e que mantenha uma boa relação com os laboratórios prestadores de serviços metroiológicos credenciados, com o objetivo de crescimento de ambas as partes. A relação comercial existente entre as duas partes está ilustrada na figura 2.8. O INMETRO tem como atribuições referentes aos laboratórios credenciados:

- Gerenciar o sistema brasileiro de credenciamento com o intuito de criar confiança e harmonizar a interpretação e implantação de normas;
- Encorajar a cooperação técnica e a troca de experiências entre os laboratórios por ele credenciados;
- Coordenar a RBC e RBLE, efetivando um plano para as auditorias de manutenção e reavaliação do credenciamento, sendo que para isto é necessário ter auditores treinados em número suficiente para atender a demanda, tanto para o sistema da qualidade como para a área técnica.

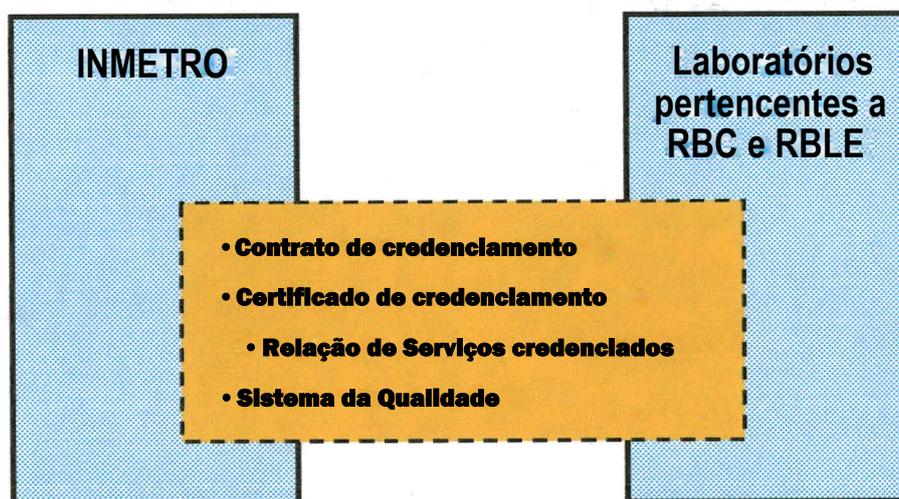


Figura 2.8 Relação comercial entre o laboratório prestador de serviços metroiológicos credenciados e o organismo credenciador

2.4 O ORGANISMO CREDENCIADOR

As mudanças no cenário internacional têm apresentado impacto direto no desenvolvimento da metrologia em todo o mundo. Isto exige em primeiro lugar, uma preocupação crescente com a uniformização na realização e definição das unidades de medidas. Em segundo lugar, que os padrões de medidas utilizados pelos diferentes países tenham rastreabilidade clara aos padrões internacionais aceitos [17].

Este cenário mundial exige um organismo credenciador competente. No Brasil este órgão é o INMETRO, que tem como obrigações o desenvolvimento e a manutenção de um robusto sistema de padrões metrológicos de referência e o credenciamento de laboratórios [17], a partir das necessidades provenientes das empresas.

O INMETRO deve operar conforme o ISO GUIA 58 [50], de modo que os credenciamentos concedidos e os serviços abrangidos por estes credenciamentos possam ser reconhecidos em nível nacional ou internacional, sendo que ele pode delegar competências para outras instituições em áreas na qual não detém competência. Um laboratório que esteja localizado no Brasil pode credenciar-se a organismos de outros países, desde que o mesmo seja reconhecido pelo INMETRO. Isto acontece somente se o INMETRO não possuir estrutura de padrões de referência ou não atuar na área específica. Além disso deve estar preparado para trocar informações sobre procedimentos e práticas de credenciamento com outros organismos [50].

No âmbito da ampla missão institucional, o INMETRO objetiva fortalecer as empresas nacionais, aumentando sua produtividade por meio da adoção de mecanismos destinados à melhoria da qualidade de produtos e serviços [49], além de contribuir para a inserção competitiva e o avanço científico e tecnológico do país.

A equivalência de sistemas metrológicos de países depende da comparabilidade dos padrões nacionais e da credibilidade dos certificados de calibração emitidos pelos laboratórios nacionais de metrologia, guardiões dos padrões nacionais. Desde outubro de 1999 existe o Acordo de Reconhecimento Mútuo (MRA), que estabelece a nova sistemática para a equivalência metrológica entre países, avaliando a participação dos padrões nacionais em comparações-chave. É importante para o sistema metrológico brasileiro obter o reconhecimento internacional junto a outros órgãos internacionais como o ILAC, APLAC, EA e IAF [17].

Considerando a importância das atividades metrológicas realizadas no ambiente industrial, para dar continuidade à cadeia de rastreabilidade, a seguir (Capítulo 3) é apresentada uma sistemática de apoio ao estabelecimento da confiabilidade metrológica das medições, que permite, a partir de ferramentas, a caracterização das variáveis do processo de medição, o uso correto do certificado de calibração, adequação do intervalo de calibração dos sistemas de medição e determinação do melhor processo de medição, a partir dos resultados de incerteza obtidos.

Capítulo 3

Desenvolvimento do módulo de melhoria da confiabilidade metrológica das medições

O módulo visa garantir a confiabilidade das medições realizadas no chão de fábrica, a partir de esclarecimentos e soluções geradas para os problemas relacionados à metrologia existentes nas empresas. Para isto pretende-se inserir uma sistemática, que agregue conhecimentos e soluções, utilizando-se de ferramentas metrológicas.

O módulo que será desenvolvido, estará inserido no LASAR. No entanto, ele também pode ser caracterizado como uma sistemática independente, que contém ferramentas, e funcionar de modo isolado, sem estar inserido no contexto do LASAR. Neste capítulo, ao conjunto das ferramentas que serão desenvolvidas será atribuído o nome de módulo, que estará dividido em sub-módulos. Este módulo estará interligado aos outros módulos que estão em desenvolvimento. As ferramentas inseridas no módulo devem ser gerenciadas pelo setor responsável pela metrologia, que pode estar configurado através de laboratórios internos de metrologia ou por uma pequena estrutura interna habilitada para acessar os meios de comunicação disponibilizados.

3.1 A FUNCIONALIDADE DO MÓDULO

O desenvolvimento do módulo foi dividido em duas vertentes de atuação, uma delas com função de caráter educativo e a outra com função de caráter executivo. A vertente de função educativa deve ser disponibilizada, até um certo nível, de forma aberta no ambiente do LASAR, sem acesso restrito, com a finalidade de promover a cultura metrológica. A vertente de função executiva deve ser disponibilizada com acesso restrito e exclusivo, pois a sua utilização será realizada de maneira específica para cada empresa, com a finalidade de otimização dos seus processos e atividades desenvolvidas.

3.1.1 Função de caráter educativo

Esta função foi desenvolvida para atender uma demanda por conhecimentos, conceitos e interpretações de documentos relacionados às atividades metrológicas nas empresas (Figura 3.1). Acontece que há controvérsias em relação à alguns termos e respectivos conceitos relacionados à metrologia, entre normas específicas da metrologia (como exemplo pode-se citar o VIM [24]), de sistemas da qualidade (como exemplo pode-se citar a ISO 9001 [11], QS 9000[12] e ISO/TS 16949 [13]) além da adoção de alguns conceitos, de forma mais detalhada à contida nas normas, por renomadas escolas de metrologia (como exemplo pode-se citar o Labmetro). Sempre que houver discordância entre os termos utilizados e os respectivos conceitos, isto será evidenciado para que se possa ter o entendimento da abordagem do mesmo.

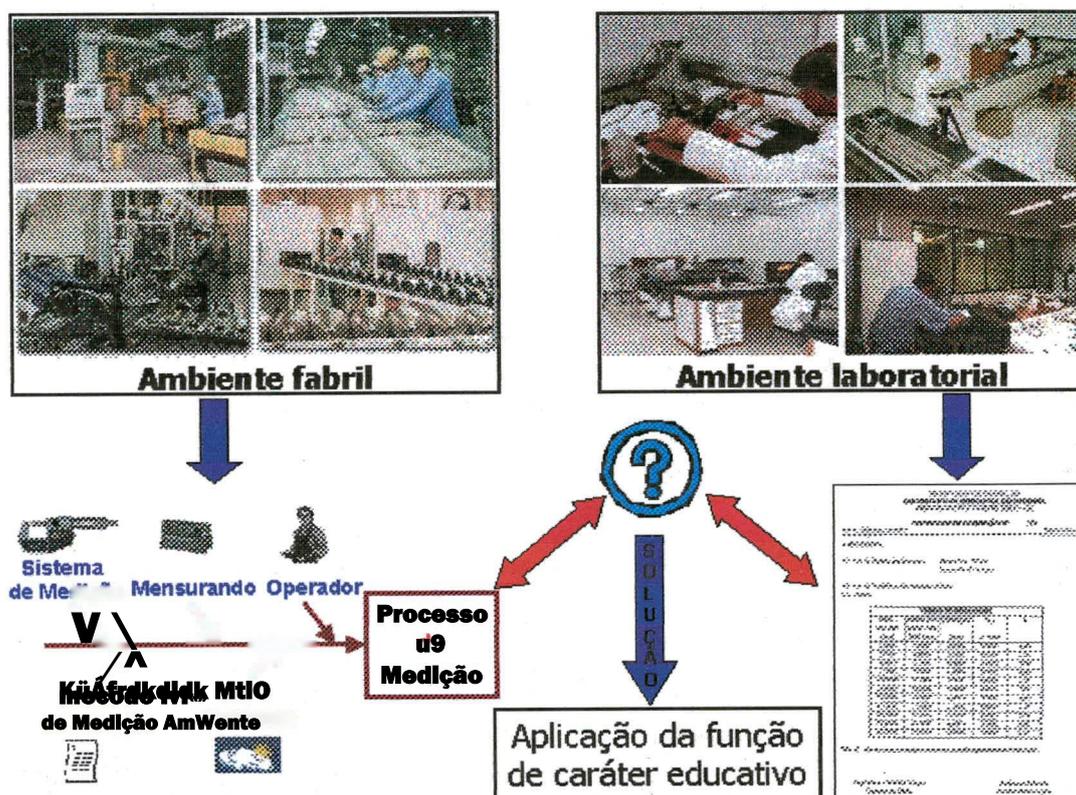


Figura 3.1 Aplicação da função de caráter educativo no ambiente industrial

a) Objetivos

- Conscientizar sobre a importância da metrologia;
- Contribuir para a capacitação do pessoal da empresa, profissionais de laboratórios e estudantes nas áreas relacionadas à metrologia;
- Disseminar os conceitos, relacionados à metrologia, que podem ser utilizados por todos envolvidos com a metrologia no ambiente industrial;
- Contribuir para a correta utilização de documentos relacionados à metrologia e destacar a importância de utilizá-los.

Estes objetivos estão alinhados com a metrologia presente no ambiente industrial (Figura 3.1), divididos em duas linhas de atuação:

- O ambiente fabril (não laboratorial), destacando-se os fatores ligados diretamente às variáveis do processo de medição;
- O ambiente laboratorial (setor da empresa responsável pela metrologia), destacando-se os fatores ligados diretamente às informações relacionadas ao certificado de calibração.

As questões surgidas e relacionadas à metrologia no ambiente industrial não estão restritas à função educativa desenvolvida neste trabalho e, sim, podem estar relacionadas a outros fatores que não serão abordados. Como exemplo, pode-se citar: roteiro para cálculo de incerteza de medição no ambiente laboratorial, características pontuais de sistemas de medição, especificação de sistemas de medição, entre outros. Em um momento posterior, pode ser incorporada novas ferramentas à esta vertente de função educativa.

b) Resultados

Os resultados estão alinhados ao atendimento da demanda surgida através da necessidade de maior confiabilidade das medições realizadas, surgida a partir da implantação de sistemas da qualidade, requisito básico para garantir a atuação da empresa no mercado mundial, que configura-se globalizado e conseqüentemente competitivo. Para isto, deve-se utilizar corretamente a metrologia não somente no ambiente fabril, mas também no ambiente laboratorial (setor da empresa responsável pela metrologia). Em função disto, buscou-se desenvolver documentos educativos para ter-se o entendimento e a visão necessária no que diz respeito à:

- Caracterização das variáveis do processo de medição, fazendo com que estas variáveis que influenciam o resultado da medição passem a ser entendidas e controladas no ambiente fabril;
- Caracterização das informações contidas no certificado de calibração, que passa a ter uma "nova" função, não sendo utilizado apenas para mostrar ao auditor do sistema da qualidade que o sistema de medição está calibrado, e sim como um instrumento para alcançar maior confiabilidade das medições. Outras utilidades são: o estabelecimento de critérios para selecionar os laboratórios prestadores dos serviços de calibração, elaboração e adequação dos certificados de calibração dos laboratórios intemos de metrologia das empresas, leitura, interpretação e utilização dos resultados.

3.1.2 Função de caráter executivo

Esta função foi desenvolvida para introduzir ferramentas que agreguem valor às atividades já existentes atualmente nas empresas, facilitando tomadas de decisão. Essas ferramentas podem facilmente ser introduzidas no ambiente industrial por ser de simples utilização, não precisar da geração de novos documentos, resultados ou fazer estudos que não estejam sendo realizados

atualmente. Estas ferramentas não são utilizadas nas empresas em função da grande "pressão por resultados" e o afastamento com relação aos centros metroológicos, tendo como consequência o desconhecimento do leque de opções proporcionadas pela metrologia (Figura 3.2 e Figura 3.3).

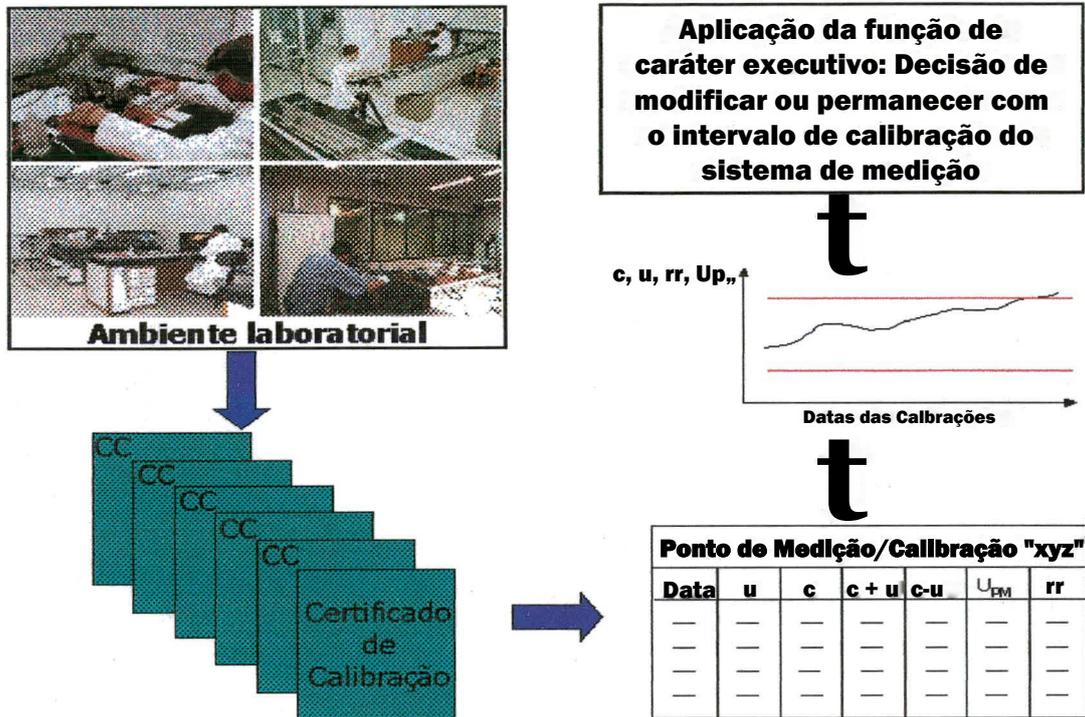


Figura 3.2 Aplicação da função de caráter executivo, a partir da adequação do intervalo de calibração

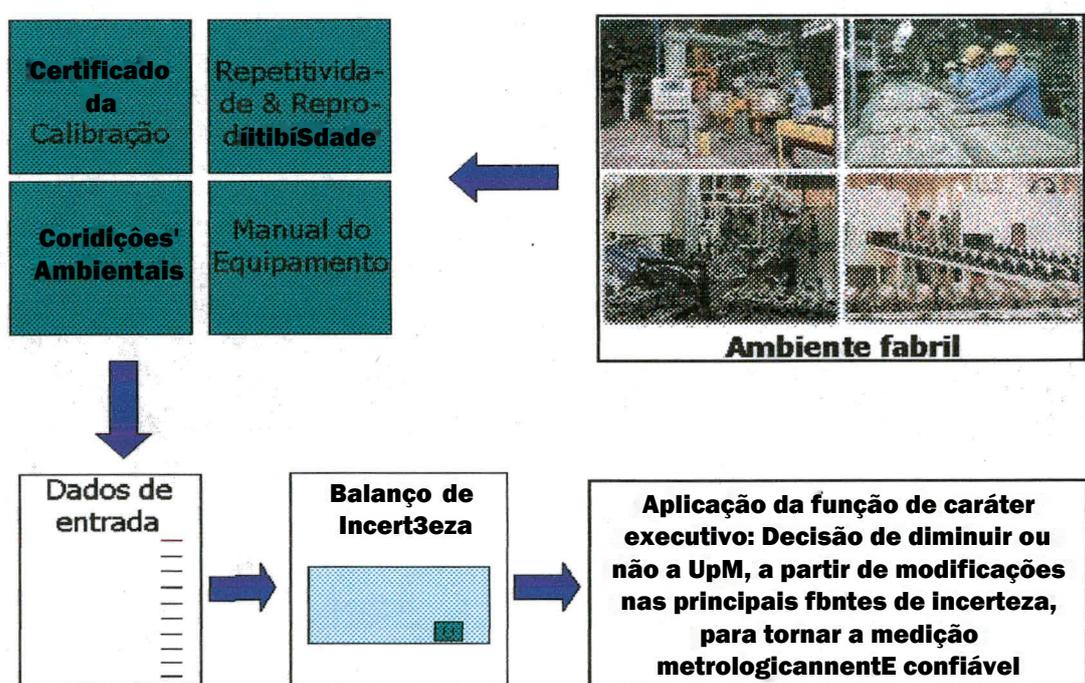


Figura 3.3 Aplicação da função de caráter executivo, a partir da avaliação da incerteza do processo de medição

a) Objetivos

- **Utilização dos dados existentes/disponíveis em documentos relacionados às atividades metrológicas, os quais não estão sendo utilizados ou que estão sendo utilizados para a realização de outras atividades ou, ainda, que estão sendo utilizados de maneira incorreta;**
- **Introdução de novas ferramentas aos usuários do LASAR para estabelecer uma solução confiável metrologicamente.**

Os objetivos estão alinhados com as atividades exercidas pelo setor responsável pela metrologia. Destacam-se os fatores ligados diretamente à: utilização dos resultados de calibrações, a partir da adequação do intervalo de calibração; avaliação da incerteza do processo de medição, a partir da adequação do processo de medição.

b) Resultados

Os resultados estão alinhados ao atendimento da demanda surgida através da necessidade de maior confiabilidade das medições realizadas, surgida a partir da implantação de sistemas da qualidade, requisito básico para garantir a atuação da empresa no mercado mundial, que configura-se globalizado e conseqüentemente competitivo. Em função disto, buscou-se como resultado as seguintes ferramentas para:

- **Aumentar a confiabilidade nos intervalos de calibração estipulados para os sistemas de medição, a partir da adequação destes intervalos baseada no histórico de calibrações e de acordo com a utilização dos sistemas de medição em cada processo;**
- **Conhecer, estimar, avaliar e gerenciar a incerteza que a medição possui, controlando a adequabilidade às características geométricas que estão sendo inspecionadas.**

3.2 A ESTRUTURA DO MÓDULO

Para cumprir tais funções, o módulo de confiabilidade metrológica das medições está dividido em três sub-módulos, apresentados na figura 3.4:

- **Caracterização das variáveis do processo de medição (função de caráter educativo);**
- **Uso dos resultados de calibração dos sistemas de medição (função de caráter educativo e executivo);**
- **Avaliação da incerteza do processo de medição (função de caráter predominantemente executivo, com uma função de caráter educativo, destacando a importância da ferramenta e como utilizá-la).**

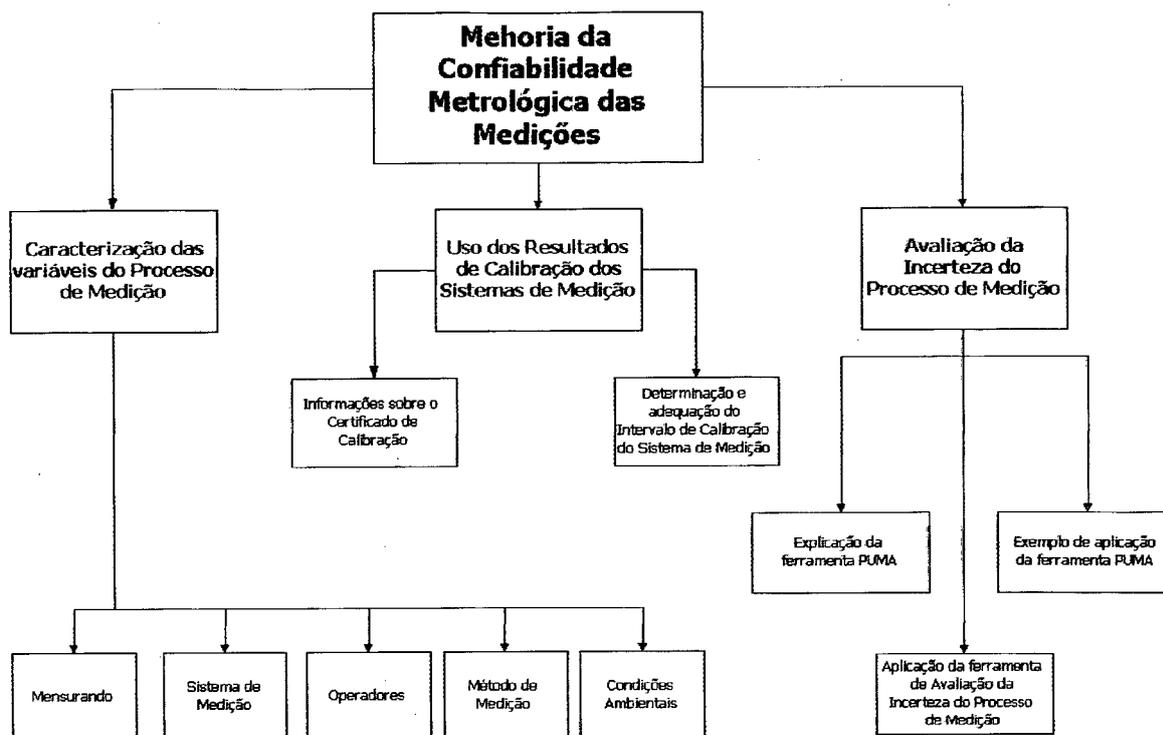


Figura 3.4 Fluxograma do módulo de confiabilidade metrológica das medições

3.3 DESENVOLVIMENTO DO SUB-MÓDULO - CARACTERIZAÇÃO DAS VARIÁVEIS DO PROCESSO DE MEDIÇÃO

Inicialmente é importante distinguir os conceitos de processo de medição e sistema de medição. O processo de medição consiste do sistema de medição sendo utilizado em condições reais de uso, com outras influências sobre o resultado da medição, entre elas o mensurando, operador, método de medição e condições ambientais. Abstraindo a definição do VIM e assumindo conceitos associados à prática do Labmetro, o sistema de medição é qualquer meio utilizado para medir uma grandeza, este meio podendo ser um instrumento de medição, uma medida materializada, um dispositivo de medição, um gabarito, ou ainda um conjunto composto de um sensor/transdutor, unidade de tratamento de sinais e um dispositivo mostrador e/ou registrador. Sendo assim, é necessário conhecer e controlar as variáveis que influenciam o resultado da medição.

As informações contidas neste sub-módulo estarão dispostas em forma de hipertextos (sistema de organização da informação, no qual certas palavras de um documento estão ligadas a outros documentos, exibindo o texto quando a palavra é selecionada [53]). Os textos educativos têm o objetivo de criar o entendimento para a caracterização das variáveis do processo de medição, fazendo com que todos os fatores possam ser percebidos e não haja problemas no resultado da medição por motivos não conhecidos ou considerados sem importância. As informações estão de acordo com o Capítulo 2, item 2.1.1. Estas informações dizem respeito ao:

- **Mensurando:** Determinação da geometria a ser medida, qualidade superficial, limitações para captação da grandeza a medir e conhecimento do material do mensurando.
- **Sistema de Medição:** Resolução, correção, incerteza de medição, faixa de medição, faixa de indicação, calibração, verificação, ajuste, manutenção, material do sistema de medição e cuidados na utilização.
- **Operador:** Experiência, treinamento e capacidade de reproduzir os resultados.
- **Método de medição:** Utilização de normas, sendo importante destacar a estratégia e o princípio de medição.
- **Condições ambientais:** Temperatura, umidade relativa do ar, pressão atmosférica, vibração, campos eletromagnéticos e impurezas do ar.

Estas informações são importante para caracterização do processo de medição e conseqüentemente a percepção de quais fatores podem estar influenciando o resultado da medição, fazendo com que possa ser tomada a decisão de modificar algumas características do processo de medição, em prol de resultados de medição mais confiáveis.

3.4 DESENVOLVIMENTO DO SUB-MÓDULO - USO DOS RESULTADOS DE CALIBRAÇÃO DOS SISTEMAS DE MEDIÇÃO

Calibrar os sistemas de medição não significa que eles estejam aptos a realizar uma determinada medição, para fazer o controle geométrico de uma peça fabricada. Significa conhecer o comportamento do sistema de medição através da incerteza e correção nos diversos pontos de calibração, sob uma determinada condição. Visto isto, toma-se necessário a utilização dos resultados obtidos na calibração dos sistemas de medição. Para isto o sub-módulo contém duas ferramentas, uma delas relacionada às informações sobre o certificado de calibração, com função educativa e outra relacionada à determinação e adequação do intervalo de calibração dos sistemas de medição, com função executiva.

3.4.1 Informações sobre o certificado de calibração

O certificado de calibração é o documento no qual são registrados os resultados da determinação de erros em sistemas de medição [52], obtidos a partir das calibrações realizadas. O certificado de calibração representa uma identificação do sistema de medição, pois contém dados relacionados ao comportamento, às características, evidência da rastreabilidade, entre outros.

Esta ferramenta do sub-módulo estará disponível na forma de hipertextos. O documento em questão é o certificado de calibração dos sistemas de medição. O acesso ao certificado de calibração, ou às informações sobre o certificado de calibração, poderá ocorrer de acordo com as figuras 3.5, 3.6 e 3.7, podendo ocorrer de duas maneiras distintas:

- O primeiro passo pode ser a definição da informação que se quer obter (Figura 3.5) e posteriormente a determinação de obter a informação de maneira genérica ou específica (Figura 3.6), ou;
- O primeiro passo pode ser a determinação de obter a informação de maneira genérica ou específica e posteriormente a definição da informação que se quer obter (Figura 3.7).

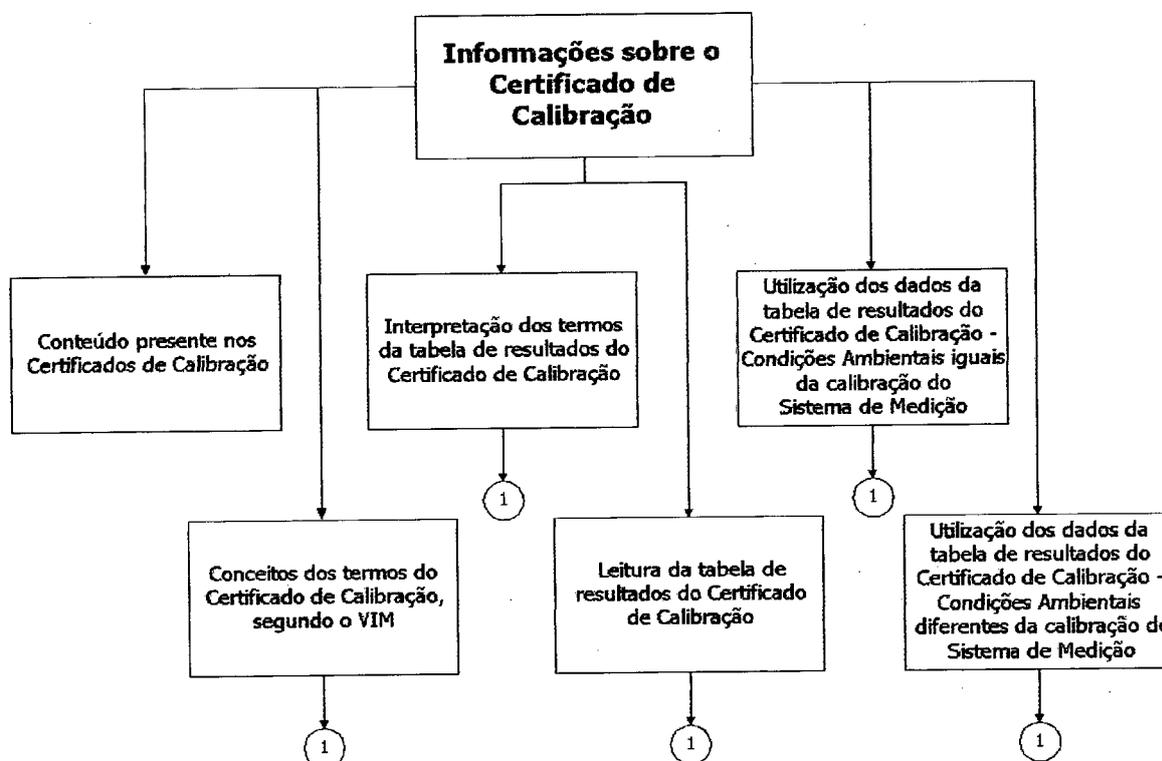


Figura 3.5 Fluxograma para acesso às Informações sobre o Certificado de Calibração

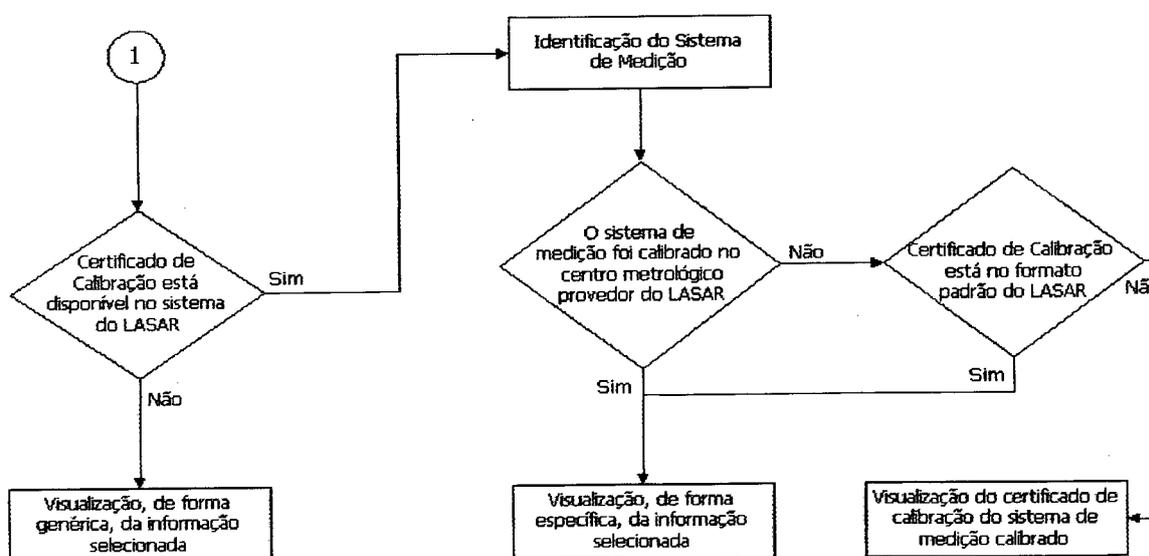


Figura 3.6 Fluxograma para acesso às Informações sobre o Certificado de Calibração

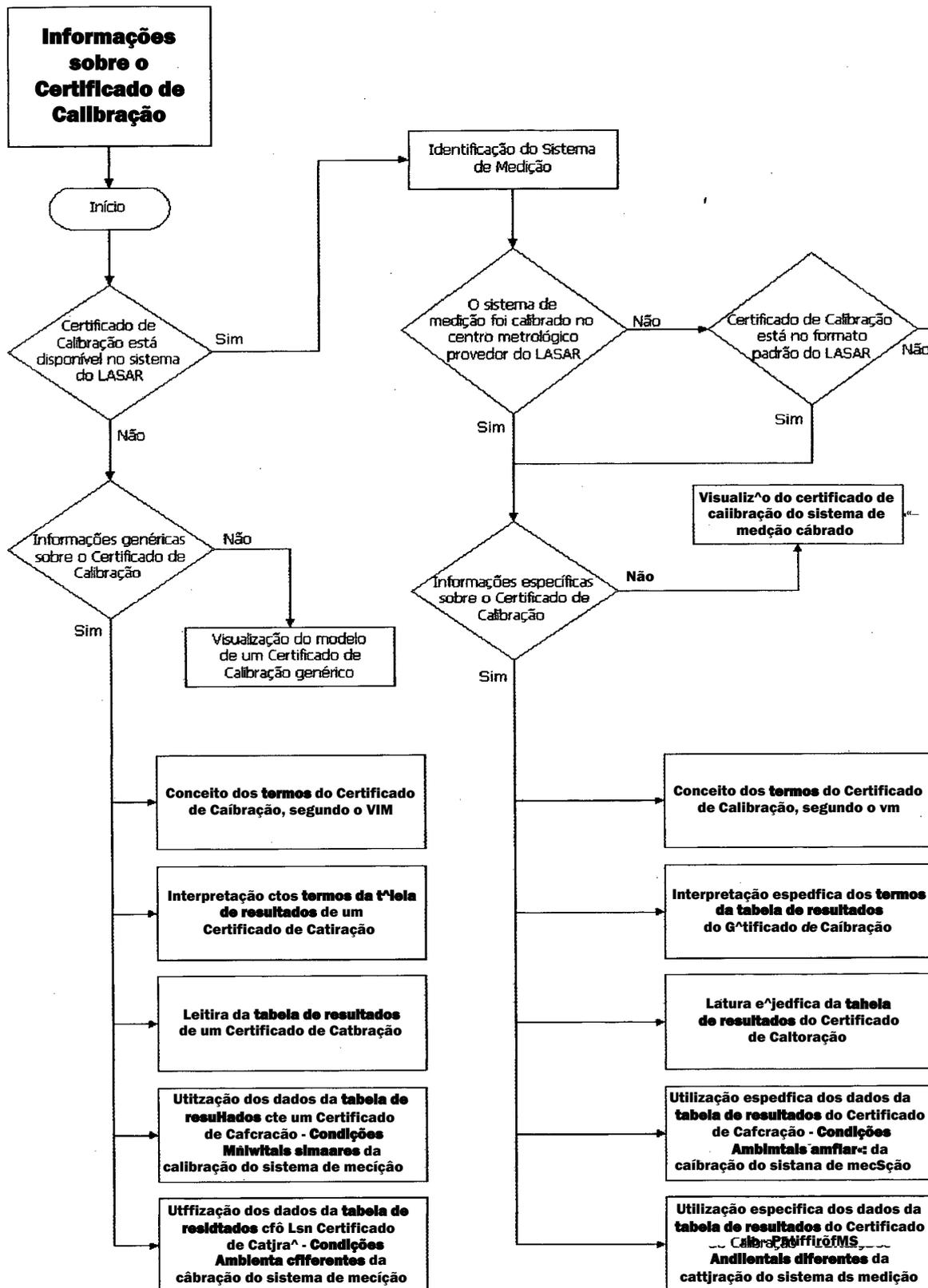


Figura 3.7 Fluxograma para acesso às informações sobre o Certificado de Calibração

No caso do certificado de calibração ter sido emitido no centro metrológico provedor do LASAR ou estar armazenado no sistema do LASAR e no formato padrão do LASAR, as informações podem ser obtidas de maneira específica para os sistemas de medição das empresas. No caso do certificado de calibração

não Ktar armazenado no sistenna do LASAR ou estar armazenado mas não no formato padrão, as informações não poderão ser obtidas de maneira específica, e para isto haverá um modelo de certificado de calibração genérico que fomeça as informações necessárias referente ao certificado de calibração.

a) Conteúdo exlgido nos Certificados de Callbração

É necessário conhecer o que deve conter um certificado de calibração, de que maneira deve estar representado, como os resultados devem estar expostos. Isto poderá contribuir para: a seleção de laboratórios prestadores de serviços de calibração, a qualidade dos certificados do próprio laboratório de metrologia intemo à emproa, além da completa e correta leitura do certificado de calibração. O conteúdo exigido nos certificados de calibração estará em forma de tópicos, os quais são:

1- Informações do laboratório prestador de serviço:

- **Logotipo;**
- **Endereço;**
- **Nome do laboratório onde foi executada a calibração;**

2- Informações do cliente (contratante/solicitante):

- **Razão Social;**
- **Endereço;**

3- Aspectos Gerais

- **Número do certificado de calibração em todas as páginas, não podendo dois certificados possuírem o mesmo número;**
- **Número da página e o número total de páginas do certificado, na forma "01 de XX";**
- **Data de execução da calibração;**
- **Data de emissão do certificado;**
- **Nome, cargo e assinatura do gerente técnico e do técnico metrologista responsável pela calibração.**

4- Descrição do sistema de medição a calibrar (SMC):

- **Nome do fabricante;**
- **Número de série do fabricante;**
- **Número de identificação do solicitante;**
- **Faixa de indicação;**
- **Valor de uma divisão de escala ou incremento digital;**
- **Resolução adotada, quando necessário.**

5- Descrição do(s) sistema(s) de medição padrão - SMP - utilizado(s) na calibração:

- **Nome;**
- **Número de registro;**
- **Menor incerteza de medição declarada, contida no escopo do credenciamento;**
- **Número do certificado de calibração;**
- **Laboratório executor da calibração;**

- **Data de emissão do certificado de calibração;**
- **Validade da calibração.**

6- Descrição do Procedimento de Calibração:

- **Texto sucinto descrevendo o procedimento empregado**
- **Metodologia da calibração (medição absoluta ou diferencial);**
- **Quantidade de ciclos executados;**
- **Referência à identificação do Procedimento;**
- **Referência à normas, pode ser incluída;**
- **Referência às normas utilizadas para o cálculo da incerteza de medição.**

7- Condições Ambientais durante a Calibração:

- **Temperatura;**
- **Umidade relativa do ar;**
- **Pressão atmosférica.**

8- Tabela de Resultados:

- **Indicação no Sistema de Medição Padrão ou Média das indicações no Sistema de Medição Padrão;**
- **Média das indicações no Sistema de Medição a Calibrar ou Indicação no Sistema de Medição a Calibrar;**
- **Correção, para cada ponto de calibração;**
- **Incerteza expandida com 95,45% de probabilidade ($U_{95,45\%}$), para cada ponto de calibração;**
- **Fator de abrangência (k), para cada ponto de calibração;**
- **Graus de liberdade efetivo (ν_{eff}), para cada ponto de calibrado;**
- **Histerese, quando aplicável.**

No momento da calibração, podem ocorrer duas situações que dependem de caso a caso. Pode ocorrer do SMP ser fixado nos pontos determinados e as leituras serem realizadas no SMC, sendo que, neste caso se obterá a indicação no SMP e a média das indicações no SMC. Ou pode ocorrer do SMC ser fixado nos pontos determinados e as leituras serem realizadas no SMP, sendo que, neste caso se obterá a média das indicações no SMP e a indicação no SMC.

b) Conceitos dos termos do Certificado de Calibração

Os conceitos dos termos utilizados no certificado de calibração devem estar compreendidos, com o intuito de interpretá-los de maneira correta, evitando diferentes interpretações pelo conjunto de pessoas que deles fazem uso. Os conceitos destes termos devem estar em consonância com o VIM [24], o ISO GUM [32] e práticas de escolas renomadas - Labmetro. Os termos que podem ser encontrados nos certificados de calibração estão presentes na figura 3.8.

«'Valor verdadeiro convencional; ■^Medição; ^ Princípio de medição; ^ Método de medição; ✓ Procedimento de medição; ✓ Mensurando; «'Indicação de um instrumento de medição; «' Resultado não corrigido; ✓ Resultado corrigido; ✓ Exatidão de medição; ✓ Repeutividade de resultados de medição, ^ Desvio padrão experimental; «' Incerteza de medição; v' Erro de medição; ✓ Erro aleatório; ^ En- o sBtemático,	•Correção; «'Instrumento de medição; ✓ Medida materializada; «'Transdutor de medição; «'Cadeia de medição; *' Sistema de medição; «'Instrumento de medição analógico; ✓ Instrumento de medição cSgital; «' Dispositivo mostrador; «' Dispositivo registrador; «'Sensor; •'Escala de um instrumento de medição; «' Comprimento de escala; «'Faixa de indicação; «'Divisão de escala; «' Comprimento de uma divisão;	«^alor de uma divisão; ✓ Faixa nominal; «'Valor nominá; ✓ Faixa de medição; «' Característica de resposta; v' Sensibilidade; «' Resolução; •'Exatidão de um instrumento de medição; «'Tendência; «' RepeUBvidade de »m instrumento de medição; «' Fator de Abrangência, ^ Nível de significância; ✓ Histerese; ✓ Graus de Liberdade.
---	---	---

Figura 3.8 Termos encontrados nos certificados de calibração

c) Interpretação dos termos da tabela de resultados do Certificado de Calibração

É importante interpretar corretamente os termos da tabela de resultados do certificado de calibração (pontos de calibração no sistema de medição padrão e sistema de medição a calibrar, incerteza de medição, correção, graus de liberdade e fator de abrangência).

- 1- **Sistema de M'ição Padrão (SMPy.** É o Sistema de Medição utilizado como referência para realizar a calibração. Os valores indicados são assumidos como os valores de referência.
- 2- **Sistema de Medição a aUbrar (SMQ.** É o Sistema de Medição que está sendo calibrado. Os valores indicados estão relacionados aos valores de referência.
- 3- **Correção (Q.** Diferença entre o valor indicado pelo Sistema de M«Jição Padrão e o valor indicado no Sistema de Medição a Calibrar.
- 4- **Incerteza Expandida ($U_{95,45\%}$).** Valor que caracteriza a dispersão (faixa) em que encontra-se o valor verdadeiro da indicação, com probabilidade de 95,45%.
- 5- **Fator de Abrangência (k).** Fator multiplicativo, que transfere o valor de incerteza, passando de incerteza padrão combinada, com probabilidade de 68,27% para incerteza expandida, com probabilidade de 95,45%, baseado na distribuição de probabilidade 't de Student'.
- 6- **Graus de Liberdade Efetivo M.** Valor utilizado para obter o fator de abrangência (k), com nível de confiança de 95,45%. O valor é obtido através da fórmula de Welch-Satterthwaite, dependente da incerteza padrão e dos graus de liberdade de cada fonte de incerteza.

d) Leitura da tabela de r^ultados do Certificado de Calibração

A leitura dos resultados da calibração expostos na tabela de resultados no certificado de calibração deve ser entendida, para que se possa conhecer o comportamento do sistema de medição calibrado.

Além de garantir a correta utilização dos valores de incerteza no cálculo da incerteza nas calibrações e medições realizadas. A leitura do certificado de calibração será realizada com base em uma tabela de resultados, em que foi realizada a calibração de um medidor de deslocamento eletrônico (Figura 3.9).

Indicação <i>mwrn</i> [mm]	Médiadas Indicações <i>mm*</i> Cim>I	Correção C [mm]	Incerteza Expandida $U_{95,10\%}$ $\pm\{nw\}$	Fator de Abrangência K	Graus de Liberdade Efetivo ν_{eff}	Histerese [mm]
0,0000	0,0003	0,0003	0,0004	2,07	39	t
0,5000	0,5001	0,0001	0,0004	2,07	39	t
1,0000	1,0003	0,0003	0,0004	2,06	45	*
1,5000	1,5003	0,0003	0,0004	2,07	39	*
3,0000	3,0004	0,0004	0,0004	2,14	19	t
5,0000	5,0003	0,0003	0,0004	2,06	46	t
7,5000	7,5003	0,0003	0,0004	2,05	57	t
10,0000	10,0003	0,0003	0,0004	2,06	47	t
15,0000	15,0003	0,0003	0,0004	2,05	61	t
20,0000	20,0001	0,0001	0,0004	2,05	53	t
25,0000	25,0002	0,0002	0,0004	2,05	73	t
25,0000	25,0000	0,0000	0,0004	2,05	58	0,0002
20,0000	19,9999	-0,0001	0,0004	2,05	66	0,0002
15,0000	14,9999	-0,0001	0,0004	2,06	42	0,0004
10,0000	10,0000	0,0000	0,0003	2,05	56	0,0003
7,5000	7,5000	0,0000	0,0004	2,05	57	0,0003
5,0000	5,0000	0,0000	0,0004	2,05	56	0,0003
3,0000	3,0000	0,0000	0,0004	2,05	56	0,0004
1,5000	1,5000	0,0000	0,0003	2,05	54	0,0003
1,0000	0,9999	-0,0001	0,0004	2,05	56	0,0004
0,5000	0,5000	0,0000	0,0004	2,06	45	0,0001
0,0000	0,0003	0,0003	0,0004	2,05	56	0,0000

Figura 3.9 Exemplo de tabela de resultados de um Certificado de Calibração

A leitura da tabela de resultados do certificado de calibração deve ser realizada para cada ponto, de maneira independente. A seguir demonstra-se esta forma de interpretação para o ponto de calibração 1,0000 mm na descendente.

- 1- Indicação no SMC.** Os valores indicados no SMC evidenciam os pontos em que a calibração foi realizada.
- 2- Média das Indicações no SMP.** A média das indicações no SMP evidencia os valores respectivos ao SMC, nos pontos de calibração. No ponto de calibração "1,0000 mm na descendente" indicado no SMC, a média das indicações no SMP foi de 0,9999 mm.
- 3- Correção (C).** No ponto de calibração "1,0000 mm na descendente", o SMP indicou 0,9999 mm. Isto significa que quando o SMC for utilizado para realizar uma calibração ou medição, neste

ponto, deve ser feita a correção de - 0,0001 mm, ou seja, deve ser somado o valor de - 0,0001 mm algebricamente à indicação.

- 4- **Incerteza Expandida ($U_{95,45\%}$)**- No ponto de calibração "1,0000 mm na descendente", o valor calculado de incerteza da correção para o SMC foi de 0,0004 mm. Resultado da medição corrigido ($0,9999 \pm 0,0004$) mm. A faixa de valores no qual o valor verdadeiro em relação ao SMC se encontra é de 0,9995 mm a 1,0003 mm, com probabilidade de 95,45%. O resultado da medição corrigido é igual a "indicação no SMC, mais a correção, mais ou menos a incerteza de medição para 95,45%".
- 5- **Fator de Abrangência (k)**. No ponto de calibração "1,0000 mm na descendente", o fator de abrangência obtido foi de 2,05 com nível de significância de 95,45%, calculado com base no grau de liberdade efetivo.
- 6- **Graus de Liberdade Efetivo (ν_{eff})**: No ponto de calibração "1,0000 mm na decendente", o número de graus de liberdade efetivo foi igual a 56. Este valor foi obtido com base na incertza padrão e nos graus de liberdade de cada uma das fonte de incerteza. É utilizado para calcular o fator de abrangência (k).
- 7- **Histerese**. No ponto de calibração "1,0000 mm", o valor de histerese é de 0,0004 mm, o que mostra a diferença entre as indicações na ascendente e na decendente.

e) Utilização do Certificado de Calibração

A utilização do certificado de calibração pode ocorrer em duas situações. A primeira situação ocorre quando o sistema de medição é utilizado em condições ambientais similares em que foi calibrado. A segunda situação ocorre quando o sistema de medição é utilizado em condições ambientais diferentes em que foi calibrado, ou seja, no momento de utilização no ambiente fabril. Os exemplos serão realizados de acordo com a tabela de resultados do certificado de calibração exposto na figura 3.9 e o ponto de calibração utilizado será "10,0000 mm na ascendente".

1ª Situação:

- 1- **Correção** No momento da calibração/medição, deve ser adicionado algebricamente à indicação o valor da correção observado no respectivo ponto de calibração.
 - **Exemplo:** Quando o SMC estiver sendo utilizado como padrão de uma calibração ou em uma medição, é necessário aplicar a correção correspondente de + 0,0003 mm para o ponto "10,0000 mm na ascendente".
- 2- **Incerteza Expandida ($U_{95,45\%}$)**- No momento de compor o balanço de incertezas, esta é uma das componentes de incerteza, intitulada "Incerteza do Sistema de Medição Padrão". O valor retirado do certificado de calibração está com nível de confiança de 95,45%. Possui distribuição de probabilidade normal. Para cada ponto poderá se ter um valor diferente.
 - **Exemplo:** O valor da componente de incerteza intitulada "Incerteza do Sistema de Medição Padrão" é de 0,0004 mm, com nível de confiança de 95,45%. Este valor de 0,0004 mm será

colocado na coluna correspondente aos valores de incerteza com nível de confiança de 95,45%.

- 3- **Fator de Abrangência (*k*):** No momento de compor o balanço de incertezas, este fator numérico será utilizado como divisor. Este divisor transformará a incerteza expandida (nível de confiança de 95,45%) para incerteza padrão (nível de confiança de 68,27%) da componente de incerteza intitulada "Incerteza do Sistema de Medição Padrão", sendo necessário observar cada ponto de calibração.
 - **Exemplo:** O ponto "10,0000 mm na ascendente" apresenta incerteza expandida de $\pm 0,0004$ mm e fator de abrangência de 2,06, conforme certificado de calibração. No momento da composição do balanço de incerteza, a fonte de incerteza "Incerteza do Sistema de Medição Padrão" será composta da seguinte maneira: $0,0004 \div 2,06 = 0,000194$ mm, sendo este valor da incerteza padrão, com probabilidade de 68,27%.
- 4- **Graus de Liberdade Efetivos (*v*):** No momento de compor o balanço de incertezas, a coluna "Graus de Liberdade" da componente de incerteza intitulada "Incerteza do Sistema de Medição Padrão" será preenchida com o valor retirado do Certificado de Calibração, sendo necessário observar cada ponto de calibração. Este valor será utilizado na fórmula de Welch-Satterthwaite para calcular o Grau de Liberdade Efetivo para a nova calibração. Caso este valor não seja informado, utiliza-se grau de liberdade igual a infinito.
 - **Exemplo:** No ponto de calibração "10,0000 mm na ascendente" apresenta grau de liberdade igual a 47. Este valor estará na coluna grau de liberdade do Sistema de Medição Padrão na composição do balanço de incertezas.

23 Situação:

- 1- **Correção:** No momento da medição no ambiente industrial, deve ser adicionado algebricamente à indicação do sistema de medição o valor da correção observado no respectivo ponto de calibração.
 - **Exemplo:** Quando o SMC estiver sendo utilizado para realizar uma medição no ponto "10,0000 mm na ascendente", é necessário aplicar a correção correspondente a este ponto de calibração, que é de + 0,0003 mm.
- 2- **Incerteza Expandida (95,45%):** No momento de fazer a avaliação da incerteza do processo de medição, esta é uma das componentes de incerteza, intitulada "Incerteza do Sistema de Medição". O valor retirado do certificado de calibração está com nível de confiança de 95,45%. Possui distribuição de probabilidade normal. É necessário observar cada ponto em que o sistema de medição será utilizado.
 - **Exemplo:** No momento de fazer a avaliação da incerteza de medição, o valor da componente de incerteza intitulada "Incerteza do Sistema de Medição" é de 0,0004 mm, com nível de confiança de 95,45%. Este valor de 0,0004 mm será colocado na coluna correspondente aos valores de incerteza com nível de significância de 95,45%.

3- **Fator de Abrangência (k):** No momento de fazer a avaliação da incerteza do processo de medição, este fator numérico será utilizado como divisor. Este divisor transformará a incerteza expandida (nível de confiança de 95,45%) para incerteza padrão (nível de confiança de 68,27%) da componente de incerteza intitulada "Incerteza do Sistema de Medição", sendo necessário observar cada ponto em que o sistema de medição será utilizado.

- **Exemplo:** O ponto "10,0000 mm na ascendente" apresenta incerteza expandida de $\pm 0,0004$ mm e fator de abrangência de 2,06, conforme certificado de calibração. No momento do cálculo da incerteza do processo de medição, a fonte de incerteza intitulada "Incerteza do Sistema de Medição" será composta da seguinte maneira: $0,0004 \wedge 2,06 = 0,000194$ mm, sendo este valor da incerteza padrão, com probabilidade de 68,27%.

4- **Graus de Liberdade Efetivos (N_{eff}):** No momento de fazer a avaliação da incerteza do processo de medição, a coluna "Graus de Liberdade" da componente de incerteza intitulada "Incerteza do Sistema de Medição" será preenchida com o valor retirado do certificado de calibração, sendo necessário observar cada ponto em que o sistema de medição será utilizado. Este valor será utilizado na fórmula de Welch-Satterthwaite para calcular o Grau de Liberdade Efetivo para a avaliação da incerteza de medição.

- **Exemplo:** O ponto "10,0000 mm na ascendente" apresenta grau de liberdade igual a 47. Este valor estará na coluna grau de liberdade do Sistema de Medição no cálculo da incerteza do processo de medição.

3.4.2 Determinação e adequação do intervalo de calibração dos sistemas de medição

A obtenção de medições confiáveis tem como um dos requisitos, a garantia da confiabilidade metrológica dos sistemas de medições. Esta confiabilidade deve-se assegurar através de manutenção, ajuste, verificação e calibração. As calibrações devem ocorrer em intervalos estabelecidos. Os intervalos são estipulados com o objetivo de manter as características metrológicas e operacionais dentro de limites aceitáveis para as calibrações e medições que são realizadas. Os intervalos de calibração são estipulados para assegurar-se de que o sistema de medição esteja funcionando dentro dos limites de incerteza e correção previstos no período de utilização.

As normas de implantação de sistemas da qualidade, como ISO 9001 [11], QS 9000 [12] e ISO/TS 16949 [13], entre outras, evidenciam que quando for necessário assegurar resultados válidos, o sistema de medição deve ser calibrado ou verificado a intervalos especificados ou antes do uso. Este intervalos apropriados devem ser estabelecidos com base na estabilidade, propagação e uso do sistema de medição e devem ser tais que a calibração seja realizada antes de ter ocorrido qualquer mudança significativa na qualidade das medições realizadas [38].

Esta ferramenta do sub-módulo está desenvolvida em forma de textos explicativos destacando a

importância da determinação e adequação do intervalo de calibração, além de planilhas desenvolvidas para adequação destes intervalos, baseado nos resultados obtidos. A decisão pode ser de permanecer com o intervalo de calibração ou alterá-lo. O fluxograma para a determinação e adequação do intervalo de calibração está destacado na figura 3.10.

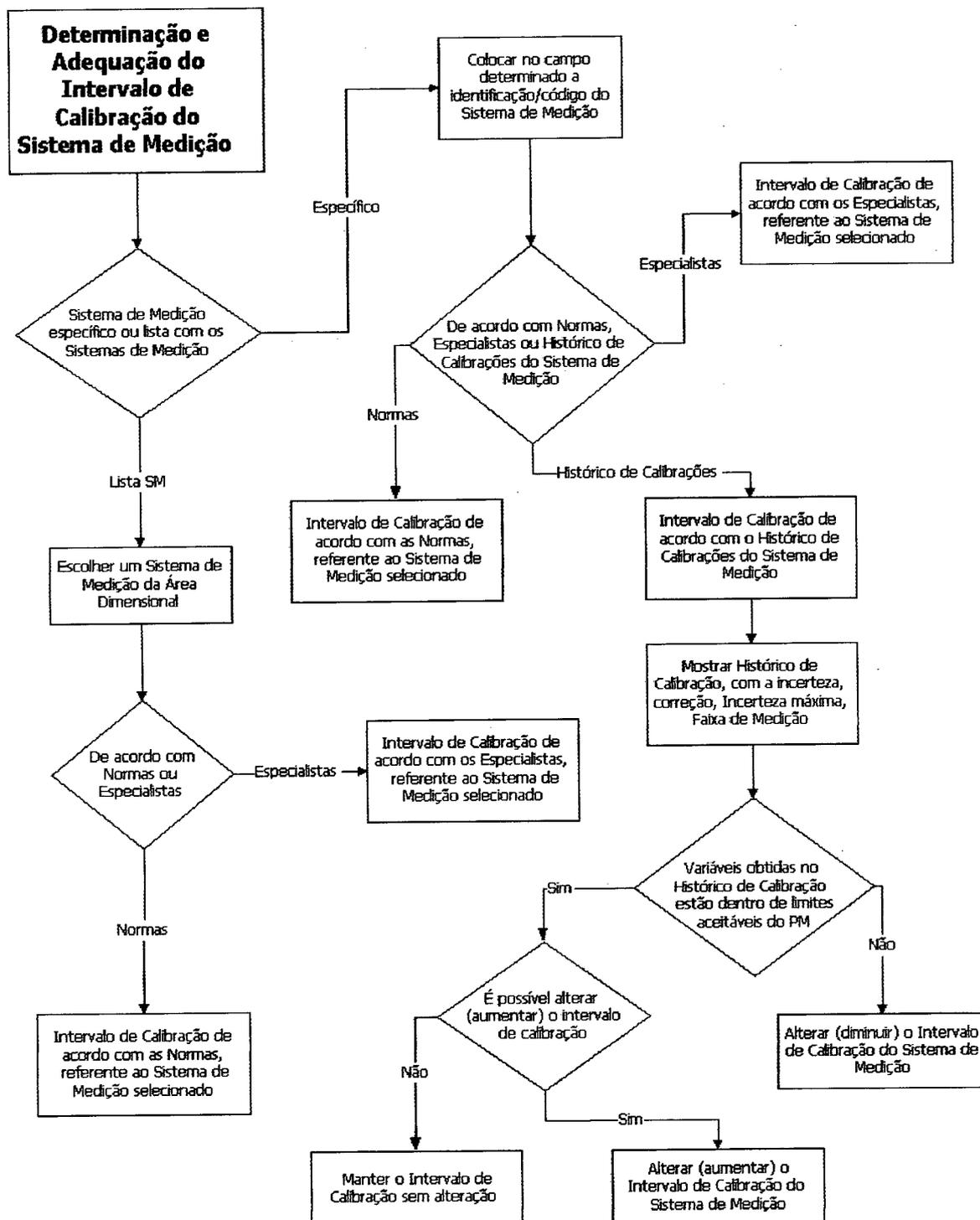


Figura 3.10 Fluxograma para a determinação e adequação do intervalo de calibração do sistema de medição

a) Determinação do Intervalo de calibração do sistema de medição

A determinação do intervalo de calibração inicial deve ser estabelecida a partir de fatores próprios do sistema de medição e de sua utilização, que exercem influência direta sobre o comportamento do mesmo. Existem alguns fatores que devem ser levados em consideração, como:

- Condições de armazenamento e de utilização;
- Frequência de utilização;
- Aspectos construtivos;
- Recomendações técnicas do fabricante.

Deve-se levar em consideração, ainda, a existência de normas e a experiência de pessoal, fator este relacionado a sistemas de medição similares aos já existentes. Pode-se mostrar alguns exemplos de intervalos de calibração iniciais para alguns sistemas de medição (Figura 3.11). O intervalo de calibração estabelecido, inicialmente, deve ser revisto ao longo da vida útil do mesmo [51].

Sistemas de Medição	Intervalo de Calibração Inicial (meses)
Blocos Padrão (anquiores e paralelos)	12
Calibradores (tampão/anel)- lisos, de rosca, cilíndricos e cônicos	3a6
Desempenos	6a 12
Escalas mecânicas	12
Esquadros	6a9
Instrumentos ópticos	6
Máquinas de medir (Abbe, Peças longas. etc.)	12
Medidores de deslocamento eletro-eletrônico	6 a 12
Medidores de deslocamento mecânicos (relógios comparadores/apalpadores)	3a 12
Medidores de deslocamento pneumáticos	6 a 12
Medidores de espessura de camada	6a 12
Micrômetros	3a6
Microscópios	12
Níveis de Bolha e Eletrônico	6
Paquímetros	6
Planos e Paralelos Ópticos	12
Réguas	6 a 12
Rugosímetro e Medidor de Forma	12
Transferidores	6
Trenas	6

Figura 3.11 Exemplo de intervalos de calibração iniciais de sistemas de medição para efetuar controle geométrico [9][54]

A determinação inicial do intervalo de calibração é importante, já que mudanças no intervalo só serão possíveis após um razoável conhecimento sobre o comportamento do sistema de medição, a partir da análise do histórico de calibração.

b) Adequação do intervalo de calibração do sistema de medição

Os estudos para adequação do intervalo de calibração são baseados em dados históricos, que são aqueles obtidos a partir de calibrações e verificações do sistema de medição ao longo do tempo. O acompanhamento destes dados é caracterizado em um histórico de calibrações e define os próximos intervalos.

O acompanhamento pode ser feito para um grupo de sistemas de medição, a partir das características e comportamento de uma amostra deste grupo, mesmo que todos tenham que ser calibrados. O acompanhamento por grupo se aplica quando se dispõe de vários sistemas de medição de um mesmo tipo e com pouca variedade, controlando geometrias de peças semelhantes e que tenha um rigor semelhante neste controle. Neste caso, os intervalos de calibração são alterados com menor frequência. É recomendável que o intervalo de calibração adotado para o grupo seja menor que a média dos intervalos de calibração que seriam adotados caso o acompanhamento fosse individual.

O acompanhamento também pode ser feito individualmente para cada sistema de medição, sendo que cada um deles tem um intervalo de calibração específico. Este acompanhamento é adequado quando se dispõe de poucos sistemas de medição distribuídos em uma grande variedade de tipos e quando um mesmo sistema de medição é utilizado para várias aplicações. O intervalo de calibração pode ser alterado com maior frequência, já que não interfere no intervalo de calibração de outro sistema de medição. Desta maneira, pode-se trabalhar com intervalos maiores que aqueles aplicados aos estudos em grupo. Este acompanhamento permite um conhecimento maior do comportamento de cada sistema de medição.

Para os sistemas de medição utilizados no ambiente fabril, os valores necessários para fazer o acompanhamento serão retirados do certificado de calibração (incerteza expandida e correção para cada ponto de calibração), do projeto geométrico (tolerância geométrica da peça inspecionada) e dos estudos de avaliação da incerteza do processo de medição (incerteza alvo e incerteza do processo de medição).

Os sistemas de medição alocados no ambiente fabril são utilizados em condições ambientais diversificadas, por operadores menos qualificados e com alta rotatividade, além de não ter um controle exato da frequência de utilização. Isto pode causar um uso indevido, queja ou dano. Em função disto, quando os valores de incerteza expandida e correção permanecem constantes ao longo do tempo, caracterizando estabilidade, o intervalo de calibração pode ser aumentado, não tem que ser realizada verificações periódicas entre as calibrações, para evitar "surpresas". Quando os valores de incerteza expandida e correção sofrem aumento ao longo do tempo, o intervalo de calibração deve ser diminuído, a fim de evitar erros na classificação das peças fabricadas.

Para os sistemas de medição utilizados no ambiente laboratorial, como padrões dos laboratórios de

metrologia da empresa, os valores necessários para fazer o acompanhamento serão retirados do certificado de calibração (incerteza expandida e correção para cada ponto de calibração).

Os sistemas de medição utilizados no ambiente laboratorial, são utilizados em condições ambientais controladas e por operadores qualificados, além de ter um maior controle da frequência de utilização. Em função disto, quando os valores de incerteza expandida e correção permanecem constante ao longo do tempo, caracterizando estabilidade, o intervalo de calibração pode ser aumentado. Quando os valores de incerteza expandida e correção sofrem aumento ao longo do tempo, o intervalo de calibração deve ser diminuído, a fim de evitar erros na incerteza calculada nas calibrações realizadas e erro nas medições realizadas.

Ao longo dos anos, foram desenvolvidos alguns métodos para a adequação dos intervalos de calibração, entre os quais pode-se citar [55]:

- Método A1;
- Método A2;
- Método A3;
- Método A4;
- Método de Schumacher.

Estes métodos sugerem a adequação (aumento ou diminuição do intervalo de calibração) em função do status do sistema de medição apresentado na calibração, ou seja, a condição de conformidade do sistema de medição. Esta adequação é feita através de fórmulas, na qual são estabelecidos fatores/indicadores fixos e níveis de confiança.

3.5 DESENVOLVIMENTO DO SUB-MÓDULO - AVALIAÇÃO DA INCERTEZA DO PROCESSO DE MEDIÇÃO

Este sub-módulo apresenta-se com função predominantemente executiva, mas possuindo função educativa, que vem com o objetivo de explicar a ferramenta a ser utilizada.

Este sub-módulo está baseado na ferramenta PUMA (Procedimento para gerenciamento da incerteza), presente na ISO/T5 14253-2 [30], com algumas modificações realizadas (Item 3.5.3). Este sub-módulo está estruturado na forma de textos explicativos e planilhas para o preenchimento e consequente obtenção de resultados de incerteza do processo de medição, a partir dos quais serão tomadas decisões de modificar ou não as características do processo de medição.

3.5.1 Apresentação do procedimento para gerenciamento da Incerteza (PUMA)

É um procedimento prático, baseado no Guia para Expressão da Incerteza de Medição - ISO GUM [32], para estimar a incerteza de medição da indústria e aplicadas ao controle de produtos com especificação geométrica. Neste procedimento é sugerida uma simplificação em relação ao ISO GUM, que é a utilização do fator de abrangência (k) igual a dois no momento do cálculo da incerteza do processo de medição, com o intuito de simplificar/facilitar a utilização do PUMA no ambiente industrial.

O objetivo deste procedimento é manter a incerteza calculada do processo de medição de acordo com a especificação de conformidade, possuindo uma relação pré-estabelecida com o intervalo de tolerância da peça produzida. Pode ser utilizado com dois propósitos:

- Gerenciamento da incerteza de medição para um resultado de um processo de medição determinado (pode ser utilizado para os resultados de um processo de medição ou para comparação de dois ou mais resultados semelhantes);
- Gerenciamento da incerteza para o processo de medição, a partir do desenvolvimento de um processo de medição adequado, isto é, incerteza do processo de medição (U_{pm}) \leq incerteza alvo (U_j).

É importante resaltar que a incerteza obtida na calibração do sistema de medição, realizada em laboratório sob condições ambientais controladas, é apenas uma das fontes de incerteza existentes no processo de medição.

Para que o resultado da medição seja útil ao processo de medição (classificação das peças produzidas em conforme e não conforme), o resultado da medição deve estar associado a uma incerteza de medição, sendo esta suficientemente pequena em relação ao intervalo de tolerância, garantindo assim uma baixa probabilidade de erros de classificação das peças fabricadas.

De acordo com figura 3,12, nota-se que o PUMA é baseado no processo iterativo, a partir da modificação de uma seqüência fixa de itens, que faz com que através destas modificações em determinadas condições conhecidas ou assumidas se obtenha um valor para a incerteza do processo de medição. O processo estabelece uma seqüência bem definida de tarefas que proporcionam um auto ajuste no cálculo da incerteza do processo de medição, até que o valor da incerteza esteja a um nível desejado para o processo de medição, ou seja, proporcionando a obtenção da incerteza do processo de medição (U_{pm}) menor ou igual a incerteza alvo (U_t).

Sugere-se que a seqüência de modificação nos itens que envolvem a medição sejam executadas baseando-se na situação existente e no bom senso em modificar o item que produzirá um efeito mais significativo no valor da incerteza do processo de medição, sem comprometer o custo do processo de medição.

Quando a incerteza do processo de medição não satisfizer a incerteza alvo, as condições estabelecidas ou assumidas devem ser modificadas: "avaliação da incerteza", "método de medição", "procedimento de medição", "condições de medição", "princípio de medição", "incerteza alvo" e "tarefa de medição", para que o processo de medição possa ser considerado metrologicamente aceitável.

Os conceitos para a correta utilização do PUMA devem estar entendidos. As definições de termos são descritas a seguir:

- **Tarefa de medição => Define o parâmetro geométrico a ser medido e o valor nominal e tolerância da peça, definidos no projeto geométrico;**
- **Incerteza alvo (U_j) => incerteza considerada aceitável para medição. A definição da incerteza alvo está relacionada com o intervalo de tolerância (IT). Geralmente a relação U_T/IT pode ser igual a 1/3 ou 1/5 ou 1/10. Esta relação dependerá do rigor da medição, importância da grandeza controlada e consequências derivadas de erros de classificação das peças fabricadas;**
- **Incerteza do Processo de MediçãO => incerteza estimada pelo método iterativo;**
- **Princípio de medição => define a base científica da medição;**
- **Método de medição ^ define a seqüência lógica de operações, descritas genericamente, usadas na execução das medições, além de definir o sistema de medição utilizado e se a indicação é analógica ou digital;**
- **Procedimento de medição ^ Conjunto de operações, descritas especificamente, usadas na execução de medições particulares, de acordo com um dado método;**
- **Condições de medição ^ define as condições que influenciam na medição, como temperatura, umidade e pressão. Além disto, define o material do mensurando e do sistema de medição;**
- **Suposições e conhecimentos => define o número de medições para estimar a incerteza tipo A; define o número de medições realizadas para calcular o valor de reprodutibilidade, referente a influência do operador; define o valor do coeficiente de dilatação térmica, em função do material do sistema de medição e do mensurando;**
- **Modelamento de incerteza => define o modelo matemático para o cálculo da incerteza;**
- **Componente de incerteza => define a incerteza expandida (U₉₅,4s%) no ponto que será utilizado o sistema de medição, retirada do certificado de calibração; define o fator de abrangência (k) no ponto que será utilizado o sistema de medição, retirado do certificado de calibração. Quando não possuir a informação do fator de abrangência no certificado, deve-se assumir o valor igual a 2 (dois); define a resolução do sistema de medição; expõe o valor da incerteza tipo A; e expõe o valor da reprodutibilidade (influência do operador).**

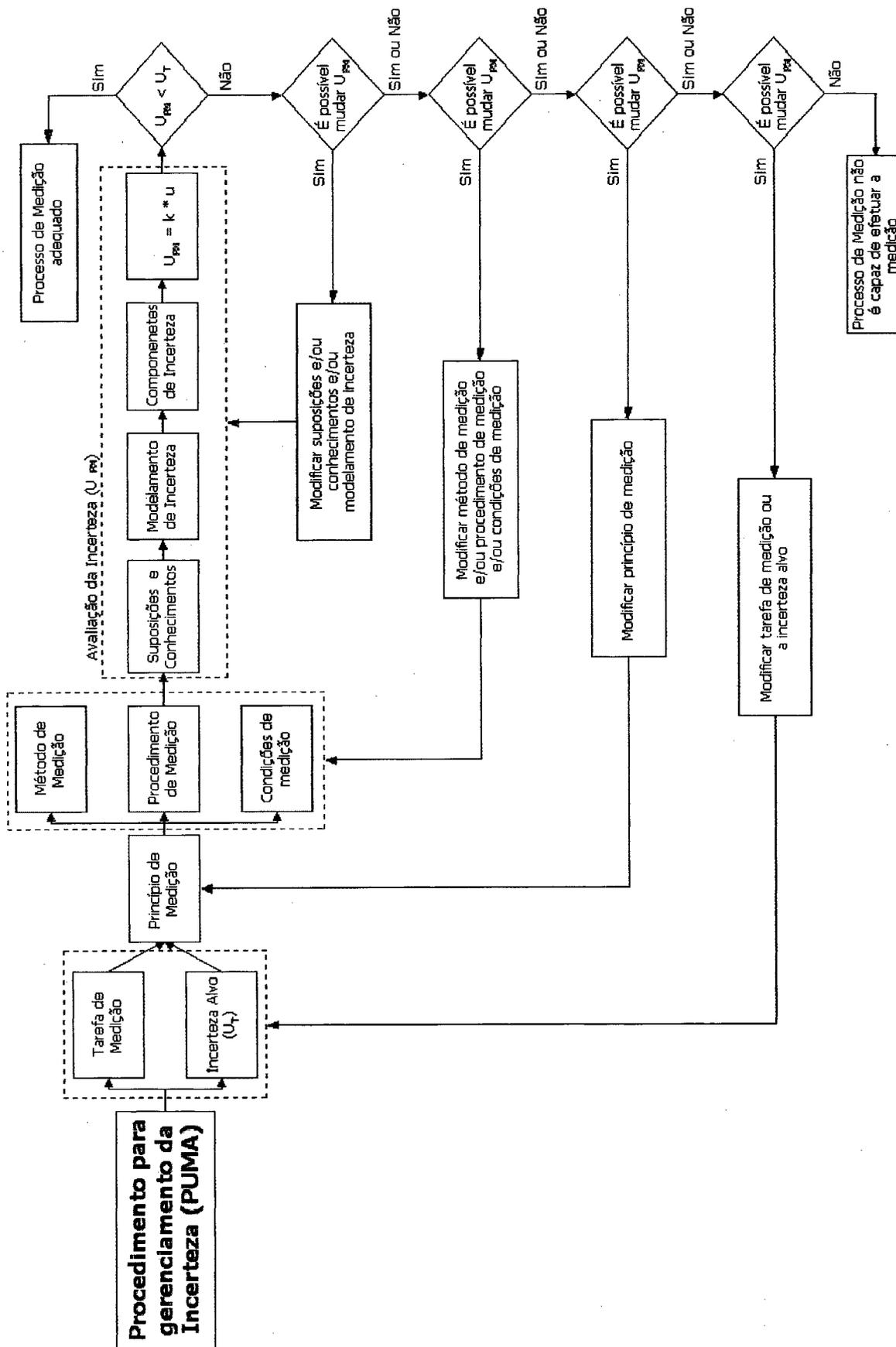


Figura 3.12 Procedimento para gerenciamento da incerteza para um processo de medição [30]

3.5.2 Exemplo de aplicação do PUMA

utilizando a ferramenta iterativa PUMA, preencheu-se os campos específicos do quadro de dados do processo de medição, conforme descrito na figura 3.12: a tarefa de medição, a relação entre a incerteza alvo e a tolerância, o princípio de medição, o método de medição, o procedimento de medição, as condições de medição e as componentes de incerteza (Figura 3.13).

Quadro de dados do Processo de Medição											
Tarefa de Medição	Medir um comprimento de 25 mm Valor Nominal \pm Tolerância 25.00 \pm 0.05 mm										
Incerteza alvo (U_T)	Relação $U_T/IT = s_{\text{rel}}/50$; $S:Si; U_T = 3.60 \text{ } \mu\text{m}$										
Princípio de Medição	Medição mecânica										
Método de Medição	- Medição direta do comprimento de uma peça - Sistema de medição utilizado - micrômetro - Indicação analógica										
Procedimento de Medição	- O comprimento é medido quando a peça for colocada na bancada de medição. - Será feita apenas uma medição do comprimento										
Condições de Medição	<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td>Temperatura</td> <td>20.0 °C</td> </tr> <tr> <td>Umidade</td> <td>%</td> </tr> <tr> <td>Pressão</td> <td>Pa</td> </tr> <tr> <td>Material do Micrômetro</td> <td>Aço</td> </tr> <tr> <td>Material da peça</td> <td>Aço</td> </tr> </table>	Temperatura	20.0 °C	Umidade	%	Pressão	Pa	Material do Micrômetro	Aço	Material da peça	Aço
Temperatura	20.0 °C										
Umidade	%										
Pressão	Pa										
Material do Micrômetro	Aço										
Material da peça	Aço										
Suposições e Conhecimentos	<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td>Nº de medições para estimativa da Incerteza Tipo A - Repetitividade</td> <td>10</td> </tr> <tr> <td>Nº de medições para estimativa da influência de diferentes operadores - Reprodutibilidade</td> <td>60</td> </tr> <tr> <td>Coefficiente de Dilatação Térmica</td> <td>11 /$\mu\text{m}/\text{m} \text{ } ^\circ\text{C}$</td> </tr> </table>	Nº de medições para estimativa da Incerteza Tipo A - Repetitividade	10	Nº de medições para estimativa da influência de diferentes operadores - Reprodutibilidade	60	Coefficiente de Dilatação Térmica	11 / $\mu\text{m}/\text{m} \text{ } ^\circ\text{C}$				
Nº de medições para estimativa da Incerteza Tipo A - Repetitividade	10										
Nº de medições para estimativa da influência de diferentes operadores - Reprodutibilidade	60										
Coefficiente de Dilatação Térmica	11 / $\mu\text{m}/\text{m} \text{ } ^\circ\text{C}$										
Componentes de Incerteza	<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td>Incerteza do Micrômetro</td> <td>0.05 μm</td> </tr> <tr> <td>Fator K do Micrômetro</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>Resolução do Micrômetro</td> <td>1 μm</td> </tr> <tr> <td>Influência do Operador</td> <td>0.51 μm</td> </tr> <tr> <td>Desvio padrão das medições</td> <td>2.11 μm</td> </tr> </table>	Incerteza do Micrômetro	0.05 μm	Fator K do Micrômetro	2	Resolução do Micrômetro	1 μm	Influência do Operador	0.51 μm	Desvio padrão das medições	2.11 μm
Incerteza do Micrômetro	0.05 μm										
Fator K do Micrômetro	2										
Resolução do Micrômetro	1 μm										
Influência do Operador	0.51 μm										
Desvio padrão das medições	2.11 μm										

Figura 3.13 Exemplo de aplicação do PUMA - Definições da primeira estimativa da incerteza do processo de medição (1ª iteração)

Para o cálculo da incerteza de medição (Figura 3.14), no que trata da contribuição de incerteza relacionada à influência da temperatura, considerou-se que apenas a peça sofreu dilatação, sendo que o micrômetro permaneceu estável.

A partir do preenchimento do quadro de dados do processo de medição, foi realizado o balanço de incertezas (Figura 3.14), no qual o resultado obtido indicou a temperatura como sendo a maior contribuição para a incerteza expandida do processo de medição. A partir deste resultado, a decisão tomada foi de diminuir a variação da temperatura.

Balço de Incertezas							
Símbolo	Componentes de Incerteza	Valor	Distribuição de Probabilidade		Coeficiente de Sensibilidade	Incerteza Padrão (Uj) [µm]	νi
	Fontes		Tipo	Divisor			
4nfrômetro temperatura Uoperador Uresolução	Incerteza do Micrômetro	2 µm	Normal	2	1	1,00	infinito
	Influência da diferença de temp.	10 °C	Distrib. U	V2	0,28	1,98	Infinito
	Influência do operador	0,51 µm	Normal P	1	1	0,51	58
	Resolução	0,5 µm	Retangular	V3	1	0,29	Infinito
UA	Incerteza Tipo A	0,64 µm	Normal P	1	1	0,64	9
Uc	Incerteza Padrão Combinada		Normal			2,38	1661
U	Incerteza Expandida		Normal, k = 1 2.00			4,76 µm	
Incerteza Alvo = 3,60 µm							
						Incerteza do Processo de Medição	
Processo de Medição não é capaz, necessário fazer modificações, através das iterações							

Figura 3.14 Balço de Incerteza do PUMA - Primeira estimativa para avaliação da incerteza do processo de medição (1ª iteração)

Com a decisão tomada, de diminuir a variação da temperatura ambiental do local em que é realizada a medição, passando de $(25,0 \pm 5,0)^\circ\text{C}$ na primeira iteração para $(25,0 \pm 3,5)^\circ\text{C}$ na segunda iteração, conforme observa-se na figura 3.15, obteve-se o seguinte resultado: diminuição da incerteza do processo de medição de 4,76 µm na primeira iteração para 4,28 µm na segunda iteração, conforme visto na figura 3.16, porém ainda insuficiente para que o processo de medição seja capaz de realizar a medição com confiabilidade metrológica, já que a incerteza alvo é igual a 3,60 M.m. Desta feita, a decisão tomada foi de diminuir ainda mais a variação de temperatura.

Quadro de dados do Processo de Medição											
Tarefa de Medição	Medir um comprimento de 25 mm Valor Nominal \pm Tolerância $\pm 0,018$ mm										
Incerteza alvo (U_T)	Relação $U_T/IT - 1/15$ $\leq U_T$ 3,60 = μm										
Princípio de Medição	Medição mecânica										
Método de Medição	<ul style="list-style-type: none"> • Medição direta do comprimento de uma peça <ul style="list-style-type: none"> ■ Sistema de medição utilizado - micrômetro ■ Indicação analógica 										
Procedimento de Medição	<ul style="list-style-type: none"> - O comprimento é medido quando a peça for colocada na bancada de medição. - Será feita apenas uma medição do comprimento. 										
Condições de Medição	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Temperatura</td> <td>$23 \pm 0,5$ °C</td> </tr> <tr> <td>Umidade</td> <td>%</td> </tr> <tr> <td>Pressão</td> <td>Pa</td> </tr> <tr> <td>Material do Micrômetro</td> <td>Aço</td> </tr> <tr> <td>Material da peça</td> <td>Aço</td> </tr> </table>	Temperatura	$23 \pm 0,5$ °C	Umidade	%	Pressão	Pa	Material do Micrômetro	Aço	Material da peça	Aço
Temperatura	$23 \pm 0,5$ °C										
Umidade	%										
Pressão	Pa										
Material do Micrômetro	Aço										
Material da peça	Aço										
Suposições e Condições	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>N° de medições para estimativa da Incerteza Tipo A - Repetitividade</td> <td style="text-align: center;">10</td> </tr> <tr> <td>N° de medições para estimativa da influência de diferentes operadores - Reprodutibilidade</td> <td style="text-align: center;">60</td> </tr> <tr> <td>Coefficiente de Dilatação Térmica</td> <td>$11 / \text{tm/m}^* \text{ } ^\circ\text{C}$</td> </tr> </table>	N° de medições para estimativa da Incerteza Tipo A - Repetitividade	10	N° de medições para estimativa da influência de diferentes operadores - Reprodutibilidade	60	Coefficiente de Dilatação Térmica	$11 / \text{tm/m}^* \text{ } ^\circ\text{C}$				
N° de medições para estimativa da Incerteza Tipo A - Repetitividade	10										
N° de medições para estimativa da influência de diferentes operadores - Reprodutibilidade	60										
Coefficiente de Dilatação Térmica	$11 / \text{tm/m}^* \text{ } ^\circ\text{C}$										
Componentes de Incerteza	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Incerteza do Micrômetro</td> <td style="text-align: center;">$2 \mu\text{m}$</td> </tr> <tr> <td>Fator K do Micrômetro</td> <td style="text-align: center;">2</td> </tr> <tr> <td>Resolução do Micrômetro</td> <td style="text-align: center;">$1 \mu\text{m}$</td> </tr> <tr> <td>Influência do Operador</td> <td style="text-align: center;">$0,51 / \text{tm}$</td> </tr> <tr> <td>Desvio padrão das medições</td> <td style="text-align: center;">$2,01 \mu\text{m}$</td> </tr> </table>	Incerteza do Micrômetro	$2 \mu\text{m}$	Fator K do Micrômetro	2	Resolução do Micrômetro	$1 \mu\text{m}$	Influência do Operador	$0,51 / \text{tm}$	Desvio padrão das medições	$2,01 \mu\text{m}$
Incerteza do Micrômetro	$2 \mu\text{m}$										
Fator K do Micrômetro	2										
Resolução do Micrômetro	$1 \mu\text{m}$										
Influência do Operador	$0,51 / \text{tm}$										
Desvio padrão das medições	$2,01 \mu\text{m}$										

Figura 3.15 Exemplo de Aplicação do PUMA - Definições da segunda estimativa da incerteza do processo de medição (2ª iteração)

Balanço de Incertezas							
Símbolo	Componentes de Incerteza	Valor	Distribuição de Probabilidade		Coeficiente de Sensibilidade	Incerteza Padrão (u) [μm]	Graus de Liberdade ν_i
	Fontes		Tipo	Divisor			
$u_{\text{micrômetro}}$	Incerteza do Micrômetro	2 μm	Normal	2	1	1,00	Infinito
$u_{\text{temperatura}}$	Influência da diferença de temp.	8,5 °C	Distrib. U	V2	0,28	1,68	infinito
u_{operador}	Influência do operador	0,51 μm	Normal P	1	1	0,51	58
$u_{\text{resolução}}$	Resolução	0,5 μm	Retangular	V3	1	0,29	Infinito
U_A	Incerteza Tipo A	0,64 μm	Normal P	1	1	0,64	9
U_C	Incerteza Padrão Combinada	P	Normal			2,14	1085
U	Incerteza Expandida		Normal, K=1,200			4,14	
Incerteza Alvo = 3,60 μm						Incerteza do Processo de Medição	
Processo de Medição não é capaz, necessária fazer modificações, através das iterações							

Figura 3.16 Balanço de Incerteza do PUMA - Segunda estimativa para avaliação da incerteza do processo de medição (2ª iteração)

Com a decisão de diminuir, ainda mais, a variação da temperatura ambiente do local em que é realizada a medição, passando de $(25,0 \pm 3,5)^\circ\text{C}$ na segunda iteração para $(23,0 \pm 2,0)^\circ\text{C}$ na terceira iteração, a modificação ocasionou a diminuição da incerteza do processo de medição de 4,28 p.m na segunda iteração para 3,32 μm na terceira iteração conforme observado na figura 3.17. Isto fez com que o processo de medição passe a estar apto para realizar a medição, já que a UPM está menor que a u , fazendo com que as medições passem a ser realizadas com confiabilidade metrológica, a partir da incerteza alvo estipulada.

Balanço de Incertezas							
Símbolo	Componentes de Incerteza	Valor	Distribuição de Probabilidade		Coeficiente de Sensibilidade	Incerteza Padrão (l^{\wedge}) [μm]	Graus de Liberdade ν
	Fontes		Tipo	Divisor			
$^{\wedge}$ micrômetro	Incerteza do Micrômetro	2 μm	Normal	2	1	1,00	infinito
temperatura	Influência da diferença de temp.	5 $^\circ\text{C}$	Distrib. U	V2	0,28	0,99	Infinito
$U_{\text{operailor}}$	Influência do operador	0,51 μm	Normal P	1	1	0,51	58
$U_{\text{restiu}^{\wedge}}$	Resolução	0,5 μm	Retangular	V3	1	0,29	Infinito
U_A	Incerteza Tipo A	0,64 μm	Normal P	1	1	0,64	9
U_C	Incerteza Padrão Combinada		Nomial			1,65	385
U	Incerteza Expandida		Normal, $K \pm 2,01$			3,32	

Incerteza Alvo = 3,80 μm
Incerteza do Processo de Medição

Processo de Medição adequado

Figura 3.17 Balanço de Incerteza do PUMA - Terceira estimativa para avaliação da incerteza do processo de medição (3[^] iteração)

3.5.3 Inserção da Avaliação da Incerteza do Processo de Medição no LASAR

o sub-módulo de avaliação da incerteza do processo de medição foi desenvolvido com o objetivo garantir confiabilidade metrológica das medições realizadas, a partir do conhecimento e gerenciamento da incerteza do processo de medição. Para isto, foram feitas algumas modificações em relação ao PUMA, modificações estas que vêm trazer maior confiabilidade nos resultados obtidos e simplificação nas aplicações realizadas nas empresas:

- O fator de abrangência será calculado de acordo com o ISO GUM [32];
- O método de medição irá abranger aspectos relacionados ao princípio de medição e procedimento de medição;
- As condições ambientais de medição irão abranger temperatura, umidade, pressão, vibrações, entre outras, quando for pertinente;
- Suposições, conhecimentos ou considerações importantes irá abranger aspectos relacionados ao número de medições para estimativa da incerteza tipo A - repetitividade e influência de

diferentes operadores - reprodutibilidade, além de destacar o material do sistema de medição e da peça, com os respectivos coeficientes de dilatação térmica.

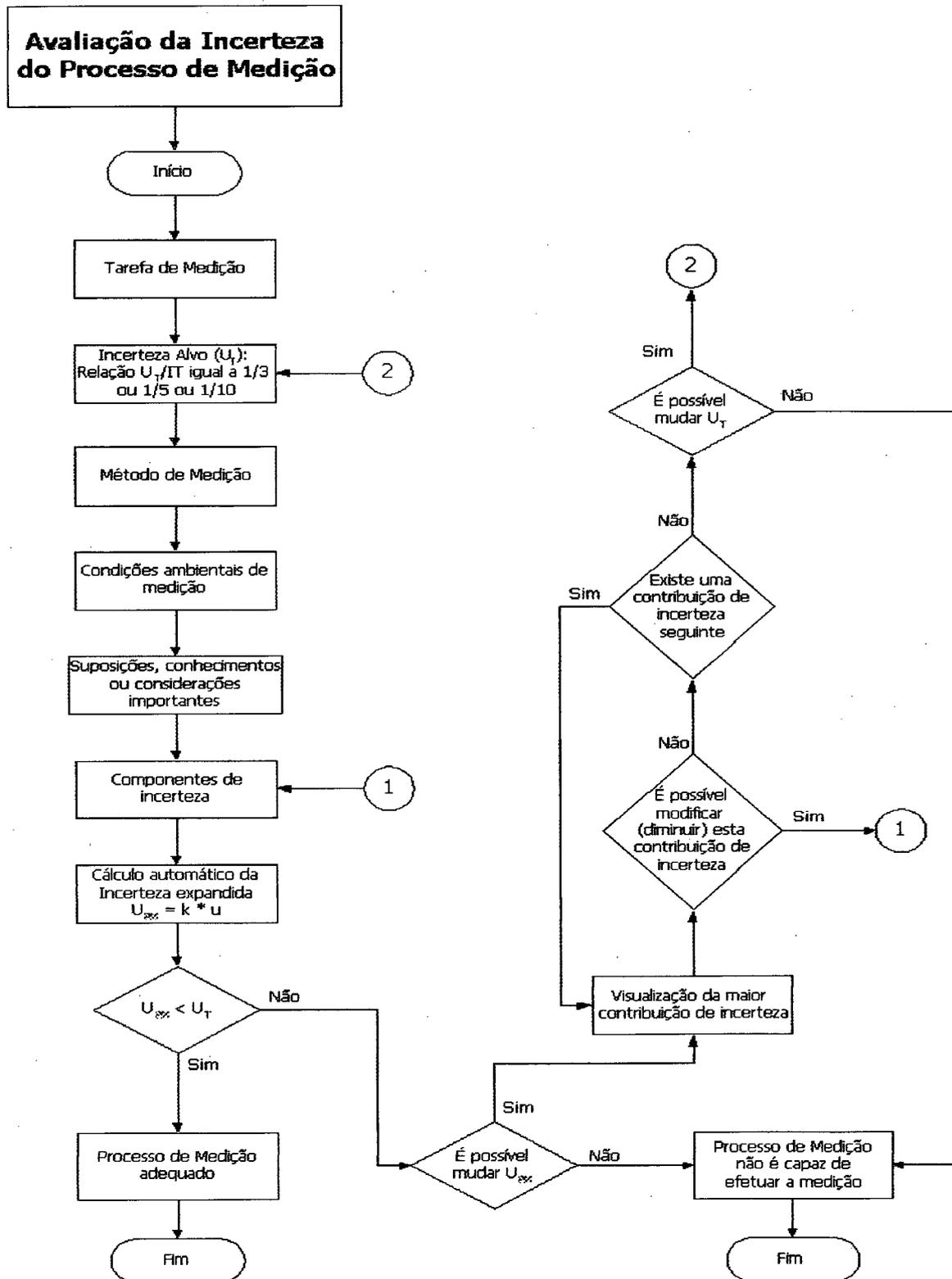


Figura 3.18 Fluxograma para Avaliação da Incerteza do Processo de Medição

O balanço de incertezas permite destacar, através das incertezas padrão obtidas, qual fonte de incerteza tem maior contribuição na incerteza do processo de medição, fato este que possibilita agir na

maior contribuição da incerteza, modificando as condições que se fizerem pertinentes, para a redução da incerteza do processo de medição. Caso não seja possível modificar a maior contribuição da incerteza, deve-se modificar a segunda maior contribuição da incerteza e assim sucessivamente, ou, ainda, pode-se modificar a U_j . O resultado obtido será que a UPM é menor que a U_j , ou que o processo de medição não é capaz de efetuar a medição em questão. É importante destacar que o custo do processo de medição deve ser considerado. As modificações necessárias devem ser realizadas caso não aumente significativamente o custo do processo de medição.

3.6 INSERÇÃO DO MÓDULO NO AMBIENTE INDUSTRIAL

O módulo para estabelecimento da confiabilidade metrológica das medições desenvolvido e inserido no contexto do LASAR tem os seus sub-módulos integrados entre si, além da integração aos outros módulos, em desenvolvimento, do LASAR. Estima-se que pela característica modular apresentada pelo LASAR, novas ferramentas possam ser agregadas à sua estrutura. É desejável que os módulos atuais sejam integrados às novas ferramentas que venham a surgir.

3.6.1 Relacionamento entre os sub-módulos

Os sub-módulos estão relacionados entre si, e devem facilitar a utilização do módulo quando inserido no LASAR. Os sub-módulos estão integrados conforme a figura 3.19.

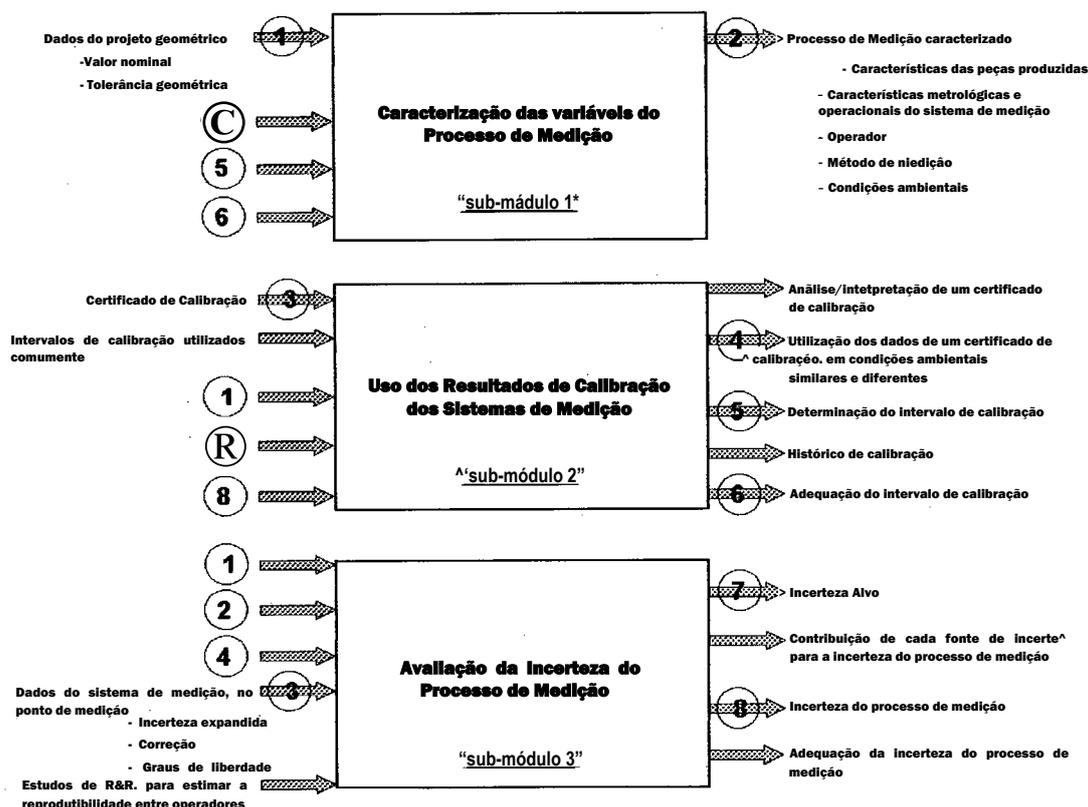


Figura 3.19 Integração entre os sub-módulos do módulo de confiabilidade metrológica das medições

As ligações, entre os sub-módulos, ocorrem da seguinte maneira:

- \textcircled{R} => Dados de entrada para o "sub-módulo 1" serão também dados de entrada para o "sub-módulo 2" e "sub-módulo 3", dados estes provenientes do projeto geométrico;
- \textcircled{A} => Dados de saída do "sub-módulo 1" serão utilizados como dados de entrada do "sub-módulo 3", que é a caracterização das variáveis do processo de medição, utilizados no preenchimento do quadro de dados do processo de medição;
- \textcircled{D} => Dados de entrada do "sub-módulo 2", que é o certificado de calibração dos sistemas de medição, serão utilizados como dados de entrada do "sub-módulo 1", para a caracterização das variáveis do processo de medição, neste caso da variável sistema de medição e como dados de entrada para o "sub-módulo 3" para o preenchimento do quadro de dados do processo de medição, no que diz respeito a incerteza expandida, correção e graus de liberdade do sistema de medição no ponto de calibração que está sendo utilizado para medir a geometria de uma peça;
- \textcircled{R} => Dados de saída do "sub-módulo 2" serão utilizados como dados de entrada do "sub-módulo 3", para a correta utilização dos dados da tabela de resultados do certificado de calibração, no momento do cálculo da incerteza do processo de medição;
- \textcircled{C} e \textcircled{C}^{\wedge} Dados de saída do "sub-módulo 2" serão utilizados como dados de entrada para o "sub-módulo 1" para a especificação do intervalo de calibração do sistema de medição utilizado no processo de medição;
- \textcircled{A} e \textcircled{R} => Dados de saída do "sub-módulo 3" serão utilizados como dados de entrada do "sub-módulo 2" para a adequação do intervalo de calibração dos sistemas de medição utilizados no ambiente fabril, que leva em consideração a incerteza alvo e a incerteza do processo de medição.

3.6.2 Relacionamento entre os módulos do LASAR

o relacionamento entre os módulos do LASAR é importante, com o objetivo de mostrar a integração dos módulos, evidenciando a atuação e importância da metrologia presente em diversos segmentos das empresas, consolidando as estruturas dos módulos desenvolvidos. O módulo de orientação ao estabelecimento da confiabilidade metrológica das medições está ligado aos outros módulos conforme a figura 3.20.

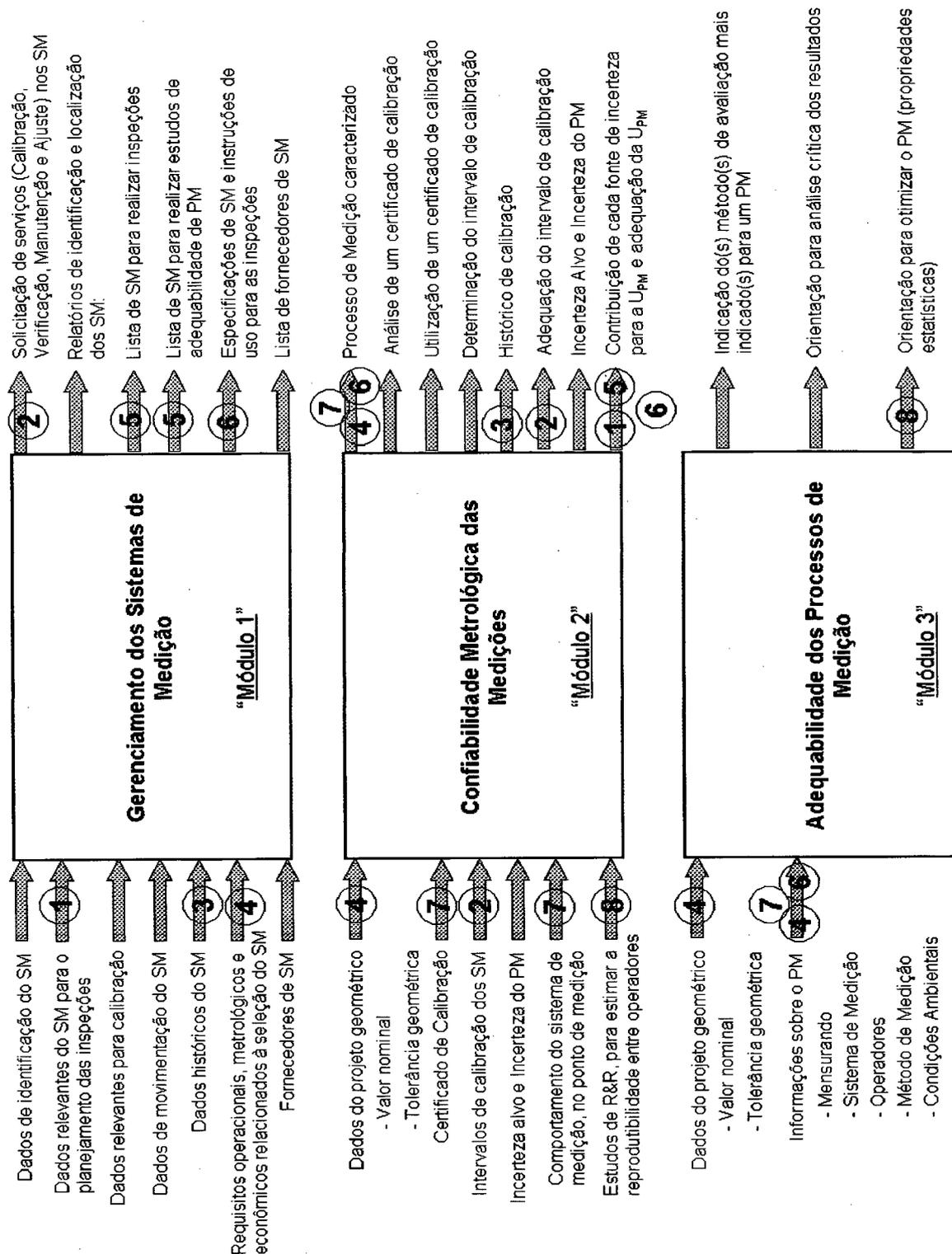


Figura 3.20 Integração entre os módulos do LASAR

As ligações entre os módulos ocorrem da seguinte maneira, conforme a figura 3.20:

- **1** ^ Dados de entrada do "módulo 1", referentes ao planejamento de inspeções, serão utilizados no "módulo 2" para a adequação da incerteza do processo de medição, no caso em que seja tomada a decisão de modificar o sistema de medição com o objetivo de diminuir a contribuição de incerteza proveniente do mesmo;

- (D => **Dados de saída do "módulo 1" referente à solicitação de serviços a serem realizados nos sistemas de medição, estarão ligados com o intervalo de calibração estipulado e a adequação destes intervalos, presente no "módulo 2";**
- @ => **Dados de entrada do "módulo 1", que dizem respeito ao histórico do sistema de medição, não ligados ao histórico de calibração, que são dados de saída do "módulo 2";**
- @ => **Dados de entrada do "módulo 1", relacionados aos requisitos operacionais, metrológicos e econômicos para a seleção dos sistemas de medição, estarão vinculados aos dados de entrada dos "módulos 2" e "módulo 3", no que diz respeito ao valor nominal e tolerância geométrica a ser controlada na peça, além de fator vinculado à caracterização das variáveis do processo de medição, presentes na saída do "módulo 2" e entrada do "módulo 3";**
- ® => **Dados de saída do "módulo 1", referentes a listas de sistemas de medição para realizar inspeções e estudos de adequabilidade dos processos de medição, serão utilizados para a adequação da incerteza do processo de medição, no caso em que a decisão tomada seja de modificar o sistema de medição com o objetivo de diminuir o valor da incerteza. Esta adequação está presente nos dados de saída do "módulo 2";**
- © => **Especificações de sistemas de medição e instruções de uso para as inspeções são dados de saída do "módulo 1" que serão utilizados para a caracterização do processo de medição, dados de saída do "módulo 2" e dados de entrada do "módulo 3", além de poder ser utilizado para a adequação da incerteza do processo de medição no "módulo 2";**
- (3) => **O certificado de calibração será utilizado para auxiliar nas informações referentes ao comportamento do sistema de medição no ponto em que está sendo realizada a medição e para caracterizar o processo de medição, com informações relativas ao sistema de medição, tanto no "módulo 2" quanto no "módulo 3";**
- © => **Os resultados dos estudos de R&I realizados no "módulo 3" serão utilizados como dados de entrada do "módulo 2", para o cálculo da incerteza do processo de medição.**

Capítulo 4

Aplicações do Módulo Desenvolvido para a confiabilidade metrológica das medições

Serão apresentados os estudos de caso realizados em duas empresas, através do módulo proposto. Em paralelo, estarão sendo evidenciadas as aplicações, funcionalidades e a importância da utilização do módulo no ambiente industrial. A aplicação e entendimento, por parte da empresa, fazem com que a metrologia possa ser percebida de outra maneira e passe a gerar benefícios mensuráveis para as empresas.

4.1 ESTRATÉGIA ADOTADA PARA AVALIAÇÃO/VALIDAÇÃO DO MÓDULO

Para os estudos de caso realizados nas empresas, foi estruturado o Planejamento do Estudo de Caso [56] com o objetivo de otimizar as atividades e resultados a alcançar, estando estes bem definidos e delineados.

4.1.1 Objetivos

As visitas, realizadas nas empresas, tiveram a finalidade de comprovar a importância e os ganhos que trarão para as empresas a partir da aplicação do módulo desenvolvido, onde buscou-se garantir:

- A factibilidade de utilização do módulo;
- A praticidade do módulo;
- Comprovar que o módulo desenvolvido contempla as demandas existentes nas empresas.

4.1.2 Modo adotado para as atividades desenvolvidas nas empresas

Como o sistema do LASAR ainda não está disponível em seu formato final, através da internet, a estrutura das atividades desenvolvidas, necessárias para comprovar e validar o módulo, foi realizada somente com estudos desenvolvidos e disponíveis em folhas de papel impresso (Caracterização das

variáveis do processo de medição e Uso dos resultados de calibração dos sistemas de medição - Informações sobre o certificado de calibração) e em planilhas do Excel (Uso dos resultados de calibração dos sistemas de medição - Determinação e adequação do intervalo de calibração dos sistemas de medição e Avaliação da incerteza do processo de medição). Sendo assim, as atividades para aplicação do módulo foram realizadas conforme o Capítulo 3, como se o LASAR estivesse funcionando através da internet, sendo acessado de um computador, o chamado Ponto de Presença do LASAR (PP), computador que estará disponível na empresa, além de assumir a função de consultor, em que no caso do LASAR estar funcionando em seu formato final, através da internet, o consultor estaria no centro metrológico provedor do LASAR, solucionando problemas que não podem ser resolvidos simplesmente através do módulo disponível pela internet, referente ao módulo de confiabilidade metrológica das medições.

4.1.3 Modo de Abordagem nas empresas

O modo de abordagem nas empresas dividiu-se em momentos específicos. O primeiro momento foi para destacar um processo de fabricação. Em seguida foram destacadas algumas inspeções realizadas durante o processo de fabricação e que são consideradas críticas por parte das empresas. Neste momento foram caracterizadas as variáveis do processo de medição (Figura 1.1) e, de posse da informação dos sistemas de medição utilizados nestes processos de medição, buscou-se todos os certificados de calibração destes sistemas de medição e estudos de R&R realizados referentes aos processos de medição. Neste documento serão expostos dois estudos de caso, realizados um em cada empresa.

4.2 ESTUDO DE CASO 1 - EMPRESA A

O Estudo de Caso 1 teve a finalidade de comprovar a utilização do módulo de confiabilidade metrológica das medições por parte da empresa, evidenciando a importância de aplicação deste módulo no ambiente industrial.

4.2.1 Apresentação da Empresa A

A Empresa A atua no ramo metal-mecânico, onde os seus principais produtos fabricados são macacos, prensas e guinchos hidráulicos. Tem como seus principais clientes a Volkswagen, Ford, Mercedes-Benz, International, Agrale, entre outros. Possui certificação QS 9000, é uma empresa de pequeno porte, a qual não possui um laboratório de metrologia interno à empresa, o que faz com que todas as calibrações sejam realizadas em laboratórios de metrologia externos. A empresa possui cerca de 150 sistemas de medição, os quais são utilizados no ambiente fabril.

4.2.2 Abordagem na Empresa A

Foi destacado o processo de fabricação de macacos hidráulicos. A partir do processo de fabricação foram destacadas algumas inspeções realizadas durante o processo de fabricação. Foi determinado o estudo em relação à fabricação da porca guia, processo este realizado totalmente em usinagem CNC. O modelo da peça em estudo é utilizado nos macacos hidráulicos de 4 e 8 toneladas. A porca guia é rosqueada ao cilindro na montagem dos macacos hidráulicos e é responsável por dar o aperto no caneco, além de servir como guia do pistão do macaco.

São fabricadas 3.000 porcas guia por mês, com uma frequência de inspeção de uma peça a cada dez fabricadas, o que resulta em 300 inspeções por mês somente nesta peça. A característica inspecionada nesta peça é o diâmetro interno e o sistema de medição utilizado para medir/controlar esta característica é um medidor de diâmetro interno (súbito) com resolução de 0,01 mm.

As oportunidades de aplicação do módulo desenvolvido estão relacionadas ao fato de que é uma empresa nova e que até então não preocupava-se com as questões metrológicas, no entanto, começaram a sentir a necessidade de entender e utilizar esta ciência, desta feita, percebeu-se oportunidades relacionadas à:

- Percepção de todas as variáveis que podem estar influenciando o resultado da medição;
- Utilização dos resultados do certificado de calibração;
- Adequação do intervalo de calibração dos sistemas de medição utilizados no ambiente fabril;
- Avaliação da incerteza do processo de medição, como suporte aos estudos de adequabilidade dos processos de medição.

4.2.3 Aplicação do sub-módulo de caracterização das variáveis do processo de medição

O sub-módulo desenvolvido foi utilizado através da leitura dos textos desenvolvidos, destacando os fatores presente no item 3.3. A leitura dos textos foi realizada no momento em que foram destacadas algumas inspeções realizadas durante o processo de fabricação de macacos hidráulicos. A leitura possibilitou o entendimento e a percepção das variáveis que influenciam o resultado da medição e a partir disto, foi possível caracterizar o processo de medição da *Empresa A*

- **Mensurando:** porca guia, onde a geometria da peça a ser medida é o diâmetro interno com valor nominal de $(40,21 \pm 0,05)$ mm. O material da peça é o aço.
- **Sistema de Medição:** Medidor de diâmetro interno (súbito), com resolução de 0,01 mm, correção de 0,001 mm, incerteza de medição de 0,004 mm no ponto de medição 0,20 mm, faixa de medição de 0 mm a 1,20 mm, com indicação analógica. A calibração é realizada a cada 6 meses. O material do súbito é de aço.

- **Operador:** treinados para realizar as medições e com o entendimento da funcionalidade da peça.
- **Método de medição:** Medição mecânica e direta do diâmetro interno da porca guia. A medição é realizada no momento em que a peça for colocada na bancada de medição e realiza-se apenas uma vez a medição do diâmetro interno. A frequência de medição é de uma peça a cada dez fabricadas.
- **Condições ambientais:** A temperatura ambiental é igual a $(30,0 \pm 3,0)^\circ\text{C}$.

Foi compreendido que a medição não é influenciada de maneira forte somente pelo operador, como era imaginado pela empresa, e sim existem vários outros fatores que afetam a medição. Para isto são importantes a conscientização e o treinamento de todos que estão envolvidos com a medição.

4.2.4 Aplicação do sub-módulo relacionada às informações sobre o certificado de calibração

O sub-módulo desenvolvido foi utilizado através de leitura dos textos e explicações desenvolvidas, a partir das necessidades existentes no cotidiano da empresa, seguindo o fluxograma das figuras 3.5, 3.6 e 3.7.

No recebimento do certificado de calibração, emitido por um laboratório de metrologia externo à empresa, foi verificado a parte referente ao *Conteúdo exigido nos Certificados de Calibração*, com o intuito de observar se o certificado de calibração contém todas as informações necessárias para a correta utilização do mesmo. Percebeu-se que o certificado de calibração não está completo, apresentando falhas, como a tabela de resultados incompleta, onde é apresentado apenas um valor de incerteza de medição para todo o sistema de medição, onde o correto seria apresentar um valor de incerteza de medição para cada ponto de calibração. Além disso, os termos utilizados na tabela de resultados estão dispostos de maneira errada, fazendo com que gere dúvidas na interpretação e leitura dos resultados da calibração, fato este comprovado ao verificar a parte referente aos *Conceitos dos termos do Certificado de Calibração*.

A parte referente à *Utilização do Certificado de Calibração*, no caso específico da *Empresa A* vai ser utilizado apenas referente à *Utilização do Certificado de Calibração - Condições Ambientais diferentes da calibração do sistema de medição*, em função da mesma não possuir laboratório de metrologia interno, etapa esta que auxiliou na correta aplicação do sub-módulo Avaliação da incerteza do processo de medição (Item 4.2.6).

Com a utilização deste sub-módulo, foi possível ter o entendimento da importância do certificado de calibração, com a finalidade da empresa ser crítica ou suficiente no momento de contratar um laboratório de metrologia externo à empresa para prestar os serviços de calibração dos sistemas de

medição e para a correta utilização dos resultados contidos no mesmo. A partir deste momento, a empresa percebeu que é importante não levar em consideração apenas o fator relacionado ao custo da(s) calibração(ões) e, sim, percebeu a importância de levar em consideração a qualidade dos serviços prestados, dentre os quais, um dos fatores que comprovam isto, é a qualidade do certificado de calibração emitido pelo laboratório.

4.2.5 Aplicação do sub-módulo relacionado à adequação do intervalo de calibração dos sistemas de medição

O sub-módulo desenvolvido foi utilizado a partir do preenchimento da tabela (Figura 4.1) onde os dados necessários foram retirados do certificado de calibração (incerteza expandida e correção), do projeto geométrico (tolerância geométrica de fabricação da peça inspecionada) e do sub-nódulo de avaliação da incerteza do processo de medição (incerteza do processo de medição e relação entre incerteza e tolerância).

A característica da peça inspecionada (diâmetro interno da porca guia) tem valor nominal de 40,21 mm e a inspeção é realizada com um súbito. A inspeção é realizada através de medição diferencial, onde o súbito é zerado em um padrão de 40,00 mm. Sendo assim a indicação no súbito terá que ser de 0,21 mm. Desta feita, os valores de incerteza de medição e correção utilizados para realizar os estudos de adequação do intervalo de calibração devem ser feitos em relação ao ponto de calibração de 0,20 mm e serão retirados do certificado de calibração. Os estudos serão realizados em relação ao ponto que será realizada a medição, que é de 0,20 mm.

Tabela para o acompanhamento do intervalo de calibração do súbito de resolução 0,01 mm										
Data	$U_{js, <i>il</i>$	C	$C + U_{H, 45\%}$	$C - U_{H, 45\%}$	U_{PM} [mm]		Tolerância da peça [mm]		Incerteza Máxima do PM [mm]	
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	+ UPM	-U _{pi}	-Tolerância	-Tolerância	$U_{máx} do PM$	$-U_{máx} do PM$
nov/99	0,0040	0,0030	0,0050	-0,0030			0,05	-0,05	0,01	-0,01
mai/00	0,0040	0,0030	0,0070	-0,0010			0,05	-0,05	0,01	-0,01
nov/00	0,0040	0,0030	0,0065	-0,0005			0,05	-0,05	0,01	-0,01
mai/01	0,0035	0,0020	0,0055	-0,0015			0,05	-0,05	0,01	-0,01
nov/01	0,0040	0,0030	0,0070	-0,0010	0,0133	-0,0133	0,05	-0,05	0,01	-0,01

Relação $U_{jT} = 1/10 \sim$

Figura 4.1 Dados do histórico de calibrações do súbito centesimal no ponto utilizado de 0,20 mm

A incerteza máxima permitida para o processo de medição (incerteza alvo) é igual a 0,01 mm, valor este que é igual a resolução do sistema de medição que está sendo utilizado para realizar o controle na geometria (diâmetro interno) da porca guia. Isto mostra, já de início, que suspeita-se da adequabilidade/confiabilidade do sistema de medição utilizado no processo de medição, sendo que a utilização do sistema de medição faz com que não consiga-se detectar pequenas variações no diâmetro interno da porca guia.

Na figura 4.1 e 4.2 só consta um valor de incerteza do processo de medição, em função de que antes a empresa não aplicava este cálculo, que foi realizado somente agora com o estudo de caso. O preenchimento da tabela, gerou automaticamente um gráfico (Figura 4.2) para possibilitar a visualização dos dados mais claramente, facilitando a percepção do comportamento do sistema de medição e processo de medição e conseqüente análise para a tomada de decisão de nrKxjificar ou não o intervalo de calibração atual.

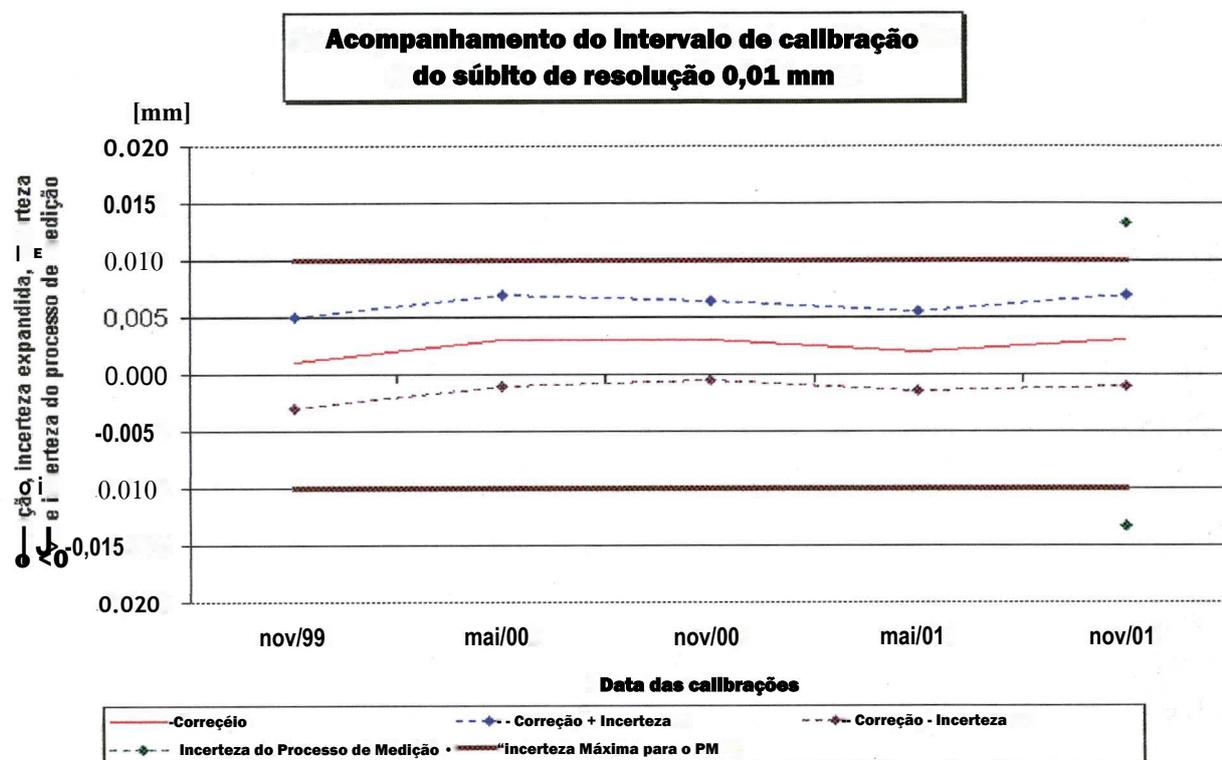


Figura 4.2 Gráfico com os dados do histórico de calibrações do súbito centesimal no ponto utilizado de 0,20 mm

A partir do gráfico (Figura 4.2), percebe-se que a incerteza de medição e a correção não sofrem alterações significativas ao longo do tempo, o que leva a conclusão, isoladamente, de que é possível aumentar o intervalo de calibração. No entanto, como este súbito é utilizado no ambiente fabril, deve-se levar em consideração o valor da incerteza do processo de medição e não somente os valores de incerteza e correção retirados do certificado de calibração. Deve-se ficar atento para possíveis variações ocorridas nos valores de correção e incerteza, fato este que pode ser constatado a partir de verificações realizadas periodicamente. Sugere-se o acompanhamento de outros súbitos similares e que estejam medindo características semelhantes ou, ainda, verificar o mesmo súbito utilizado em outros pontos de medição. Sendo assim, caso obtenha-se resultados semelhantes a estes nos outros estudos sugeridos acima, pode-se aumentar o intervalo de calibração, mas sempre mantendo a realização de verificações periódicas entre as calibrações, para evitar a percepção de problemas, que possam vir a surgir, somente na próxima calibração, já que o súbito é um sistema de medição que facilmente sofre

desgastes, além do ambiente ser desfavorável e propício a danos causados aos sistemas de medição.

Existe um fato relevante para esta aplicação que é o aspecto relacionado ao valor da incerteza do processo de medição, que está maior que a incerteza alvo. Este assunto será discutido no item 4.2.6. Em função desta incerteza do processo de medição, o sistema de medição para realizar a medição do diâmetro interno da porca guia foi modificado. Os resultados de acompanhamento do intervalo de calibração são apresentados a seguir.

Tabela para o acompanhamento do intervalo de calibração do súbito de resolução 0,001 mm										
Data	$U_{95,45\%}$ [mm]	c [mm]	C+U _{PM} ^{AA} [mm]	C-U _{PM} ^{AA} [mm]	UpM [mm]		Tolerância da peça [mm]		Incerteza Máxima do PM [mm]	
					+ U _{PM}	- JpH	+ Tolerância	-Tolerância	+ Máxima do PM	- Mínima do PM
out/98	0,0007	-0,0020	-0,0013	-0,0027			0,05	-0,05	0,01	-0,01
abr/99	0,0010	0,0020	0,0030	0,0010			0,05	-0,05	0,01	-0,01
out/99	0,0016	-0,0005	0,0011	-0,0021			0,05	-0,05	0,01	-0,01
abr/00	0,0016	0,0020	0,0036	0,0004			0,05	-0,05	0,01	-0,01
out/00	0,0015	0,0010	0,0025	-0,0005			0,05	-0,05	0,01	-0,01
abr/01	0,0015	0,0060	0,0075	0,0045			0,05	-0,05	0,01	-0,01
out/01	0,0015	-0,0016	-0,0001	-0,0031	0,0083	-0,0083	0,05	-0,05	0,01	-0,01

Relação-U-i-IT = 1/10

Figura 4.3 Dados do histórico de calibrações do súbito milésimal no ponto utilizado de 0,20 mm

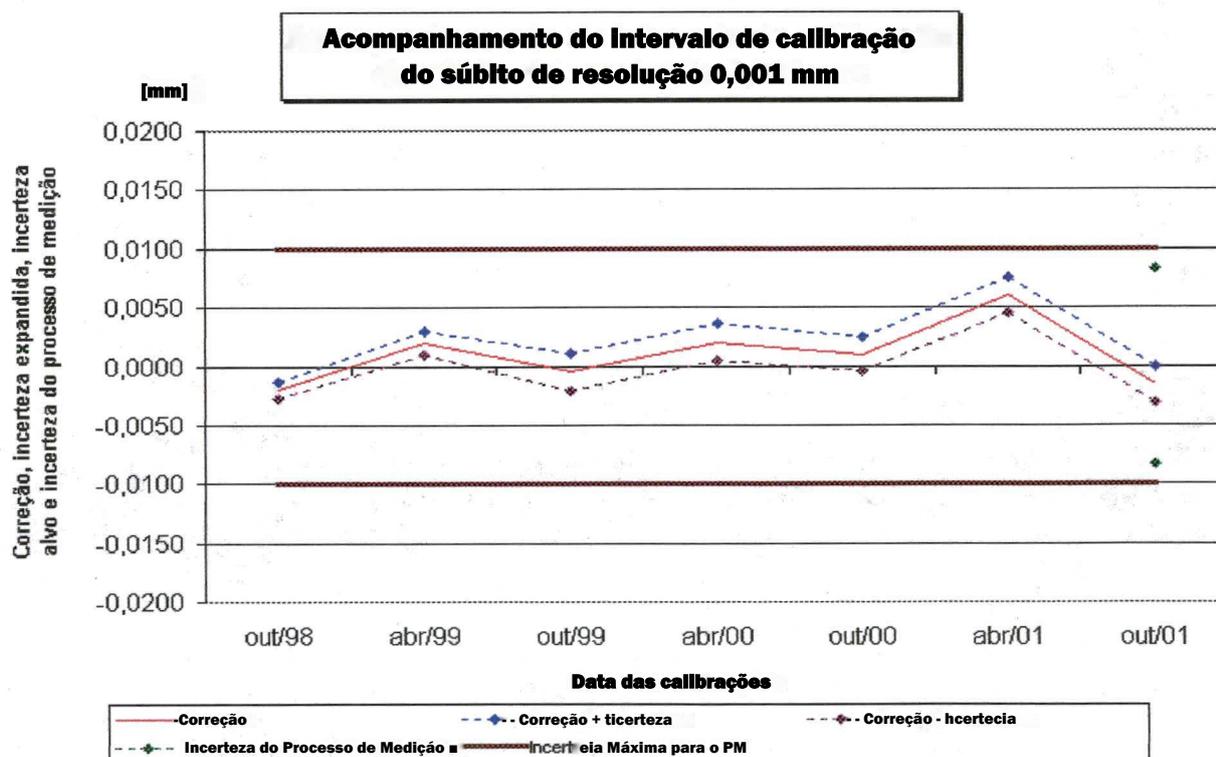


Figura 4.4 Gráfico com os dados do histórico de calibrações do súbito milésimal no ponto utilizado de 0,200 mm

A partir do gráfico da figura 4.4, percebe-se que a incerteza de medição e a correção sofrem alterações, oscilando entre as calibrações, o que leva a conclusão de que pode-se diminuir o intervalo de calibração, caso seja decidido fazer o estudo individual dos sistemas de medição. Não pode-se deixar de fazer as verificações periódicas entre as calibrações, a fim de evitar a constatação de que o sistema de medição está inadequado para uso somente na próxima calibração. Como as modificações na incerteza de medição (Figura 4.3) não alterariam fortemente a incerteza do processo de medição, no caso de todas as outras fontes de incerteza permanecerem constantes, sugere-se permanecer com o intervalo de calibração atual, de seis meses entre as calibrações. Pode-se perceber, ainda, que com a modificação do sistema de medição, a incerteza do processo de medição está dentro do limite da incerteza alvo (ver detalhes no item 4.2.6).

Caso o estudo dos sistemas de medição seja realizado por família, deve-se analisar outros súbitos e, ainda, este mesmo súbito sendo utilizado em pontos de medição diferentes ao utilizado neste exemplo. Com a análise para adequação do intervalo de calibração do súbito milesimal e do súbito centesimal, pode-se concluir que não é recomendável aumentar o intervalo de calibração de ambos, assumindo-se que pertencem a uma mesma família de sistemas de medição, por possuírem características semelhantes. O que pode-se fazer é analisar outros súbitos para poder chegar a conclusão com um maior número de sistemas de medição semelhantes (pertencentes a mesma família) analisados.

4.2.6 Aplicação do sub-módulo de avaliação da Incerteza do processo de medição

O sub-módulo desenvolvido foi utilizado inicialmente com a leitura dos textos desenvolvidos com o intuito de criar o entendimento e perceber a importância da ferramenta PUMA, observado no item 3.5.1. Em seguida foi observado um exemplo de aplicação desta ferramenta, conforme observado no item 3.5.2 e posteriormente ocorreu a aplicação da ferramenta propriamente dita, com as simplificações e melhorias em relação ao PUMA, conforme visto no item 3.5.3.

A aplicação deste sub-módulo servirá para auxiliar nos estudos já existentes de adequabilidade do processo de medição (MSA - R&R). No processo de medição que está sendo realizado o estudo de caso, a percentagem de R&R (%R&R) obtida foi igual a 21%. Quando esta %R&R é inferior a 10%, o processo de medição é aprovado, quando estiver entre 10% e 30%, deve-se justificar a aprovação ou reprovação do processo de medição e quando for superior a 30% deve-se reprovar o processo de medição [57]. Neste caso, como a %R&R está entre 10% e 30%, devê-se tomar uma decisão de aprovar ou reprovar o processo de medição e este sub-módulo irá auxiliar esta decisão.

A aplicação da avaliação da incerteza do processo de medição foi realizada conforme o fluxograma da figura 3.18. Os dados de entrada foram preenchidos (Figura 4.5) e obtido o seguinte resultado no balanço de incerteza realizado (Figura 4.6).

Quadro de dados do Processo de Medição													
Tarefa de Medição	Medir um diâmetro interno de 40,21 mm Valor Nominal \pm Tolerância 4D21 \pm 8it5 mm												
Incerteza alvo (U_r)	Relação U _t /IT = $\frac{1}{10}$ U _t = 10,00 <i>m</i>												
Método de Medição	<ul style="list-style-type: none"> - Medição mecânica - Medição direta do diâmetro inti 3mo da porca guia - Sistema de Medição utilizaijo - Medidor de diâmetro interno (súbito centesimal) - Indicação analógica - O diâmetro intemo é medid(D quando a peça for colocada na bancada de medição - A frequência de medição é de i uma peça a cada 10 produzidas - É realizada apenas uma mediç :ão do diâmetro interno 												
Condições Ambientais da Medição	Temperatura $3\text{fl}i + 3\text{J}D \text{ } ^\circ\text{C}$												
Suposições, contieclimentos ou considerações importantes	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>N° de medições para estimativa da Incerteza Tipo A - Repetitividade</td> <td style="text-align: center;">10</td> </tr> <tr> <td>N° de medições para estimativa da influência de diferentes operadores - Reprodutibilidade</td> <td style="text-align: center;">60</td> </tr> <tr> <td>Material do súbito</td> <td style="text-align: center;">Aç<J</td> </tr> <tr> <td>Material da porca quia</td> <td style="text-align: center;">Açi)</td> </tr> <tr> <td>Coefficiente de Dilatação Térmica</td> <td style="text-align: center;">11 \wedgem/m $^\circ\text{C}$</td> </tr> </table>	N° de medições para estimativa da Incerteza Tipo A - Repetitividade	10	N° de medições para estimativa da influência de diferentes operadores - Reprodutibilidade	60	Material do súbito	Aç<J	Material da porca quia	Açi)	Coefficiente de Dilatação Térmica	11 \wedge m/m $^\circ\text{C}$		
N° de medições para estimativa da Incerteza Tipo A - Repetitividade	10												
N° de medições para estimativa da influência de diferentes operadores - Reprodutibilidade	60												
Material do súbito	Aç<J												
Material da porca quia	Açi)												
Coefficiente de Dilatação Térmica	11 \wedge m/m $^\circ\text{C}$												
Componentes de Incerteza	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Incerteza do súbito centesimal</td> <td style="text-align: center;">3jS itm</td> </tr> <tr> <td>Fator K do súbito centesimal</td> <td style="text-align: center;">2</td> </tr> <tr> <td>Graus de liberdade do súbito centesimal</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Resolução do súbito centesimal</td> <td style="text-align: center;">1G itm</td> </tr> <tr> <td>Influência do Operador</td> <td style="text-align: center;">2,59 /im</td> </tr> <tr> <td>Desvio Padrão das medições</td> <td style="text-align: center;">9,49 jjim</td> </tr> </table>	Incerteza do súbito centesimal	3jS itm	Fator K do súbito centesimal	2	Graus de liberdade do súbito centesimal		Resolução do súbito centesimal	1G itm	Influência do Operador	2,59 /im	Desvio Padrão das medições	9,49 jjim
Incerteza do súbito centesimal	3jS itm												
Fator K do súbito centesimal	2												
Graus de liberdade do súbito centesimal													
Resolução do súbito centesimal	1G itm												
Influência do Operador	2,59 /im												
Desvio Padrão das medições	9,49 jjim												

Figura 4.5 Preenchimento do quadro de dados do processo de medição - primeira estimativa da incerteza do processo de medição

Balanco de Incerteza							
Símbolo	Componentes de Incerteza	Valor	Distribuição de Probabilidade		Coeficiente de Sensibilidade	Incerteza Padrão (u _i)	»i
	Fontes		Tipo	Divisor			
I [^] súbio	Incerteza do súbito centesimal	3,5 <i>fm</i>	Nomnal	2	1	1.75	Infinito
U _{le} inpenÉura	Influência da diferença de temp.	13 $^\circ\text{C}$	Distrib. U	V2	0.44	4.04	Infinito
U _{op} crodor	Influência do operador	2,59 <i>lim</i>	Normal P	1	1	2.59	57
U _V esokieio	Resolução	5 <i>/tm</i>	Retangular	V3	1	2.89	Infinito
U _A	Incerteza Tipo A	3,00 <i>jim</i>	Nomial P	1	1	3.00	9
U _c	Incerteza Padrão Combinada		Normal			6.59	193
u	Incerezeza Expandida		Nonmal, k = 2,01			13,25	
Incerteza Alvo = 10,00 itm 11							
Processo de Medição não é capaz, necessára fazer modificações, através das Iterações							

Figura 4.6 Balanco de incerteza para avaliação do processo de medição - primeira estimativa

A partir do resultado obtido na figura 4.6, observa-se que a maior fonte de incerteza está relacionada à **Influência da temperatura**. Em seguida está a **Incerteza tipo A, resolução e Influência do operador**, respectivamente. A decisão tomada foi de modificar o sistema de medição utilizado, apesar de não ser a maior contribuição de incerteza, mas a modificação acarretará na diminuição de três fontes de incerteza (incerteza tipo A, resolução e influência do operador), além de levar em consideração o fator custo do processo de medição. O súbido utilizado inicialmente tem resolução de 0,01 mm e passará a ser utilizado um súbido com resolução de 0,001 mm. O preenchimento do quadro de dados do processo de medição da segunda estimativa está na figura 4.7 e os resultados obtidos com a mudança do súbido podem ser observados no balanço de incerteza na figura 4.8. Com esta modificação, espera-se diminuir a influência das fontes de incerteza intituladas como **Influência do operador, resolução do sistema de medição e Incerteza tipo A**.

Quadro de dados do Processo de Medição		
Tarefa de Medição	Medir um diâmetro interno de 40,21 mm	
	Valor Nominal ± Tolerância	40,21 ± 0,05 mm
Incerteza alvo (U_T)	Relação $U_T/IT = iIMO$	$U_T = 10,00 \text{ } \mu\text{m}$
Método de Medição	<ul style="list-style-type: none"> - Medição mecânica - Medição direta do diâmetro interno da porca guia - Sistema de Medição utilizado - Medidor de diâmetro interno (súbido milesimal) - Indicação analógica - O diâmetro interno é medido quando a 1 peça for colocada na bancada de medição - A frequência de medição é de uma peça a cada 10 produzidas - É realizada apenas uma medição do diâmetro interno 	
Condições Ambientais da Medição	Temperatura	30,0 ± 3,0 °C
Suposições, conhecimentos ou considerações importantes	Nº de medições para estimativa da incerteza Tipo A - Repetitividade	10
	Nº de medições para estimativa da influência de diferentes operadores - Reprodutibilidade	60
	Material do súbido	Aço
	Material da porca guia	Aço
	Coeficiente de Dilatação Térmica	11 /tm/m°C
Componentes de Incerteza	Incerteza do súbido milesimal	1,6 μm
	Fator K do súbido milesimal	1,1
	Graus de liberdade do súbido milesimal	-
	Resolução do súbido milesimal	1 μm
	Influência do Operador	0,35 μm
	Desvio Padrão das medições	1,49 μm

Figura 4.7 Preenchimento do quadro de dados do processo de medição - segunda estimativa da incerteza do processo de medição.

Balanco de Incerteza							
Símbolo	Componentes de Incerteza	Valor	Distribuição de Probabilidade		Coefficiente de Sensibilidade	u_i	ν_i
	Fontes		Tipo Divisor				
$U_{\text{súbulo}}$	Incerteza do súbulo milGesimal	1.5 ítm	Normal	2	1	0.75	Infinito
$U_{\text{temperatura}}$	Influência da diferença de tenap.	13 °C	Distrib. U	V2	0.44	4.04	Infinito
U_{operador}	Influência do operador	0.35 li-m	Normal P	1	1	0.35	57
$U_{\text{resolução}}$	Resolução	0,5 ítm	Retangular	V3	1	0.29	Infinito
UA	Incerteza Tipo A	0,47 μm	Normal P	1	1	0.47	9
U_c	Incerteza Padrão Combinada		Normal			4,17	52343
U	Incerteza Expandida		Normal, k = 2.00			8,33	
Incerteza Alvo = 10,00 μm							
Processo de Medição adequado							

Figura 4.8 Balanço de incerteza para avaliação do processo de medição - segunda estimativa

A partir da mudança realizada, troca do sistema de medição, sendo que inicialmente era utilizado um súbulo centesimal (resolução de 0,01 mm) e passou-se a utilizar um súbulo milesimal (resolução de 0,001 mm), o resultado observado no balanço de incerteza da figura 4.8 comprova a diminuição nas contribuições de incerteza relacionadas a **Influência do operador, resolução do sistema de medição e Incerteza tipo A**. Como era esperado, a decisão de modificar o sistema de medição fez com que o processo de medição se tornasse apto a realizar as medições. A incerteza do processo de medição diminuiu de 13,25 μm para 8,33 μm , fazendo com que este valor seja menor que a incerteza alvo para a medição em questão, que é de 10 μm .

4.2.7 Conclusões do Estudo de Caso realizado na Empresa A

o estudo desenvolvido juntamente com a **Empresa A** foi de grande importância para o desenvolvimento deste trabalho e possibilitou que o mesmo fosse desenvolvido e aperfeiçoado ao longo dos contatos realizados. O estudo aplicado mostrou que a metrologia pode e deve ser tratada na empresa de maneira simples e objetiva, trazendo ganhos para a empresa. Os responsáveis pelo setor de metrologia passaram a:

- **Perceber e caracterizar as variáveis que influenciam o resultado da medição;**
- **Interpretar os certificados de calibração, fazendo com que o mesmo seja utilizado para a escolha de um laboratório prestador de serviços metrológicos credenciados e em prol de resultados mais confiáveis das medições realizadas no ambiente fabril;**
- **Adequar os intervalos de calibração dos sistemas de medição, a partir da definição de estudos, individuais ou por grupos, dos sistemas de medição;**
- **Calcular e avaliar a incerteza do processo de medição, fazendo com que o mesmo seja otimizado, seja em função da mudança de um sistema de medição, melhoria nas condições ambientais e/ou treinamento dos operadores.**

Observou-se que não é simples nem barato manter uma estrutura para as atividades que demandam desta ciência, o que dificulta a solução de problemas das empresas, fato este que fortalece a inserção do módulo no ambiente industrial através do LASAR, fornecendo apoio e soluções para a empresa.

4.3 ESTUDO DE CASO 2 - EMPRESA B

O Estudo de Caso 2 teve a finalidade de comprovar a utilização do módulo de apoio ao estabelecimento da confiabilidade metrológica das medições por parte da empr^a, evidenciando a importância de aplicação deste módulo.

4.3.1 Apresentação da Empresa B

A Empresa B é uma metal-mecânica, onde a principal linha de produtos é a dos impulsores de partida. São mais de 800 tipos diferentes, utilizados no mundo inteiro em diversas aplicações como automóveis, caminhonetes, tratores, motocicletas e embarcações. Também no mercado de autopeças, fabrica produtos como mancais de alternadores, polias, porta escovas, retificadores e reguladores de voltagem. É uma empresa de médio porte, a qual possui um laboratório de metrologia que realiza internamente em torno de 90% das calibrações dos sistemas de medição da empresa, onde a empresa possui em torno de 1.100 instrumentos de medição e 3.500 gabaritos. Possui certificação QS 9000 e está em fase de implantação da ISO/TS 16949.

4.3.2 Abordagem na Empresa B

Foi destacado o processo de fabricação do impulsor de partida. A partir do processo de fabricação foi destacada uma inspeção realizada durante o processo de fabricação. A característica inspecionada na peça é a altura da envolvente (Figura 4.9) e o sistema de medição utilizado para controlar esta característica é um relógio comparador com resolução de 0,001 mm juntamente com um gabarito. A medição realizada para garantir a inspeção e aprovação da peça é feita em três pontos, sendo que a medição é diferencial.

Esta peça apresenta funcionalidade crítica, pois está relacionada ao sistema de transmissão de força ao pinhão, assim como possibilita movimento livre do sistema de partida quando no momento da partida do motor ocorre uma rotação da cremalheira superior à rotação do motor de arranque. A característica crítica desta peça associa-se ao perfil da envolvente que está relacionada ao sistema mecânico funcional do conjunto. No perfil da envolvente alojam-se roletes que movimentam-se livremente quando solicitados com rotação para um sentido e travam quando solicitados no sentido inverso. A cota crítica relacionada à altura da envolvente, alojamento dos roletes, relaciona-se com o comprimento dos mesmos, interferência que poderá comprometer o produto final tanto no seu funcionamento e eficiência, quanto em sua vida útil. A frequência de inspeção das peças produzidas é

de 100%.

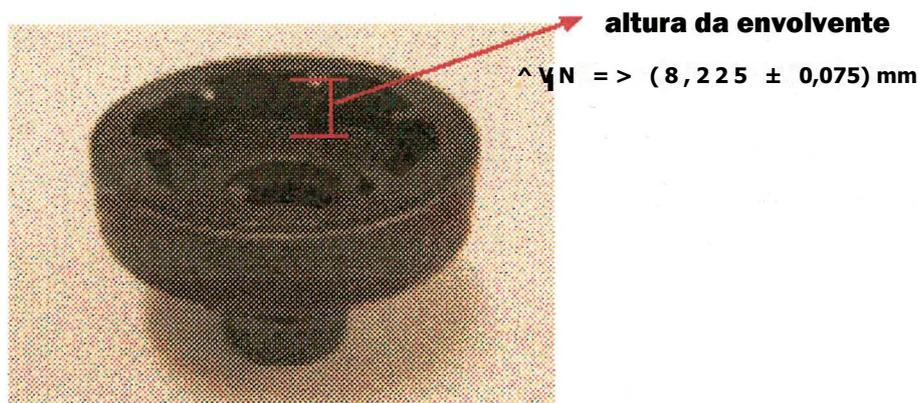


Figura 4.9 Peça inspecionada no ambiente fabril da Empresa B

As oportunidades de aplicação do módulo desenvolvido estão relacionadas ao fato de que a empresa entende a importância da metrologia para aplicação em diversas situações e percebe a possibilidade de novas ferramentas inseridas no cotidiano da empresa, com o intuito de auxiliar a estrutura já existente, desta feita, percebeu-se oportunidades relacionadas à:

- Uso dos resultados do certificado de calibração, principalmente relacionada à calibração dos sistemas de medição realizados internamente no laboratório de metrologia da empresa e aplicação da avaliação da incerteza do processo de medição;
- Adequação do intervalo de calibração para os sistemas de medição utilizados como padrões para realização de calibrações no laboratório de metrologia da empresa;
- Avaliação da incerteza do processo de medição, como suporte aos estudos de adequabilidade dos processos de medição.

4.3.3 Aplicação do sub-módulo relacionado à caracterização das variáveis do processo de medição

o sub-módulo desenvolvido foi utilizado através da leitura dos textos desenvolvidos, destacando os fatores presentes no item 3.3. A leitura dos textos foi realizada no momento em que foram destacadas algumas inspeções realizadas durante o processo de fabricação do impulsor de partida. A leitura possibilitou o entendimento e a percepção das variáveis que influenciam o resultado da medição e a partir disto, foi possível caracterizar o processo de medição da *Empresa B*:

- **Mensurando:** a geometria da peça a ser medida é a altura da envolvente com valor nominal de $(8,225 \pm 0,075)$ mm. O material da peça é o aço.
- **Sistema de Medição:** Relógio comparador milesimal e gabarito de altura igual a 8,225 mm. Resolução do relógio comparador igual a 0,001 mm, correção de 0,0017 mm, incerteza de medição de 0,001 mm no ponto de medição 0,000 mm, faixa de medição de 0 mm a 50 mm.

com indicação digital. A periodicidade da calibração é a cada 6 meses. O material, do relógio comparador e do gabarito, é de aço.

- **Operador:** treinados para realizar as medições e com o entendimento da funcionalidade da peça.
- **Método de medição:** Medição diferencial da altura da envolvente. A medição é realizada quando a peça é colocada na bancada de medição e realiza-se em três pontos (dentes internos ao acoplamento) não consecutivos. A frequência de medição é de 100% das peças fabricadas.
- **Condições ambientais:** A temperatura ambiental é igual a $(25,0 \pm 3,0)^\circ\text{C}$.

4.3.4 Aplicação do sub-módulo relacionado às Informações sobre o certificado de calibração

O sub-módulo desenvolvido foi utilizado a partir da leitura dos textos e explicações desenvolvidas, em função das necessidades existentes no cotidiano da empresa, seguindo o fluxograma da figura 3.5.

A parte utilizada do sub-módulo, referente à *utilização do certificado de calibração*, serviu para consolidar a correta aplicação para as planilhas de cálculo da incerteza de medição nas calibrações realizadas internamente e para auxiliar a realização do cálculo de incerteza do processo de medição. Foi possível perceber erros nas fontes de incerteza envolvidas no cálculo da incerteza de medição nas calibrações realizadas internamente, fato comprovado pela não inclusão da resolução do sistema de medição como uma das fontes de incerteza, o que pode ser observado a partir dos valores constantes na figura 4.10. Isto deve-se pelo motivo do cálculo da incerteza de medição ser realizado por um software "fechado", no qual não pode-se inserir novas fontes de incerteza, além das que são sugeridas e com campo para preenchimento. Este erro faz com que os resultados de incerteza de medição obtidos sejam subestimados, podendo trazer erros nas medições realizadas no ambiente fabril. Estes valores subestimados da incerteza de medição podem ser percebidos no item 4.2.5.

A *leitura do certificado de calibração* foi utilizada para o entendimento de alguns certificados de sistemas de medição padrão do laboratório, que a calibração foi realizada em um laboratório externo à empresa. Foi útil no que tange o entendimento e comportamento dos sistemas de medição, para que ele possa ser utilizado de maneira otimizada nas calibrações e medições realizadas em ambiente laboratorial.

4.3.5 Aplicação do sub-módulo relacionado à adequação do Intervalo de calibração dos sistemas de medição

O sistema de medição utilizado para realizar a medição no ambiente fabril é composto por um relógio

comparador milesimal e um gabarito (peça padrão utilizada para auxiliar a medição). O relógio comparador milesimal e o gabarito são novos e foram calibrados apenas uma vez, cada um, o que impossibilita fazer um acompanhamento para a adequação do intervalo de calibração. A calibração do relógio comparador milesimal é realizada em um laboratório de calibração externo à empresa e a calibração do gabarito é realizada no laboratório de metrologia da empresa, onde o sistema de medição padrão utilizado é um micrômetro externo digital. A aplicação deste sub-módulo será realizada para a adequação deste sistema de medição, o micrômetro externo digital de resolução 0,001 mm. O sub-módulo desenvolvido foi utilizado a partir do preenchimento da tabela (Figura 4.10) onde os dados necessários foram retirados do certificado de calibração (incerteza expandida e correção).

A característica da peça inspecionada (altura da envolvente) tem valor nominal de $(8,225 \pm 0,075)$ mm e a inspeção é realizada com um relógio comparador e um gabarito. A medição é diferencial, onde o relógio comparador é zerado em uma peça padrão (gabarito) de 8,225 mm. Sendo assim a indicação no relógio comparador terá que ser de 0,000 mm. Desta feita, os valores de incerteza de medição e correção utilizados para realizar os estudos de adequação do intervalo de calibração devem ser feitos em relação ao ponto de calibração de 7,700 mm exposto no certificado de calibração, ponto este que se aproxima mais do valor medido - 8,225 mm. Estes dados serão retirados do certificado de calibração.

Tabela para o acompanhamento do Intervalo de calibração do micrômetro de resolução 0,001 mm				
Data	$U_{95,45\%}$ [mm]	C [mm]	$U_{95,45\%} + C$ [mm]	$U_{95,45\%} - C$ [mm]
ago/00	0,00011	0,00014	0,00025	0,00003
fev/01	0,00143	0,00047	0,00190	-0,00096
ago/01	0,00013	0,00016	0,00029	0,00003
fev/02	0,00010	0,00016	0,00026	0,00006

Figura 4.10 Dados do histórico de calibrações do micrômetro externo digital no ponto 7,700 mm

Como pode-se perceber, a incerteza expandida do micrômetro externo digital é bem inferior ao valor da resolução do mesmo (que é de 0,001 mm), fato este que se dá em função do cálculo da incerteza de medição, realizado internamente nos laboratórios da empresa, ser efetuado por um software "fechado" que não contempla a fonte de incerteza proveniente da resolução do sistema de medição, o que subestima a incerteza calculada. No entanto, o estudo para adequação do intervalo de calibração será realizado com estes valores retirados do certificado de calibração.

O preenchimento da tabela, automaticamente gerou um gráfico (Figura 4.11) para facilitar a visualização e a percepção da necessidade de alterar ou não o intervalo de calibração.

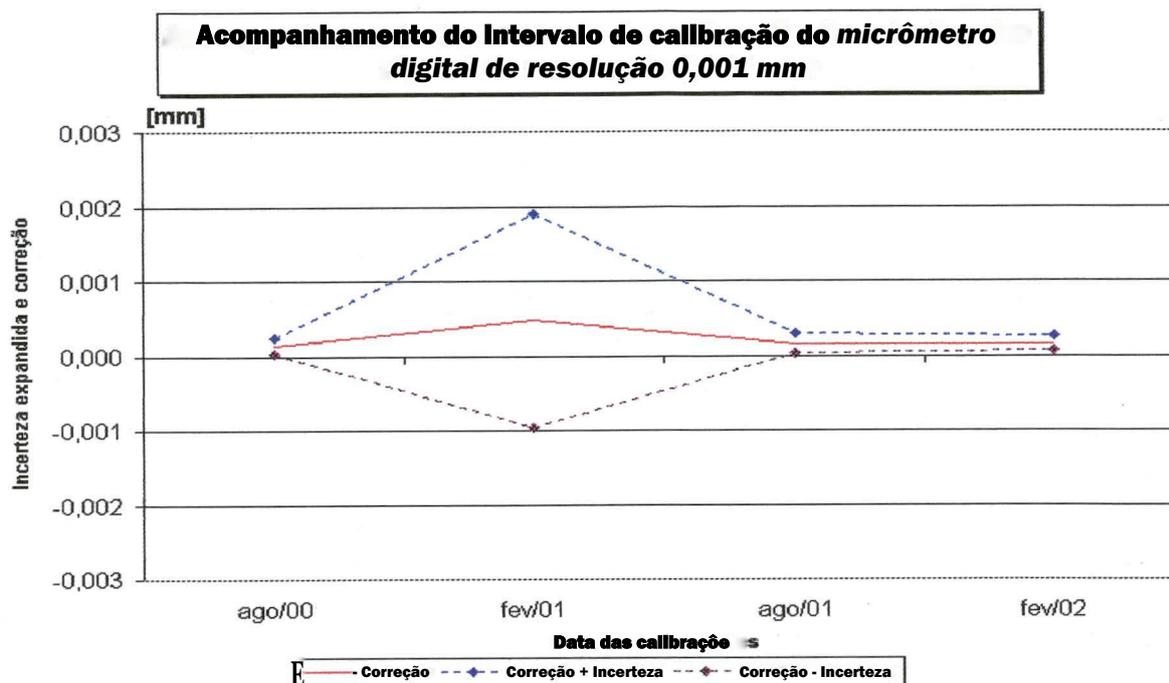


Figura 4.11 Gráfico com os dados do histórico de calibrações do micrômetro externo digital no ponto 7,700 mm

A partir do gráfico (Figura 4.11), percebe-se que a incerteza de medição teve um aumento significativo em uma das calibrações (maio de 2000) o que faz concluir que não é recomendável alterar o intervalo de calibração, para não correr o risco de estar realizando calibrações e transferindo valores de incerteza desconhecidos entre as calibrações. Recomenda-se manter este intervalo de calibração e continuar o acompanhamento dos resultados de calibração do micrômetro externo digital, realizado também a partir de verificações periódicas entre as calibrações, para que se obtenha um acompanhamento contínuo ao longo do tempo e verificar se os resultados de incerteza de medição e correção irão continuar constantes ou não. Como o micrômetro é utilizado em ambiente laboratorial, pode-se fazer um acompanhamento mais rigoroso, em função da frequência de utilização e calibrações realizadas. Recomenda-se que seja feito o acompanhamento individual deste sistema de medição e de todos os utilizados no ambiente laboratorial.

4.3.6 Aplicação do sub-módulo de avaliação da Incerteza do processo de medição

o sub-módulo desenvolvido foi utilizado inicialmente com a leitura dos textos desenvolvidos com o intuito de criar o entendimento e perceber a importância da ferramenta PUMA, observado no item 3.5.1. Em seguida foi observado um exemplo de aplicação desta ferramenta, conforme observado no item 3.5.2. A aplicação deste sub-módulo se dará conforme as simplificações constantes no item 3.5.3, com o objetivo de obter resultados mais confiáveis e simplificar a utilização deste sub-módulo no ambiente industrial.

A aplicação do sub-módulo de avaliação da incerteza do processo de medição foi realizada conforme o fluxograma da figura 3.18. Os dados de entrada foram preenchidos (Figura 4.12) e obtidos o seguinte resultado no balanço de incerteza realizado (Figura 4.13). Serviu para comprovar o alinhamento dos resultados obtidos na avaliação da incerteza do processo de medição com os resultados obtidos nos estudos já existentes de adequabilidade do processo de medição (MSA - R&R). A %R&R, obtida no processo de medição em questão, foi igual a 3,5%. Quando esta %R&R é inferior a 10%, o processo de medição é aprovado, quando estiver entre 10% e 30%, deve justificar a aprovação ou reprovação do processo de medição e quando for superior a 30% deve-se reprovar o processo de medição [57].

Quadro de dados do Processo de Medição			
Tarefa de Medição	Medir altura envolvente de 8 [±] 25 mnn		
	Valor Nominal ± Tolerância 8.225 ± 0JQ7S mm		
Incert:Zia alvo (U_T)	Relação U _T /IT= 1/ID U _T = 15.0D m		
Método de Medição	<ul style="list-style-type: none"> - Medição mecânica - Medição diferencial da altura da envolvente da peça do impulsor de partida - Sistema de Medição utilizado - Relógio comparador milesimal com Faixa de Medição de (□ a 50) mm + gabarito de altura igual a 8225 mm - Indicação digital - A altura da peça é medida quando colocada na bancada de medição. Cada peça é medida em três pontos (dentes internos ao acoplamento), não consecutivos - A frequência de medição é de 100% das peças produzidas 		
Condições Ambientais da Medição	Temperatura 2'j,ü ± b.0 °C		
Suposições, conhecimentos ou considerações importantes	N° de medições para estimativa da Incerteza Tipo A - Repetitividade		10
	N° de medições para estimativa da influência de diferentes operadores - Reprodutibilidade		60
	Material do súbito	Aço	
	Material da porça quia	Aça	
	Coeficiente de Dilatação Térmica		11 fim/m °C
Componentes de Incerteza	Incerteza do Gabarito 1863.002		2 itm
	Fator K do Gabarito		2.145
	Incerteza do relógio comparador milesimal		0S í*m
	Fator K do relógio comparador milesimal		3
	Resolução do relógio comparador milesimal		1 fim
	Influência do Operador		0,21 lun
	Desvio Padrão das medições		7.48 itm 1

Figura 4.12 Preenchimento do quadro de dados do processo de medição - primeira estimativa da incerteza do processo de medição

A partir do resultado observado na figura 4.13, obteve-se que a incerteza do processo de medição (5,86 um) é menor que a incerteza alvo (15,00 ^m), fato este que faz com que a conclusão aponte para o processo de medição adequado para realizar as medições, comprovando os resultados obtidos nos estudos de MSA - R&R, onde a %R&R foi igual 3,5%.

Balanco de Incerteza							
Símbolo	Componentes de Incerteza	Valor	Distribuição de Probabilidade		Coeficiente de Sensibilidade	Incerteza Padrão (U _i)	»i
	Fontes		Tipo	Divisor			
U _{gabarito}	Incerteza do Gabarito	2 μm	Normal	Z145	1	0,93	infinito
U _{relogio}	Incerteza do Relógio Comparador	0,6 ím	Normal	2	1	0,30	infinito
U _{temperatura}	Influência da diferença de temp.	10 °C	Distrib. U	V2	0,09	0,64	infinito
U _{operador}	Influência do operador	0,21 ím	Normal P	1	1	0,21	58
U _{resolução}	Resolução	0,5 ím	Retangular	V3	1	0,29	infinito
U _A	Incerteza Tipo A	2,37 um	Normal P	1	1	2,37	9
U _c	Incerteza Padrão Combinada	HI	Normal			2,66	14
u	Incerteza Expandida		Normal, k = 1		1	5,86	
Incerteza Alvo = 15,00 um							
Processo de Medição adequado							

Figura 4.13 Balanço de incerteza para avaliação do processo de medição - primeira estimativa

4.3.7 Conclusões do Estudo de Caso realizado na Empresa B

o estudo desenvolvido juntamente com a *Empresa B* foi de grande importância para o desenvolvimento deste trabalho e possibilitou que o mesmo fosse desenvolvido e aperfeiçoado ao longo dos contatos e visitas realizadas.

O estudo aplicado mostrou que mesmo em uma empresa que preocupa-se com a correta aplicação da metrologia, e sabe da importância da utilização ótima desta ciência, existem possibilidades de inserção de novas ferramentas que auxiliarão na tomada de decisão dos estudos já realizados. O módulo foi importante para:

- Percepção e caracterização das variáveis que influenciam o resultado da medição;
- Interpretação dos certificados de calibração, no que tange a questão relacionada ao cálculo da incerteza de medição realizada no laboratório de metrologia interno da empresa, buscando maior confiabilidade das medições realizadas no ambiente fabril;
- Adequação dos intervalos de calibração dos sistemas de medição utilizados como padrões de referência do laboratório de metrologia interno à empresa, sendo que é melhor fazer o estudo individual dos mesmos, já que as condições de uso são mais facilmente controladas;
- Cálculo e avaliação da incerteza do processo de medição, fazendo com que o mesmo seja otimizado, seja em função da mudança de um sistema de medição, melhoria nas condições ambientais e/ou treinamento dos operadores, auxiliando nos estudos de R&R já realizados pela empresa.

Estes fatores acima descritos fazem com que o módulo possa ser implementado no ambiente da empresa, através do LASAR, gerando resultados satisfatórios para o contínuo desenvolvimento das questões relacionadas à metrologia.

Capítulo 5

Conclusões e Considerações Finais

O trabalho desenvolvido mostrou a importância de obter-se a confiabilidade das medições realizadas nos diversos segmentos em que a metrologia está presente. Entre os resultados alcançados com o trabalho destaca-se:

- A descrição das atividades metrológicas necessárias nos diversos segmentos em que a metrologia está atuando de uma maneira concentrada (ambiente fabril, laboratório de metrologia da empresa, laboratório prestador de serviços metrológicos credenciados e organismo credenciador) com o propósito de evidenciar a importância e atuação de destaque que esta ciência exige em todos os níveis da cadeia de rastreabilidade;
- A concepção de um módulo que está inserido no LASAR, mas que pode ser utilizado de maneira independente, a partir do momento em que imagina-se uma sistemática de confiabilidade metrológica das medições para ser implantada dentro da empresa, com auxílio de ferramentas metrológicas;
- O módulo desenvolvido foi testado na prática, considerando casos reais existentes nas empresas, os quais destacam-se a utilização de ferramentas que não são aproveitadas atualmente e que trazem resultados importantes e confiáveis para as empresas;
- Os estudos práticos comprovaram que a estrutura desenvolvida é realmente aplicável à indústria. O módulo utilizará informações, dados, estudos e resultados já existentes, mas que não estavam sendo utilizados com o propósito que está exposto neste trabalho. Com a utilização do módulo e resultados alcançados com aplicação do mesmo, foi possível ter-se esta percepção;
- O desenvolvimento e a disponibilização deste módulo através do LASAR faz com que as "preocupações" das empresas com os problemas existentes para garantir a confiabilidade das medições diminuam, em função de ter um centro metrológico competente buscando alcançar e garantir a confiabilidade necessária, no campo da metrologia.

Com relação às aplicações do módulo nas empresas no que tange a divisão em sub-módulos e a

aplicação destes de acordo com o porte das empresas (grande, média e pequena), tem-se o seguinte:

Porte das Empresas	Sub-módulos			
	Caracterização das variáveis do Processo de Medição	Informações sobre o certificado de calibração	Medição	Medição
Empresa Pequena	Muito	Muito	SM do Ambiente fabril - Individual	Muito
Empresa Média	Médio	Médio	SM do Ambiente fabril - Grupo SM do laboratório Individual	Muito
Empresa Grande	Pouco	Pouco	SM do Ambiente fabril - Grupo SM do laboratório Individual	Muito

Figura 5.1 Relação da utilização do módulo de confiabilidade metrológica de acordo com o porte da empresa

- Informações sobre o processo de medição, de função educativa, serão utilizadas de uma maneira mais intensa nas pequenas empresas, as quais tem dificuldades de possuir uma grande quantidade de informações e conhecimentos agregados, em função do alto custo que é necessário para manter pessoal técnico especializado. Será também utilizado pelas médias e grandes empresas, só que em uma escala menor;
- Informações sobre o certificado de calibração, de função educativa, serão utilizadas com maior frequência nas pequenas empresas, em função da estrutura reduzida que existe no que tange a metrologia, porém também será utilizada nas médias empresas, no entanto, com frequência menor. Nas empresas de porte médio será utilizado basicamente no momento de realizar as calibrações internas ou a avaliação da incerteza do processo de medição. Poderá ser utilizada pelas grandes empresas, com os mesmos objetivos das médias empresas;
- Adequação do intervalo de calibração, de função executiva, será utilizada de maneira diferente em função do porte da empresa. As pequenas empresas irão utilizar aplicado para os sistemas de medição utilizados no ambiente fabril, podendo o estudo ser feito individualmente para cada sistema de medição. As pequenas empresas diferentemente tem uma estrutura de laboratório de metrologia interno à empresa. As médias empresas irão aplicar os estudos da seguinte forma: adequação do intervalo de calibração com estudo individual para cada sistema de medição utilizado como padrão do laboratório; e em grupo para os sistemas de medição utilizados no ambiente fabril, em função da grande quantidade de sistemas de medição alocados no ambiente fabril. Esta ferramenta pode também ser utilizada pelas empresas de grande porte, da mesma forma que será utilizada pela média empresa. Sendo

assim, uma das decisões a serem tomadas é em relação ao estudo ser realizado individualmente para cada sistema de medição ou em grupo;

- Avaliação da incerteza do processo de medição, de função executiva, será utilizada de maneira semelhante para pequenas e médias empresas, sempre com o intuito de auxiliar nos estudos de adequabilidade do processo de medição, tanto na condição em que os resultados obtidos precisem de uma justificativa para aprovar ou reprová-lo o processo de medição quanto na comprovação dos resultados obtidos que aprovem ou reprovem o processo de medição. Esta ferramenta também pode ser utilizada pelas empresas de grande porte, com o mesmo objetivo das pequenas e médias empresas.

O que se percebe da realidade empresarial é que tem que se produzir o maior número de produtos num espaço de tempo mais curto, em função da acirrada concorrência existente nos dias atuais. Para isto é necessário concentrar-se nos diversos problemas existentes e a metrologia é responsável por parte destes problemas. No entanto, nem sempre se tem pessoal qualificado para resolver os problemas que surgem e na hora exata. Neste contexto, os problemas provenientes da metrologia serão solucionados pelos módulos do LASAR ou por pessoal altamente qualificado, que atua no centro metrológico provedor do LASAR.

A inserção deste módulo no ambiente industrial através do LASAR, possibilitará para as empresas estarem ligadas continuamente a um centro metrológico competente, pronto para solucionar os problemas advindos das empresas, seja esta solução na forma de módulos existentes no sistema do LASAR, seja esta solução na forma de consultores aptos a resolver prontamente os problemas ou, ainda, seja esta solução na forma de consultores aptos a estudar os problemas existentes e como consequência gerar a solução destes problemas. Esta ligação das empresas com o centro metrológico pode trazer soluções mais rápidas a um custo menor e com pessoal altamente qualificado no que diz respeito aos problemas envolvidos com a metrologia, além de possibilitar um maior conhecimento por parte do centro metrológico dos problemas existentes na indústria, e um maior conhecimento por parte da indústria da potencialidade do centro metrológico em resolver diversos problemas existentes atualmente.

Referências Bibliográficas

- [1] BACHMAIR, Hans **The Impact of globalization on today's metrology. Anais do Metrocal 2001 - Segundo Congreso Internacional de Metrología para la Productividad y la Calidad. Universidade de Concepción, p.485-497. Chile, 25 al 27 de abril de 2001.**
- [2] INMETRO **Barreiras Técnicas às exportações.**
<http://www.inmetro.gov.br/articulacoes/barreirasTecnicas.asp>, 2002.
- [3] INMETRO **Entrevista com Paulo Ferracioni, coordenador geral de Articulação Internacional do INMETRO. "Contra Barreiras Técnicas".**
<http://www.inmetro.gov.br/noticias/conteudo/46Q.asp>, 2002.
- [4] SOUZA, Reinaldo D. F. **Tecnologia Industrial Básica como fator de competitividade. Revista Parcerias Estratégicas n° 8, p. 103-126. Maio de 2000.**
- [5] NEMEROFF, Ed **The role of metrology, accreditation, standards and quality on global competitiveness. Anais do Metrocal 2001 - Segundo Congreso Intemacional de Metrología para la Productividad y la Calidad. Universidad de Concepción, p.447-450. Chile, 25 al 27 de abril de 2001.**
- [6] MENDES, Alexandre
CARREIRA Júnior, Wanderley **A importância de um curso técnico em metrologia. Revista Metrologia & Instrumentação, Ano II, n° 9, p.42-44. Dezembro de 2001.**
- [7] NBR ISO 9000:2000 **Sistemas de gestão da qualidade - Fundamentos e vocabulário. Rio de Janeiro: ABNT, 26p. Dezembro de 2000.**

- [8] CERQUEIRA Neto, Edgard P. **Gerenciando a Qualidade Metrológica**. Rio de Janeiro: Imagem Ed., ISBN 85-85487-04-6.194p. 1993
- [9] GONÇALVES Júnior, Armando A. **Metrologia - Parte 1**. Apostila do curso de mestrado em Metrologia Científica e Industrial. Florianópolis, Abril de 2000.
- [10] Programa RH-Metrologia **Programa Nacional para Formação e Capacitação de Recursos Humanos. Documento Básico**. Rio de Janeiro, Brasil, 91p. ISBN: 85-86768-06-5. Janeiro de 1999.
- [11] NBR ISO 9001:2000 **Sistema de gestão da qualidade - Requisitos**. Rio de Janeiro: ABNT. 21p. Dezembro de 2000.
- [12] QS 9000 **Requisitos do Sistema da Qualidade**. Tradução da 3^a ed. Americana. São Paulo: IQA - Instituto de Qualidade Automotiva, 113p. Março de 1998.
- [13] ISO/TS 16949 **Quality management systems - Particular requirements for the application of ISO 9001:2000 for automotive production and relevant service part organizations**. Second edition. 34p. Março de 2002.
- [14] SILVA, Alexandre C. **Desenvolvimento de uma metodologia para reduzir os custos da qualidade através de atividades metrológicas**. Dissertação de mestrado do Programa de Pós-Graduação em Metrologia Científica e Industrial, Universidade Federal de Santa Catarina, 80p. Florianópolis, Abril de 2001.
- [15] SCHNBDER, Carlos A. **Metrologia Integrada ao processo de manufatura**. Conferência Temática apresentada no Congresso SAE Brasil 2001. São Paulo, Brasil, 20 de novembro de 2001.
- [16] SOARES Júnior, Luiz **Confiabilidade metrológica no contexto da garantia da qualidade Industrial: Diagnóstico e sistematização de procedimentos**. Dissertação de mestrado do Programa de Pós-Graduação em Metrologia Científica e Industrial, Universidade Federal de Santa Catarina, 111p. Florianópolis, Abril de 1999.
- [17] CBM **Plano Nacional de Metrologia: Sumário Executivo**. 32p. Novembro de 1999.

- [18] CERTI **Metrologia para Certificação ISO 9000. Apostila de Curso. Florianópolis, 05 e 06 de Novembro de 2001.**
- [19] THEISEN, Álvaro de M.F. **Fundamentos da Metrologia Industrial: aplicação no processo de certificação ISO 9000. Porto Alegre: Programa RH Metrologia, Rede Metrológica RS, BERGS, SEBRAE-RS, 205p. 1997.**
- [20] BOHEME BRASIL CONSULTING **ISO 9000 - Leitura e Interpretação da NBR ISO 9001:2000. Apostila de Curso. Florianópolis, 11 a 13 de Março de 2002.**
- [21] THEISEN, Álvaro de M.F. **A contribuição da calibração dos equipamentos de medição para a qualidade do produto. Anais do II Congresso Brasileiro de Metrologia - Metrologia 2000. Volume 1: Generalist papers, p.412-416. São Paulo, Brasil, 4 a 7 de Dezembro de 2000.**
- [22] LISKA, Augusto F. **Controle Estatístico de componentes da Incerteza em processos de medição de parâmetros geométricos. Dissertação de mestrado do Programa de Pós-Graduação em Metrologia Científica e Industrial, Universidade Federal de Santa Catarina, 85p. Florianópolis, Dezembro de 1999.**
- [23] CERTI **Incerteza de Medição em Processo de Inspeção dimensional em chão de fábrica. Apostila de Curso. São Paulo, 24 a 27 de Julho de 2001.**
- [24] INMETRO **VIM - Vocabulário Internacional de Termos Fundamentais e Gerais de Metrologia. Rio de Janeiro: INMETRO/DIMCI, 52p. 1995.**
- [25] MASS, Gláucio A. **A Tecnologia de medição por coordenadas na solução de problemas da Indústria: Sistematização de informações e do processo metrológico do laboratório produtor de serviços. Dissertação de mestrado do Programa de Pós-Graduação em Metrologia Científica e Industrial, Universidade Federal de Santa Catarina, 103p. Florianópolis, Março de 2001.**

- [26] RIBBRO, Luis F.M. **Inovação da assistência metrológica Industrial através de serviços e assessoramento remoto.** Qualify de doutorado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, área de concentração em Metrologia e Instrumentação, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, Setembro de 2002.
- [27] NEIVA, Frederico M.
LEAL, José G.M.
SALGADO, João V.F.
RIBEIRO, Luis F.M. **Visita de Estudos em empresas: Plano de trabalho.** Documento interno da EqLMA do Projeto LASAR. Florianópolis. UFSC: Labmetro/EMC. Ver. 5 de Março de 2002.
- [28] URRUTIA, José I.D. **Avaliação dos processos de medição na Indústria, baseada no impacto econômico da operação de controle geométrico.** Dissertação de mestrado do Programa de Pós-Graduação em Metrologia Científica e Industrial, Universidade Federal de Santa Catarina, 87p. Florianópolis, Agosto de 2000.
- [29] PFEIFER, Tilo
TORRES, Fernando **Manual de gestión e Ingeniería de la calidad.** 1.ed. espanhola. Zaragoza: Mira Editores. ISBN: 84-89859-43-4. 586p. 1999.
- [30] ISOA'S 14253-2 **Geometrical Product Specifications (GPS) Inspection by measurement of workpieces and measuring equipment; Part 2: Guide of the implementation in GPS measurements, in calibration of measuring equipment and in product verification.** Genève, Switzerland: ISO, 73p. 1999.
- [31] CERTI **Garantia da Confiabilidade Metrológica na Medição por Coordenadas.** Apostila de Curso. Florianópolis, 04 a 06 de Abril de 2001.
- [32] ISO GUM **Gua para Expressão da Incerteza de Medição. Segunda Edição Brasileira do "Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement".** ISBN 85-86768-03-0. Rio de Janeiro: INMETRO, ABNT, SBM. 121p. 1998.
- [33] EA-4/02 **Expressão da Incerteza de Medição na Calibração. Referência Original do Editor EAL-R2, Expression of the Uncertainty of Measurements in Calibration.** ISBN 85-86768-04-9. Rio de Janeiro: INMETRO, ABNT, SBM. 34p. 1999.

- [34] EA-4/02-S1 **Expressão da Incerteza de Medição na Calibração, Exemplos. Suplemento 1 ao EA-4/02. ISBN 85-86768-02-2. Rio de Janeiro: INMETRO, SBM. 35p. 1999.**
- [35] CERTI **Metrologia: Instrumento para a Qualidade Industrial. Apostila de curso. Joinville, 22 a 24 de Setembro de 1998.**
- [36] LABMETRO **Sistema Metrológico/Rastreabilidade. Apostila do curso de mestrado em Metrologia Científica e Industrial. Florianópolis, Julho de 2000.**
- [37] COUTO, Paulo R.G.
MOISTTEIRO, Luiz C. **A Função de um laboratório de metrologia de acordo com o contexto da globalização. Anais do II Congresso Brasileiro de Metrologia - Metrologia 2000. Volume 3: II ENLAB, p. 183-189. São Paulo, Brasil, 4 a 7 de Dezembro de 2000.**
- [38] NBR ISO 10012-1 **Requisitos de Garantia da Qualidade para Equipamentos de Medição, Parte 1: Sistema de Comprovação metrológica para Equipamentos de Medição. Rio de Janeiro: ABNT. 14p. 1993.**
- [39] LEAL, José G.M. **Impacto econômico das atividades metrológicas influenciadas pela contratação de serviços e assessoramento remoto. Dissertação de mestrado em desenvolvimento do Programa de Pós-Graduação em Metrologia Científica e Industrial, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, Setembro de 2002.**
- [40] CERTI **Implantação da ISO 17025. Apostila de Curso. Florianópolis, 02 a 04 de Julho de 2001.**
- [41] NORONHA, José .L. **Estudo Dirigido: Métodos Avançados de Cálculo de Incerteza de Medição. Florianópolis. UFSC: Engenharia Mecânica. Setembro de 1997.**
- [42] LINK, Walter **Metrologia Mecânica: Expressão da Incerteza de Medição. 174p. Rio de Janeiro. Julho de 1997.**

- [43] GIAGIO, Marco A. **Gerenciamento técnico e econômico de laboratório de calibração credenciado.** Dissertação de mestrado do Programa de Pós-Graduação em Metrologia Científica e Industrial, Universidade Federal de Santa Catarina, 94p. Florianópolis, Maio de 2001.
- [44] ABNT ISO IEC Guia 2 **Termos Gerais e suas definições relativas à normalização e atividades correlatas.** Rio de Janeiro: ABNT. 17p. 1993.
- [45] NBR ISO/IEC 17025 **Requisitos gerais para competência de laboratórios de ensaio e calibração.** Rio de Janeiro: ABNT. 20p. 2001.
- [46] GOMIDE, Tânia M. M.
FRANÇA, Laura R. G.
BARBOSA, Eber P.
SAFFAR, Jorge M. E. **Laboratórios, essas organizações peculiares.** Anais do II Congresso Brasileiro de Metrologia - Metrologia 2000. Volume 3: II ENLAB, p. 49-58. São Paulo, Brasil, 4 a 7 de Dezembro de 2000.
- [47] CINTRA Filho, Orlando A. **Credenciamento de laboratório segundo a ISO 17025 - Uma questão de sobrevivência.** Anais do Encontro para a Qualidade de Laboratórios - ENQUALAB 2001. p.230-240. São Paulo, Brasil, 24 a 26 de julho de 2001.
- [48] LIONEL, Hélio **Qualidade no laboratório de ensaio: mais que uma simples implantação de uma norma.** Anais do Metrocal 2001 - Segundo Congreso Internacional de Metrologia para la Productividad y la Calidad. Universidade de Concepción, p.548-555. Chile, 25 al 27 de abril de 2001.
- [49] INMETRO **O que é o INMETRO.**
<http://www.inmetro.gov.br/metrologia>
- [50] ABNT ISO/IEC Guia 58 **Sistema de Credenciamento de laboratórios de calibração e ensaios - Requisitos gerais para operação e reconhecimento.** Rio de Janeiro: ABNT. 7p. 1993.
- [51] FRANÇA, Laura R.G. **Sistema de Gerenciamento de Instrumentos de controle geométrico: Caracterização e Desenvolvimento de um protótipo.** Dissertação do Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, 117p. Florianópolis. Março de 1993.

- [52] CERTI **Procedimento Geral para elaboração de documentação de resultados: PA-026. Procedimento Administrativo interno aos laboratórios da Fundação CERTI, Revisão 005.**
- [53] Dicionário da Língua Portuguesa <http://www.uol.com.br/michaelis/>
- [54] CERTI **Gerenciamento de Instrumentos de Medição segundo a ISO 9000 e QS 9000. Apostila de curso. Florianópolis, 09 e 10 de novembro de 1999.**
- [55] NOVASKI, Olívio
FRANCO, Samuel M. **Comparação entre métodos para »tabelecimentos e ajuste de intervalos de calibração. Anais do II Congresso Brasileiro de Metrologia - Metrologia 2000. Volume 3; II ENLAB, p. 39-48. São Paulo, Brasil, 4 a 7 de Dezembro de 2000.**
- [56] NEIVA, Frederico M. **Visita de Estudos em empresas: Planejamento dos Estudos de Caso. Documento interno da EqLMA do LASAR. Florianópolis. UFSC: Labmetro. 20 de marp de 2002.**
- [57] QS 9000 / MSA **MSA - Análise dos sistemas de medição: manual de referência. 1[^]. ed. brasileira. Tradução da 7. ed. americana. São Paulo: IQA - Instituto de Qualidade Automotiva. 126p. Junho de 1994.**