

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
Centro Tecnológico

Programa de Pós-graduação em Metrologia Científica e Industrial

**DESENVOLVIMENTO DE UMA SOLUÇÃO PARA
MONITORAMENTO REMOTO DA ESTABILIDADE
DE PROCESSOS DE MEDIÇÃO POR COORDENADAS**

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

Sidnei Rodrigo Basei

**Orientador: Carlos Alberto Schneider, Dr. Ing.
Co-orientador: Gustavo Daniel Donatelli, Dr. Eng.**

Florianópolis (SC), Setembro de 2008

DESENVOLVIMENTO DE UMA SOLUÇÃO PARA MONITORAMENTO REMOTO DA ESTABILIDADE DE PROCESSOS DE MEDIÇÃO POR COORDENADAS

Sidnei Rodrigo Basei

Esta dissertação foi julgada adequada para obtenção do título de

MESTRE EM METROLOGIA

e aprovada na sua forma final pelo PósMCI

(Programa de Pós-graduação em Metrologia Científica e Industrial).

Prof. Armando A. Gonçalves Jr., Dr. Eng.
Coordenador Pós-MCI

Prof. Carlos Alberto Schneider, Dr. Ing.
Orientador

Prof. Gustavo Daniel Donatelli, Dr. Eng.
Co-orientador

Banca examinadora:

Profa. Maria Inés Castiñeira, Dra. Sc.
Universidade do Sul de Santa Catarina

Prof. Armando A. Gonçalves Jr., Dr. Eng.
Universidade Federal de Santa Catarina

Celso Luiz Nickel Veiga, Dr. Eng.
Laboratório de Metrologia e Automatização

André Luiz Meira Oliveira, M. Sc.
Fundação CERTI

Na medida que as coisas acontecem percebemos que estamos sempre apoiados por pessoas importantes e que realmente fazem parte da nossa vida. Dedico esta dissertação à minha namorada Betina Wendel, que mesmo nos momentos em que nos privamos da companhia, deu-me carinho e amor, mostrando-me o quanto é bom não estar sozinho ao encarar os desafios e, principalmente, o quanto é gratificante ter alguém com quem festejar os méritos destas conquistas.

Também dedico este trabalho aos meus pais, Elcio e Nair Basei, que mesmo distantes e com saudades me apoiaram e me motivaram para que mais esta etapa fosse vencida em minha vida.

AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Pós-graduação em Metrologia Científica e Industrial, à Universidade Federal de Santa Catarina e ao Laboratório de Metrologia e Automatização, pela oportunidade oferecida e por acreditarem no meu trabalho.

À Fundação CERTI, CAPES e CNPQ, pela infraestrutura e pelo investimento realizado.

Aos professores, colegas e amigos pelos ensinamentos e experiências compartilhadas.

Aos companheiros de estrada, Francisco Augusto, Marcelo Nichele, Vitor Nardelli, Alexandre Lucas, Ademir Linhares, Daniel Hamburg-Piekar, pela contribuição e esforços no desenvolvimento e implantação deste trabalho.

Ao meu orientador, Carlos Alberto Schneider, por ter aceitado este desafio e por definir os rumos deste trabalho.

Ao amigo André de Oliveira e ao meu co-orientador, Gustavo Donatelli, por não medirem esforços na realização e correções deste documento.

Aos membros da banca, Maria Inés Castiñeira, minha melhor professora de compiladores na UNISUL, ao engenheiro Celso Luiz Nickel Veiga e ao professor Armando Albertazzi Jr., por aceitarem o meu convite.

Aos meus amigos Igor e Flávio, pelo companheirismo e pelos momentos agradáveis.

RESUMO

A verificação periódica de máquinas de medir por coordenadas (MMC), também conhecida como *interim-check*, é essencial para garantir, numa base periódica, que o estado da MMC é apropriado para obtenção de resultados confiáveis. Quando adequadamente realizada, permite detectar mudanças da estrutura da máquina e das condições ambientais, orientando o operador sobre as necessidades de intervenção da assistência técnica e agrega inteligência à definição dos intervalos de calibração. Infelizmente, a interpretação dos dados gerados pela verificação periódica não é trivial: em muitas empresas os operadores não estão suficientemente qualificados para interpretar esses dados e tomar decisões consistentes. Nessa situação, a atitude mais segura é reduzir o intervalo entre calibrações e chamar a assistência técnica cada vez que uma colisão ou mudança brusca de temperatura aconteça, assumindo o aumento de custo operacional decorrente.

Com o objetivo de resolver este problema, foi desenvolvida uma solução para monitoramento remoto dos parâmetros de estabilidade de máquinas de medir por coordenadas, que prevê a utilização de distintos artefatos e procedimentos de medição, configurável de acordo com as necessidades de cada empresa. Para tanto, a solução foi dividida em duas partes: a primeira define a aquisição, o armazenamento e o processamento dos dados de verificações rápidas, enquanto a segunda é responsável por prover a detecção de estados atípicos e estabelecer a interatividade entre os operadores e responsáveis das salas de medidas e uma competência analítica. Essa inteligência metrológica responsável pela análise dos resultados pode estar instalada dentro da própria empresa ou em um centro prestador de serviços metrológicos. Dessa forma é possível levar o conhecimento de especialistas em tecnologia de medição por coordenadas diretamente à sala de medidas, junto ao operador, viabilizando intervenções mais eficientes, reduzindo custos e atuando paralelamente na formação continuada do pessoal atuante na metrologia de produção.

Palavras-chaves: monitoramento remoto, verificação rápida, máquinas de medir por coordenadas.

ABSTRACT

Considering the coordinate measuring machine (CMM) quality maintenance process, the interim-check is a powerful tool to assure reliable measurement results. The interim check often gives the operator several informations about the CMM subsystems performance and the environment conditions influences, allowing him to call technical support when it is appropriated and also giving information to a possible calibration period changing. Unfortunately, the interim-check data analysis isn't a trivial task, mainly due to the operator inadequate qualifications when high-quality decisions are required.

In some cases, as probe collision or unexpected temperature change, the most common practice is the calibration period reduction and call technical support, assuming the operational costs due to maintenance of quality.

In order to minimize this problem, a remote monitoring solution is presented. This solution promotes the coordinate measuring machine stability parameter monitoring using any artifacts and measurement proceedings according to the company needs.

The solution is composed by two parts. The first one defines the acquisition method, data processing and interim-check results storage. The second solution part is focused on atypical state detection, providing analytical competence to support operators and engineer's decisions.

Furthermore, the metrological intelligence can be placed on the company or on a technical center/service provider, easily sharing or outsourcing the CMM intelligence and carrying the expert knowledge directly to measurement room. It means efficient support, cost reduction and continuous on-the-job training.

Key words: remote monitoring, interim check, coordinate measuring machine

LISTA DE ABREVIACES

SIGLA	DESCRIÇÃO
AIAG	Automotive Industry Auction Group
CEP	Controle Estatístico de Processos
CMD	Centro de Competência em Metrologia Dimensional
CMM	Coordinate Measuring Machine
CNC	Computer Numerical Controller
CRM	Customer Relationship Management
DMIS	Dimensional Measurement Interface Standard
DML	Dimensional Markup Language
GD&T	Dimensionamento e Tolerâncias Geomtricas
I++ DME	Dimensional Measuring Equipment Interface
ICTI	Instituições de Ciência, Tecnologia & Inovao
ISO	International Organization for Standardization
LASAR	Laboratórios Associados de Serviços e Assessoramento Remoto
LCD	Laboratório de Controle Dimensional
MMC	Máquina de Medir por Coordenadas
MPE	Maximum Permissible Error
PAAS	Platform as a Service
PMAP	Process Measurement Assurance Program
QA	Quality Assurance
RF	Requisito Funcional
RNF	Requisito não-funcional

RSS	Really Simple Syndication
SAAS	Software as a Service
SM	Sistema de medição
SMTP	Simple Mail Transfer Protocol
STEP	Standard for the Exchange of Product model data
TI	Tecnologia da Informação
TIB	Tecnologia Industrial Básica
TIC	Tecnologia da Informação e Comunicação
TMC	Tecnologia de Medição por Coordenadas
VIM	Vocabulário Internacional de Termos Fundamentais e Gerais de Metrologia
VPN	Virtual Private Network
WEB	World-Wide Web
XML	Extensible Markup Language

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Falta de mão-de-obra especializada para interpretação dos dados.....	17
Figura 2: Proposta de solução.....	19
Figura 3: Subsistemas de uma máquina de medir por coordenadas.....	23
Figura 4: Diagrama de Ishikawa das fontes de erro na medição por coordenadas.....	24
Figura 5: Exemplo de aplicação do CEP na verificação rápida.....	27
Figura 6: Barra de esferas telescópica, um artefato bidimensional.....	30
Figura 7: Exemplos de placas de esferas.....	31
Figura 8: Artefato Quadra Mensura.....	32
Figura 9: Cubo de esferas (esquerda) e tetraedro (direita).....	32
Figura 10: Multi-Feature Check - peça universal de testes.....	34
Figura 11: Influência relativa da MMC, do ambiente e do operador sobre a incerteza de medição.....	35
Figura 12: Conhecimentos requeridos por operadores de MMC.....	36
Figura 13: Capacitação de recursos humanos.....	37
Figura 14: Fases do programa de aprendizado EUKOM.....	39
Figura 15: Padronização na TMC.....	45
Figura 16: Visão de benefícios da programação DMIS.....	46
Figura 17: Modelo de interoperabilidade da interface I++/DME.....	47
Figura 18: LASAR Central no gerenciamento do conhecimento metrológico.....	49
Figura 19: A problemática das informações no âmbito da metrologia	51
Figura 20: Conceito do monitoramento remoto baseado na Internet.....	53
Figura 21: Expectativas de mudanças nos serviços.....	55
Figura 22: Modelos de implantação da solução.....	59
Figura 23: Proposta de solução detalhada.....	61
Figura 24: Diagrama de processos do Procedimento 1.....	63
Figura 25: Fluxograma básico do estudo de estabilidade.....	64

Figura 26: Diagrama de processos do Procedimento 2.....	64
Figura 27: Fonte de conhecimento da equipe de analistas	66
Figura 28: Definição dos atores no sistema.....	70
Figura 29: Especificação dos casos de uso para realização de verificação rápida.....	71
Figura 30: Casos de uso de gestão do sistema.....	72
Figura 31: Participação dos atores na implantação da solução.....	72
Figura 32: Módulos, protocolos e sistemas que compreendem a solução.....	73
Figura 33: Solução para aquisição, processamento e envio dos dados.....	75
Figura 34: Reutilização de rotinas para aquisição e processamento dos dados.....	75
Figura 35: Análise remota dos dados no CMD.....	77
Figura 36: Fluxograma de realização da verificação rápida e suporte.....	79
Figura 37: Bloco de motor sendo medido na MMC.....	83
Figura 38: Gráfico de indivíduos do erro de ortogonalidade entre os planos X e Z.....	85
Figura 39: Gráficos de indivíduos (acima) e amplitude móvel (abaixo) do parâmetro DX....	86
Figura 40: Gráficos CEP do erro de posicionamento no eixo X com a compensação da temperatura.....	87
Figura 41: Gráfico do erro de ortogonalidade entre os eixos X e Z.....	88
Figura 42: Medição do Quadra Mensura utilizando sensores para compensação térmica.....	90
Figura 43: Presença de “outliers”	91
Figura 44: Gráficos de temperatura na aplicação “B”.....	92
Figura 45: Gráfico dos erros de ortogonalidade em XY (esquerda) e XZ (direita).....	93
Figura 46: Medição da peça calibrada na máquina Mitutoyo.....	94
Figura 47: Definição dos limites na medição da peça calibrada.....	96
Figura 48: Relação entre as fontes as incertezas envolvidas.....	97
Figura 49: Relação da verificação rápida com o intervalo de calibrações.....	99

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Relação de normas para verificação rápida.....	28
Tabela 2: Caracterização dos modelos de aplicação.....	58
Tabela 3: Relacionamento entre os modelos de aplicação e as entidades propostas.....	60
Tabela 4: Listagem dos requisitos funcionais.....	67
Tabela 5: Listagem dos requisitos não-funcionais.....	68
Tabela 6: Identificação das regras de negócios iniciais.....	68
Tabela 7: Relação de parâmetros e módulos para busca no repositório.....	76
Tabela 8: Características técnicas da aplicação "A".....	82
Tabela 9: Relação dos parâmetros médios DX, DY e DZ com a compensação da temperatura	87
Tabela 10: Características da aplicação "B".....	89
Tabela 11: Relação de erros monitorados na aplicação "B".....	90
Tabela 12: Características da aplicação "C".....	94

SUMÁRIO

RESUMO

ABSTRACT

LISTA DE ABREVIACÕES

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE TABELAS

Capítulo 1

CONFIABILIDADE METROLÓGICA NO CHÃO DE FÁBRICA.....15

1.1 - OBJETIVOS DO TRABALHO.....18

1.2 - PROPOSIÇÃO NA ERA DA TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO.....19

1.3 - DESAFIOS METROLÓGICOS.....20

1.4 - DESENVOLVIMENTO DA DISSERTAÇÃO.....21

Capítulo 2

**VERIFICAÇÃO RÁPIDA DE MÁQUINAS DE MEDIR POR COORDENADAS NA
INDÚSTRIA.....22**

2.1 - MONITORAMENTO CONTÍNUO DE MMC.....22

2.1.1 - Procedimentos para avaliação completa.....25

2.1.2 - O procedimento de verificação rápida.....26

2.2 - EVOLUÇÃO DA VERIFICAÇÃO RÁPIDA.....27

2.2.1 - Normatização.....28

2.2.2 - Artefatos mecânicos para verificação rápida.....29

2.2.3 - A utilização de peças de produção calibradas.....33

2.3 - A CARÊNCIA DE MÃO DE OBRA ESPECIALIZADA.....	34
2.3.1 - Influência do operador.....	35
2.3.2 - O perfil atual dos operadores.....	36
2.3.3 - Iniciativas para qualificação de mão-de-obra em TMC.....	37
2.4 - POTENCIAL DA VERIFICAÇÃO RÁPIDA NO CONTEXTO INDUSTRIAL	42
Capítulo 3	
SOLUÇÕES DE TIC NA EVOLUÇÃO DA TECNOLOGIA DE MEDIÇÃO POR COORDENADAS.....	44
3.1 - PADRONIZAÇÕES NO PROCESSO DE INSPEÇÃO DIMENSIONAL.....	44
3.1.1 - Programa de inspeção.....	46
3.1.2 - Interoperabilidade de softwares de inspeção dimensional.....	47
3.1.3 - Representação dos resultados de medição.....	48
3.2 - INTERNET PARA ACESSORAMENTO REMOTO.....	48
3.2.1 - Sistemas de metrologia na Internet.....	49
3.2.2 - Prestação de serviços pela Internet.....	54
3.3 - BALIZADOR PARA UMA SOLUÇÃO DE VERIFICAÇÃO RÁPIDA.....	55
Capítulo 4	
DESENVOLVIMENTO DE UMA SOLUÇÃO COMPETITIVA PARA VERIFICAÇÃO RÁPIDA.....	57
4.1 - CONTEXTUALIZAÇÃO DA APLICAÇÃO.....	57
4.2 - VISÃO GERAL DA SOLUÇÃO PROPOSTA.....	59
4.3 - DIAGRAMA DE PROCESSOS ESSENCIAIS.....	62
4.3.1 - Procedimento 1: Estudo da estabilidade da MMC no LCD.....	63
4.3.2 - Procedimento 2: Monitoramento contínuo da MMC.....	64
4.3.3 - Procedimento 3: Comunicação entre o LCD e o CMD.....	65
4.3.4 - Procedimento 4: Análise técnica remota.....	66
4.4 - DEFINIÇÃO DA ARQUITETURA DA SOLUÇÃO.....	67
4.4.1 - Requisitos funcionais, não-funcionais e regras de negócio.....	67
4.4.2 - Especificação dos atores e “casos de uso”.....	69
4.5 - DEFINIÇÃO DOS MÓDULOS DA SOLUÇÃO.....	73
4.5.1 - A aplicação cliente.....	74

4.5.2 - Análise remota dos resultados.....	76
4.5.3 - Monitoramento e suporte técnico em tempo real.....	78
4.6 - APLICABILIDADE DA SOLUÇÃO.....	79
 Capítulo 5	
TESTES OPERACIONAIS DA SOLUÇÃO.....	81
5.1 - APLICAÇÃO “A”.....	82
5.1.1 - Diagnóstico das necessidades.....	82
5.1.2 - Configuração.....	84
5.1.3 - Definição dos limites de controle e operacionalização do sistema.....	84
5.1.4 - Discussões dos resultados obtidos.....	86
5.2 - APLICAÇÃO “B”.....	89
5.2.1 - Configuração.....	90
5.2.2 - Definição dos limites de controle e operacionalização do sistema.....	91
5.2.3 - Discussões dos resultados obtidos.....	92
5.3 - APLICAÇÃO “C”.....	93
5.3.1 - Configuração.....	94
5.3.2 - Definição dos limites de controle.....	95
5.3.3 - Discussões dos resultados obtidos.....	97
5.4 - AVALIAÇÃO DA SOLUÇÃO.....	98
 Capítulo 6	
RESTROSPECTIVA DOS AVANÇOS PROPORCIONADOS E	
DESENVOLVIMENTOS FUTUROS.....	100
6.1 - AVANÇOS PROPORCIONADOS.....	101
6.2 - OPORTUNIDADES FUTURAS.....	102
 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	
 ANEXO A: DESENHO MECÂNICO DA PEÇA PADRÃO	

Capítulo 1

CONFIABILIDADE METROLÓGICA NO CHÃO DE FÁBRICA

O conceito de qualidade não é novo, visto que sua origem é conhecida na Europa medieval, quando os produtos ainda eram fabricados artesanalmente. Naquela época, o conceito primitivo de qualidade era baseado na avaliação do próprio artesão, que a partir de regras e procedimentos existentes, marcava o próprio produto defeituoso, a fim de diferenciá-los dos outros [1]. Todavia, somente após a revolução industrial, com o surgimento das linhas de produção em série e com a evolução da ciência e da tecnologia, a indústria é forçada a entrar em profunda modificação, onde conceitos de processos industriais são criados e a garantia da qualidade torna-se progressivamente uma necessidade.

Com isso, a constante melhoria no processo fabril tem feito dos preceitos de aumento da qualidade, redução de custos e aumento da produtividade os principais diferenciais competitivos para a permanência de uma empresa no mercado [2], denotando uma necessidade de se conhecer o processo produtivo a fim de melhorá-lo constantemente.

Porém, para que a qualidade seja devidamente avaliada, ela deve ser quantificada. Fazendo referência às palavras de Lord Kelvin (1886), ao dizer que “o conhecimento só é sólido quando pode ser medido” [3], é que a metrologia se introduz nesse contexto como uma ferramenta agregadora de conhecimento na cadeia produtiva.

Segundo o VIM (Vocabulário Internacional de Termos Fundamentais e Gerais de Metrologia) [4], a metrologia é uma ciência que abrange todos os aspectos teóricos e práticos relativos às medições, em quaisquer campos da ciência ou tecnologia. Assim, quando bem aplicada, a metrologia pode ser eficiente na avaliação dos processos de fabricação, bem como na qualidade dos produtos finais, permitindo a geração de conhecimento e viabilizando a

melhoria contínua do sistema de gestão da qualidade [1][2].

Entretanto, para que a metrologia seja uma fonte real de informações é preciso que os resultados gerados sejam confiáveis, e garantir esta qualidade metrológica em todas as etapas produtivas não é uma tarefa trivial. A falta de confiabilidade nas medições, ao longo do tempo, impossibilita a tomada de decisões eficiente e eficaz quando uma causa especial acontece, dificultando uma ação satisfatória sobre o processo e desencadeando custos e prejuízos desnecessários [5].

Segundo a norma do Departamento de Defesa estadunidense de agosto de 1988 [6], a confiabilidade metrológica é definida como “a probabilidade que o equipamento de teste e medição (ET&M) e o padrão de medição têm em se manter dentro de limites de tolerâncias em um intervalo de tempo estabelecido”, ou seja, manter resultados equivalentes, dentro de intervalos de incerteza, para as medições realizadas.

Na indústria automobilística e na metal-mecânica, que exigem tolerâncias geométricas reduzidas, a garantia da confiabilidade em seus sistemas de medição é um fator crítico. Nessa situação de exigência, faz-se necessário o uso de sistemas de alta exatidão e capazes de medir peças com geometrias complexas. É nesse meio que as máquinas de medir por coordenadas (MMC) se inserem [7], tornando-se um dos mais poderosos recursos para a garantia da qualidade geométrica na atualidade [8].

Os resultados de medição obtidos com uma MMC, contudo, são sensíveis às influências externas, tais como ambiente (temperatura, sujeira, vibração, etc.), procedimento (estratégias) de medição e operadores [7], exigindo a realização de investimentos em todos estes aspectos [7][9][10][11][12].

Tendo em vista que a garantia da confiabilidade metrológica das MMC é indispensável, faz-se necessário, além de todos esses investimentos citados, também o acompanhamento da sua estabilidade metrológica ao longo do tempo. Nesse sentido, existem algumas ferramentas que oferecem mecanismos para o monitoramento contínuo da MMC, assegurando que os valores indicados pela máquina continuam válidos (ou não) de acordo com o último certificado de calibração [2][8][13][14][15].

Utilizando conceitos de monitoramento, do controle e melhoria da capacidade dos sistemas de medição do PMAP (Programa de Garantia da Confiabilidade das Medições) [16] [17], do controle estatístico de processo (CEP) [18] e do manual de referência do MSA (*Measurement System Analysis*) [19] é possível estabelecer metas e prever as necessidades de cada MMC e, em particular, programar ajustes e calibrações.

Contudo, a avaliação completa de uma MMC pode ser muito cara e exigir um longo período de tempo, o que inviabiliza esse monitoramento frequente no contexto. Para solucionar estes problemas financeiros e operacionais na verificação das MMC, há a possibilidade da realização de verificações rápidas, ou *interim-checks*. Estas verificações, além de serem amparadas pelas normas ISO 10360-2:2001 [14] e VDI/VDE 2617-5 [15], são eficientes para a indústria pois, embora não diagnostiquem todos os erros da máquina, viabilizam uma boa estimativa do seu estado atual durante o período entre calibrações.

Entretanto, a análise dos resultados gerados na realização das verificações rápidas não é uma tarefa simples [8][13] e exige que o analista seja suficientemente capacitado para avaliar criticamente os resultados, considerando todas as influências possíveis. Assim, a falta de mão-de-obra especializada no chão de fábrica é uma restrição desse processo (Figura 1), haja visto que esse perfil de profissional especialista é raramente encontrado na indústria (em virtude do seu alto custo), impossibilitando o retorno esperado dos investimentos realizados e favorecendo a tomada de decisões equivocadas.

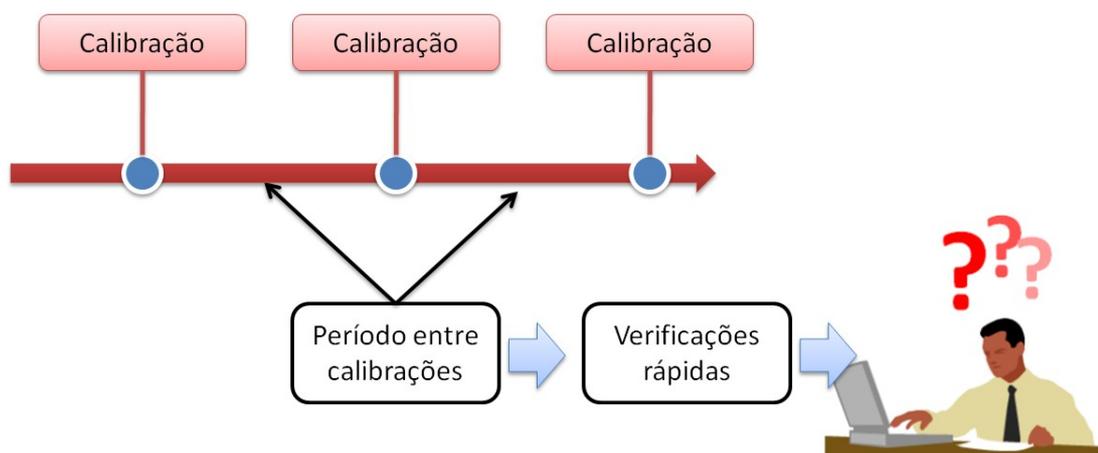


Figura 1: Falta de mão-de-obra especializada para interpretação dos dados

De acordo com essa figura, é possível observar que, embora existam soluções para garantir a confiabilidade das medições entre as calibrações da MMC, a realização superficial da análise de um gráfico de controle alimentado pelo histórico de verificações rápidas inviabiliza grande parte desses esforços e investimentos. A má interpretação dos dados pode resultar em ajustes indevidos da máquina (quando a máquina está boa, mas uma causa especial está agindo no processo) ou em prejuízos relativos à má qualidade, quando, por exemplo, uma peça boa é rejeitada, ou uma peça ruim é aprovada e entregue ao cliente.

Nesse último caso, quando a qualidade é afetada e peças não-conformes são enviadas aos clientes, a imagem da empresa está ameaçada e os custos da má-qualidade podem ser muito altos e o seu cálculo torna-se complexo [2].

1.1 - OBJETIVOS DO TRABALHO

Considerando esse problema no processo de verificação rápida, bem como as consequências que podem desencadear-se a partir da má interpretação dos resultados, este trabalho foi desenvolvido com o objetivo de oferecer uma solução para monitoramento remoto dos parâmetros de estabilidade de máquinas de medir por coordenadas, com suporte a distintos artefatos e procedimentos de medição, adequando-se às necessidades especiais de cada indústria.

Para que este objetivo principal seja alcançado, alguns objetivos específicos foram definidos:

- estudar a tecnologia de medição por coordenadas e as necessidades das indústrias brasileiras relacionadas com a verificação rápida de máquinas de medir por coordenadas;
- desenvolver uma sistemática para implantação de uma solução de verificação rápida de MMC, contemplando desde a análise de estabilidade até o seu monitoramento contínuo;
- prover um ambiente robusto e confiável que possibilite a análise remota dos dados, oferecendo flexibilidade ao especialista;

- possibilitar que o operador solicite suporte especializado toda vez que um problema ou comportamento atípico é detectado;
- criar uma base de conhecimento centralizada e de fácil acesso, viabilizando que novos problemas sejam solucionados de forma mais eficiente.

1.2 - PROPOSIÇÃO NA ERA DA TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO

Para que esses objetivos fossem alcançados, a proposta de solução conta com uma metodologia desenvolvida sob a rede mundial de computadores, a Internet, utilizando todos os seus recursos de interatividade, que se tornaram ainda mais explícitos com a popularização do conceito da WEB 2.0 [20]. A Figura 2 ilustra a proposta de solução que será discutida no capítulo 4 deste documento.

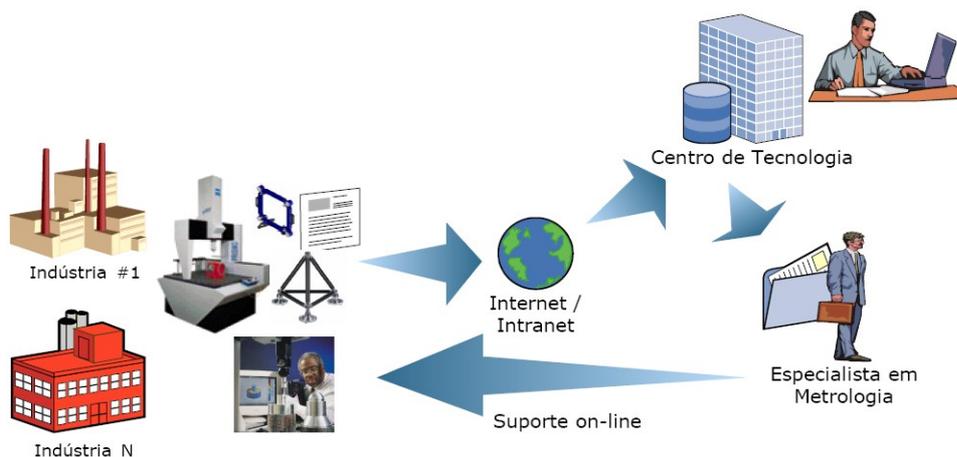


Figura 2: Proposta de solução

Identifica-se nesta proposta a presença de duas entidades bem definidas e que interagem pela Internet. A primeira refere-se a um local de medição que é responsável pelo controle dimensional das peças produzidas em uma determinada linha de produção da empresa. Nesse local existem uma ou mais MMC que serão monitoradas através da verificação rápida utilizando um artefato calibrado.

A segunda entidade é responsável pelo acompanhamento das verificações realizadas na indústria, detectando quando uma causa especial está agindo nas medições e, então, oferecendo suporte e assessoramento remoto. Neste ambiente uma equipe de analistas

especializados em tecnologia de medição por coordenadas (TMC) faz-se disponível para prestar suporte técnico e consultorias *on-line* para as empresas e diretamente ao operador.

Esta proposta pode ser aplicada independente da capacidade metrológica de cada indústria, pois os modelos desenvolvidos são capazes de adaptar-se às necessidades de cada indústria, tanto na forma de prestação de serviços quanto na forma de uma solução dedicada.

1.3 - DESAFIOS METROLÓGICOS

Os desafios metrológicos que caracterizam este trabalho podem ser divididos em benefícios que serão alcançados no curto prazo e outros que serão conquistados ao longo do tempo. Os benefícios no curto prazo são:

- maior eficiência do processo de verificação rápida nas empresas.
- capacidade de realizar a análise dos dados das verificações rápidas remotamente;
- melhor capacidade de detecção de causas especiais no processo de medição;
- melhor relacionamento entre os responsáveis das medições e especialistas na temática;

E, por sua vez, os benefícios que são pretendidos no longo prazo:

- garantia da confiabilidade dos resultados das medições;
- capacidade de ajustar o intervalo de calibração da MMC;
- redução de custos com a má-qualidade;
- redução de custos com mão-de-obra especializada;
- desenvolver o conhecimento metrológico em todos os envolvidos, principalmente nos operadores das MMC.

1.4 - DESENVOLVIMENTO DA DISSERTAÇÃO

Para melhor apresentação dos resultados deste trabalho, o documento foi dividido em 6 capítulos. Após esta Introdução, no capítulo 2 inicia-se a revisão bibliográfica do estado da arte na área de verificação rápida, onde são abordados assuntos sobre a necessidade atual da indústria para a verificação rápida e suas deficiências com a tecnologia e a carência de mão-de-obra especializada.

No capítulo 3, estes estudos se estendem às tendências na evolução da tecnologia de medição por coordenadas (TMC). O capítulo inicia fazendo uma abordagem das tendências de padronizações que estão em desenvolvimento na área de TMC e finaliza mostrando o potencial do uso da Internet no crescimento de negócios para a metrologia em geral. Os capítulos 4 e 5 abordam, respectivamente, o desenvolvimento de uma solução para verificação rápida e os testes operacionais realizados para validação dos desafios metrológicos definidos neste trabalho.

Na conclusão é realizada uma retrospectiva dos avanços proporcionados com o desenvolvimento deste projeto e o que pode ser feito ainda para melhorar e garantir a confiabilidade metrológica na área de medição por coordenadas, além de sugestões de evolução do trabalho no sentido de novos desenvolvimentos e pesquisas futuras.

Todo o desenvolvimento da revisão bibliográfica foi amparado pelo sistema de gestão do conhecimento da metrologia (GECOMETRO), um sistema que contém artigos, dissertações e outros documentos relacionados às temáticas aqui estudadas.

Capítulo 2

VERIFICAÇÃO RÁPIDA DE MÁQUINAS DE MEDIR POR COORDENADAS NA INDÚSTRIA

A evolução dos produtos e o aumento da exigência da qualidade fazem com que cada vez mais as tolerâncias geométricas sejam reduzidas, incrementando a necessidade da confiabilidade das medições, com sistemas cada vez mais complexos [2][21]. A utilização das máquinas de medir por coordenadas (MMC) no controle geométrico de peças produzidas, principalmente nas indústrias metal-mecânica e automotiva, desperta a preocupação dos usuários com relação à qualidade das medições ao longo do tempo, gerando dúvidas sobre a sua estabilidade e confiabilidade metrológica.

Existem algumas maneiras eficazes para resolver esse problema metrológico: a primeira e mais cara seria a realização de verificações completas na máquina toda vez que a sua integridade fosse questionada. Já a segunda, tema deste capítulo, prevê o monitoramento contínuo das MMC com a utilização da verificação rápida periodicamente.

2.1 - MONITORAMENTO CONTÍNUO DE MMC

As máquinas de medir por coordenadas são formadas por vários subsistemas (Figura 3). O desgaste e a deterioração natural, assim como também os incidentes típicos das atividades de medição nas indústrias, afetam alguns desses subsistemas e, conseqüentemente, o desempenho metrológico da MMC. Essas variações devem ser monitoradas para que seja possível perceber quando mudanças significativas acontecem no comportamento [2][13].

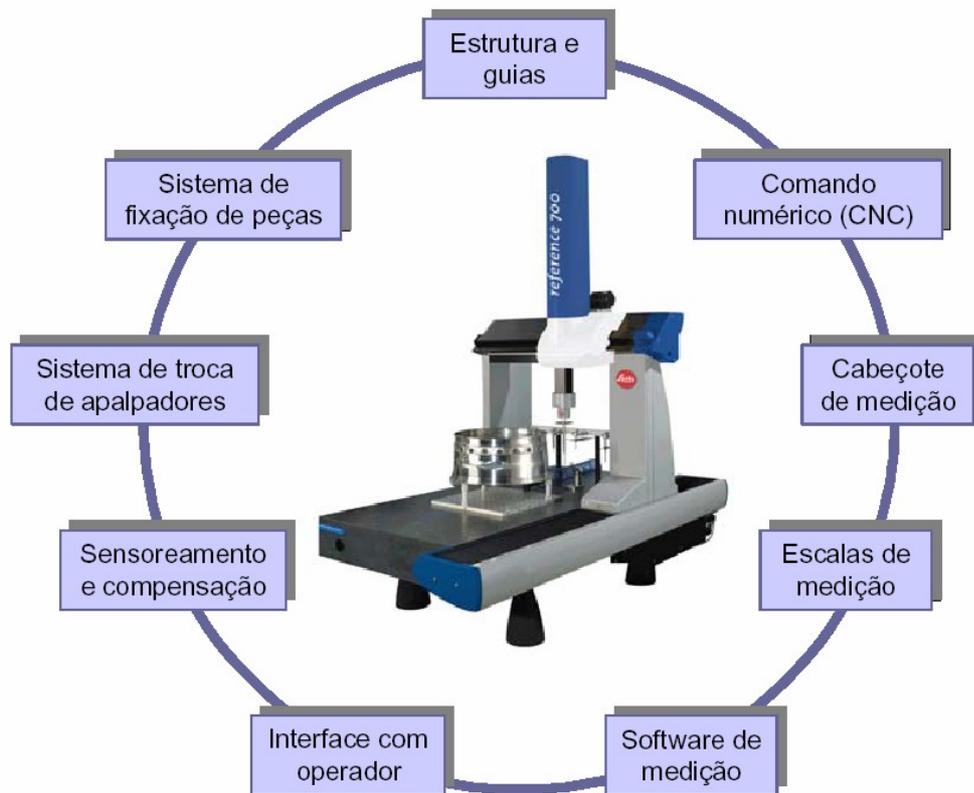


Figura 3: Subsistemas de uma máquina de medir por coordenadas

Fonte: DONATELLI *et al* [2]

Dentre os subsistemas apresentados, os que podem sofrer maior degradação ao longo do tempo são os de origem mecânica, como por exemplo, as guias, o cabeçote e as escalas de medição. Porém, quando nenhuma causa específica acontece, essas variações naturais da máquina refletem em um erro muito pequeno quando comparado com outros fatores, como o ambiente de medição, e também com a própria influência do operador [2].

Muitos são os fatores que influenciam no resultado de medições utilizando a MMC. A Figura 4 apresenta um diagrama de causas e efeito das fontes de erros já discutidas em alguns trabalhos anteriores [5][8][13][22].

Estudos realizados definem que a relação entre os erros causados pela máquina, ambiente e operador estão na ordem de 1:10:100 [10], respectivamente, o que justifica a preocupação das indústrias não apenas no investimento em máquinas de boa exatidão, mas também em um bom ambiente de medição, treinamento e capacitação contínua de operadores.

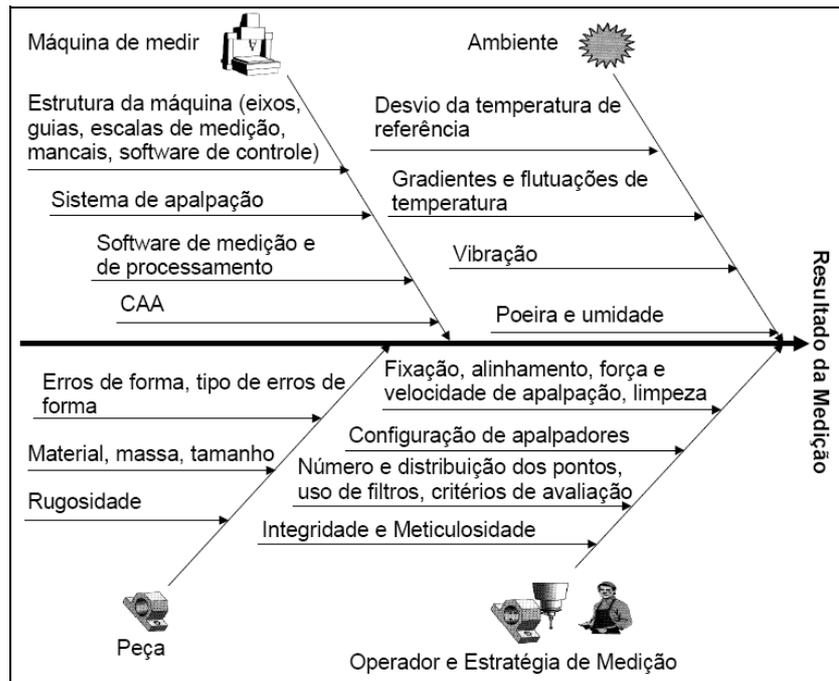


Figura 4: Diagrama de *Ishikawa* das fontes de erro na medição por coordenadas
Fonte: OLIVEIRA e SOUZA [8]

Mesmo com a realização de calibrações periódicas, por exemplo a cada dois anos, a máquina pode apresentar instabilidades ocasionadas pela variação atípica de um ou mais subsistemas, ou, ainda, por influências externas, como é o caso da temperatura. Por isso, dentre os agravantes que comprometem diretamente a confiabilidade das MMC's encontra-se a ausência das verificações periódicas [8], deixando a MMC influenciada pela ação destas causas especiais. Assim, para manter a rastreabilidade das medições, faz-se necessário que a MMC seja periodicamente avaliada, utilizando para isso um artefato rastreável a um padrão nacional [14].

Existem distintos métodos normatizados para o monitoramento da performance de MMC, que podem ser divididos em dois grupos: os denominados procedimentos de avaliação completa da máquina, que compreendem procedimentos mais complexos, como os ensaios de aceitação, de reverificação e calibrações; ou os procedimentos de verificações rápidas [14], que são procedimentos mais simplificados, e podem ser realizados no dia-a-dia [13].

2.1.1 - Procedimentos para avaliação completa

Em geral, estes procedimentos detectam um maior número de erros sistemáticos – possibilitando a sua compensação – e aleatórios da máquina. O ideal seria que a indústria pudesse avaliar suas MMC's frequentemente utilizando este tipo de procedimento. Porém são normalmente caros e demorados, impossibilitando que sejam realizados com uma frequência maior, como por exemplo, semanalmente. Por esse motivo, uma avaliação completa da MMC é habitualmente utilizada em situações específicas e em um longo intervalo de tempo.

Basicamente, existem dois tipos de ensaios que podem ser realizados sem a necessidade de calibrar a MMC, são eles [23]:

- ensaio de aceitação: realizado pelo fornecedor com o intuito de verificar se a conformidade da máquina está dentro das especificações do fabricante, após a execução de serviço de instalação ou de manutenção;
- ensaio de reverificação: realizado periodicamente pelo usuário para verificar se o desempenho da máquina se mantém dentro de limites pré-definidos. Esses ensaios são realizados geralmente com o uso de padrões escalonados e placas de esferas, avaliando todo o volume da MMC.

Além desses, uma outra alternativa que pode ser realizada, é a calibração propriamente dita. Porém, o processo de calibração de uma MMC é muito caro, visto que uma equipe especializada deve ser chamada, além de que devem ser suspensas as medições durante o tempo utilizado no procedimento da calibração. A calibração de uma MMC e a correção dos seus erros sistemáticos é a melhor opção para a manutenção da rastreabilidade das medições, porém, é economicamente inviável e, por esse motivo, o intervalo de calibração destas máquinas é aproximadamente de um a dois anos.

Assim, dentre as principais desvantagens da utilização desses procedimentos, destacam-se [8][13][17][24]:

- necessidade de se chamar uma assistência técnica especializada (podendo ser o próprio fabricante), o que eleva o custo desse tipo de avaliação da MMC;

- tempo elevado para a avaliação completa da MMC, visto que a utilização de padrões complexos aumenta significativamente o tempo para a verificação e/ou calibração da máquina.

Estes procedimentos devem ser realizados de forma periódica, e o ideal seria que esse período pudesse ser ajustado de acordo com o estado atual da máquina. Nesse sentido, a verificação rápida pode ser uma solução para ajudar na melhor definição desse período, proporcionando uma melhor relação custo/benefício e preservando a confiabilidade das medições.

2.1.2 - O procedimento de verificação rápida

O procedimento de verificação rápida avalia se a performance da MMC permanece estável após a última calibração [13], ou ainda se uma causa especial aconteceu [22][25]. Este processo consiste na realização de medições periódicas, utilizando um padrão rastreável a um padrão nacional e capaz de expressar os principais erros da MMC. Nesse caso, não há o interesse em diagnósticos [13], mas sim em monitorar alguns parâmetros de desempenho da MMC, utilizando o conceito de controle de estabilidade com o uso de ferramentas estatísticas, como o PMAP (*Process Measurement Assurance Program* – Programa de Garantia de Qualidade das Medições) baseado no controle estatístico de processos (CEP) [16][26].

Esses parâmetros são monitorados normalmente por gráficos de média e amplitude, recomendados pelo MSA (*Measurement System Analysis*) [19], podendo também serem utilizados gráficos de indivíduos e amplitude móvel, quando por razões econômicas ou operacionais não for possível realizar mais repetições na verificação rápida [23]. Com a prática das verificações rápidas ao longo do tempo, constrói-se uma base de dados que demonstra o comportamento da MMC e do ambiente de medição, possibilitando diferenciar as variações naturais do sistema de medição (SM) daquelas resultantes da atuação de causas especiais. Assim, os erros sistemáticos e aleatórios ficam evidenciados, viabilizando ações preventivas e corretivas.

Basicamente, o processo de implantação de verificação rápida, por utilizar o conceito do CEP, dá-se em duas fases distintas. A Figura 5 apresenta um gráfico com estas fases bem definidas, desde o estudo da estabilidade até a verificação periódica. Estas fases são [18][23]:

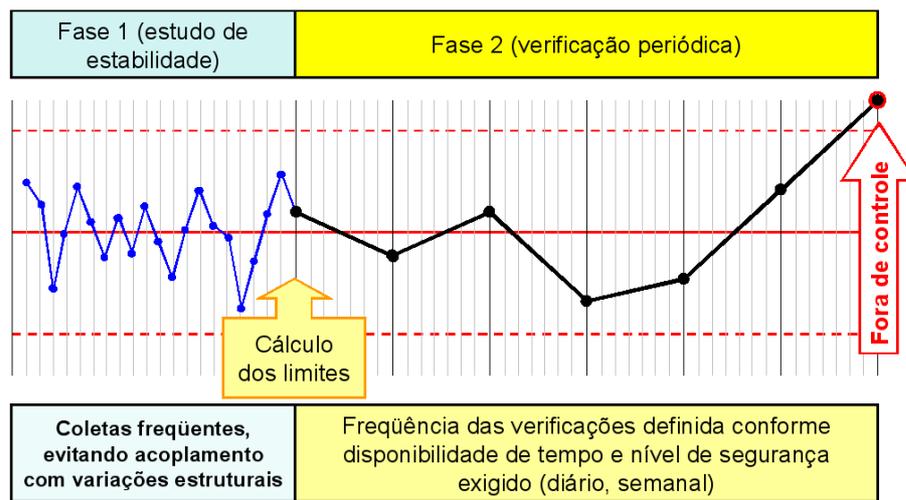


Figura 5: Exemplo de aplicação do CEP na verificação rápida
 Fonte: Programa EUCLIDES [23]

- Fase 1: estudo de estabilidade da MMC, onde uma série de medições são realizadas em um curto período de tempo, com o objetivo de evitar variações estruturais da máquina, ou seja, obtendo apenas o erro de repetitividade das medições, em condições normais de utilização;
- Fase 2: as verificações periódicas são realizadas com uma determinada frequência (diária, semanal ou quinzenal), e os resultados devem estar dentro dos limites de controle para que a máquina seja considerada estatisticamente estável.

2.2 - EVOLUÇÃO DA VERIFICAÇÃO RÁPIDA

A verificação rápida tem se expandido muito nos últimos anos na tentativa de aumentar a confiabilidade das medições para assim reduzir custos decorrentes da má-qualidade. Com a ISO 10360-2:2001 [14], a diretriz alemã VDI/VDE 2617-5:2000 [15] e, de igual importância a ISO/TS 15530-3:2004 (que estabelece o uso de peças calibradas para avaliar a incerteza de medição), além da fabricação recente de diversos artefatos, a indústria tem a possibilidade de escolha da melhor solução para suas necessidades, buscando sempre um equilíbrio entre seus requisitos de tolerâncias geométricas, condições ambientais, exigências de clientes, normas vigentes e custos da qualidade.

O Anexo A da norma ISO 10360-2:2001 faz forte recomendação quanto a verificação rápida (*interim-check*) de MMC no período entre calibrações. Segundo a norma, a realização da verificação rápida é fundamental para garantia da confiabilidade das medições e deve ser realizada em intervalos curtos, de acordo com as necessidades da indústria e análise do ambiente de medição. Assim, a verificação rápida torna-se uma solução de baixo custo e recomendada por norma, o que justifica a sua aplicação também na indústria [13][24].

2.2.1 - Normatização

O surgimento de normas e diretrizes internacionais relacionadas à verificação rápida, bem como as exigências de qualidade, têm colaborado na disseminação dessa ferramenta, viabilizando a sua utilização no chão de fábrica das indústrias. A Tabela 1 mostra algumas normas importantes no processo de garantia da confiabilidade das medições utilizando MMC [7][23].

Tabela 1: Relação de normas para verificação rápida

Norma	Descrição
ISO 10360-2:2001 [14]	Para máquinas utilizadas em medição de comprimentos. Especifica métodos de ensaio para determinação de erros máximos permitidos (MPE) na medição de comprimentos e do erro máximo permissível de apalpação.
ISO 10360-5:2001 [27]	Especifica métodos de ensaio para determinação de MPE das MMC com apalpador múltiplo (tipo estrela) ou cabeçote indexável.
VDI/VDE 2617-5:2001 [15]	Recomenda o monitoramento contínuo de MMC utilizando peças calibradas e placas de esferas.
ISO/TS 15530-3:2004 [28]	Estabelece o uso de peças padrão similares às peças de produção, nas quais é realizada uma série de medições para avaliar incertezas.
B89.4.1	Menciona requisitos e métodos para testar o desempenho de MMC utilizando padrões como laser interferométrico e padrões de comprimento;

Outra norma que deve ser considerada neste trabalho é a ISO/TS 16949:2002 [29]. Essa é uma norma automotiva mundial elaborada por um grupo de fabricantes automotivos (General Motors, Ford, Daimler Chrysler, BMW, PSA Citroen, Volkswagen, Renault, Fiat), com o objetivo principal de fornecer produtos de melhor qualidade. Para tal, ela define requisitos do sistema de qualidade baseados na ISO 9001:2000, AVSQ (Itália), EAQF (França), QS-9000 (USA) e VDA 6.1 (Alemanha). Dessa forma, com a ISO/TS 16949:2002, é

possível certificar o sistema de gestão da qualidade com alguns benefícios, tais como a redução do número de certificações e auditorias, aumento da sua eficiência e melhor compreensão dos requisitos de qualidade para toda a cadeia de fornecimento (fornecedores/sub-contratados) [30].

2.2.2 - Artefatos mecânicos para verificação rápida

Os artefatos mecânicos são utilizados na verificação rápida de forma muito parecida com a utilização da MMC no dia-a-dia, medindo comprimentos e comparando-os com um padrão rastreável [13]. Existem diversos padrões de diferentes geometrias que, cada um com seus equacionamentos específicos, calculam de forma total ou parcial os erros gerados pelos subsistemas da MMC ao longo do tempo. Por esse motivo, devem ser escolhidos de acordo com uma série de características. O ideal é que um artefato seja [23]:

- ergonômico (leve, fácil de manusear);
- resistente a pequenos impactos;
- montagem simples e sem peças soltas que possam se extraviar;
- fácil de guardar quando não está em uso;
- robusto à variações de temperatura (ou de fácil compensação);
- capaz de monitorar os parâmetros mais susceptíveis de mudança.

Vários são os tipos e modelos de artefatos mecânicos disponíveis, categorizados de acordo com o número de coordenadas espaciais que possuem, podendo ser unidimensionais, bidimensionais ou tridimensionais [13][23]. A seguir serão discutidos alguns artefatos mecânicos que utilizam o princípio de medição de comprimentos, como especificado na parte 2 da ISO-10360.

A - Unidimensionais

Os artefatos mecânicos considerados unidimensionais possuem apenas um comprimento calibrado. Na verificação rápida, o artefato é medido em diferentes posições e direções, permitindo monitorar alguns erros paramétricos da máquina, como por exemplo, os erros de posição de cada escala (eixo) da máquina, e também erros de perpendicularidade entre os eixos [13][22].

Dentre os artefatos unidimensionais destacam-se os blocos padrões, os padrões escalonados e as barras de esferas. O primeiro é utilizado com frequência para calibração de máquinas de medir por coordenadas, devido a sua alta exatidão e estabilidade. Porém, o tempo de medição desse tipo de artefato é muito longo, pois possui um elevado número de pontos a serem apalpados e por que exige vários reposicionamentos para avaliação dos erros. Dessa forma, ao ser utilizado para verificação rápida, o número de pontos deve ser reduzido, possibilitando uma melhoria significativa do tempo e, ainda assim, conseguindo bons resultados [13].

A barra com esferas nas extremidades (*ball-ended bar*) apresenta duas esferas com baixo erro de forma, permitindo a medição do comprimento entre seus centros que, por sua vez, é comparado com o certificado de calibração para o cálculo do erro. Ela é um artefato portátil e portanto de fácil transporte mas, em contrapartida, a sua fixação é complexa e demorada, o que deixa o processo de verificação periódica um pouco lento para as exigências da indústria. Para melhorar o tempo para reposicionamento da barra de esferas existem sistemas de fixação e apoio, e, também, pode-se optar na aquisição de uma barra de esferas telescópica com encaixe magnético (*telescoping magnetic ball bar*) mostrada na Figura 6.

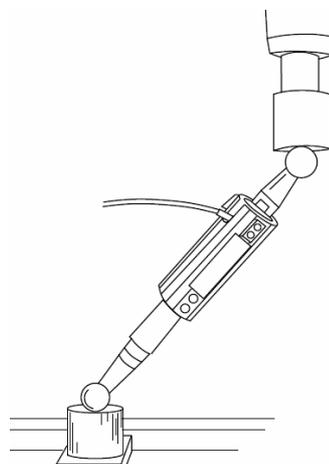


Figura 6: Barra de esferas telescópica, um artefato bidimensional
Fonte: BRITISH STANDARD BS-6808-3 [31]

Como alternativa para a questão da portabilidade, usabilidade e tempo de ensaio, existe disponível no mercado uma solução registrada como *Machine Checking Gauge*®, que consiste de uma base de suporte para um pivô calibrado, uma barra (disponível comercialmente em seis comprimentos) e um apalpador especialmente calibrado [13].

B - Bidimensionais

Uma opção aos artefatos unidimensionais, são os artefatos bidimensionais. Devido a sua praticidade de manuseio e robustez, esses artefatos começaram a ganhar espaço na década de 90 [13][32]. Alguns artefatos bidimensionais são a placa de esferas (Figura 7), a placa de furos.

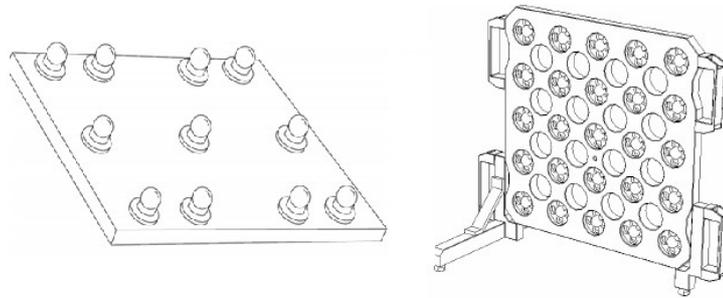


Figura 7: Exemplos de placas de esferas.
Fonte: NARDELLI [13]

Um artefato que deriva do princípio da placa de furos é o Quadra Mensura (Figura 8). Construído em liga de alumínio e por possuir elementos de apalpação, esse artefato contempla alguns fatores importantes e vantajosos frente aos outros citados, tais como [13][24]:

- fácil de calibrar;
- capacidade de monitorar os principais erros paramétricos da MMC;
- fácil manuseio;
- não requer experiência avançada do operador; e,
- baixo custo.

Outro fator competitivo desse artefato é que o procedimento desenvolvido é bastante simplificado, facilmente entendido pelos operadores. Por exigir apenas três posicionamentos (um para cada eixo avaliado), com medição em cada plano é inferior a dez minutos, é possível que esse artefato também seja utilizado na indústria com uma frequência ainda maior [24].

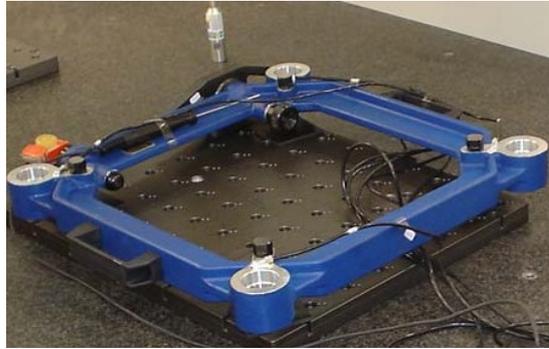


Figura 8: Artefato Quadra Mensura
Fonte: NARDELLI [13]

C - Tridimensionais

Quando o objetivo da verificação rápida é não somente o monitoramento da performance da máquina, mas também, oferecer a capacidade de detectar quando uma avaliação completa ou uma calibração é necessária, aconselha-se a utilização de artefatos tridimensionais [13]. A Figura 9 apresenta dois tipos de artefatos 3D utilizados com maior frequência: o cubo de esferas e o tetraedro.

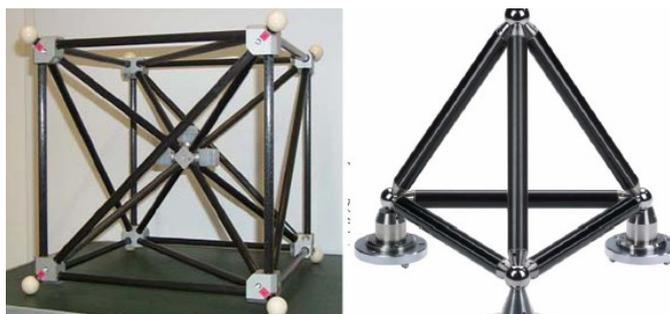


Figura 9: Cubo de esferas (esquerda) e tetraedro (direita)
Fonte: Adaptado de KREIS *et al* [21] e www.metronom.de

O cubo de esferas é uma estrutura composta por 8 esferas ligadas em forma de um cubo. Os vértices são feitos geralmente de fibra de carbono, aço, alumínio, vidro ou cerâmica. Já o segundo é a representação física da figura geométrica tetraedro e é composta por uma estrutura com 4 elementos de apalpação (geralmente 4 esferas com baixo erro de forma), da

mesma forma que o cubo, são ligadas por hastes. Além disso, existem soluções de encaixe magnético para o tetraedro que, comparado com o cubo de esferas, facilita a sua montagem e desmontagem para o transporte [13].

De acordo com um estudo realizado pelo PTB comparando esses três tipos de artefatos [32], os tridimensionais são os que menos exigem pontos para apalpação e não precisam de reposicionamento, viabilizando a avaliação de todo o volume da máquina de uma forma mais rápida e eficiente. Em contrapartida, o custo de aquisição e calibração desses é muito elevado, o que justifica a utilização dos bidimensionais como uma ótima relação entre robustez, custo e benefício.

2.2.3 - A utilização de peças de produção calibradas

Muitas vezes o uso de uma MMC é restrito a medir apenas uma peça, o que pode-se dizer que essa máquina é de uso dedicado. Para esses casos, e também em MMC semi-dedicadas, a ISO/TS 15530-3:2004 [28] normatiza um procedimento para avaliação da incerteza do processo de medição de uma tarefa específica de medição, utilizando para isso uma peça calibrada posicionada em um local predefinido da máquina, normalmente fixada utilizando o mesmo gabarito onde são medidas as peças de produção [22][33].

No uso de peças calibradas para monitoramento da estabilidade de processos de medição específicos, faz-se necessário que uma peça da produção seja escolhida e calibrada em um laboratório utilizando uma máquina de alta exatidão. Após isso, essa peça deve ser medida frequentemente na MMC e os resultados dessas medições devem ser comparados com os valores calibrados, quando é verificado se a diferença encontrada é menor que a incerteza expandida (U) [22][28][34]. Além disso, esse procedimento permite também monitorar a presença ou não de desvios sistemáticos [13].

As peças na linha de produção são fabricadas, em sua grande maioria, sem a necessidade de uma superfície de alta qualidade, como a apresentada pelos padrões. Por esse motivo, muitas vezes não se consegue uma boa repetitividade nas medições, contaminando a avaliação da incerteza do processo de medição. Dessa forma, a utilização de artefatos como a *Multi-Feature Check*® [35] pode ser útil. Esse tipo de padrão simula geometrias comuns em peças produzidas nas indústrias, porém, com o diferencial de possuir um ótimo acabamento da superfície (ex. baixa rugosidade) [7][35].



Figura 10: Multi-Feature Check - peça universal de testes
Fonte: DISCHER e HAGENEY [35]

A escolha por calibrar uma peça produzida ou adquirir uma solução especializada deve ser avaliada conforme a necessidade de cada indústria, levando em consideração as tolerâncias exigidas, além dos custos aceitáveis para tal investimento.

2.3 - A CARÊNCIA DE MÃO DE OBRA ESPECIALIZADA

Na medida que a indústria cresce e a tecnologia avança, surge a necessidade de expandir e diversificar a educação na área da metrologia [36]. Com essa constante expansão, a indústria tem investido muito em equipamentos de produção e medição, mas nem sempre o bastante em recursos humanos (RH) [36], o que implica em uma série de fatores que comprometem a qualidade das medições de produção.

O operador desempenha um papel importante no processo de verificação rápida. Ele é responsável por contribuir significativamente com a qualidade da medição. A Figura 11 mostra a relação entre a máquina, o ambiente e o operador na composição da incerteza de medição.

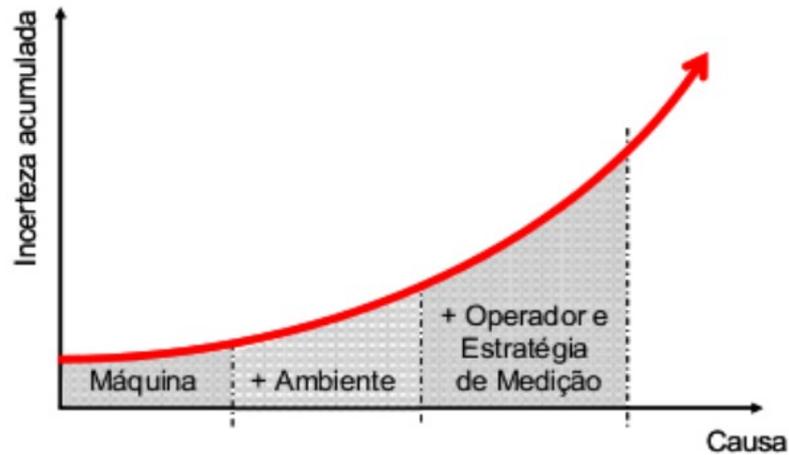


Figura 11: Influência relativa da MMC, do ambiente e do operador sobre a incerteza de medição
Fonte: DONATELLI *et al* [2]

2.3.1 - Influência do operador

O operador está presente em todos os passos do procedimento de medição por coordenadas, influenciando diretamente na qualidade das medições. Dentre as responsabilidades do operador, destacam-se [7]:

- manuseio e fixação da peça;
- limpeza;
- estabilização térmica;
- inicialização das escalas;
- qualificação dos palpadores;
- definição da estratégia de medição;
- referenciamento preliminar da peça;
- execução do programa CNC; e
- interpretação dos resultados da medição.

Como visto anteriormente, o operador é uma fonte de incertezas significativa no processo de inspeção dimensional e, além de medir a peça, é ele o responsável por aprovar ou não uma peça produzida [7][9]. O comprometimento do operador para o bom resultado das medições é fundamental também para o processo de verificação rápida, fazendo com que o procedimento seja seguido corretamente.

O operador é responsável por avaliar os resultados obtidos [23], e, portanto, deve ter um amplo conhecimento da máquina e do ambiente, para que possa realizar uma análise dos resultados considerando as mais diversas fontes de erros possíveis. A falta dessa capacidade de análise do operador muitas vezes desencadeia uma série de problemas que afetam a confiabilidade das verificações ou que geram custos desnecessários, quando peças são rejeitadas indevidamente, por exemplo.

2.3.2 - O perfil atual dos operadores

Nas mais diversas áreas a qualificação profissional é fundamental para a indústria que busca pessoal experiente e capaz de solucionar problemas que acontecem no dia-a-dia. Na área de tecnologia de medição por coordenadas, os conhecimentos exigidos de um operador para desempenhar satisfatoriamente o seu papel são muitos (Figura 12), o que demanda de operadores com conhecimentos avançados [36].

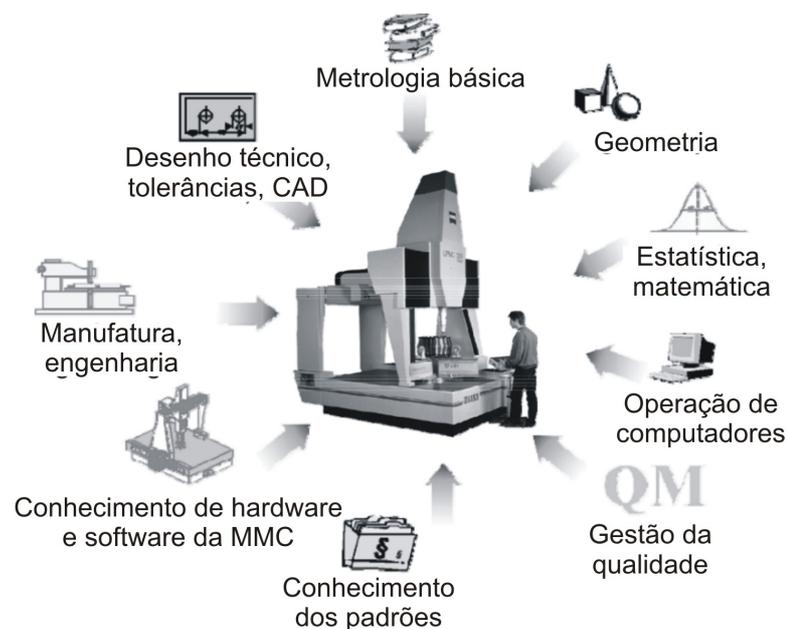


Figura 12: Conhecimentos requeridos por operadores de MMC
 Fonte: Adaptação de EUKOM [12]

A presença de profissionais com esse elevado grau de conhecimento no chão de fábrica das indústrias brasileiras é bastante rara. A Figura 13 mostra os resultados de uma pesquisa realizada nos anos de 1998 e 1999 sobre a capacitação dos recursos nas indústrias que utilizam TMC. Embora esses dados sejam de dez anos atrás, não há estimativa de melhorias significativas nesse sentido.

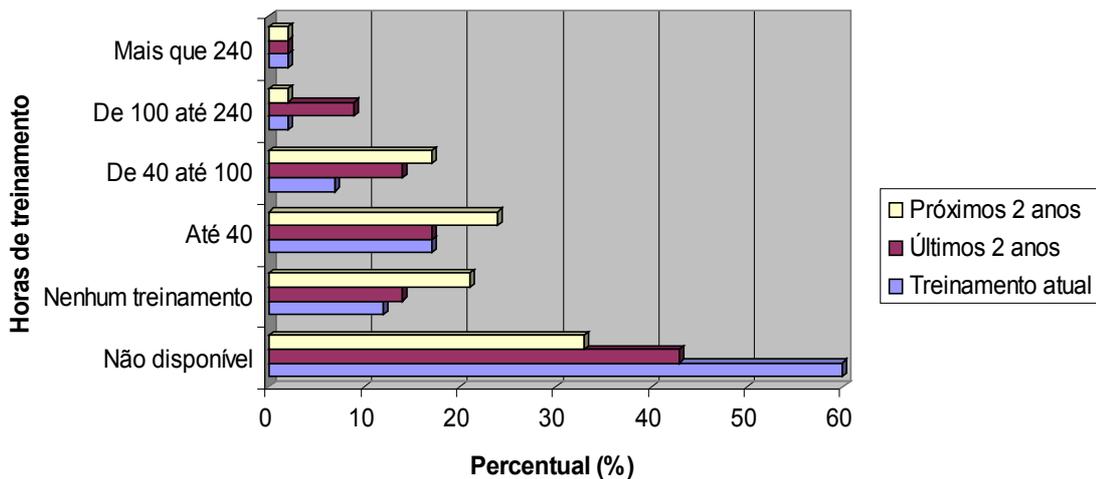


Figura 13: Capacitação de recursos humanos
Fonte: Adaptado de ABAKERLI [37]

Segundo o artigo publicado nessa revista, outro problema que a indústria enfrenta é a má distribuição dos recursos humanos, onde em muitos casos existem pessoas capacitadas porém que não participam das medições, ou estão alocadas em outros setores [37], pois um profissional com essa qualificação torna-se um perfil desejável em diversas funções.

A falta de mão-de-obra especializada no chão de fábrica é um problema que a indústria enfrenta e que precisa superar, considerando os seus custos e benefícios, encontrando um ponto ótimo. Por esses e outros motivos é que várias iniciativas de capacitação de mão-de-obra em medição por coordenadas estão disponíveis para a indústria. A seguir, algumas dessas iniciativas serão discutidas.

2.3.3 - Iniciativas para qualificação de mão-de-obra em TMC

Tanto internacionalmente quanto no Brasil, existem algumas iniciativas específicas para capacitação de operadores de máquinas de medir por coordenadas. Dentre as soluções atuais, neste trabalho serão abordados os seguintes programas de capacitação de operadores:

-
- EUKOM (*European Training in Coordinate Metrology*) [10][12][38]
 - AUKOM (*Ausbildung Koordinatenmesstechnik e. V*) [11][39]
 - APMC (*Association for Coordinate Metrology Canada*) [40]
 - Iniciativas Brasileiras: Programa EUCLIDES [7][9][23] e FORMA3D [41].

A - EUKOM

O projeto EUKOM é uma iniciativa da *CMTrain (Training for Coordinate Metrology)*, uma associação fundada com o objetivo de elevar o nível de conhecimento em medição por coordenadas, utilizando cursos harmonizados em todo o mundo, independentemente de fornecedores de MMC. O EUKOM (*European Training in Coordinate Metrology*) é um projeto que visa oferecer aos participantes todo o conhecimento necessário para um operador avançado, e tem desenvolvido competência em metrologia por coordenadas. O projeto tem um novo e moderno conceito de ensino, que pode ser resumido por [10]:

- ensino realizado em três níveis;
- combina métodos de ensino presencial com ensino à distância (*e-learning*);
- as aulas práticas presenciais são realizadas em MMC modernas e em grupos.

Os três níveis de ensino propostos pelo EUKOM são: Usuário de MMC (*CMM-User*), Operador de MMC (*CMM-Operator*), e Usuário Avançado de MMC (*CMM-Expert*). A Figura 14 mostra esses níveis relacionando as melhorias que a qualificação profissional oferece.

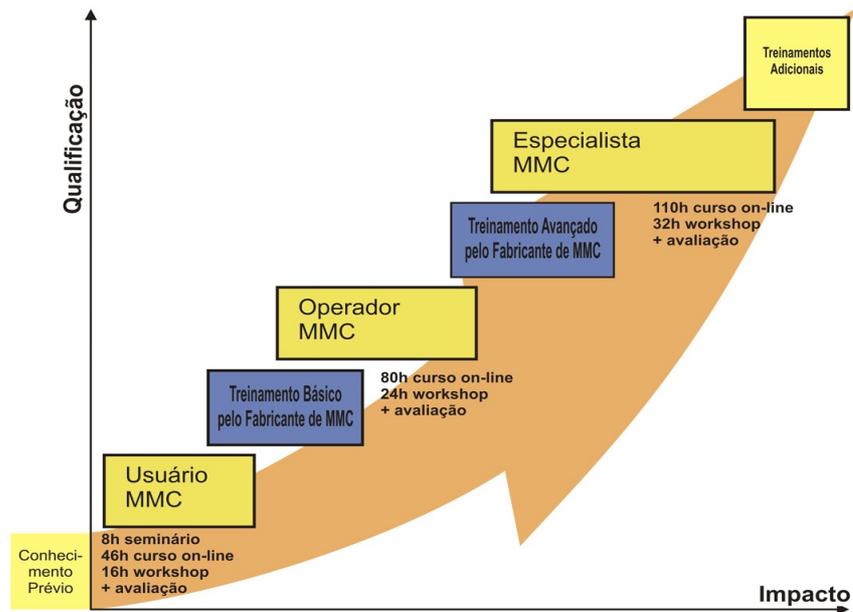


Figura 14: Fases do programa de aprendizado EUKOM
Fonte: Adaptado de EUKOM [38]

Somando aproximadamente 320 horas de treinamento, entre encontros presenciais, ensino à distância, seminários e *workshops*, o operador é considerado *expert* em tecnologia por medição por coordenadas, o que significa que ele é capaz de analisar e resolver problemas complexos de medições, bem como agir preventivamente na garantia da qualidade e da confiabilidade das medições.

B - AUKOM

O objetivo da AUKOM (*Ausbildung Koordinatenmesstechnik*), enquanto organização, é de oferecer treinamentos atualizados na área de metrologia por coordenadas, de acordo com a necessidade de cada indústria. Além disso, a AUKOM é responsável por organizar eventos para promover a troca de informações entre a indústria, fornecedores e instituições de ensino e pesquisa [11][39].

Outro comprometimento da AUKOM é com a promoção das boas práticas de medição e, assim, promover a cooperação para treinamentos em medição por coordenadas na Europa. O programa de treinamento também consiste em três níveis de aprendizado, levando o usuário de uma formação básica até o programa de treinamento de especialistas em TMC.

C - APMC

A Associação Canadense para Metrologia por Coordenadas – APMC (*Association for Coordinate Metrology Canada*) preocupa-se com a formação e capacitação de operadores de máquinas de medir por coordenadas, enfatizando a grande evolução que a tecnologia tem enfrentado nos últimos anos. Dentre os objetivos da APMC, destacam-se [40]:

- contribuir na geração de conhecimento em tecnologia de medição por coordenadas;
- prover o acesso em nível nacional aos recursos e conhecimentos gerados;
- promover discussões e troca de informações sobre MMC em encontros regulares, com apresentações de especialistas locais e internacionais, e por publicações de artigos relevantes;
- promover a conscientização, aceitação e uso de práticas reconhecidas internacionalmente, bem como a rastreabilidade de padrões nacionais, proporcionando assim, o acesso a artefatos rastreáveis para a realização de verificações rápidas;
- abordar a necessidade de verificações de *softwares*;
- identificar áreas de necessidade de pesquisa e desenvolvimento e formular propostas de caráter colaborativo, envolvendo a indústria, instituições de ensino e outros.

D - Iniciativas brasileiras

Algumas iniciativas brasileiras acompanham as ações internacionais no contexto de treinamento e capacitação contínua de RH na metrologia por coordenadas. O Programa EUCLIDES, desenvolvido no Centro de Metrologia e Instrumentação da Fundação CERTI, é um programa nacional de capacitação de operadores em medição por coordenadas, alinhado com as necessidades especiais do Brasil para esta área [7][23].

O programa consiste em quatro módulos de treinamento. São eles:

- TMC 1: Introdução à medição por coordenadas;
- TMC 2: Tolerâncias geométricas – GD&T;
- TMC 3: Avaliação de tolerâncias geométricas com MMC; e,
- TMC 4: Análise e validação de processos de medição por coordenadas.

Com esse curso, os alunos conseguem evoluir seu conhecimento de acordo com suas necessidades e responsabilidades na indústria, podendo partir de um conhecimento básico até um conhecimento mais avançado, que consiste em avaliar, com qualidade, a medição por coordenadas e garantir a confiabilidade das medições.

O Programa Euclides é composto por aulas presenciais práticas realizados nos laboratórios da Fundação CERTI e, ainda, oferece a opção de cursos *in-company* (dentro da indústria cliente), contemplando as necessidades específicas de cada indústria, utilizando exemplos reais e que os operadores já conhecem.

Outra iniciativa no Brasil é o programa da Mitutoyo para formação regular de metrologias 3D (FORMA3D [41]), que tem como desafio desenvolver a postura e as percepções necessárias de um metrologista, à altura da responsabilidade de quem imite o diagnóstico de conformidade dos produtos e processos. O programa é constituído de 3 módulos de ensino:

- Módulo 1: Metrologista 3D – Nível C (40h). Oferece ao aluno habilidades básicas de desenho mecânico, informática, metrologia industrial, estatística e confiabilidade metrológica, TMC, etc.;
- Módulo 2: Metrologista 3D – Nível B (40h). Prevê o avanço do aluno em questões de especificação GD&T, lógicas de programação, estratégias de medição por coordenadas, metrologia científica e industrial e calibração de MMC;

-
- Módulo 3: Metrologista 3D – Nível C (40h). Estuda temas relativos à engenharia da qualidade, MSA, processos de fabricação, informática industrial e aspectos de gerenciamento de salas de medidas.

Dessa forma, percebe-se, que assim como no âmbito mundial, principalmente na Europa, o Brasil também está preocupado com esta temática, visto que a rápida disseminação dessa tecnologia no país não foi acompanhada pela necessária formação do pessoal técnico [41].

2.4 - POTENCIAL DA VERIFICAÇÃO RÁPIDA NO CONTEXTO INDUSTRIAL

A realização da verificação rápida, quando praticada corretamente, pode sanar uma série de dúvidas sobre a validade dos resultados obtidos com a medição por coordenadas. [8][23]. O acompanhamento utilizando o controle estatístico de processos e a aplicação do programa de garantia da qualidade PMAP colaboram na interpretação dos dados históricos, facilitando o processo de diagnóstico e melhoria, tornando-o mais intuitivo.

Porém, a falta de formação contínua dos operadores compromete a capacidade de solução de problemas da indústria, podendo gerar custos desnecessários, ou ainda, comprometer a qualidade dos produtos, prejudicando a imagem da empresa frente ao cliente.

A presença de profissionais qualificados, tanto no processo de implantação quanto no monitoramento contínuo das medições, é fundamental para, num primeiro momento, especificar as melhores soluções de verificação rápida para a aplicação na empresa. Num segundo momento, esses profissionais são necessários para avaliar criticamente os resultados gerados, podendo assim identificar por exemplo quando uma causa específica está agindo no processo de medição.

Por outro lado, a manutenção de uma equipe especializada nas salas de medição é financeiramente inviável, visto que o custo da mão-de-obra com essa qualificação é elevado. Assim, o ideal seria que esses profissionais estivessem à disposição da indústria somente no momento em que algum comportamento atípico fosse identificado.

Uma solução adequada para o problema da mão-de-obra seria a utilização de sistemas de TI que possibilitem, utilizando a Internet, a melhor comunicação entre os envolvidos, bem como a troca de informações e relatórios pertinentes. O capítulo a seguir trata de algumas soluções que estão sendo utilizadas na TMC para melhorar desde a qualidade do processo de medições, através das padronizações, até ferramentas disponíveis para gerenciamento de conhecimento na metrologia.

Capítulo 3

SOLUÇÕES DE TIC NA EVOLUÇÃO DA TECNOLOGIA DE MEDIÇÃO POR COORDENADAS

O desenvolvimento de um trabalho tecnológico precisa ser alinhado com as tendências da tecnologia e do mercado no qual ele está inserido. Neste capítulo é apresentado o estado da arte das tecnologias de informação e comunicação (TIC) que estão sendo aplicadas na área de medição por coordenadas, tendo como objetivo construir uma base sólida de conhecimento para o desenvolvimento de uma solução competitiva, alinhada com as expectativas futuras.

3.1 - PADRONIZAÇÕES NO PROCESSO DE INSPEÇÃO DIMENSIONAL

Muitas são as expectativas com relação à padronização de inspeções dimensionais que contemplem todo o processo de controle dimensional utilizando MMC, desde o projeto (modelo CAD da peça a medir), planejamento e execução da inspeção, até a análise dos resultados, com o controle estatístico de processo [42].

A falta de um processo padronizado, com interfaces bem definidas de comunicação entre as etapas, gera uma série de problemas no dia-a-dia, como por exemplo [43]:

- alto custo para manter sistemas de programação e execução de *softwares* CNC, pois caso as MMC's sejam de fabricantes diferentes, exigem muito conhecimento de operadores e, também, de investimento de tempo para reprogramação;
- a aquisição de resultados por outros softwares de processamento e análise é difícil;

- não existe a opção de escolher o melhor *hardware* e/ou *software* porque existe uma dependência de fornecedor.

Na tentativa de se contornar esse problema na área da TMC, muitos são os esforços para a padronização, buscando a redução de custos e o aumento da qualidade. A Figura 15 mostra um processo de inspeção dimensional completo com as interfaces de padronização definidas, ou seja, o que existe ou está em desenvolvimento em cada etapa desse processo, compreendendo desde a padronização do desenho mecânico até o processamento dos resultados gerados.

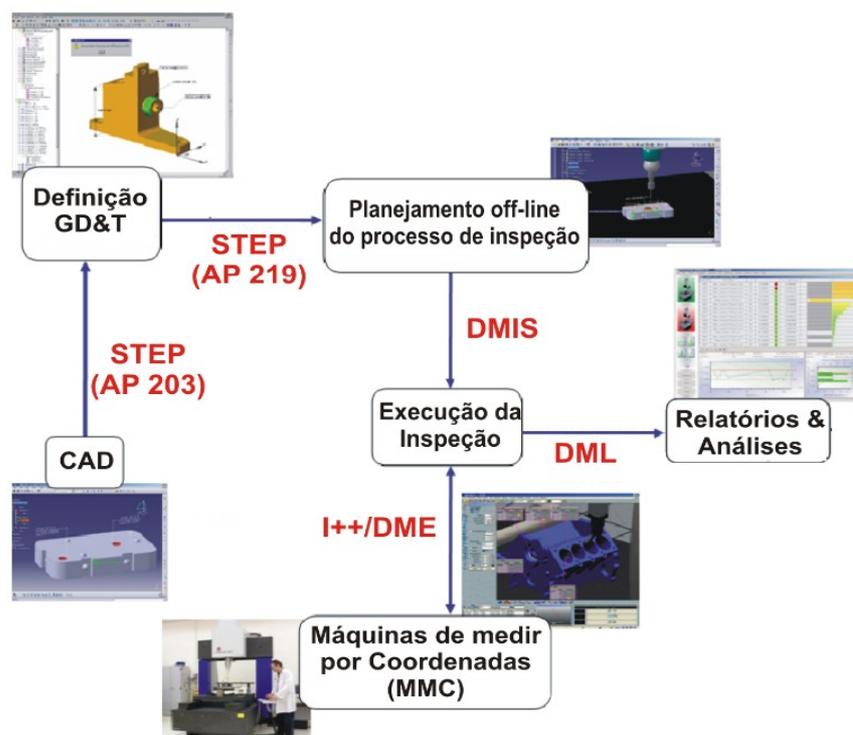


Figura 15: Padronização na TMC
 Fonte: Adaptado de AIAG [44]

Dentre as diversas interfaces mostradas nestas figuras, destacam-se:

- STEP (*Standard for the Exchange of Product model data*): é definido pela norma ISO-10303 e consiste na representação dos dados para troca e compartilhamento entre diversos softwares, independentemente do fabricante. Nesse caso, são apresentados os AP (*Application Protocols*) 203 e 219, que definem, respectivamente, o formato para desenho CAD 3D e definições de tolerâncias geométricas – GD&T (*Geometric Dimensioning & Tolerancing*) [7][44][45];

- DMIS (*Dimensional Measuring Interface Standard*): é uma interface que possibilita a execução de programas CNC em qualquer MMC, de diferentes fabricantes e modelos, sem necessidade de reprogramação [7][43];
- I++ DME (*Dimensional Measuring Equipment Interface*): é uma interface que permite executar inspeção dimensional em máquinas de medir por coordenadas diferentes, independentemente de fabricantes [7][46];
- DML (*Dimensional Markup Language*): é uma linguagem baseada no padrão XML para representação dos resultados de medição com o objetivo de possibilitar a transmissão de dados entre sistemas [7][47];

No capítulo 4, onde a proposta de solução será discutida, algumas destas padronizações acima serão citadas, reiterando os benefícios das padronizações.

3.1.1 - Programa de inspeção

Cada máquina de medir por coordenadas é geralmente comercializada com um *software* de inspeção proprietário que se comunica com o controlador CNC (Computer Numeric Control). Este software interpreta normalmente uma única linguagem específica fornecida geralmente pelo mesmo fabricante da MMC [7]. Devido a distintos fatores, tais como custo e exatidão adequada, a indústria tem comprado MMCs de diferentes fornecedores, exigindo adequações em seus programas CNC, mesmo quando a peça medida for a mesma.

Com a interface DMIS, como mostra a Figura 16, não é necessário que a indústria reescreva suas rotinas de inspeção dimensional para cada modelo de MMC que possui [43] [48].

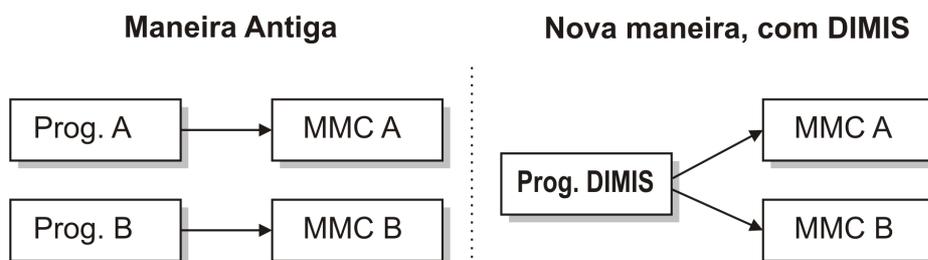


Figura 16: Visão de benefícios da programação DMIS

Fonte: Adaptado de AIAG [47]

Com essa padronização, o mesmo programa desenvolvido para a máquina “A” pode ser executado também na máquina “B”, e, caso desejável, em uma máquina virtual [49], utilizando o recurso de programação *off-line* [7], reduzindo o tempo e o custo de programação [48].

3.1.2 - Interoperabilidade de softwares de inspeção dimensional

A interface I++ DME (*Dimensional Measuring Equipment Interface*) permite que qualquer software de medição (Calypso, Holos, PC-DMIS, etc) se comunique com o CNC de qualquer máquina de medir por coordenadas compatível com essa interface [7][46][50]. A principal vantagem no longo prazo é a possibilidade de especialização dos fabricantes de softwares e de MMC, ou seja, a concorrência entre estes fornecedores será mais visível, provocando melhoramentos desde a qualidade metrológica dos resultados até a redução de custos efetivos [43], oferecendo melhores preços de equipamentos e redução significativa de tempo para reprogramação de rotinas já implementadas e testadas.

Além disso, o treinamento de operadores com as diversas tecnologias disponíveis para a indústria não será mais tão fundamental, visto que pode ser utilizado um software já conhecido e que melhor se ajuste para determinada tarefa. A Figura 17 mostra o modelo desenvolvido de interoperabilidade entre softwares de inspeção e MMC, de diferentes fabricantes e modelos.

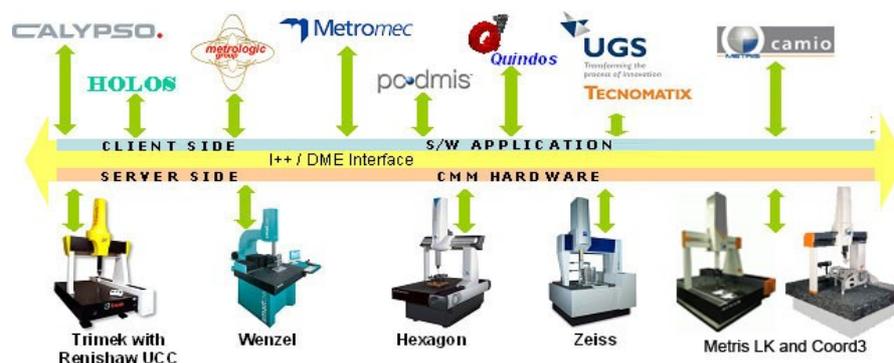


Figura 17: Modelo de interoperabilidade da interface I++/DME
 Fonte: IA.CMM [46]

O desenvolvimento dessa interface ainda é, de certa forma, novidade no mundo e os avanços na sua implementação é constante. No ano de 2006, após 5 anos de esforços, praticamente 95% das funcionalidades previstas desta interface já estavam implementadas [50]. Nos dias de hoje a especificação da interface I++/DME encontra-se na versão 1.6 e pode ser acessada da página do projeto na Internet [46].

3.1.3 - Representação dos resultados de medição

Segundo Schafer (2003), a DML (*Dimensional Markup Language*) é uma adaptação do formato XML às necessidades dos resultados dimensionais para a manufatura discreta [51]. O principal propósito dessa linguagem é transportar informações dos resultados de medições dimensionais entre as aplicações que processam ou utilizam esses dados, com baixo esforço e de maneira bastante simplificada [7][51].

Uma aplicação típica da DML é, por exemplo, quando um dispositivo de inspeção adquire estas informações e envia para uma aplicação de controle estatístico de processo (CEP) para avaliação do processo ou, ainda, para armazenamento em uma base de dados [51].

Há um comitê responsável pela especificação da linguagem DML. A última versão foi aprovada em outubro de 2006, quando a versão 3.0 foi disponibilizada. Atualmente, essa interface se encontra presente na produção em grandes empresas, como por exemplo na Daimler Chrysler [47].

3.2 - INTERNET PARA ASSESSORAMENTO REMOTO

Todo ano a quantidade de informações que trafegam pela Internet aumenta [52]. Na metrologia isso não é diferente. A utilização dessa rede mundial de computadores é importante para realização de diversos serviços na área, como por exemplo, o Laboratório Associado de Serviços e Assessoramento Remotos – (LASAR [52][53][54]), o Sistema de Gestão do Conhecimento da Metrologia (GECOMETRO [55]), e o sistema alemão para monitoramento de instrumentos de medição, o TRACESYS [21][56]. Estes são alguns dos sistemas que possibilitam o relacionamento de profissionais, assessoramento remoto e realização de serviços metrológicos pela Internet.

A Internet tem evoluído muito nos últimos anos e, impulsionada pela disseminação do conceito da WEB 2.0, têm surgido uma série de novas oportunidades que utilizam meios como as redes de relacionamento, aplicações ricas em interatividade e, também, a disponibilização de *software* como um serviço (SAAS – *Software as a Service* [57]), ampliando os horizontes dos negócios.

3.2.1 - Sistemas de metrologia na Internet

Com a utilização da tecnologia da informação (TI) associada às possibilidades que a Internet oferece, as perspectivas para aplicação na metrologia são inúmeras [58]. A seguir serão apresentadas algumas soluções baseadas na Internet que oferecem melhorias nesta área.

A - LASAR Central

O LASAR Central (Central de Laboratórios Associados de Serviços e Assessoramento Remotos) é uma solução em TI que tem como objetivo de unir pessoas e sistemas utilizando a Internet, possibilitando que o conhecimento metrológico seja organizado e gerenciado [52]. O LASAR Central permite que empresas, fornecedores, universidades, indústrias e ICTI's (Instituições de Ciência, Tecnologia & Inovação) interajam a fim de se desenvolver uma rede de relacionamento para a metrologia, almejando a gestão dessa em cada etapa da cadeia metrológica. A Figura 18 mostra a presença do LASAR Central como uma infraestrutura de TI capaz de prover a integração entre as entidades envolvidas no sistema.



Figura 18: LASAR Central no gerenciamento do conhecimento metrológico
Fonte: OLIVEIRA [54]

O LASAR Central administra um sistema de TI, denominado LASAR, que é um sistema computacional facilitador do relacionamento entre a indústria, ICTI's e outros atores parceiros, com o objetivo de oferecer uma solução sob medida para o gerenciamento do conhecimento metrológico.

Para tal, o LASAR é caracterizado como um sistema modular, possibilitando a diferenciação de serviços oferecidos para cada empresa de acordo com a área de atuação e suas necessidades [52]. Os principais serviços são agrupados em 3 categorias [54]:

- módulos técnicos, complementares e educacionais - serviços informatizados de âmbito automático, semi-automático ou manual para apoio à decisão. Ex: Gestão de sistemas de medição, cálculos estatísticos, conversão de unidades de medida, planilhas de apoio à decisão, *e-learning*, entre outros;
- inter-relacionamento entre clientes e o LASAR Central - suporte técnico via *e-mail*, *Web-chat*, telefonia *IP* e convencional, interação entre ICTI's e clientes;
- biblioteca virtual (*FAQs* em metrologia e nos módulos técnicos, acesso a artigos técnicos, notícias, pesquisas avançadas, grupos de discussão categorizados e *e-marketplace*).

Cada empresa associada ao LASAR pode ter ou não um determinado módulo do sistema disponível, podendo personalizar seu LASAR de acordo com suas necessidades e/ou orçamento. Além disso, outros módulos podem ser desenvolvidos para suprir as necessidades de cada cliente e agregados ao LASAR. Um módulo importante do LASAR, relevante para este trabalho, é o sistema GECOMETRO.

B - Sistema de Gestão do Conhecimento da Metrologia (GECOMETRO)

Um dos principais objetivos do GECOMETRO, para a gestão do conhecimento da metrologia, é oferecer aos envolvidos (profissionais, pesquisadores, professores, técnicos, etc.) um espaço para compartilhamento eletrônico de fontes de informações e literaturas no segmento metrológico, de forma interativa [59].

Segundo o MCT (Ministério de Ciência e Tecnologia), a necessidade de sistemas para gestão do conhecimento nessa temática está se tornando evidente, visto que há falta de meios que facilitem o estudo da tecnologia industrial básica (TIB) [55]. O desconhecimento de normas e regulamentações técnicas para processos de medição, por exemplo, pode ser um problema de relacionamento em muitas indústrias [55]. Isso justifica a iniciativa da Fundação CERTI no desenvolvimento do GECOMETRO, um sistema que possibilita este intercâmbio

de informações e documentos de forma organizada e estruturada numa base de dados rica em informações e um poderoso sistema de indexação e busca [59].

Nesse sentido, o GECOMETRO vem facilitar a troca de informações mostrada na Figura 19, onde pode ser percebida a falta de um ambiente para a gestão das informações geradas, ocasionando, principalmente, a existência de informações duplicadas ou desatualizadas, e, ainda, a ausência da informação aos envolvidos, gerando retrabalho e aumentando o tempo de pesquisa e desenvolvimento. Essa desorganização das informações é percebida não só entre diferentes instituições, mas também, dentro de uma própria empresa, onde o fluxo de informações entre setores e colaboradores muitas vezes acaba não acontecendo.

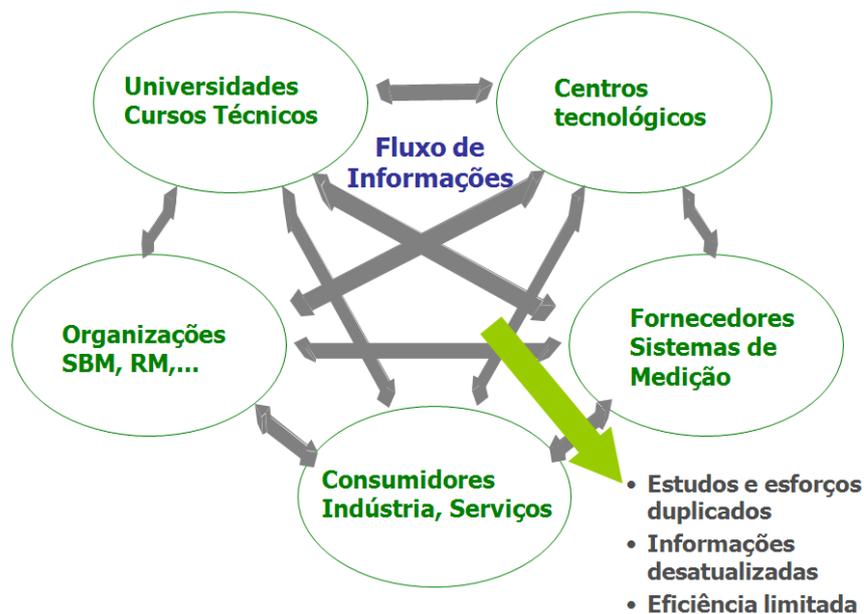


Figura 19: A problemática das informações no âmbito da metrologia
 Fonte: OLIVEIRA [54]

O GECOMETRO é um sistema computacional disponível na Internet e oferece aos usuários uma interface interativa, onde é possível realizar o cadastro, a recuperação e a avaliação de documentos. Além disso, o sistema de busca do GECOMETRO utiliza estas interações com a finalidade de ordenação dos resultados de uma busca, trazendo os documentos mais relevantes para o usuário.

C - Onboard Diagnostics

Com o objetivo de agir ativamente na manutenção de máquinas de medir por coordenadas, o sistema “*Onboard Diagnostics*”, desenvolvido pela *Zeiss*, desempenha o papel de avaliação contínua da MMC, identificando quando, por exemplo, uma manutenção deve ser preventivamente realizada. Isto se dá pela capacidade do sistema em monitorar a utilização da máquina, a partir da distância percorrida pelos eixos individualmente, colisões, diário de bordo (*logbook*) e outros [60].

O sistema oferece à indústria suporte para auxiliar na elaboração de um melhor plano de manutenção. Baseado na Internet, o *Onboard Diagnostics* oferece um ambiente capaz de adquirir informações da máquina monitorada e enviá-las para um computador central, onde relatórios são gerados e disponibilizados para uso futuro. Muitas máquinas podem ser monitoradas pelo sistema, independentemente da distância entre elas e o computador central [60].

Este sistema conta com um ambiente de suporte técnico centralizado, viabilizando a utilização do “*Tele Service*” e a realização de suporte técnico em tempo real, melhorando a troca de informações entre os operadores e responsáveis pelas análises [60].

D - TRACESYS

O TRACESYS é uma plataforma para gerenciamento de instrumentos de medição que utiliza a Internet, onde clientes e fornecedores são conectados para estabelecer um sistema de monitoramento rastreável e econômico [56]. As principais funcionalidades são:

- armazenamento dos dados da calibração dos instrumentos;
- importação dos dados das medições;
- avaliação e documentação dos resultados das verificações de acordo com os padrões utilizados;
- geração e gerenciamento dos certificados de calibração e relatórios.

Desenvolvido e comercializado pela ETALON – uma empresa originada no PTB –, o TRACESYS segue o conceito de monitoramento remoto apresentado por Kreis, Franke, Schwenke e Wäldele [21], onde uma rede de prestadores de serviços e membros é estabelecida para realização do monitoramento das MMC. A Figura 20 mostra a arquitetura do sistema.

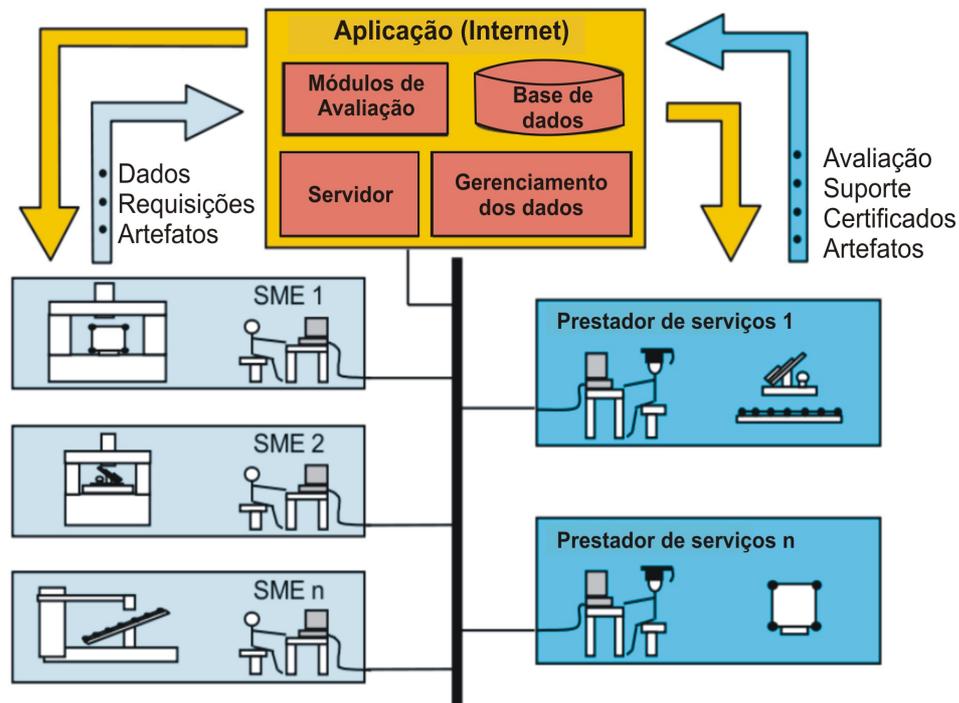


Figura 20: Conceito do monitoramento remoto baseado na Internet
 Fonte: Adaptado de Kreis et al [21]

Quando uma verificação é realizada, os dados são enviados para o prestador de serviço e então armazenados. Dessa forma os dados e os relatórios gerados podem ser acessados de qualquer lugar do mundo de forma segura [56]. A plataforma TRACESYS pode ser disponibilizada de diferentes maneiras:

- para pequenas e médias empresas;
- grandes empresas com seu próprio departamento de metrologia;
- fabricantes de MMC; e,
- prestadores de serviços metrológicos.

Dessa forma, o TRACESYS beneficia um grande número de empresas, principalmente das áreas automotivas, máquinas-ferramenta e indústria aeronáutica, relacionando o operador com o metrologista, que regularmente avalia o desempenho dos instrumentos de medições [56].

3.2.2 - Prestação de serviços pela Internet

A evolução humana está condicionada à capacidade de comunicação. Nesse sentido, a Internet tem se tornado um meio facilitador desse processo, tornando-se um ponto significativo da evolução humana, que está presente na vida das pessoas e organizações de várias maneiras, sendo uma dessas a expansão dos negócios que utilizam a Internet, os chamados *e-business*.

Com o surgimento da prestação de serviços pela Internet, criando novos conceitos, como o *SaaS – Software as a Service* (Software como serviço) e *PaaS – Platform as a Service* (Plataforma como Serviço), dá-se início a um novo modelo de negócio, onde os *softwares* são disponibilizados aos clientes sob demanda, atendendo a seus requisitos particulares [57], com o objetivo de reduzir as barreiras entre fornecedores e clientes [54].

Com a evolução desse conceito, vislumbra-se a excelência na prestação de serviços, preocupando-se continuamente com satisfação do cliente, seguindo três critérios fundamentais: oferecer o negócio e as informações que ele deseja, onde ele quer e quando ele precisa [61].

A excelência na prestação de serviços tem evoluído muito nos últimos anos e hoje faz parte dos objetivos das organizações que desejam fazer parte deste competitivo mercado. As tendências futuras para essa área, como é ilustrado na Figura 21, estão focadas principalmente na geração de valores aos clientes, foco no cliente e o conceito *one-to-one marketing*¹.

¹ Defende o contato direto entre a empresa e o cliente de forma personalizada (Fonte: www.e-marketinglab.com)



Figura 21: Expectativas de mudanças nos serviços
 Fonte: Adaptado de KALAKOTA e ROBINSON [61]

Assim sendo, novos negócios competitivos devem estar alinhados com essa tendência do mercado, buscando sempre a integração de aplicações para oferecer um produto ou serviço de qualidade para o cliente, seguindo o conceito atual da arquitetura dos negócios eletrônicos [61].

3.3 - BALIZADOR PARA UMA SOLUÇÃO DE VERIFICAÇÃO RÁPIDA

Os assuntos abordados nestes dois capítulos apresentam diretrizes a serem seguidas neste trabalho, que contemplam desde as necessidades atuais de verificação rápida na indústria, até as novas oportunidades que os sistemas de TIC têm oferecido à TMC. É importante prover uma solução capaz de convergir todas estas tecnologias com o objetivo de gerir as necessidades das empresas no escopo da garantia da qualidade das medições com máquinas de medir por coordenadas.

Como visto, existe uma gama de artefatos, procedimentos, MMC's de distintos fabricantes, etc., que dificulta a implantação de uma solução para administrar todas estas situações de forma harmoniosa e centralizada. Se não bastasse essa dificuldade de interoperabilidade e flexibilidade entre as aplicações, as empresas também enfrentam o sério

problema da falta de mão de obra devidamente capacitada para analisar criticamente os resultados, quando alguma instabilidade é detectada.

Para solucionar o problema de interoperabilidade e não-dependência de fabricantes nos diversos estágios do processo de medição por coordenadas, é que tem surgido as padronizações, dentre elas, a DMIS e a DML. Sem a dependência de fabricantes, a indústria pode optar pela melhor solução de acordo com as suas necessidades metrológicas e econômicas. Entretanto, pode-se dizer que estas padronizações ainda são apenas tendências e que ainda levará algum tempo até que estas tecnologias estejam implantadas de modo consistente no mercado brasileiro.

Com relação ao suporte das verificações rápidas, faz-se necessário uma remodelagem de como esta ferramenta é implantada na indústria, visto que muitas vezes a sua realização está condicionada apenas no cumprimento de alguns requisitos de normas. É necessário, além do comprometimento da indústria, que seja criado um novo modelo de negócio para implantação da verificação rápida que se preocupe, não somente com a realização das medições periódicas, mas também com o amparo aos operadores, que na maioria das vezes não estão devidamente capacitados ou, ainda, dedicados para a realização de uma análise crítica dos resultados obtidos com as verificações rápidas.

Por fim, em harmonia com as soluções tecnológicas disponíveis e as expectativas atuais da indústria para com a verificação rápida, o próximo capítulo apresenta uma solução capaz de satisfazer as necessidades particulares de cada indústria, oferecendo um novo modelo de implantação.

Capítulo 4

DESENVOLVIMENTO DE UMA SOLUÇÃO COMPETITIVA PARA VERIFICAÇÃO RÁPIDA

Conforme apresentado, muitas são as soluções tecnológicas e artefatos existentes para a realização da verificação rápida nas indústrias. Porém, a preocupação aqui não é somente a realização do procedimento de verificação rápida sugerido pela norma ISO-10360-2:2001 [14], mas também interpretar esses dados e utilizá-los para enriquecimento do conhecimento na indústria, promovendo a melhoria contínua do processo de medição.

Neste capítulo será apresentada uma solução de TI que permite implementar a verificação rápida na indústria de uma forma robusta, simplificada e a baixo custo. Esta solução permite levar aos operadores o apoio de uma equipe experiente em metrologia dimensional, colaborando assim com sua formação continuada.

4.1 - CONTEXTUALIZAÇÃO DA APLICAÇÃO

O desenvolvimento desta solução inicia pela caracterização da indústria de acordo com sua capacidade metrológica instalada, considerando o número de MMC e salas de medição, a formação dos recursos humanos e sua disponibilidade para compartilhar dados e informação com terceiros.

Para fins deste trabalho definem-se dois modelos de aplicação, que posteriormente irão gerar os respectivos modelos de negócios.

- **modelo 1:** destinado a empresas pequenas e médias ou que, embora sejam de grande porte, possuem poucas MMC. Pelo limitado uso da metrologia geométrica, essas

empresas usualmente não tem competência para analisar dados gerados por verificações periódicas de MMC. Um pré-requisito da aplicação desse modelo é que a empresa esteja disposta a comunicar dados via Internet e receber informações e suporte de agentes externos.

- **modelo 2:** destinado a empresas de grande porte que usam intensamente a TMC e, conseqüentemente, possuem pessoas formadas em metrologia, capacitadas para analisar dados de monitoramento contínuo e dar suporte aos operadores das MMC, caso seja necessário. Cabe destacar que muitas destas empresas têm fortes restrições ao compartilhamento de dados e dificultam a abertura de canais de comunicação com entidades fora do seu domínio.

A Tabela 2 relaciona estes indicadores e sugere limites quantitativos para ambos modelos.

Tabela 2: Caracterização dos modelos de aplicação

Característica da indústria	Modelo 1	Modelo 2
Máquinas de medir por coordenadas (MMC)	Até 4	Mais de 4
Salas de medição	Até 2	Mais de 2
Responsáveis ou supervisores de laboratórios de medição	1 para toda a indústria	1 por setor ou laboratório
Pessoal capacitado para analisar dados de verificação de MMC e diagnosticar causas de desvios atípicos	Não possui	Possui
Infraestrutura em TI	Satisfatória	Avançada

Esta tabela foi desenvolvida e proposta para a implementação deste trabalho, com o objetivo de diferenciar e delimitar a aplicação, identificando qual é o modelo ideal para cada empresa. Mesmo assim, e devido às particularidades de cada caso, o modelo aplicado pode variar com uma primeira análise.

Ainda, acompanhando a Tabela 2, percebe-se que uma das características mais importantes refere-se à capacidade de análise metrológica disponível na empresa. No caso das empresas que se ajustam ao modelo 1, observa-se que não há competência interna para analisar criticamente o resultado das verificações periódicas. Estas empresas, em geral, não realizam verificações com padrões ou peças calibradas e acionam o serviço técnico do fabricante cada vez que um incidente acontece (por exemplo, uma colisão). Elas carecem de um meio de compartilhar informação e de receber sugestões de especialistas na temática, o

qual garante a continuidade da situação desfavorável. Empresas que se ajustam ao modelo 2, embora disponham da competência, carecem dos meios para levá-la às salas de medida, muitas vezes distantes do laboratório central.

Considerando as semelhanças e diferenças entre as duas situações, a melhor solução seria aquela que pode ser aplicada em ambos os casos com ligeiras customizações.

4.2 - VISÃO GERAL DA SOLUÇÃO PROPOSTA

A solução centra-se na contemplação dos dois modelos de aplicação contextualizados anteriormente. Para isso, foram definidos os ambientes de aplicação, ilustrados na Figura 22, onde percebe-se as principais discrepâncias entre as aplicações no modelo 1 e 2, respectivamente.

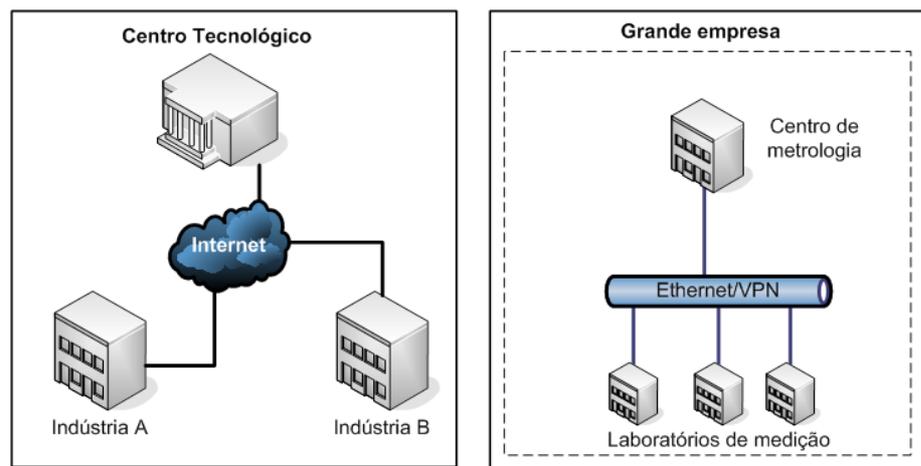


Figura 22: Modelos de implantação da solução

A principal diferença entre os ambientes de aplicação é o fato de a empresa possuir ou não a capacidade de analisar criticamente os resultados das medições internamente, sem a necessidade da presença de uma entidade externa. Assim sendo, dois modelos de negócio foram identificados, onde o primeiro (baseado no modelo 1), consiste em oferecer a diversas empresas a possibilidade de implantação da verificação rápida de qualidade sem a necessidade de altos investimentos em equipe especializada, para dar suporte às medições, visto que esta competência seria terceirizada para um centro de tecnologia, especializado em TMC. No segundo caso, a solução seria dedicada à empresa, sem vínculo com uma entidade externa, visto que esta tem todos os requisitos necessários para a implantação da verificação rápida e, principalmente, para a análise crítica dos resultados.

Em ambos os casos, é fundamental a presença de uma equipe de metrologistas especializados em TMC e, também, de um laboratório capaz de dar suporte às necessidades de cada sala de medição. Esse laboratório deve ter um alto nível de qualidade, com um sistema de gestão espelhado na ISO/IEC 17025:2005 [62], viabilizando que as salas de medição sob sua responsabilidade sejam apoiadas e, portanto, obtenham resultados confiáveis e rastreáveis aos padrões nacionais. Dessa forma, duas entidades são identificadas:

- **Centro de Competência em Metrologia Dimensional (CMD):** laboratório, preferencialmente acreditado pela norma ISO/IEC 17025:2005, que detém o conhecimento em TMC e é responsável pelo monitoramento de todas as MMC do sistema. Oferece suporte aos laboratórios abaixo e supervisiona a estabilidade do processo de medição, intervindo quando necessário;
- **Laboratório de Controle Dimensional (LCD):** sala de medição que possui uma ou mais MMC e é responsável por inspecionar peças produzidas pela indústria. O papel desempenhado pelo LCD neste projeto é a realização periódica das verificações rápidas e, também, contactar o CMD para eventuais dúvidas ou problemas que aconteçam no processo de medição ou, especificamente, com a MMC.

Relacionando estas entidades propostas (CMD e LCD) com os dois modelos de aplicação da solução, apresenta-se a Tabela 3.

Tabela 3: Relacionamento entre os modelos de aplicação e as entidades propostas

	CMD	LCD
Modelo 1	Prestador de serviços	Indústrias que utilizam TMC
Modelo 2	Equipe interna de metrologia	Laboratórios ou salas de medição

A existência de um CMD é estratégica para uma solução bem sucedida, visto que em ambos os modelos propostos, é ele quem possui capacidade de análise criteriosa de todos os resultados e, portanto, pode oferecer suporte aos LCD's, muitas vezes sem condições de preocupar-se com estas questões.

Dessa forma, conforme ilustrado na Figura 23, uma solução ideal para monitoramento remoto de estabilidade de MMC, utilizando a verificação rápida, seria aquela que contemplasse desde a aquisição dos resultados das verificações rápidas e controle estatístico de processo, até o gerenciamento desses para promover a troca de informações entre

operadores e supervisores das salas de medidas com os especialistas no CMD.

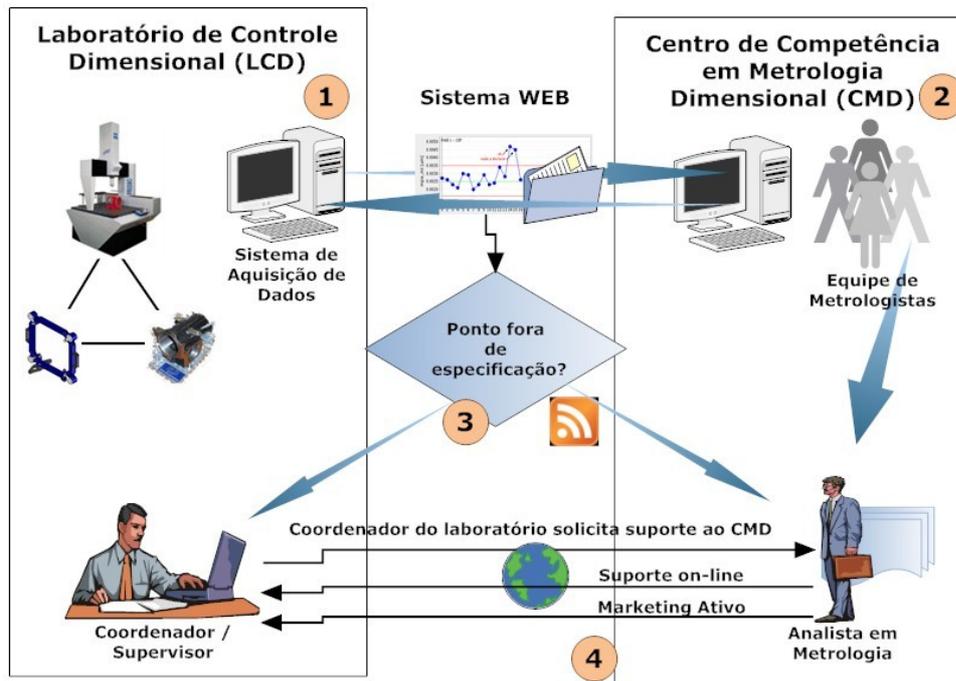


Figura 23: Proposta de solução detalhada

Seguindo os marcadores apontados nessa figura, alguns comentários podem ser feitos:

1. **Aquisição e processamento dos parâmetros:** neste ponto, localizado no LCD, os resultados de medição são adquiridos, processados e enviados para uma base de dados remota;
2. **Monitoramento e análise avançada:** no CMD, uma equipe de analistas em TMC recebe dados periodicamente do LCD;
3. **Sistema de comunicação em tempo real:** responsável por enviar notificações em tempo real para todos os envolvidos no processo: analistas do CMD, operador e supervisor do LCD;
4. **Canal de Comunicação:** responsável por prover um ambiente de troca de informações, relatórios e solução de dúvidas utilizando a Internet, para dentro da empresa ou para um centro de competência externo. Além disso, a prática do *marketing* ativo por parte do CMD pode ser explorado para levar ao LCD serviços e produtos que se fazem necessários.

Dentre os itens acima citados, é comum que existam algumas diferenças entre aplicações em empresas distintas. Considerando a implantação na indústria, os ambientes de aplicação podem ser os mais diversos possíveis. Geralmente uma aplicação não se inicia do zero, ou seja, a empresa já possui uma MMC e, em muitos casos, também um artefato padrão ou uma peça calibrada. Assim, é importante considerar que a empresa já pode ter inclusive o processo de verificação rápida iniciado, exigindo que esta solução consiga se adaptar às mais diversas situações e infraestruturas oferecidas.

Por esse motivo, para que a solução seja competitiva, ela deve ser expansível e modular, capaz de adaptar-se aos investimentos que a empresa já realizou, seja em MMC, sistema de aquisição de temperatura, artefatos ou ainda em sistemas de gestão da metrologia. No caso da presença de sistemas de gestão da metrologia (por exemplo, o LASAR), o CMD deve utilizar desses recursos para relacionar-se com o LCD, desde as funcionalidades de gerenciamento dos sistemas de medição, até a capacidade de interações.

Para melhor apresentar a solução, serão utilizados alguns elementos e diagramas da linguagem UML (*Unified Modeling Language*) [63]. Este detalhamento é dividido em três etapas, sendo que na primeira são apresentados os diagramas de processos essenciais para realização do monitoramento remoto. Na segunda, é apresentada a arquitetura da solução, onde os requisitos, atores e casos de usos são especificados. E, finalmente, são apresentados os módulos da solução e seus relacionamentos, mostrando toda a infraestrutura de TIC necessária.

4.3 - DIAGRAMA DE PROCESSOS ESSENCIAIS

A implantação de uma solução desse tipo na indústria precisa ser planejada e especificada criticamente, principalmente nas primeiras etapas, onde é importante que um analista do CMD faça uma visita ao LCD, identificando suas necessidades e definindo estratégias de contorno, com o objetivo de implantar uma solução personalizada e adequada às suas exigências.

A aplicação desta solução é realizada em 4 procedimentos distintos, sendo que os dois primeiros definem ações para a detecção das necessidades, implantação e operação do sistema, enquanto que os procedimentos 3 e 4, definem ações que são executadas quando

algum evento atípico acontece na indústria. Nesse caso, faz-se necessário o estabelecimento de um canal de comunicação (procedimento 3) e, também, a análise remota dos dados (procedimento 4).

4.3.1 - Procedimento 1: Estudo da estabilidade da MMC no LCD

O primeiro procedimento (Figura 24) é um dos mais importantes para o sucesso da implementação desta solução na indústria. Aqui as necessidades específicas do LCD são levantadas, como por exemplo a definição do artefato, a definição dos parâmetros da MMC que devem ser monitorados, a frequência das verificações e a estratégia de medição (com o objetivo de diminuir o tempo de inspeção sem comprometer a qualidade).

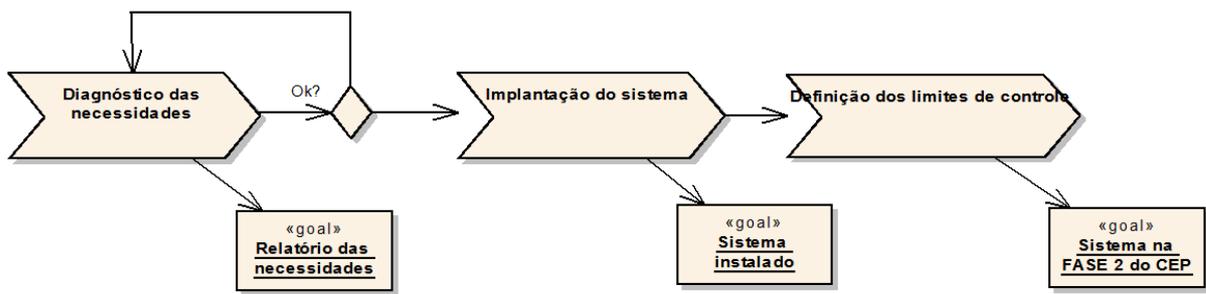


Figura 24: Diagrama de processos do Procedimento 1

No **diagnóstico das necessidades** do laboratório são levantadas algumas necessidades do LCD para a realização da verificação rápida, tais como: artefato, calibrações necessárias, treinamentos, frequência de medição (agenda da verificação rápida), duração dos experimentos, etc. Em seguida, um plano é apresentado ao responsável pelo LCD, que pode solicitar ajustes e aprovar, dando início à implantação. Na **implantação do sistema**, todas as implementações necessárias de *software* (rotinas de aquisição e processamento) e *hardware*, são realizadas, com o objetivo de montar toda a infraestrutura necessária para a sua operacionalização. Com o sistema instalado e configurado de acordo com as necessidades do LCD, dá-se início a etapa do estudo de estabilidade de cada MMC do cliente, resultando na **definição dos limites de controle** de cada parâmetro. A Figura 25 mostra o fluxograma básico do estudo de estabilidade.

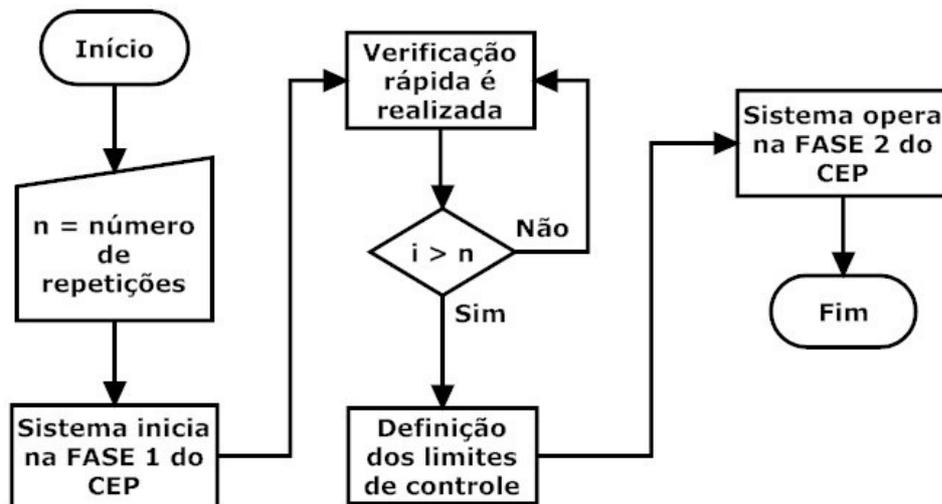


Figura 25: Fluxograma básico do estudo de estabilidade

Na fase 1 são realizadas n medições do artefato escolhido para a verificação rápida, em um curto período de tempo e em horários diferentes (para que os dados gerados nesse momento representem a realidade do LCD). Com estas medições realizadas, o CMD utiliza os resultados para calcular os limites de controle de cada parâmetro estudado. Uma vez determinados os limites de controle, os dados coletados são analisados à procura de sinais de instabilidade. Se o processo se mostrar fora de controle, ações corretivas deverão ser realizadas para identificar e eliminar as causas especiais. Quando o processo de medição mostra-se sob controle, o Procedimento 2 poderá ser iniciado.

4.3.2 - Procedimento 2: Monitoramento contínuo da MMC

No segundo procedimento, o LCD entra em operação, ou seja, as verificações rápidas são realizadas periodicamente seguindo uma “agenda” e o procedimento definido anteriormente. A Figura 26 mostra o diagrama de processos desse procedimento.

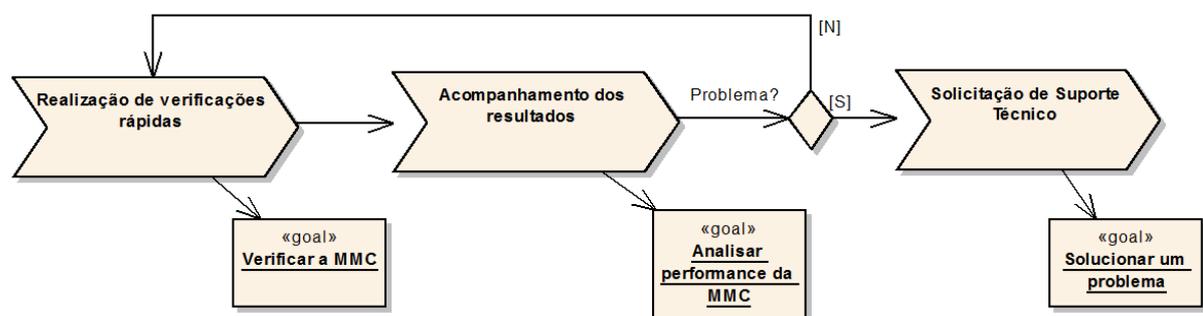


Figura 26: Diagrama de processos do Procedimento 2

O principal objetivo desse procedimento é verificar a máquina, ou seja, é garantir a confiabilidade das medições realizadas. Para isso, o operador **realiza as verificações rápidas**, enviando automaticamente os resultados ao CMD e alimentando as cartas de controle do CEP, onde é possível acompanhar a **performance da máquina**, e detectar a presença de um possível ponto atípico. Nesse caso, na presença de um ponto fora de especificação, o procedimento prevê também a **solicitação de suporte técnico**, que o operador e/ou coordenador do LCD solicita junto ao CMD, na tentativa de entender e resolver o problema no menor tempo possível.

A informação que o operador acessa após realizar uma verificação rápida é bastante simplificada e objetiva. Ele recebe uma mensagem de sucesso – quando as variáveis estão estatisticamente sob controle – ou de chamada de atenção (quando algum resultado atípico for encontrado). O operador também pode acessar os dados simplificados disponibilizados em cartas controle atualizadas após cada verificação.

Dessa forma, deseja-se que o operador se mantenha informado sobre a estabilidade da MMC que opera, oferecendo a ele o amparo de uma equipe especializada do CMD (Procedimento 3).

4.3.3 - Procedimento 3: Comunicação entre o LCD e o CMD

A indústria exige muito das MMC e, conseqüentemente, de seus operadores. A ociosidade destes recursos é praticamente nula. Dessa forma, mesmo tendo competência, o operador muitas vezes não tem condições de parar o serviço rotineiro para analisar um determinado problema, realizar testes ou experimentos necessários para a avaliação da máquina. Na tentativa de oferecer apoio especializado aos operadores, a presente solução prevê um canal de comunicação entre o LCD e o centro especializado.

Este canal de comunicação é estabelecido pelo sistema LASAR, que dispõe de um módulo de *help desk* e *chat*, que permite a troca de informação, solicitação de serviços e suporte em um ambiente organizado e centralizado. As informações geradas são armazenadas em uma base de dados que pode ser utilizada tanto pelo CMD quanto pelo LCD toda vez que um novo problema surgir.

4.3.4 - Procedimento 4: Análise técnica remota

Quando o LCD recebe uma notificação de que um parâmetro da MMC está fora da especificação, a tarefa mais simples seria chamar a assistência técnica e o problema seria resolvido, assumindo todos os custos decorrentes. Isso acontece quando o operador ou coordenador do LCD não está capacitado para interpretar os dados históricos da sua MMC.

Para tal, esta solução prevê um ambiente que oferece ao LCD a possibilidade que seus dados sejam analisados remotamente, no CMD. Toda vez que uma nova verificação é realizada, uma base de dados remota é automaticamente alimentada, permitindo que os analistas possam utilizar todos os dados do LCD como fonte de informações históricas, permitindo cálculos estatísticos e possibilitando um estudo mais aprofundado do problema.

Na solução de um problema, a equipe de analistas conta com um conjunto de ferramentas, dados de medições, informações de casos anteriores, literaturas, etc., conforme é mostrado na Figura 27.

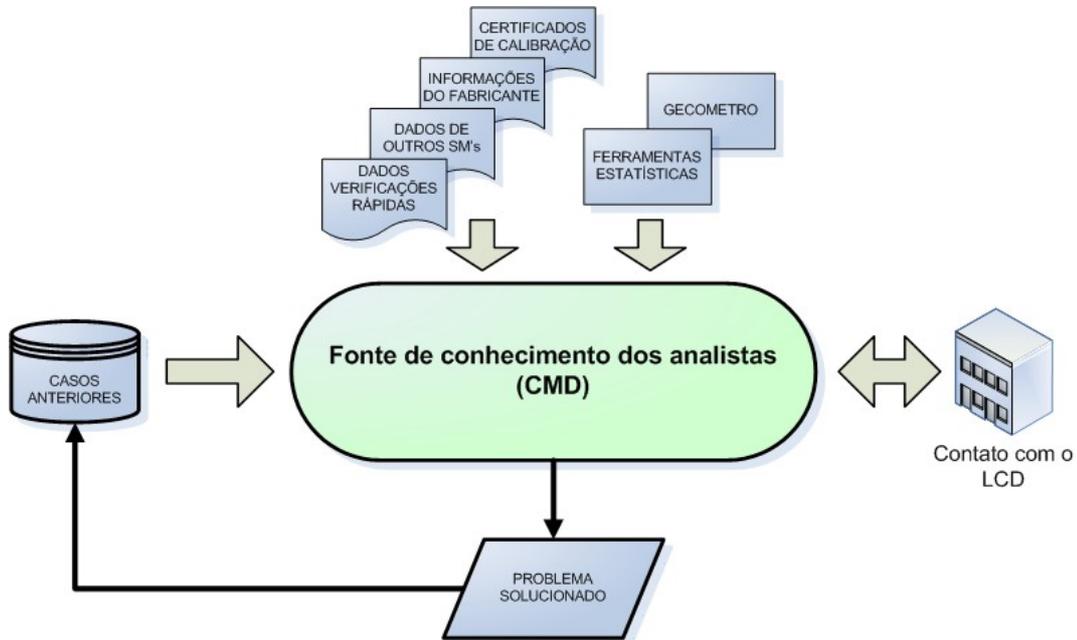


Figura 27: Fonte de conhecimento da equipe de analistas

Com o conhecimento gerado, somado ao conjunto de ferramentas e dados disponíveis, deseja-se que a solução de um novo problema pelo CMD aconteça de forma mais objetiva, com o mínimo de retrabalho possível. Para isso, é necessário oferecer ao analista (ou equipe) um ambiente simples e objetivo. Alguns pontos são importantes para esse procedimento:

- possibilidade de utilizar o software de processamento estatístico favorito;
- acesso a base de dados de conhecimento metrológico;
- discussões com outros analistas;
- contato direto com o LCD para obter maiores informações, documentos e relatórios;
- realimentação da base de dados de conhecimento com informações geradas.

A análise dos resultados de medições por uma equipe especializada pode ser muito eficiente quando se tem um ambiente que ofereça esses benefícios, preocupando-se apenas em disponibilizar os dados e oferecer mobilidade ao analista para utilizá-los da sua maneira, sem a necessidade de aprender novas tecnologias.

4.4 - DEFINIÇÃO DA ARQUITETURA DA SOLUÇÃO

O objetivo deste trabalho não é o desenvolvimento de um *software*, porém, faz-se necessária a identificação e definição de todos os elementos envolvidos nesse processo. Assim, nesta seção a solução será melhor detalhada, a sua arquitetura será definida, especificando principalmente os requisitos, os atores envolvidos e as suas iterações com a solução.

4.4.1 - Requisitos funcionais, não-funcionais e regras de negócio

Nesta seção serão apresentados os requisitos (funcionais e não-funcionais) e as principais regras de negócio que definem o comportamento desta solução [63]. Os requisitos funcionais (mostrados na Tabela 4) listam as funcionalidades fundamentais da solução.

Tabela 4: Listagem dos requisitos funcionais

Código	Descrição
RF-01	A solução deve viabilizar a realização de verificações rápidas
RF-02	A solução deve permitir que os analistas do CMD acessem os dados dos LCD's em tempo real
RF-03	A solução deve permitir a utilização de distintos artefatos ou peças de produção

RF-04	A solução deve permitir que os artefatos utilizados sejam calibrados com uma frequência pré-determinada
RF-05	A solução deve prever a presença de um supervisor responsável por todas as ações realizadas no LCD.
RF-06	A solução deve permitir que um operador seja associado a uma MMC
RF-07	A solução deve possibilitar a realização do estudo de estabilidade da MMC ou do processo de medição
RF-08	A solução deve detectar a presença de pontos atípicos (<i>outliers</i>) gerados por causas inadequadas na medição (ex.: sujeira, vibração, etc.)
RF-09	A solução deve ser integrada com o módulo de <i>help desk</i> do sistema LASAR
RF-10	A solução deve permitir que o analista utilize os dados armazenados em outros sistemas de processamento estatístico
RF-11	Relatórios, arquivos e outras informações podem ser enviadas aos usuários envolvidos no processo para solução de um problema

A Tabela 5 apresenta os requisitos relativos ao ambiente em que a solução se aplica, ou seja, algumas exigências com relação aos usuários, comunicação e segurança, caracterizando assim os requisitos não-funcionais.

Tabela 5: Listagem dos requisitos não-funcionais

Código	Descrição
RNF-01	Interface gráfica simplificada
RNF-02	Transmissão de dados segura pela Internet
RNF-03	Arquitetura cliente/servidor
RNF-04	Sistema deve ter capacidade de operar <i>off-line</i>
RNF-05	Sistema é administrado por uma empresa de TI
RNF-06	Necessidade de gerenciamento de rotinas de programação

Além da definição das funcionalidades da solução e dos requisitos não-funcionais, foram especificadas também as regras de negócio desta solução. Nas regras de negócio são listadas as políticas, condições e restrições que descrevem como esta solução funciona. A Tabela 6 enumera as regras de negócios (RN's) fundamentais deste trabalho.

Tabela 6: Identificação das regras de negócios iniciais

Código	Descrição
RN-01	A verificação rápida é realizada por um operador responsável
RN-02	O mesmo artefato pode ser utilizado em vários LCS's e MMC's
RN-03	Um laboratório de medição (LCD) deve conter uma ou mais MMC's
RN-04	Um centro de metrologia (CMD) é responsável por um ou mais LCD's

RN-05	Todas as verificações rápidas são monitoradas por um ou mais analistas responsáveis
RN-06	Sempre que uma verificação rápida é realizada todos os usuários envolvidos são comunicados
RN-07	Os analistas podem acessar somente os dados de LCD's que são de sua responsabilidade
RN-08	Os laboratórios (LCD) podem acessar somente os seus dados
RN-09	Os operadores podem acessar somente os dados das máquinas que é associado
RN-10	Quando um problema acontece, o operador recebe uma mensagem simplificada e pode acessar os gráficos CEP quando achar necessário
RN-11	A duração do período do estudo de estabilidade é definida pelo analista
RN-12	Para operar na fase 2 do CEP, os limites de controle devem ser definidos
RN-13	A definição dos limites de controle é realizada pelo analista, com concordância do supervisor
RN-14	Quando um ponto atípico é detectado, o supervisor pode abrir um canal de comunicação com analistas do CMD

4.4.2 - Especificação dos atores e “casos de uso”

Tanto no CMD quanto no LCD, foram identificados atores que desempenham tarefas nesta solução de monitoramento remoto. A Figura 28 os apresenta agrupados de acordo com a entidade à qual estão diretamente relacionados. Além do LCD e CMD, faz-se presente nessa figura a entidade LASAR Central, que pode ser entendida aqui como uma empresa de TI que administra toda a solução, em ambos os modelos.

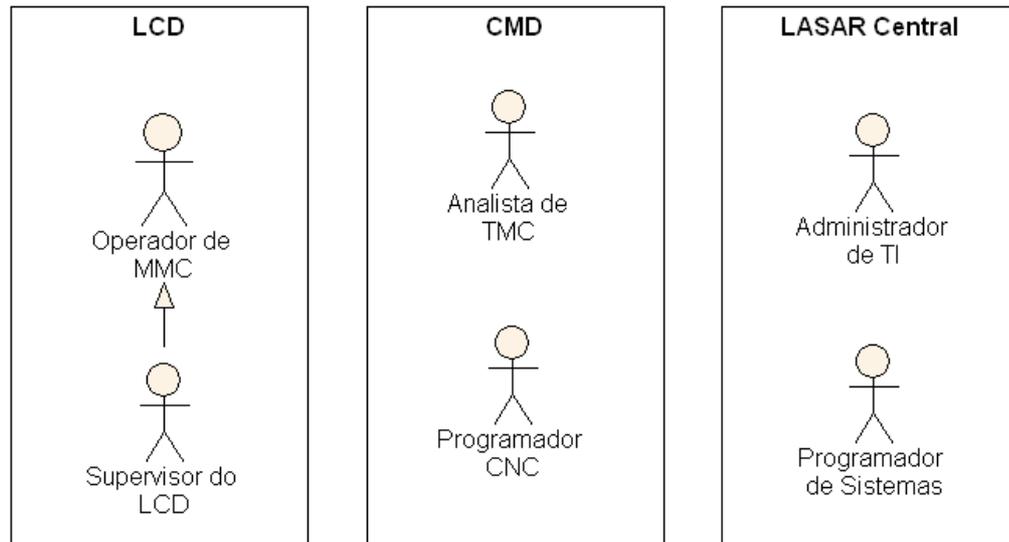


Figura 28: Definição dos atores no sistema

Dentre os atores relacionados, três deles exercem responsabilidades fundamentais para o processo de monitoramento remoto do processo de medição por coordenadas propriamente dito. São eles:

- **Analista de TMC:** é um especialista em TMC, responsável por monitorar remotamente a estabilidade das MMC, analisando os dados e respondendo aos possíveis contatos realizados pelos supervisores dos LCD's. Esse ator encontra-se no CMD, e pode representar mais de um usuário, ou seja, uma equipe de analistas;
- **Supervisor do LCD:** responsável pelo LCD. Suas responsabilidades são monitorar todas as máquinas do seu laboratório, gerenciar os operadores e, principalmente, intervir no processo de medição toda vez que um problema acontecer;
- **Operador de MMC:** é responsável por uma MMC. O operador executa as verificações rápidas seguindo uma agenda, definida no Procedimento 1, na seção .

Estas responsabilidades, dentre outras, são listadas no diagrama de casos de uso ilustrado na Figura 29. Esse diagrama representa as interações entre os atores identificados e as necessidades do sistema.

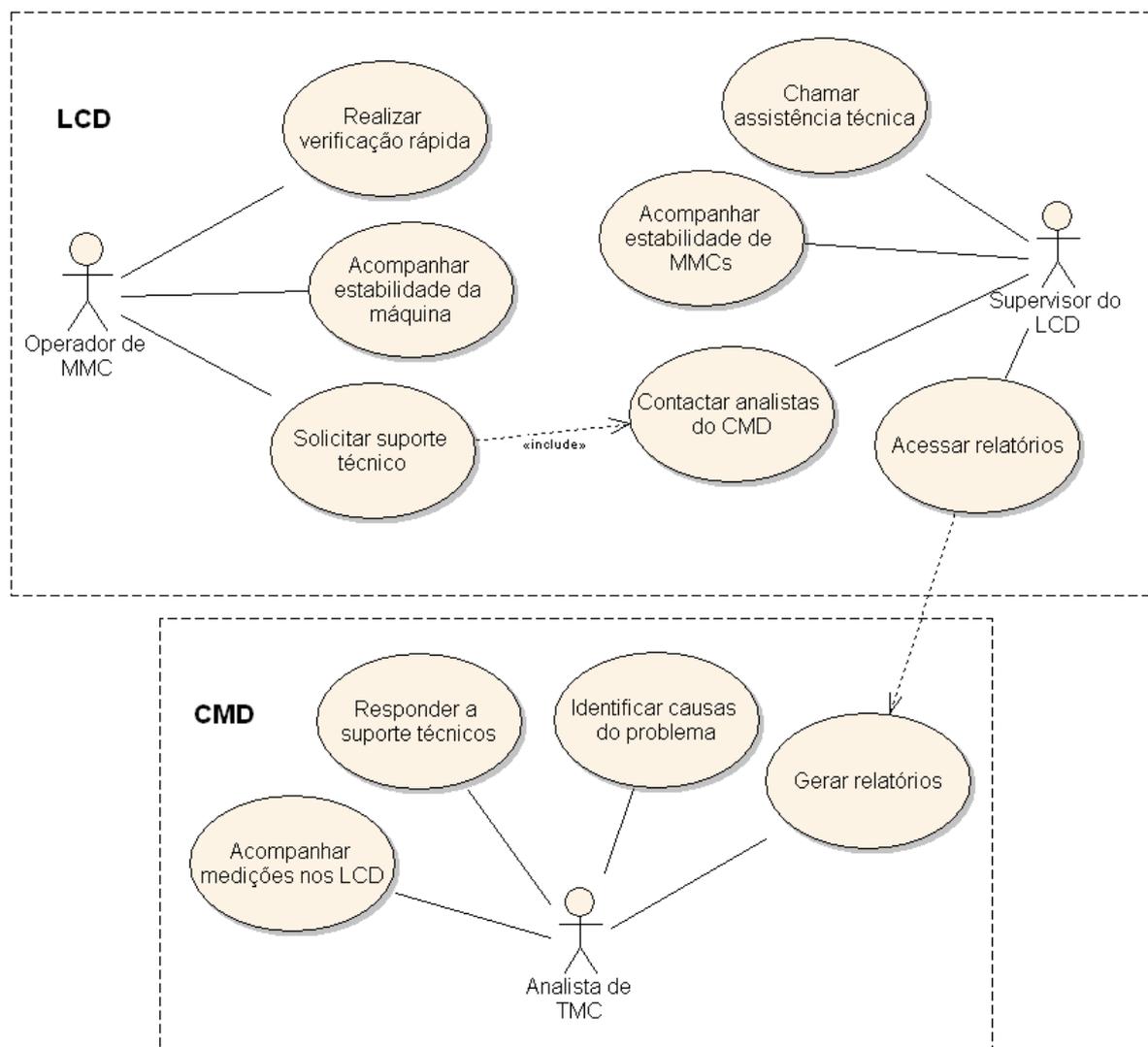


Figura 29: Especificação dos casos de uso para realização de verificação rápida

Por outro lado, também são identificados atores que têm participações específicas no momento da implantação e até mesmo durante toda a vida da solução, no que se diz respeito à manutenção e aos ajustes de cada aplicação. Esses atores são:

- **Administrador de TI:** é responsável por oferecer um sistema de suporte à solução proposta e de mantê-lo operante nas mais diversas situações que se encontram durante o uso;
- **Programador de sistemas:** responsável por implementar e realizar adequações nos *softwares* de aquisição e processamento de dados das medições, garantindo que estas informações sejam corretamente adquiridas e armazenadas na base de dados remota;

- **Programador CNC:** é responsável por desenvolver as rotinas de inspeção do artefato que será utilizado pelo LCD no processo de verificação rápida.

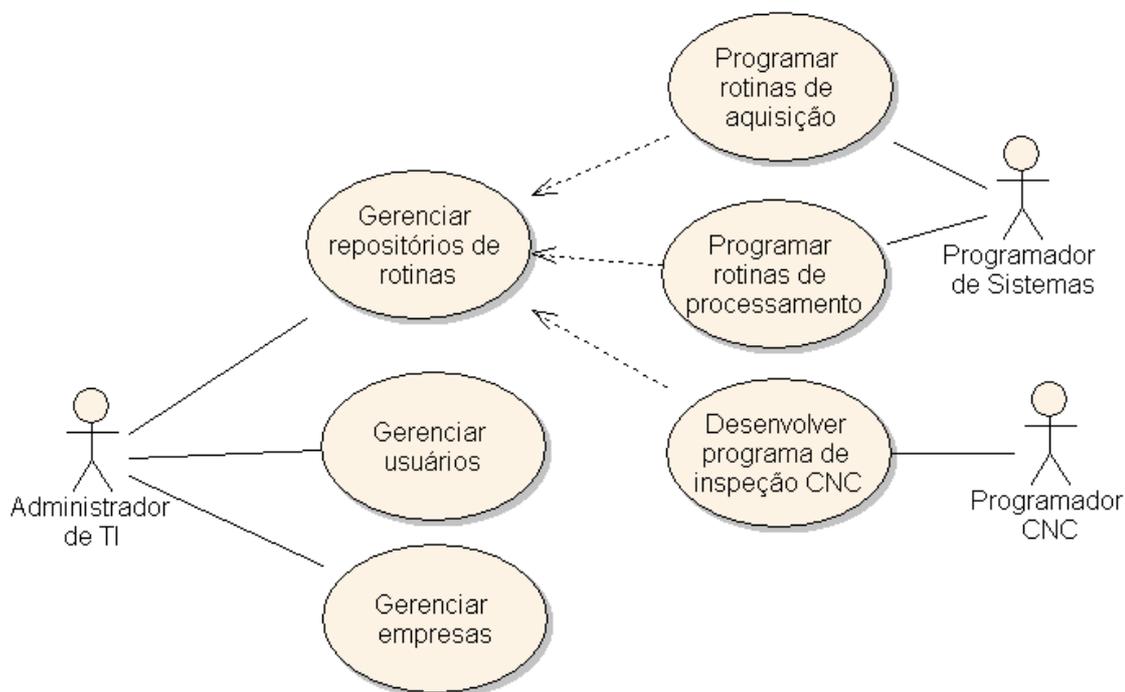


Figura 30: Casos de uso de gestão do sistema

A Figura 30 mostra as interações desses atores com a solução proposta. A participação de cada ator é fundamental para a implantação desta solução. Em cada etapa dessa implantação, alguns atores são mais exigidos, porém as atividades por eles desempenhadas garantem o sucesso e a sustentabilidade da aplicação. A Figura 31 mostra a participação de cada ator nos quatro procedimentos de implantação do sistema.

	P1	P2	P3	P4
Analista de TMC	■	■	■	■
Supervisor do LCD	■	■	■	■
Operador de MMC		■	■	
Administrador de TI	■			
Programador de Sistemas	■			
Programador CNC	■			

Figura 31: Participação dos atores na implantação da solução

Percebe-se que a equipe de analistas, os supervisores e os operadores são os atores mais presentes em todas as interações. Os demais estão apenas relacionados em garantir a operação e implantação do sistema e, por esse motivo, são considerados menos importantes na validação dos benefícios metrológicos pretendidos na solução.

4.5 - DEFINIÇÃO DOS MÓDULOS DA SOLUÇÃO

Com a arquitetura da solução já introduzida, faz-se necessária a especificação dos módulos para a implantação do sistema, bem como a infraestrutura necessária em todas as etapas desse processo. Assim sendo, nesta seção serão apresentados os módulos elaborados para viabilizar a implantação e operacionalização da solução, buscando a melhor forma de integração das soluções já desenvolvidas e aplicadas na metrologia, principalmente na área de gestão do conhecimento, gestão de sistemas de medições e, também, de relacionamento.

Contemplando os requisitos não-funcionais RNF-02 e RNF-03, a Figura 32 mostra os módulos necessários para desenvolvimento da solução, enfatizando a arquitetura cliente/servidor, os protocolos de comunicações, o suporte a múltiplos artefatos e os sistemas já existentes que fazem parte desta solução.

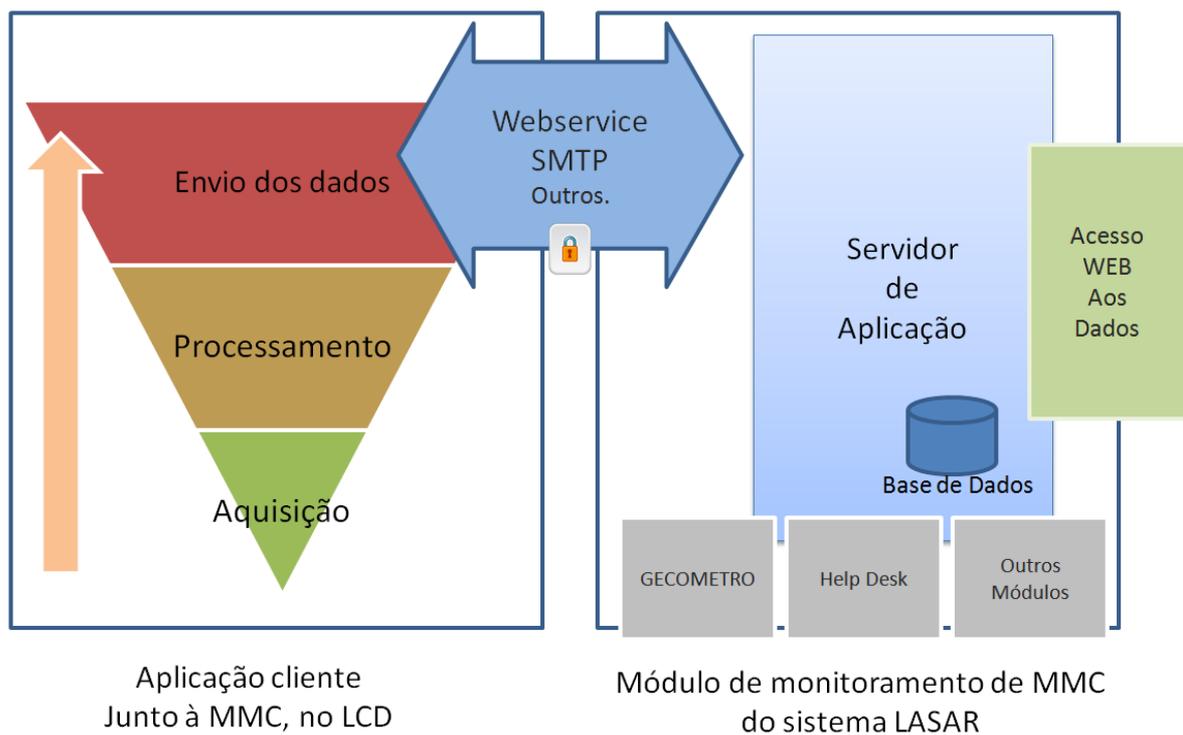


Figura 32: Módulos, protocolos e sistemas que compreendem a solução

Basicamente, a solução é composta por módulos que integram o sistema LASAR. Como visto no capítulo 3, o sistema LASAR possui por padrão vários módulos técnicos e está preparado para novos desenvolvimentos. Dessa forma, a solução para monitoramento remoto de processos de medição por coordenadas é definida como um módulo desse sistema e, por esse motivo, pode utilizar alguns recursos já disponíveis, tais como o módulo de *help desk* e o

módulo de gestão do conhecimento (GECOMETRO).

De acordo com a figura anterior, a solução é constituída de uma aplicação cliente, responsável pela aquisição, processamento e envio dos resultados, e uma aplicação servidora, responsável pelo armazenamento desses em uma base de dados acessível ao CMD, permitindo o acompanhamento via WEB.

4.5.1 - A aplicação cliente

O desenvolvimento desta aplicação é destinada ao LCD, ou seja, encontra-se instalada em cada computador ligado à MMC e é responsável por coletar as informações geradas pela realização da verificação rápida, processá-las e enviá-las ao servidor de aplicação, no CMD.

Nas empresas podem existir distintas formas para realizar a coleta dos resultados das verificações rápidas. Uma primeira situação que pode ser discutida, é a presença de distintos artefatos mecânicos e, ainda, peças calibradas. Nesse caso, esta aplicação cliente necessita de adequações específicas para cada implantação, visto que os parâmetros a serem adquiridos são diferentes e, conseqüentemente, também processados de maneiras distintas.

Uma segunda situação é a falta de padronização para geração dos resultados das medições. Assim, a aquisição dos dados das verificações rápidas também seria comprometida, visto que várias são as formas de aquisição, como por exemplo: arquivos do tipo texto (TXT), *Portable Document File* (PDF), entrada manual via teclado, ou ainda, nos casos mais avançados, utilizando a interface DML.

Por fim, o envio de dados ao servidor de aplicação pode ser comprometido porque em muitos casos o acesso à Internet é bastante restrito, devido às severas política de segurança das empresas, o que impede a utilização, por exemplo, de uma comunicação padrão utilizando *webservices*. Nesse caso é importante que existam outras formas e protocolos de envio de dados. Após consulta a algumas indústrias brasileiras, percebeu-se que um protocolo que poderá ser explorado é o SMTP (*Simple Mail Transfer Protocol*) que é utilizado para envio de *e-mails*. O uso do SMTP pode ser uma solução nos casos mais isolados, porém o solução deixaria de ser em “tempo real” e passaria a ter um atraso nas informações, porém nada muito significativo comparado às soluções atuais, que são realizadas via telefone, troca de *e-mails* ou ainda presenciais.

Os motivos citados acima justificam a elaboração de uma aplicação cliente flexível, de tal forma que cada um dos seus módulos (aquisição, processamento e envio) possam ser facilmente modificados e adequados às necessidades de cada implantação. Assim sendo, a Figura 33 mostra o modelo ideal de comunicação entre esses módulos, enfatizando o uso de parâmetros para troca de dados entre eles, até o seu envio.

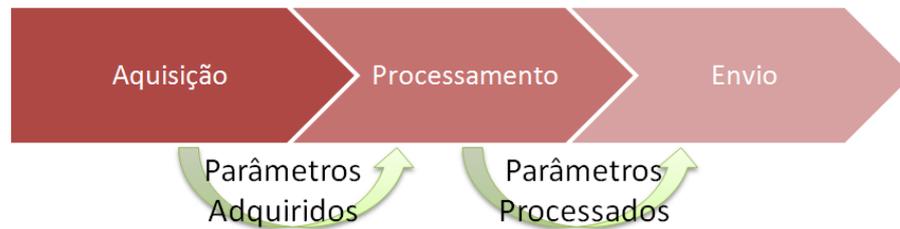


Figura 33: Solução para aquisição, processamento e envio dos dados

Com uma aplicação flexível, possibilitando que os módulos sejam implementados individualmente, é possível que com o passar do tempo aplicações semelhantes ou idênticas sejam desnecessariamente reprogramadas, gerando retrabalho. Por esse motivo, esta solução prevê um repositório de rotinas de programação, com o objetivo de armazenar os códigos-fontes programados, possibilitando sua recuperação futura. A Figura 34 mostra os detalhes desse repositório, bem como suas subdivisões. Os itens (1), (2), (3), (4) e (5), marcados nessa figura serão apontados a seguir.

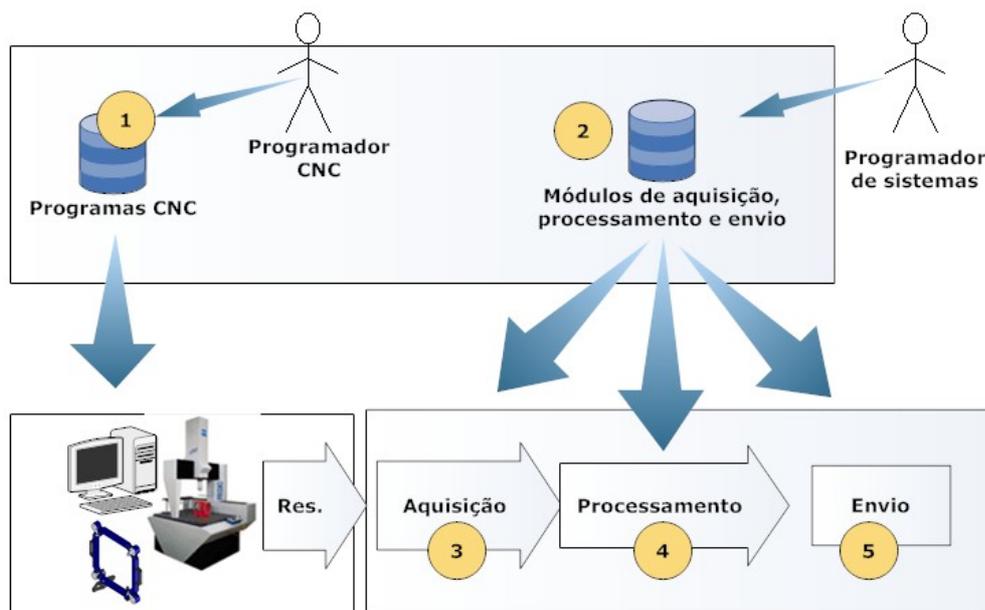


Figura 34: Reutilização de rotinas para aquisição e processamento dos dados

Quando uma nova implantação é realizada, os atores envolvidos com a área de TI e de programação da MMC, devem utilizar os repositórios de programas CNC (1) e de rotinas de programação (2) para adaptações nos módulos de aquisição(3), processamento (4) e envio (5). Desta forma, busca-se evitar ao máximo a reprogramação de tarefas já realizadas, economizando tempo e evitando o surgimento de *bugs* já resolvidos anteriormente. Para facilitar esta busca, a Tabela 7 lista os parâmetros que identificam cada módulo da aplicação cliente. Por exemplo, se uma aplicação usa o mesmo artefato e mesmo formato de relatório que uma aplicação anterior, então esse módulo pode ser resgatado do repositório.

Tabela 7: Relação de parâmetros e módulos para busca no repositório

Módulo	Fabricante da MMC²	Formato do Relatório	Artefato utilizado	Segurança de Rede/Internet
Programa CNC	Sim	Sim	Sim	Não
Aquisição (3)	Não	Sim	Sim	Não
Processamento (4)	Não	Não	Sim	Não
Envio (5)	Não	Não	Não	Sim

Percebe-se então, que uma mesma configuração de implantação, porém em diferentes MMC, requer apenas a elaboração do programa CNC e da rotina de aquisição. Esses dois pontos são mais críticos, visto que são diretamente relacionados com o fabricante da MMC e versão do software CNC da máquina, porém, essas dificuldades serão reduzidas no momento em que as padronizações (ex: DMIS e DML) se difundirem pelas empresas.

4.5.2 - Análise remota dos resultados

Para a aplicabilidade e sustentabilidade desta solução, a interatividade do CMD com o LCD é fundamental no momento em que alguma dúvida acontece na sala de medidas, ou no momento em que uma intervenção deve ser realizada, mesmo sem o devido conhecimento do operador.

Utilizando a Internet como plataforma e os novos conceitos estabelecidos pela WEB 2.0 [20] previstos no sistema LASAR [54], concebe-se um ótimo meio para a interatividade, comunicação e compartilhamento do conhecimento necessário para a presente solução. O sistema LASAR possibilita o desenvolvimento de uma base de dados central para convergência das informações metrológicas e transferência de documentos relevantes para a comunicação do CMD com o LCD.

² Se for possível a utilização do padrão DMIS, então essa coluna deverá ser ignorada

Neste sistema, o módulo de *help desk* é responsável por estabelecer um canal de comunicação entre os envolvidos no processo: basicamente operadores, supervisores e analistas. Toda vez que uma comunicação é estabelecida entre o CMD e o LCD, uma nova chamada técnica é iniciada no LASAR. Todo o processo posterior da interação entre os analistas e operadores, como por exemplo a troca de documentos, relatórios, etc., são intermediados por este sistema, centralizando as informações em uma única base de dados, facilitando a recuperação e reutilização desses para soluções de casos similares, ou ainda, para ações estratégicas do CRM (*Customer Relationship Management*) [64], tais como o *marketing* ativo.

Com esses dados centralizados e atualizados em tempo real no CMD, o acesso para sua análise é trivial. A partir de um portal WEB, o analista tem acesso a todos os LCD de sua responsabilidade e pode acessar qualquer MMC para realizar análises e gerar relatórios. A Figura 35 mostra um fluxograma básico para esse processo.

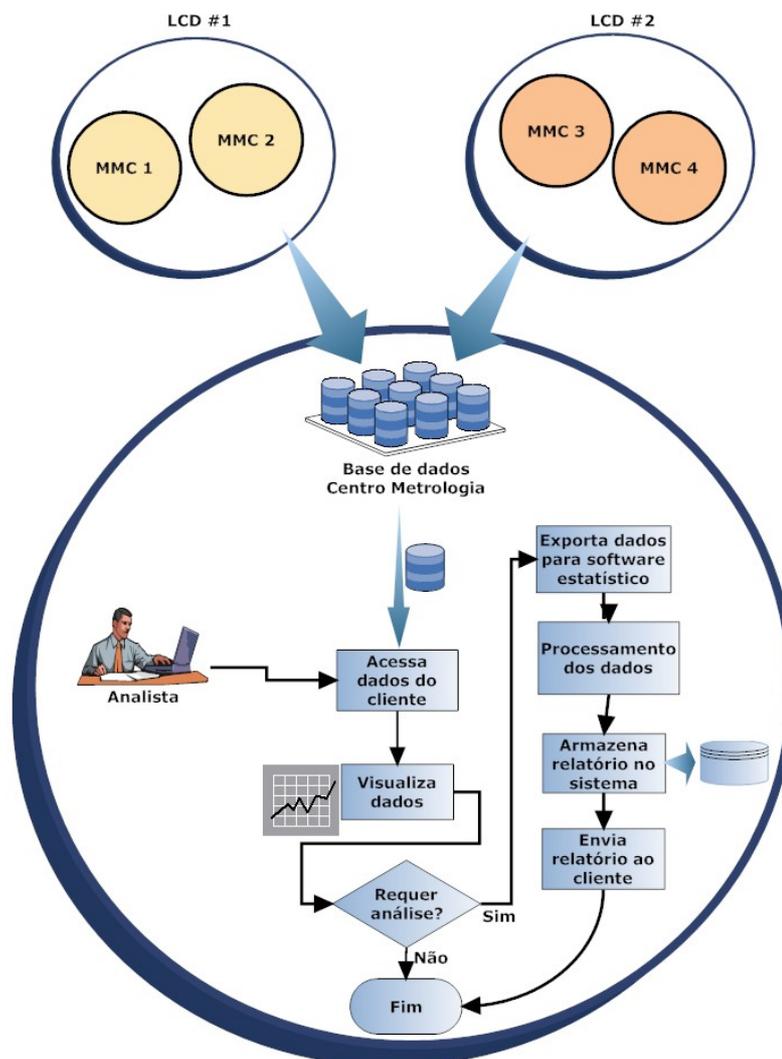


Figura 35: Análise remota dos dados no CMD

Esse ambiente deve ser bastante simplificado, atendo-se em centralizar as informações e oferecer um nível de acesso aos dados para uma análise superficial. Quando o problema requer uma análise mais detalhada e avançada, o analista tem a opção de utilizar os dados do LCD de acordo com a necessidade, exportando os dados para *softwares* específicos e muito bem difundidos no mercado, tais como o *Q-stat*, *Minitab*, entre outros, inclusive planilhas eletrônicas como o *MS Excel*, *OpenOffice Calc*.

4.5.3 - Monitoramento e suporte técnico em tempo real

Sempre que uma verificação rápida é realizada na indústria todos os atores envolvidos são comunicados. Uma maneira adequada para realizar esta tarefa, seria enviar uma notificação via RSS (*Really Simple Syndication*), informando os principais dados da verificação realizada, bem como o estado atual da máquina verificada.

Dependendo do estado da MMC, se ela estiver estável, esta notificação é meramente informativa. Porém, no caso de apresentar algum problema de estabilidade, todos os analistas e responsáveis por aquela MMC são comunicados, possibilitando que um plano de ação seja desenhado para contornar o problema. Quando o problema realmente existe, e o LCD não consegue perceber o que está acontecendo, é necessário solicitar suporte técnico ao CMD. O fluxograma ilustrado na Figura 36 mostra como esse processo deve ser realizado.

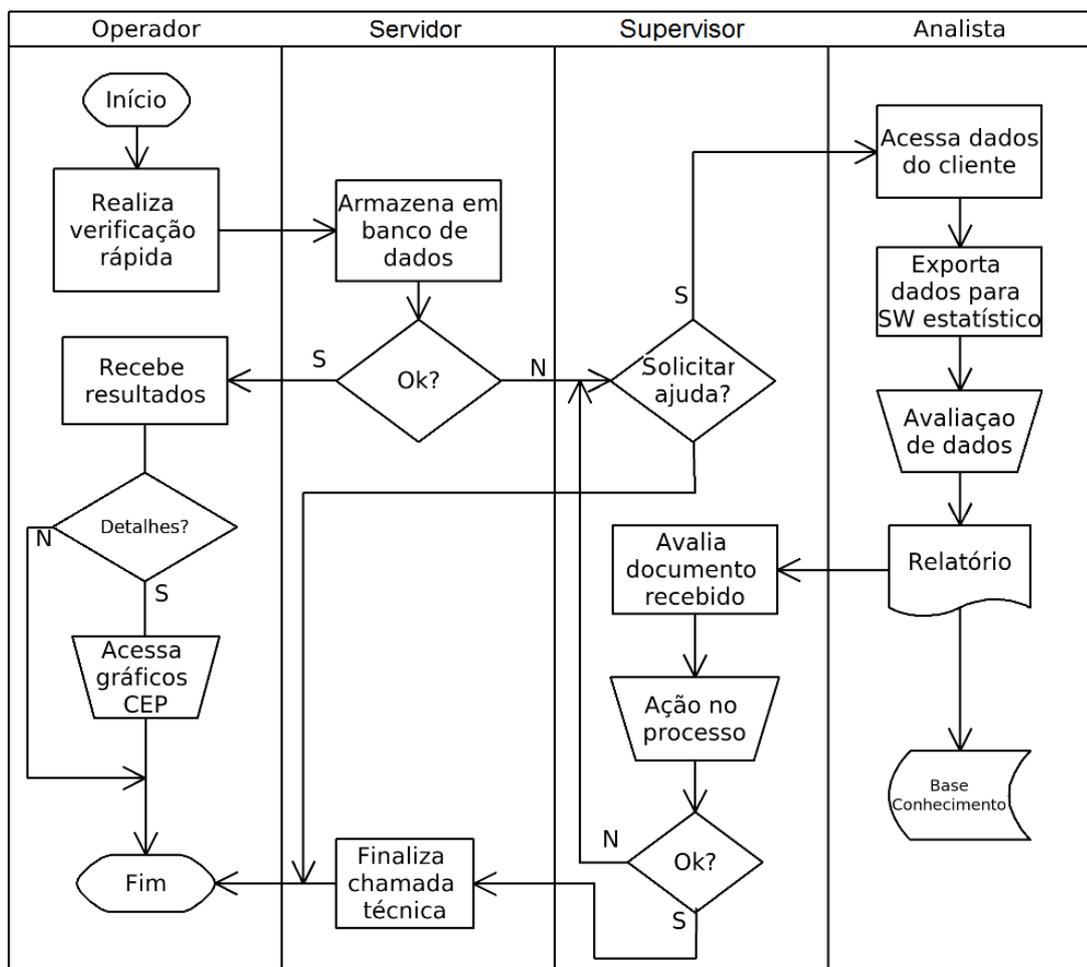


Figura 36: Fluxograma de realização da verificação rápida e suporte

Dessa forma, estão estabelecidos todos os pontos vitais da arquitetura desta solução para monitoramento remoto de processos de medição por coordenadas baseado na verificação rápida. Os pontos aqui especificados e discutidos servem de base para a implantação da solução propriamente dita, onde são estabelecidos procedimentos para implantação, operacionalização, comunicação e análise dos dados. A seção a seguir aborda esses assuntos e conclui a proposta da solução, atendendo aos requisitos apontados neste capítulo.

4.6 - APLICABILIDADE DA SOLUÇÃO

Com os modelos de aplicação definidos, bem como a presença de entidades identificadas, tem-se uma solução capaz de ser aplicada nas empresas, mesmo com seus requisitos específicos. A necessidade de uma solução completa e dedicada para as empresas que se encaixam no modelo 2 é um grande diferencial, o que viabiliza a comercialização na

forma de um produto.

Observando a solução na forma estabelecida no modelo 1, onde têm-se um centro de metrologia externo e várias pequenas empresas participantes, é importante destacar a presença de duas oportunidades. A primeira, beneficiando o CMD, utiliza esta solução como meio de negócios diretos, cobrando pelo serviço de monitoramento e assessorias, ou como meio de negócios indiretos e/ou estratégicos, utilizando a solução para fins de conhecimento do seu cliente, agindo ativamente no marketing e relacionamento mais personalizado.

A segunda oportunidade está relacionada ao modelo de implantação da solução no CMD, visto que faz-se necessária uma entidade responsável por esse processo. Com esta visão de negócio, na tentativa de abstrair das indústrias e laboratórios de metrologia a preocupação inerente à área de TI, foi detectada a oportunidade para criação de uma empresa de TI para o gerenciamento, implantação e manutenção da solução. O objetivo é manter o sistema operante em 99,9% do tempo, sem comprometer a relação entre as partes envolvidas com a garantia da qualidade metrológica das medições.

Esta empresa de TI é responsável pela manutenção de uma equipe especializada em programação de sistemas e infraestrutura de redes, atendendo assim às necessidades de comunicação entre o LCD e CMD quando as distâncias forem maiores, ou ainda, com o objetivo de garantir a segurança das informações através da utilização de conexões criptografadas e *Virtual Private Networks* (VPN) [65].

Pelo motivo desta solução estar inserida no conceito do LASAR Central [54], esta empresa é responsável pelo marketing e difusão do sistema, servindo como um agente facilitador do relacionamento entre LCD e CMD, de forma transparente.

Na validação da solução proposta, foram aplicados os dois modelos propostos neste trabalho. O primeiro modelo foi implantado em uma indústria automotiva em Curitiba (PR), representando o LCD, e na Fundação CERTI como CMD. O modelo 2 foi instalado em um ambiente laboratorial e utilizando dois artefatos distintos. Em ambos os casos a Empresa de TI foi representada pelo autor deste trabalho, vinculado ao PósMCI/UFSC.

Capítulo 5

TESTES OPERACIONAIS DA SOLUÇÃO

A solução foi implantada e testada nos dois modelos de aplicação definidos no capítulo anterior em duas MMC de diferentes modelos e fabricantes, localizadas em empresas distintas. Dessa forma também foi possível validar o suporte a diferentes artefatos.

O modelo 1 foi aplicado num ambiente real de utilização da solução proposta, onde existe a presença de um centro de tecnologia, localizado em Florianópolis (SC), com competência metrológica instalada (CMD) e uma indústria de usinagem localizada na cidade de Curitiba (PR), com uma sala de medição e uma MMC constituindo o LCD. Já o modelo 2 foi implantado dentro de um laboratório de referência em metrologia, na cidade de Florianópolis (SC), viabilizando a aplicação e testes de pontos específicos da solução, como por exemplo o suporte a distintos artefatos.

A validação da solução foi dividida em três aplicações distintas, sendo que a primeira (“A”) foi aplicada no modelo 1 enquanto as demais foram aplicadas no modelo 2. As aplicações “B” e “C” foram separadas para enfatizar a utilização de distintos artefatos, e também para facilitar o entendimento dos resultados obtidos, visto que os métodos de análise, nesses dois casos, foram diferentes.

5.1 - APLICAÇÃO “A”

A empresa atua como fornecedora de peças automotivas para montadoras em geral e é certificada pela ISO/TS 16949:2002. A solução foi implantada de acordo com as características dispostas na Tabela 8.

Tabela 8: Características técnicas da aplicação "A"

Característica	Valor
Fabricante da MMC	DEA
Modelo da MMC	GLOBAL ADVANTAGE 12.22.10
Cabeçote	CABEÇOTE ANALÓGICO LEITZ
MPE segundo ISO 10360-2:2001	(2,2 + L/333) μm
Última Calibração	23/08/2007
Próxima calibração prevista	Setembro/2008
Artefato Utilizado	Quadra Mensura
Calibração do artefato	Março/2008
Parâmetros monitorados	Desvios em X, Y e Z Ortogonalidades nos planos XY, YZ e ZX
Data de início da aplicação	25 de março de 2008
Data de definição dos limites de controle	06 de maio de 2008
Data final de aquisição dos resultados	02 de setembro 2008

5.1.1 - Diagnóstico das necessidades

A máquina de medir por coordenadas monitorada é responsável pela garantia de qualidade de peças automotivas (Figura 37) que são usinadas pela própria empresa. A principal preocupação identificada é com a estabilidade da MMC ao longo do tempo, conforme exigido pelo MSA. Como a ociosidade da máquina é praticamente nula, é importante que os desvios ocasionados por qualquer imprevisto (como por exemplo, uma colisão de apalpador) sejam avaliados de imediato, possibilitando a execução de ações de contingência.



Figura 37: Bloco de motor sendo medido na MMC

A falta de um sistema de ar-condicionado mais avançado permite a existência de gradientes de temperaturas no ambiente de medição, além de fortes influências do meio externo sobre a temperatura interna da sala. Esta instabilidade térmica pode prejudicar na qualidade dos resultados das medições, dificultando a sua compensação. No diagnóstico das necessidades, foi definido que seriam necessárias 20 medições em um curto período de tempo para avaliar a capacidade da MMC. Assim, foi elaborado um procedimento sugerindo que no primeiro mês de implantação, de segunda-feira à sexta-feira, o padrão fosse medido diariamente. Em seguida, após a definição dos limites de controle, a verificação periódica seria iniciada e realizada apenas três vezes por semana, por um período indeterminado.

5.1.2 - Configuração

A configuração da solução aconteceu conforme o esperado, sem mudanças significativas no procedimento, sendo que apenas alterações específicas foram realizadas, tais como:

- programação do reconhecimento do relatório de medição gerado pelo programa de inspeção PCDIMIS. As rotinas de programação realizadas nessa etapa foram armazenadas no repositório, o que facilitará novas implantações semelhantes;
- liberação de acesso à Internet no computador utilizado para aquisição dos relatórios de medição da MMC, visto que a política de segurança de redes interna do cliente bloqueia esse tipo de acesso. Mesmo com essas dificuldades encontradas, não foi necessária a implementação de um novo módulo de envio.

O tempo total de permanência dos técnicos de programação (tanto CNC quanto das rotinas de aquisição dos dados) na indústria foi de aproximadamente 1 dia, sendo que toda a programação foi realizada *off-line*, ou seja, sem que a máquina fosse parada. As medições de peças produzidas foram interrompidas somente no momento do treinamento assistido dos operadores para a realização das medições. Todas as verificações rápidas realizadas nesse momento, com o objetivo de treinar os operadores responsáveis, já foram consideradas pelo sistema, aproveitando 100% do tempo da máquina.

5.1.3 - Definição dos limites de controle e operacionalização do sistema

O período de estudo da estabilidade da MMC se estendeu além do tempo definido no procedimento inicial, pois alguns eventos prejudicaram a realização das medições, tais como:

- auditoria de clientes;
- alterações estruturais na sala de medição (ex: nova porta, adição de outra MMC);
- instalação de uma nova MMC na sala;
- instalação de um novo aparelho de ar condicionado.

Além de elevar o tempo do estudo de estabilidade, estas alterações estruturais na sala de medição provocaram perturbações no processo, que foram detectados já pelo CMD ainda nessa primeira etapa. A Figura 38 mostra esta oscilação detectada no gráfico de controle do erro de ortogonalidade entre os eixos X e Z.

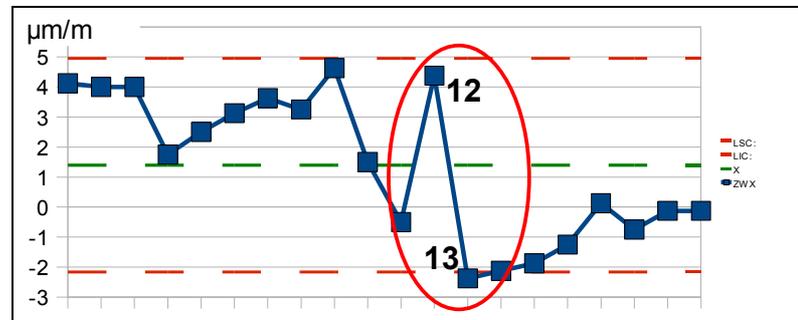


Figura 38: Gráfico de indivíduos do erro de ortogonalidade entre os planos X e Z

Analisando esse gráfico de controle percebe-se uma alteração de aproximadamente $5\mu\text{m/m}$ na média. Esta mudança de curso ocorreu entre as medições 12 e 13 (intervalo de tempo de aproximadamente 45 dias), o que demonstra um comportamento típico da ação de uma causa especial sob o processo de medição. Após a detecção dessa alteração, o responsável pelo LCD foi contactado e a informação passada por ele ao CMD é que nesse período aconteceu uma colisão no apalpador. Além disso, as alterações estruturais na sala podem ter perturbado os gradientes de temperatura, ocasionando a mudança da ortogonalidade entre os eixos X e Z.

Após a realização das 20 verificações previstas, aproximadamente em 45 dias, os dados foram exportados para um software de processamento estatístico para que os limites de controle fossem definidos. A Figura 39 mostra o gráfico de indivíduos e amplitude móvel dos erros de posicionamento no eixo X (DX), após a compensação da temperatura.

Como pode ser visto nesta carta de controle, o parâmetro DX encontra-se estatisticamente estável no período. A média dos valores encontra-se próxima aos $5\mu\text{m}$, porém com uma amplitude de $25\mu\text{m}$, o que indica que os erros são maiores que os especificados pelo fabricante, que estabelece o erro máximo (MPE) de $(2,2 * L/333) \mu\text{m}$, seguindo o procedimento da ISO 10360-2:2001. Utilizando esta fórmula em função do comprimento medido (comprimento do Quadra Mensura é de 400mm), o MPE seria calculado da seguinte forma:

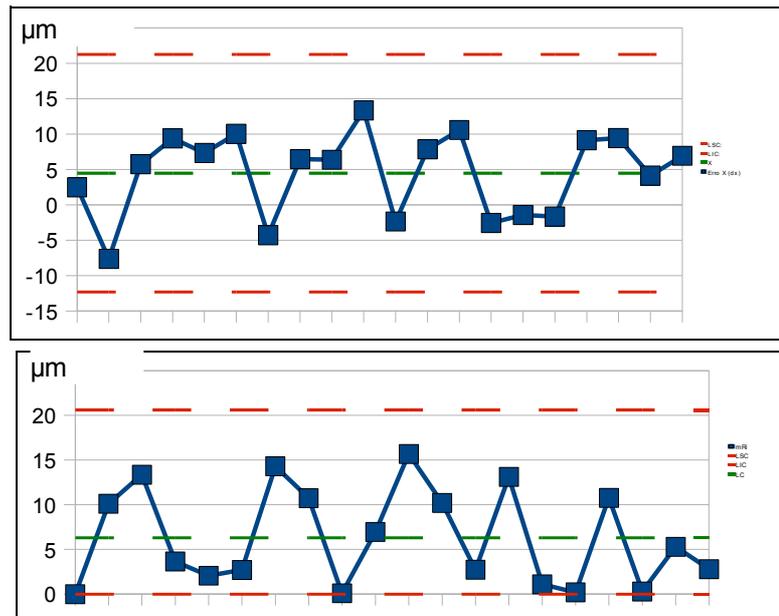


Figura 39: Gráficos de indivíduos (acima) e amplitude móvel (abaixo) do parâmetro DX

$$f(400mm) = 2,2 * 400/333 , \text{ então:}$$

$$f(400mm) = 3,4 (\mu m)$$

Cabe ressaltar que o MPE indicado pelo fornecedor considera apenas o erro da máquina, ou seja, em condições ideais de medição. A diferença entre os valores medidos e o MPE pode ser explicado pelos vários fatores que influenciam a medição, principalmente pela existência de gradientes de temperatura, apalpação dos furos do padrão Quadra Mensura, vibrações, etc.

Mesmo com estas perturbações detectadas o estudo prosseguiu, e, com os limites de controle calculados, o sistema entrou em operação (Procedimento 2) e as verificações foram realizadas, apresentando os resultados que serão discutidos a seguir.

5.1.4 - Discussões dos resultados obtidos

Os resultados obtidos mostram que as variações estão acima do potencial que máquina pode oferecer àquela indústria, o que abre ao CMD a oportunidade de agir diretamente no processo de medição e ambiente, melhorando o desempenho das medições. Nesse caso, deverá focar na melhoria da climatização da sala de medidas, reduzindo significativamente o gradiente de temperatura.

A Figura 40 mostra o gráfico de controle de um dos erros de posicionamento DX monitorados nessa aplicação. Percebe-se que os valores apresentam-se estatisticamente estáveis no período, com seus valores dentro dos limites de controle especificados. Comparando com os valores obtidos ainda na fase 1 (Figura 39) com os dados adquiridos após o início do procedimento 2, observa-se apenas a presença de pontos mais dispersos, porém sob controle.

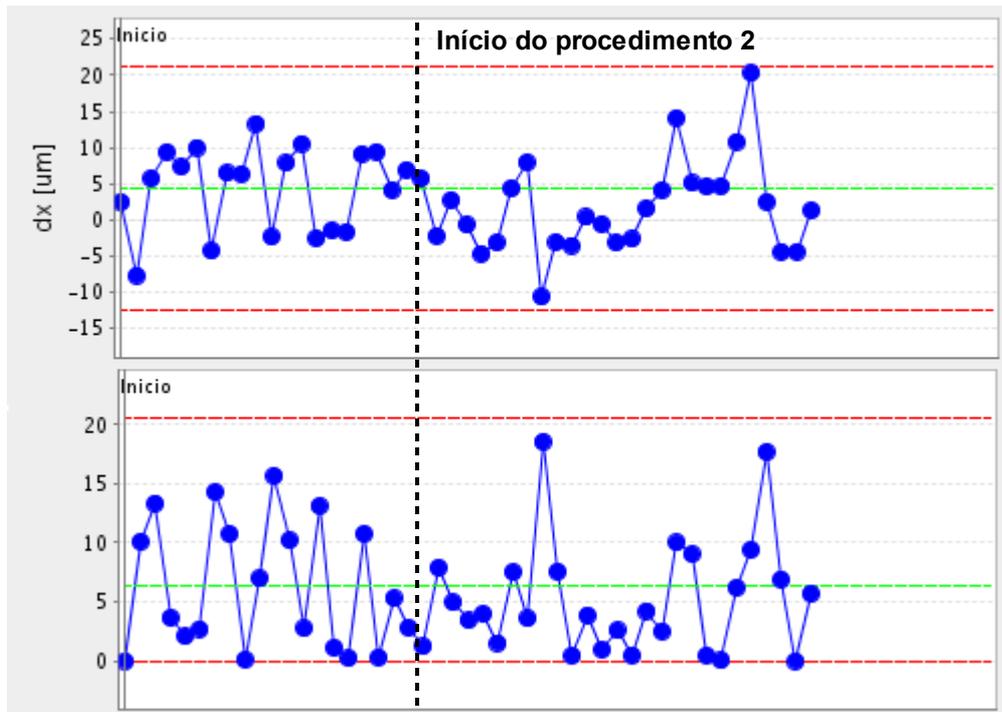


Figura 40: Gráficos CEP do erro de posicionamento no eixo X com a compensação da temperatura

Os demais erros de posicionamento encontram-se semelhantes ao DX. A temperatura pontual (no artefato) não está variando significativamente, logo não é possível perceber mudança na amplitude dos dados quando a temperatura é ou não corrigida. Mas, observando as médias dos resultados, percebe-se que após a compensação da temperatura os dados ficam mais centrados, indicando a princípio que a aquisição das mesmas está sendo realizada de forma satisfatória e que a MMC foi bem ajustada (Tabela 9).

Tabela 9: Relação dos parâmetros médios DX, DY e DZ com a compensação da temperatura

Parâmetro	Temp. não compensada	Temp. compensada
DX	5,0 µm	2,3 µm
DY	3,5 µm	0,8 µm
DZ	1,3 µm	0,7 µm

Um fato curioso detectado já no Procedimento 1 está relacionado com o erro de ortogonalidade entre os planos X e Z. No estudo de estabilidade, entre os pontos 12 e 13, percebeu-se uma melhoria na média (Figura 41). Porém, como pode ser visto esse mesmo erro de ortogonalidade apresentou forte perturbação nas últimas verificações.

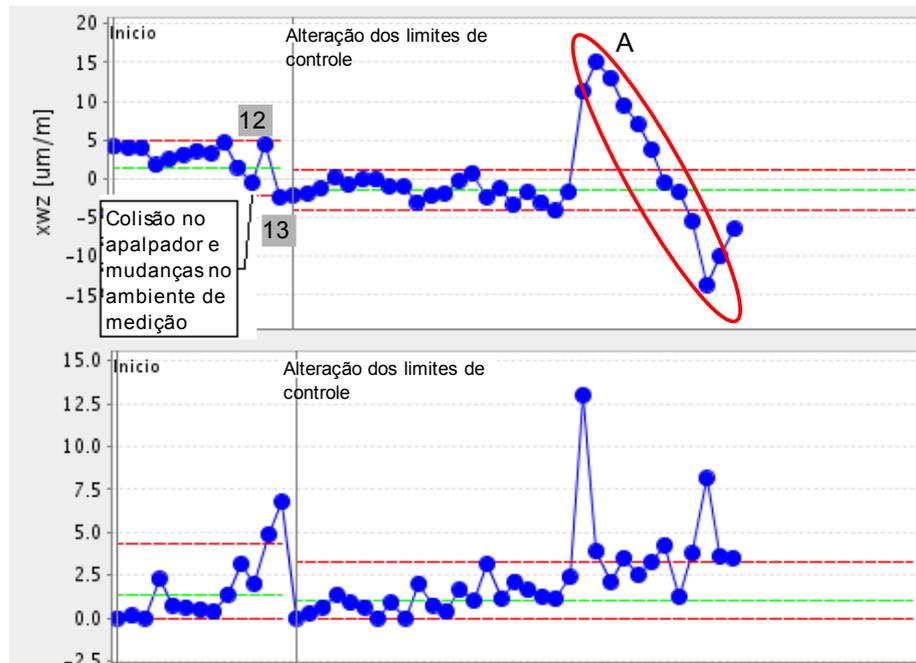


Figura 41: Gráfico do erro de ortogonalidade entre os eixos X e Z

Os últimos valores que mostram esta forte perturbação (A) no parâmetro foram obtidos entre os dias 18 de agosto e 01 de setembro. Por ser um intervalo significativo de amostragem (aproximadamente 13 dias), o CMD buscou maiores informações junto ao LCD, na tentativa de entendimento do problema. Novamente uma colisão no sistema de apalpação coincidiu com o primeiro ponto atípico mostrado. Porém, o que mais preocupou os analistas foi o fato de que os valores não estabilizaram, colocando em dúvidas a confiabilidade da MMC. Como a calibração da máquina estava agendada para o dia 03 de setembro, o CMD julgou necessário um maior acompanhamento, discutindo diretamente com o responsável pela calibração da máquina. Essa interação ainda não foi realizada, devido ao atraso da data de calibração. Espera-se que após o ajuste e calibração da máquina os valores permaneçam estáveis ao longo do tempo.

Um aspecto negativo na implantação nessa empresa foi com relação aos meios utilizados para a comunicação entre o CMD e o LCD. Como estava previsto na solução, esta comunicação poderia ser realizada de distintas maneiras, inclusive pelo módulo de *help desk* oferecido pelo sistema LASAR. Porém, os meios que mais se utilizaram foram o telefone e a

troca de *e-mails*. Esse aspecto não compromete a solução, visto que os dados das medições estavam disponíveis em tempo real para o CMD, o que possibilitou todas as análises, contatos e sugestões.

5.2 - APLICAÇÃO “B”

Esta segunda aplicação foi realizada em um laboratório de metrologia, onde o ambiente de medição é muito bem controlado e existem operadores devidamente qualificados. Por esse motivo, o objetivo dessa aplicação resume-se em validar a solução no que diz respeito ao suporte de distintos artefatos, diferentes fabricantes, modelos de MMC e softwares de inspeção. A Tabela 10 mostra as características da aplicação neste cliente.

Tabela 10: Características da aplicação "B"

Característica	Valor
Fabricante da MMC	MITUTOYO
Modelo da MMC	Beyond Apex A916
Cabeçote	Renishaw PH10M; <i>Probe</i> Renishaw TP200
MPE segundo ISO 10360-2:2001	(3,9 * L/250) μm
Última Calibração	18/Jan/08
Próxima calibração prevista	Jan/2009
Artefato Utilizado	Quadra Mensura
Calibração do artefato	25/04/2006
Início dos testes	24/01/2008
Final dos testes	11/04/2008

Nessa aplicação, além do monitoramento da MMC com o artefato Quadra Mensura, foram monitoradas as temperaturas, e também os resultados da qualificação dos apalpadores, de acordo com a norma ISO 10360-5:2000 [27], que especifica métodos de ensaio para determinação de erros máximos permissíveis (MPE), no caso de apalpadores múltiplos (tipo estrela) ou indexáveis [23]).

5.2.1 - Configuração

A implantação do monitoramento da MMC utilizando o Quadra Mensura foi realizada com o suporte de sensores de temperatura de alta exatidão, com o objetivo de realizar uma boa compensação térmica. A Figura 42 mostra a medição do artefato Quadra Mensura na máquina Mitutoyo.

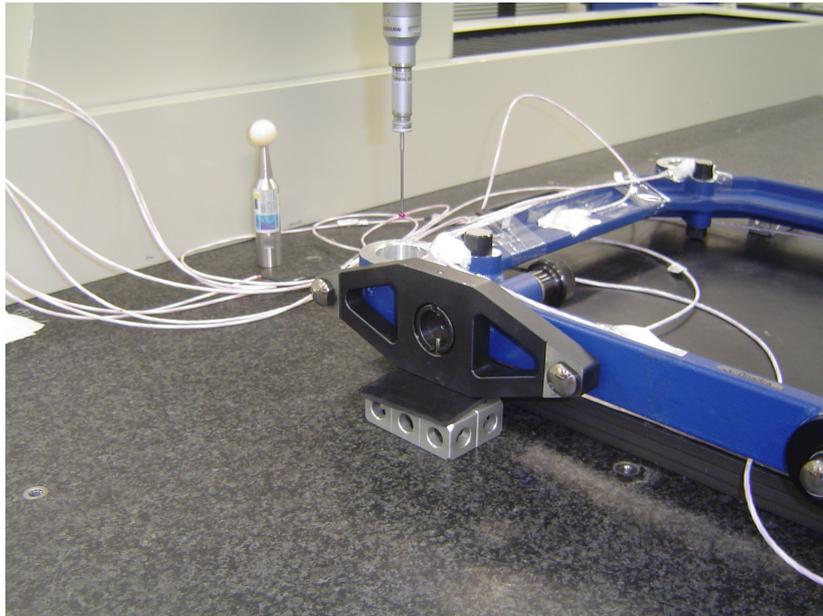


Figura 42: Medição do Quadra Mensura utilizando sensores para compensação térmica

Além dos parâmetros de estabilidade adquiridos com o Quadra Mensura, também foram monitorados (com menor frequência) os resultados da qualificação dos apalpadores, conforme procedimento definido pela ISO 10360-5:2000. A Tabela 11 faz uma relação dos parâmetros monitorados.

Tabela 11: Relação de erros monitorados na aplicação "B"

Artefato	Erros monitorados
Quadra Mensura	Erros de posicionamento nos eixos X, Y e Z
	Ortogonalidade nos planos XY, YZ e ZX
	Temperaturas do ambiente
Apalpador ³ (ISO 10360-5:2000 [27])	Forma (MPE-MF)
	Tamanho (MPE-MS)
	Posicionamento (MPE-ML)

3 O apalpador foi qualificado e seus erros calculados utilizando uma esfera calibrada.

5.2.2 - Definição dos limites de controle e operacionalização do sistema

Para definição dos limites de controle foram realizadas 16 medições no Quadra Mensura e, igualmente, qualificações do apalpador. Após 1 mês de medições, os limites de controle foram definidos e, com os resultados adquiridos, chegou-se a algumas conclusões:

- a qualidade do ambiente de medição é muito boa;
- detecção de erro de forma elevado (Figura 43) na qualificação dos apalpadores apontam para o aparecimento de *outliers*⁴, que foi solucionado com a implantação de um mecanismo de detecção e alerta de pontos falsos.

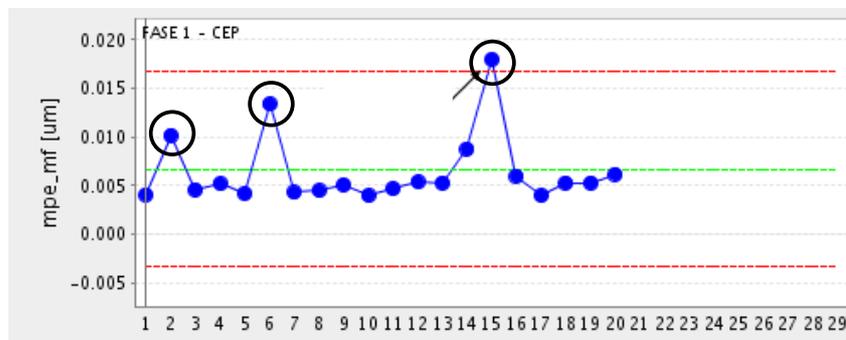


Figura 43: Presença de “outliers”

Para solucionar o problema do aparecimento de *outliers*, a rotina de aquisição de dados foi ajustada para comunicar o operador toda vez que um ponto falso fosse detectado, alertando-o que os dados poderiam estar contaminados e sugerindo a realização de uma nova medição, ignorando os resultados com alto erro de forma.

Os demais parâmetros monitorados não apresentaram nenhuma característica atípica, expressando valores estáveis e com baixa repetitividade. Alguns desses parâmetros serão mostrados na próxima seção.

4 Dados contaminados por alguma causa indesejável, como presença de sujeira, vibração, etc.

5.2.3 - Discussões dos resultados obtidos

Quando a aplicação dá-se em um local com controle rigoroso da temperatura percebe-se que a influência dessa na variabilidade das medições é praticamente nula. Com os dados adquiridos, apurou-se que no longo desse período a temperatura teve uma variação inferior a $0,2^{\circ}\text{C}$ (Figura 44), o que possibilitou a baixa variabilidade dos dados.

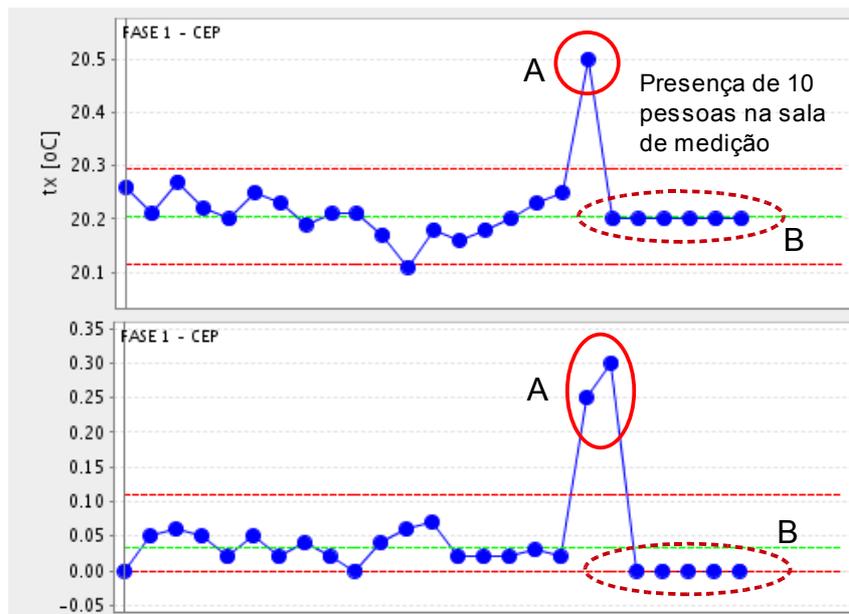


Figura 44: Gráficos de temperatura na aplicação “B”

Percebe-se uma oscilação atípica na medição da temperatura (A), gerando valores fora dos limites de controle. Porém, ao acessar o diário de bordo preenchido pelo operador, constatou-se que no dia 12/03 foi realizado um treinamento na sala de medição. Nesse dia estiveram presente aproximadamente 10 pessoas na sala, resultando nessa elevação da temperatura. Outro fato importante mostrado na Figura 44, é a má aquisição da temperatura. Na região (B) a baixa repetitividade dos valores mostra claramente que a entrada dos dados foi realizada de forma incorreta, indicando sempre o mesmo valor. Nesse caso é aconselhável que a compensação térmica dos erros de posicionamento seja desconsiderada, visto que estaria contaminando os resultados com dados falsos, adicionando uma tendência equivocada.

Outra perturbação percebida pelos analistas remotos é relacionada com a alteração das médias dos erros de ortogonalidade (Figura 45). Neste caso, pode ser observado que alguma causa especial agiu sobre o processo de medição, melhorando os valores indicados. Como pode ser visto, os erros de ortogonalidade foram reduzidos para valores próximos à zero. Ao

consultar o diário de bordo e contactar o supervisor do LCD, identificou-se que nesse período a MMC passou por um ajuste e calibração, o que explica esse comportamento detectado no gráfico CEP.

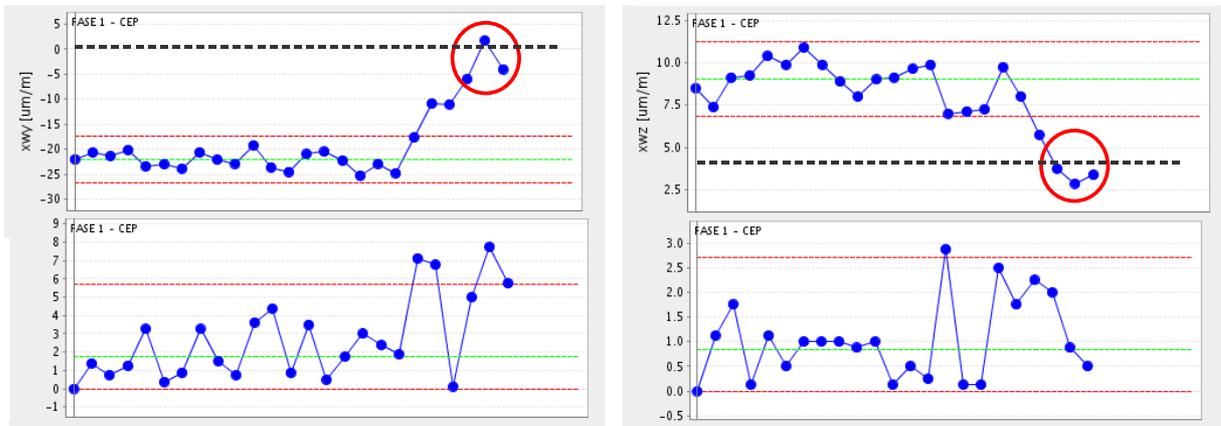


Figura 45: Gráfico dos erros de ortogonalidade em XY (esquerda) e XZ (direita)

Dessa forma, considerando que o ajuste influenciou significativamente nos resultados das medições, faz-se necessário que um novo estudo de estabilidade seja realizado na MMC, gerando novos limites de controle.

5.3 - APLICAÇÃO “C”

A aplicação “C” foi realizada no mesmo ambiente que a aplicação anterior. O objetivo dessa aplicação é validar a solução quanto ao suporte a distintos artefatos e, assim, sua capacidade de adequar-se às necessidades especiais de cada empresa. O artefato utilizado nesse escopo foi uma peça padrão calibrada, possibilitando assim a avaliação da capacidade da MMC para a medição de tarefas específicas, adotando o procedimento da ISO/TS 15530-3:2004.

5.3.1 - Configuração

A Tabela 12 mostra as características de aplicação no laboratório de metrologia utilizando uma peça calibrada, simulando a utilização da MMC para medição dedicada. Neste caso, os parâmetros monitorados foram algumas cotas GD&T (Anexo A).

Tabela 12: Características da aplicação "C"

Artefato utilizado	Carcaça de direção calibrada
Data da calibração	26/10/2006
Parâmetros Monitorados	Diâmetro do cilindro de 80 mm (Ref A)
	Diâmetro do cilindro de 41,277 mm (Ref. D)
	Perpendicularidade entre o plano frontal (Ref. B) e o eixo derivado do cilindro de 80 mm (Ref. A)
	Posicionamento da linha derivada do cilindro (Ref D) com as referências A, B e C
Início dos testes	24/01/2008
Final dos testes	23/03/2008

Os detalhes da peça calibrada (Figura 46), tais como as estratégias de apalpação, definição das referências, desenho mecânico e tolerâncias GD&T estão disponíveis no anexo A desta dissertação.

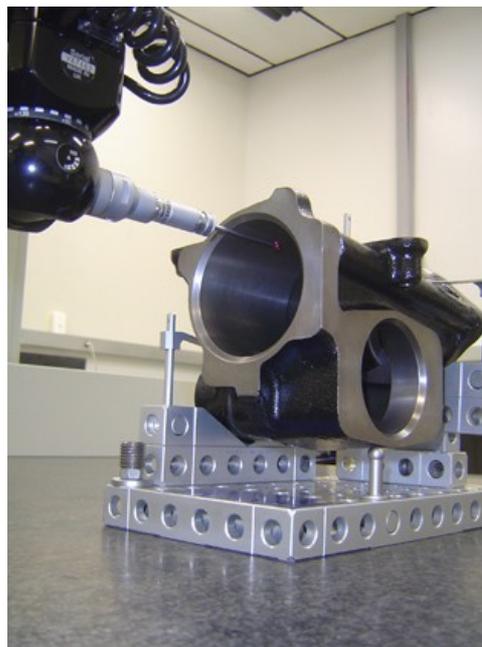


Figura 46: Medição da peça calibrada na máquina Mitutoyo

Na definição da estratégia de medição, os operadores do LCD foram orientados para medirem a peça em um mesmo local no volume da máquina. Para isso, conforme pode ser visto na figura anterior, foi criado um dispositivo robusto de fixação e colocado em uma determinada área da máquina. Dessa forma, foi possível simular um procedimento de medição na indústria, já que nelas normalmente existe um gabarito fixado na mesa da máquina e as peças produzidas são medidas sempre em um mesmo lugar.

Nesta aplicação em especial, além dos procedimentos comuns adotados nos demais casos apresentados, foi realizada também a avaliação da incerteza expandida (U) do processo de medição, conforme a ISO/TS 15530-3:2004. Desta forma, o requisito RF-10 é validado, provando que o analista pode utilizar os dados adquiridos, exportá-los e utilizá-los em um software de processamento de sua escolha para gerar relatórios e tomar decisões sobre o processo de medição por coordenadas.

5.3.2 - Definição dos limites de controle

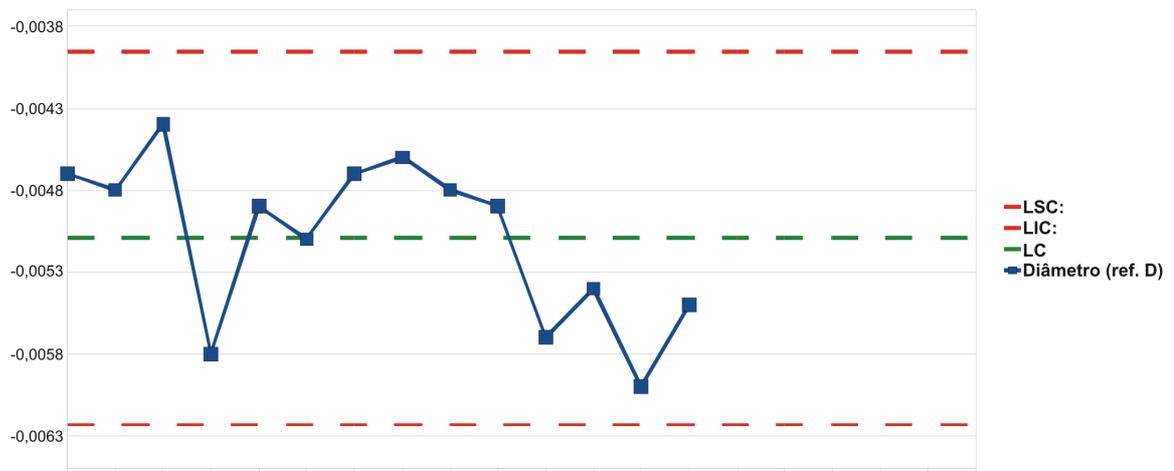
Os limites de controle foram calculados após a realização de 14 medições. Neste período foi possível perceber a boa repetitividade das medições dos erros de tamanho (diâmetros A e D) e a presença de um erro um pouco maior nas medições de posição e de perpendicularidade.

Dentre as cotas GD&T monitoradas, a Figura 47 mostra os gráficos de indivíduos de três delas:

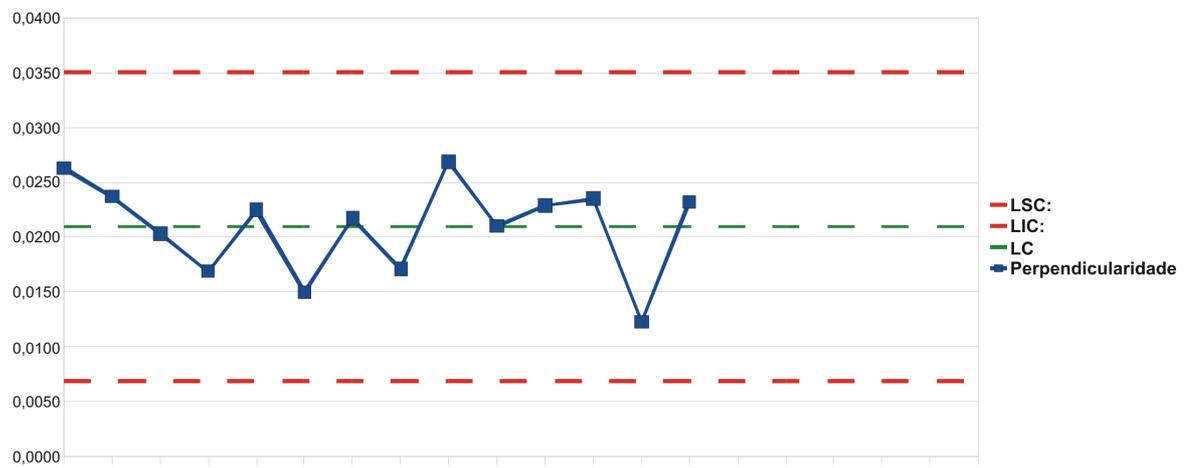
- erro no diâmetro do cilindro de 41,277 mm (Ref. D);
- erro de perpendicularidade entre o plano frontal (Ref. B) e o eixo derivado do cilindro de 80 mm (Ref. A); e,
- erro de posicionamento da a linha derivada do cilindro (Ref. D) com as referências A, B e C.

O gráfico dos valores adquiridos para o diâmetro de 80 mm (Ref. A) comportou-se de maneira muito parecida com o diâmetro apresentado (Figura 48) e, por esse motivo, optou-se em apresentar o gráfico de indivíduos de apenas um deles.

Erro de diâmetro do cilindro de 41,227 mm (ref D) [mm]



Erro de perpendicularidade entre o plano B e o eixo A [mm]



Erro de posicionamento da linha derivada da ref. D em relação a A, B e C [mm]

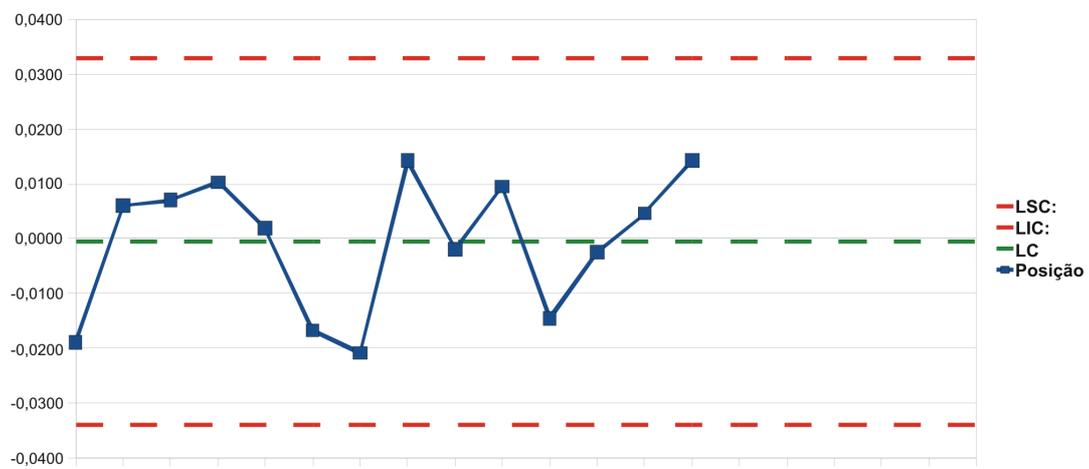


Figura 47: Definição dos limites na medição da peça calibrada

5.3.3 - Discussões dos resultados obtidos

Nesta seção será apresentada uma estimativa da incerteza da MMC para medição das cotas GD&T monitoradas nesse período. No total, foram consideradas 14 medições para os cálculos de incerteza utilizando o procedimento especificado na ISO/TS 15530-3:2004, que define a incerteza expandida (com 95% de confiança) conforme a equação a seguir.

$$U_{\text{exp}} = k \cdot \sqrt{u_{\text{cal}}^2 + u_p^2 + u_w^2} + |b| \quad , \text{ onde:}$$

Símbolo	Descrição
U_{exp}	Incerteza expandida
k	Fator de abrangência (ex: valor 2 para 95% de confiança)
u_{cal}	Incerteza padrão da calibração da peça ($u_{\text{cal}} = U_{\text{cal}}/k$)
u_p	Repetitividade obtida nas medições
u_w	Incerteza padrão do coeficiente de expansão térmica da peça. Nesta aplicação foi assumido como 0, visto que a temperatura não foi compensada, sua variância está inserida no erro sistemático e na própria repetitividade da medição da peça.
b	Erro sistemático observado durante a avaliação da incerteza de medição

A Figura 48 mostra a relação entre as fontes de incertezas para cada cota GD&T estudada, utilizando para isso a análise da sensibilidade de cada variável identificada acima. Como pode ser visto, na medição de formas (diâmetro A e D) é predominante a presença de erros sistemáticos (b). Em contrapartida, nas medições de erro de posição e de perpendicularidade, a componente aleatória que representa o processo de medição (u_p) está contribuindo de forma mais significativa.

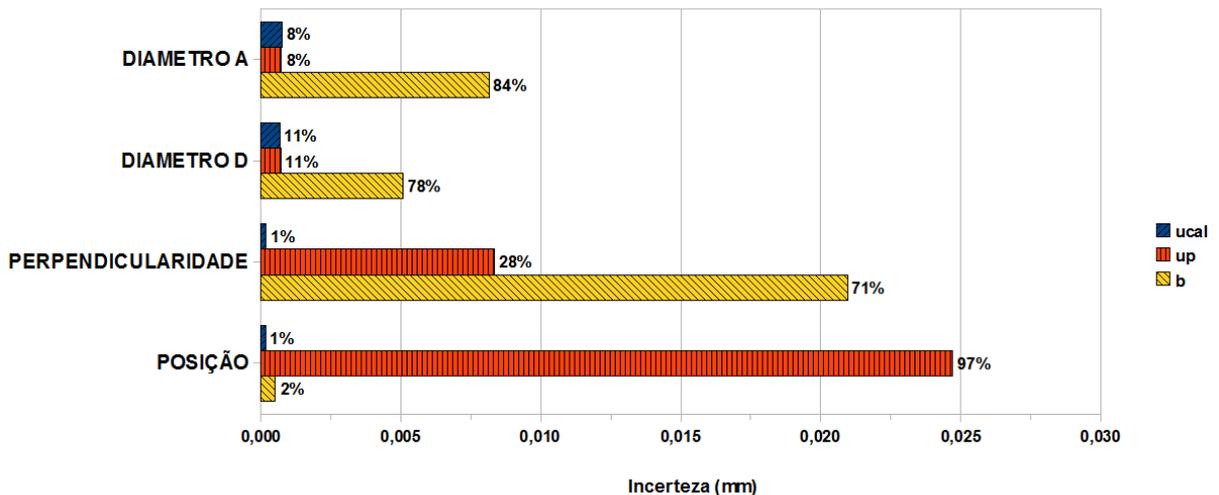


Figura 48: Relação entre as fontes as incertezas envolvidas

A importância da aplicação dessa técnica na indústria é fundamental, visto que pode-se perceber claramente o que deve ser melhorado. Nesse caso percebe-se a presença do erro sistemático predominante, que pode ser entendido pelas diferenças entre a estratégia de medição utilizada na calibração e a estratégia de medição adotada na verificação rápida. Enquanto que na calibração foram usados algoritmos de ajustes pelo método dos mínimos quadrados, nas medições o operador utilizou métodos de mínima zona (para definição dos planos) e o método do maior círculo inscrito para definição dos centros dos diâmetros. Normalmente, esses métodos utilizados apresentam uma maior variabilidade dos resultados, visto que o resultado é mais influenciado por pontos atípicos, enquanto que no algoritmos de ajuste por mínimos quadrados esses efeitos são minimizados.

5.4 - AVALIAÇÃO DA SOLUÇÃO

Contemplando os dois modelos de negócios, os testes operacionais mostraram que a solução foi afortunada com relação às duas entidades definidas, o CMD e o LCD, tornando a aplicação passível de ser implantada em ambos os modelos identificados.

Com os atores definidos, bem como suas responsabilidades e funções, foi possível realizar o processo de verificação rápida e monitoramento remoto de uma forma desburocratizada e centralizada, facilitando o acesso aos dados. Dessa forma, os analistas do CMD conseguiram avaliar criticamente a estabilidade das MMC's monitoradas, detectando pontos atípicos e agir ativamente no processo de medição, fazendo considerações relevantes para a manutenção da confiabilidade das medições.

Como o número de verificações rápidas realizadas foi relativamente pequeno e as condições detectadas não foram favoráveis, não foi possível chegar a decisões mais ousadas, como seria o caso de ajustar o período da calibração. Porém, com a continuidade das verificações rápidas para a geração de conhecimento das MMC's monitoradas, bem como das condições nas quais ela é submetida, pretende-se estabelecer uma base de dados com volume de informações suficientes para amparar tais decisões.

A Figura 49 mostra a realização periódica de calibrações (considerando um intervalo de aproximadamente 12 meses) e, em paralelo, a realização de verificações periódicas. Percebe-se que em um dado momento, com base no histórico das verificações rápidas, pretende-se

ajustar o intervalo da calibração, aumentando-o (no caso da máquina estar estável) ou reduzindo-o, se for detectada a presença de variações atípicas.

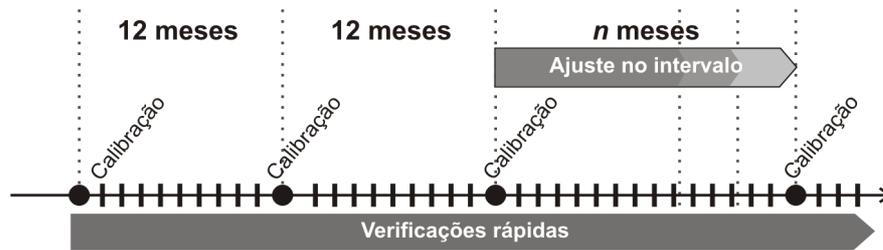


Figura 49: Relação da verificação rápida com o intervalo de calibrações

Foi percebido nesse período de testes que as medições na indústria são afetadas frequentemente pela presença de causas especiais, como por exemplo, colisões no sistema de apalpação. Dessa forma, dizer que a implantação desta solução reduziria custos com assistência técnica e calibrações antecipadas seria uma conclusão precipitada, visto que esta solução preza sobretudo pela qualidade, garantindo a confiabilidade das medições. A alta gerência das empresas deve avaliar os benefícios financeiros desta solução olhando para o valor que a qualidade de seus produtos representam para o seu negócio. Ou seja, os prejuízos financeiros gerados devem ser estimados quando, por exemplo, um lote de peças é refugado indevidamente, ou ainda quando um lote de peças ruins é entregue aos seus clientes.

Capítulo 6

RESTROSPECTIVA DOS AVANÇOS PROPORCIONADOS E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

A solução desenvolvida neste trabalho proporcionou avanços significativos no que diz respeito ao modelo de implantação da verificação rápida na indústria, muitas vezes vista apenas como uma tarefa exigida por determinadas auditorias de qualidade. Com a desburocratização destas verificações, com a redução de tempo na coleta de dados, e com a agregação de valor a esse processo, esta solução mostra-se atrativa e sobretudo com boas perspectivas de se estabelecer no mercado.

Os dois modelos de aplicação definidos contemplam as necessidades das empresas nacionais, tanto daquelas que preferem uma solução terceirizada quanto aquelas que, por usar intensamente a TMC, preferem uma solução dedicada, visto que possuem todos os requisitos necessários para sustentar uma solução desse nível internamente. A definição do CMD e do LCD, bem como suas competências e atores, mostraram-se adequadas. Os modelos de aplicação definidos permitem que a indústria pratique a verificação periódica e rápida de suas máquinas de uma forma mais eficiente, diminuindo significativamente os esforços requeridos para a gestão dos documentos e relatórios gerados nesses procedimentos, já que os dados encontram-se centralizados e disponíveis para futuros relatórios e análises.

A possibilidade de utilização de diferentes artefatos tornou esta solução flexível, pois a indústria pode configurá-la de acordo com suas necessidades metrológicas, financeiras e operacionais. Esta flexibilidade, porém, pode resultar em um elevado número de rotinas de programação, o que justificou a criação de um repositório de rotinas de programas CNC, aquisição, processamento e envio de dados. Já nas primeiras implantações, a utilização do repositório mostrou-se eficiente, visto que as rotinas de processamento do Quadra Mensura foram reutilizadas, reduzindo o tempo de configuração da aplicação cliente.

Nos dois modelos, a maioria dos atendimentos realizados aos LCD foram iniciados pelos analistas do CMD, que mostraram-se preocupados com os resultados das medições realizadas pelas empresas. Esse aspecto mostra a capacidade da solução na detecção de causas especiais e, principalmente, a possibilidade do CMD de participar ativamente nas medições, intervindo quando necessário, e até mesmo sugerindo melhorias. Por outro lado, a predominância desse fluxo de informações vindas do CMD para o LCD, sugere melhorias no processo de implantação da solução, que deve preocupar-se também com a instrução dos operadores para que critiquem os resultados e procurem obter maiores informações quando um ponto não conforme for detectado, utilizando o ambiente de comunicação do LASAR para assim solicitar suporte técnico ou até mesmo uma consultoria ao CMD.

6.1 - AVANÇOS PROPORCIONADOS

Dentre as principais contribuições deste trabalho para o monitoramento remoto de processos de medição por coordenadas, pode-se destacar:

- desburocratização do processo de verificação rápida, oferecendo um ambiente de centralização de dados, melhorando a capacidade de avaliação da indústria e dos seus laboratórios como um todo;
- agregação de confiabilidade nas medições realizadas no dia-a-dia, visto que os operadores estão amparados por uma equipe especializada em tecnologia de medição por coordenadas, podendo tanto solicitar suporte como contar com a intervenção do CMD quando algum problema passar despercebido;
- o acompanhamento dos resultados por uma equipe remota de analistas facilitou a comunicação entre o LCD e o CMD, pois os dados foram acessados integralmente e sem a necessidade do laboratório se preocupar em enviar informações adicionais aos analistas;
- a presença de um repositório de rotinas de programação e procedimentos de aquisição e processamento reduz o tempo de implantação da solução em novos casos similares, contudo, estima-se que esses benefícios serão ainda maiores quando as padronizações estudadas no capítulo 3 estiverem mais difundidas na indústria;

-
- a definição dos modelos de aplicação mostrou-se satisfatória ao perceber que foi possível implantar a mesma proposta de solução em situações diferentes, preservando o modelo do CMD, do LCD e os atores definidos.

6.2 - OPORTUNIDADES FUTURAS

Embora a aplicação da solução mostrou-se satisfatória, este trabalho ainda não está encerrado e são inúmeras as oportunidades de expansão, dentre as quais podem ser destacadas:

- desenvolvimento comercial de um **sistema computacional** que implemente todas estas funcionalidades aqui especificadas;
- melhoramento da base de conhecimento das medições realizadas na indústria, com o objetivo de se construir um **armazém de dados** (*data warehouse*);
- o uso de algoritmos avançados de mineração de dados e técnicas de inteligência artificial, para tornar possível a **inter-comparação de dados** entre diferentes máquinas, vislumbrando a geração da capacidade de **detecção prévia de problemas da medição**, observando dados históricos entre laboratórios e empresas que apresentem **condições metrológicas similares**;
- integração e desenvolvimento de um módulo para treinamento e capacitação continuada do operador e integrantes do LCD;
- desenvolvimento de um plano de negócio e uma estratégia de *marketing* para expansão da solução no mercado nacional;
- ampliar o escopo da solução para outras **áreas da metrologia**.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] FAZANO, C. A. **Qualidade: a evolução de um conceito. Revista Banas Qualidade**, n. 172, ano XVI, p.42-47, set. de 2006.
- [2] DONATELLI, G. D. **Metrologia geométrica na indústria – Tendências e desafios.** A importância da metrologia para o desenvolvimento industrial, p. 9-28, SENAI, Brasília, 2005. (gecometro: 52)
- [3] KUNZMANN, H. **Productive metrology – Adding value to manufacture.** Alemanha: Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB), 2005. (gecometro: 1705)
- [4] INMETRO **VIM: Vocabulário internacional de termos fundamentais e gerais de metrologia.** Rio de Janeiro: Inmetro, 5a edição, 2007.
- [5] DONATELLI, G. D. **Quality assurance of industrial measurements – Tributations of a practitioner.** Florianópolis(SC), Brasil, 2007. (gecometro: 105)
- [6] MIL-STD-45662 A **Calibration system requirement.** USA, Washington: Department of Defense, 1988.
- [7] Fundação CERTI **TMC 1: Introdução à tecnologia de medição por coordenadas. Programa Euclides,** Florianópolis (SC): Fundação CERTI, set. de 2006.
- [8] OILVEIRA, A. L. **Validação de processos de medição por coordenadas em operações de controle da qualidade.** Recife (PE): Sociedade Brasileira de Metrologia (SBM), set. de 2003. (gecometro: 170)
- [9] Fundação CERTI **Curso avançado de metrologia para gestores industriais.** Florianópolis (SC): Fundação CERTI, 2007.
- [10] WECKENMANN, A. **European training in coordinate metrology: Components of a training concept for coordinate metrology.** Erlangen, okt., 2005. (gecometro: 1688)

-
- [11] LUDT, H. **Ausbildung in koordinatenmesstechnik - Erfahrungen mit aukom in der praxis.** Koordinatenmesstechnik - Innovative Entwicklungen im Fokus des Anwenders, Braunschweig, nov. 2005.
- [12] KEFERSTEIN, C. P. et al **EUKOM - Ein europäisch abgestimmtes, auf eLearning basierendes, neues ausbildungskonzept für die koordinatenmesstechnik.** Koordinatenmesstechnik - Innovative Entwicklungen im Fokus des Anwenders, nov. 2005.
- [13] NARDELLI, V. C. **Desenvolvimento de uma solução para verificação rápida de máquinas de medir por coordenadas.** 2006. 112f. Dissertação (mestrado) – Programa de Pós-graduação em Metrologia Científica e Industrial, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis (SC), 2006. (gecometro: 320)
- [14] ISO 10360-2 **Geometrical product specifications (GPS) - Acceptance and reverification tests for coordinate measuring machines (CMM) – Part 2: CMMs used for measuring size.** 11p., 2001.
- [15] VDI/VDE 2617-5 **Accuracy of coordinate measuring machines - Parameters and their reverification – Interim check with ball plates.** 2000.
- [16] EVERHART, J. L. **Developing a process measurement assurance program (PMAP).** Cal Lab: The international journal of metrology. JTI Systems Inc, 1997. (gecometro: 1325)
- [17] BALDO, C. R. **A interação entre o controle de processos e a metrologia em indústrias de manufatura.** 2003. 103f. Dissertação (mestrado) – Programa de Pós-graduação em Metrologia Científica e Industrial, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis (SC), 2003. (gecometro: 2)
- [18] MONTGOMERY, D. C. **Estatística aplicada e probabilidade para engenheiros.** RUNGER, G. C. Rio de Janeiro (RJ): Editora LTC, 476p., 2003.
- [19] AIAG **ASQC - Measurement system analysis.** Reference Manual. 3a edition, Troy: Automotive Industries Action Group, 2002.
- [20] VLIST, E. et al **Professional web 2.0 programming.** Wiley Publishing Inc., Indianapolis (IN), 522p, 2007.
- [21] KREIS, R. **Traceable remote monitoring of measuring instrumentation dimensional metrology.** FRANKE, M. Germany: Physikalisch-Technische SCHWENKE, H. Bundesanstalt (PTB). (gecometro: 186) WÄLDELE, F

-
- [22] HAMBURG-PEKAR, D. **Calibração de peças padrão em máquinas de medir por coordenadas.** 2006. 167f. Dissertação (mestrado) – Programa de Pós-graduação em Metrologia Científica e Industrial, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis (SC), 2006. (gecometro: 269)
- [23] Fundação CERTI **TMC 4: Análise e validação de processos de medição por coordenadas. Programa Euclides,** Florianópolis (SC): Fundação CERTI, 2008.
- [24] NARDELLI, V. C.
DONATELLI, G. D. **A simple solution to interim check of coordinate measuring machines.** Brazil, Rio de Janeiro: XVIII Imeko world congress, sep., 2006. (gecometro: 1334)
- [25] SALSBUURY, J. G. **Performance of CMMs: testing, calibration, and uncertainty.** Mitutoyo America Corporation, feb., 2001. (gecometro: 1326)
- [26] PETTIT, R. B. **Process measurement assurance program.** Albuquerque (NM): Sandia National Laboratories, 1996 (Gecometro: 146)
- [27] ISO 10360-5 **Geometrical Product Specifications (GPS) – Acceptance and reverification tests for coordinate measuring machines (CMM) – Part 5: CMMs using multiple-stylus probing systems.** 12p., 2000.
- [28] ISO/TS 15530-3 **Geometrical Product Specifications (GPS) - Coordinate measuring machines (CMM): Technique for determining the uncertainty of measurement – Part 3: Use of calibrated workpieces or standards.** 2004.
- [29] ISO/TS 16949 **Quality management systems – Particular requirements for the application of ISO 9001:2000 for automotive production and relevant service part organizations.** 2002.
- [30] SGS **ISO/TS 16949,** Sistem and Services Certification (SGS): in short. Disponível em: <http://www.br.sgs.com/pt_br/iso_ts_16949.htm?serviceId=8906&lobId=16819>. Acesso em: 10 de jul. de 2008.
- [31] BRITISH STANDARD **BS 6808 – Coordinate measuring machines – Part 3: Code of practice.** UK, London:British Standard Institute, 1989.
- [32] FRANKE, M.
TRAPET, E. **The ball cube method for CMM interim checks.** Workshop on traceability of coordinate measuring machines, Germany: PTB Braunschweig, 1997.

-
- [33] BALDO, C. R.
DONATELLI, G. D. **An alternative statistical procedure to estimate the uncertainty of coordinate measurements using calibrated workpieces.** Brazil, Florianópolis (SC): Federal University of Santa Catarina (UFSC), 2006. (gecometro: 16)
- [34] WECKENMANN, A.
LORZ, J. Monitoring coordinate measuring machines by calibrated parts. **7th International Symposium on Measurement Technology and Intelligent Instruments**, Journal of Physics: Conference Series 13, p. 190-193, 2005. (gecometro: 523)
- [35] DISCHER, C.
HAGENEY, T. Determination of measuring uncertainty with the Multi-Feature-Check ®. **Innovation SPECIAL Metrology**, n. 10, Oberkochen, Germany, 2008.
- [36] WANKA, R. M. **Contribuições à certificação profissional e à qualificação pós-técnica em metrologia.** 2005. 138f. Dissertação (mestrado) – Programa de Pós-graduação em Metrologia Científica e Industrial, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis (SC), 2005. (gecometro: 278)
- [37] ABAKERLI, A. J. Perfil de uso das máquinas de medir por coordenadas no Brasil. **Revista Máquinas & Metais**, p. 112-117, nov., 2000.
- [38] WECKENMANN, A.
BEETZ, S.
WERNER, T. Ausbildungskonzept EUKOM: Leonardo da Vinci Pilotprojekt. **Europäisches Ausbildungskonzept für Koordinatenmesstechnik - EUKOM**, jun., 2004.
- [39] AUKOM **Knowledge required by users of coordinate measuring machines.** In: short. Disponível em: <<http://www.aukom-ev.de/english/wissen.htm>>. Acesso em: 6 de jun. de 2008.
- [40] APMC **Association for coordinate metrology Canada.** In: short. Disponível em: <<http://www.apmc-canada.ca/about.htm>>. Acesso em: 30 de mai. de 2008.
- [41] MITUTOYO **FORMA3D: Programa de formação regular de metrologistas 3D.** Mitutoyo Sul Americana, 2006.
- [42] WAITE, R. Metrology Standards Activities. **Ia.cmm International Conference**, Automotive Industry Action Group (AIAG), apr., 2005.
- [43] AIAG **Interface standards for dimensional metrology.** IMTS Presentation, 2004. (gecometro: 1687)
- [44] HORST, J. NIST Support for Dimensional Metrology Interface Standards. **Ia.cmm International Conference**, Germany, Sinsheim, 2005.

-
- [45] FOWLER, J **Step for data management, exchange and sharing.** United Kingdom, Twickenham, 1995.
- [46] IA.CMM **I++/DME.** In: short. Disponível em: <<http://www.iacmm.org/en/5649.aspx>>. Acesso em: 24 de jun. de 2008.
- [47] BRADLEY, S.
SCHAFFER, J. **DML - Dimensional markup language.** Automotive Industry Action Group (AIAG), 1997.
- [48] LEGGE, D. I. **Off-line programming of coordinate measuring machines.** 1996. 42p. Licentiate Thesis – Division of Manufacturing Engineering, Lulea University of Technology, 1996. (gecometro: 1689)
- [49] WÄLDELE, F. et al **So genau wie nötig messen.** Spanien, Vittoria: Qualität und Zuverlässigkeit, 2005.
- [50] HORST, J. **Need for a effective standards development process.** Gaithersburg (MD), mar., 2006.
- [51] SCHAFFER, J. **Proper use of DML to haul dimension data and results.** Automotive Industry Action Group, 2003. (gecometro: 1694)
- [52] OLIVEIRA, A. L.
SCHNEIDER, C. A. **Metrology knowledge management and industry integration through a remote services laboratory.** Germany, Ilmenau: Joint International IMEKO TC1+ TC7 Symposium, sep., 2005. (gecometro: 430)
- [53] OLIVEIRA, A. L.
SCHNEIDER, C. A.
DONATELLI, G. D.
BASEI, S. R. **A virtual organization on metrology: Results and future work.** Germany, Berlin: PTB-BIPM Workshop, jun., 2007. (gecometro: 612).
- [54] OLIVEIRA, A. L. **Implantação de um laboratório associado de serviços e assessoramento remotos como ferramenta de disseminação e orientação metrológica.** Dissertação (mestrado) – Programa de Pós-graduação em Metrologia Científica e Industrial, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis (SC), 2005. (gecometro: 56)
- [55] SCHNEIDER, C. A.
UENO, A. T.
ANGELONI, M. T. Projeto de consolidação do modelo de gestão do conhecimento aplicado ao setor metrológico. **Metrologia 2003 – Metrologia para a Vida**, Recife (PE): Sociedade Brasileira de Metrologia (SBM), sep., 2003.
- [56] ETALON **An internet-based system for the efficient inspection of measuring instruments and machine tools.** In: short. Disponível em: <<http://www.etalon-ag.com>>. Acesso em: 04 de jul. de 2008.

-
- [57] TURNER, M.
BUDGEN, D.
BRERETON, P. **Turning software into a service.** Keele University, Staffordshire, published by the IEEE Computer Society, 2003. (gecometro: 1171)
- [58] RICHTER, D. et al **IT in metrology: a view into the future.** Germany, Berlin: Physikalisch-Technische Bundesanstalt, jun., 2007.
- [59] ROSA, T. S. **Desenvolvimento de um sistema de gestão do conhecimento em metrologia.** 2007. 77f. Dissertação (mestrado) – Programa de Pós-graduação em Metrologia Científica e Industrial, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis (SC), 2007. (gecometro: 1699)
- [60] BUBLITZ, O. Onboard diagnostics: An Innovation System for CMM Monitoring. **Innovation SPECIAL Metrology**, n. 10, Oberkochen (Germany), 2008.
- [61] KALAKOTA, R.
ROBINSON, M. **E-business 2.0: roadmap for success.** Addison-Wesley Professional, 2nd edition, 544p., 2000.
- [62] ISO/IEC 17025 **General requirements for the competence of testing and calibration laboratories.** 28p., may, 2005.
- [63] BEZERRA, E **Princípios de análise e projeto de sistemas com UML.** Rio de Janeiro: Editora Campus, 286p., 2002.
- [64] DYCHÉ, J. **The CRM handbook: a business guide to customer relationship management.** Boston (MA): Addison-Wesley Professional, 336p., 2001.
- [65] FEILNER, M. **OpenVPN: building and integrating virtual private networks.** UK, Birmingham: Packt Publishing Ltd, 258p., 2006.

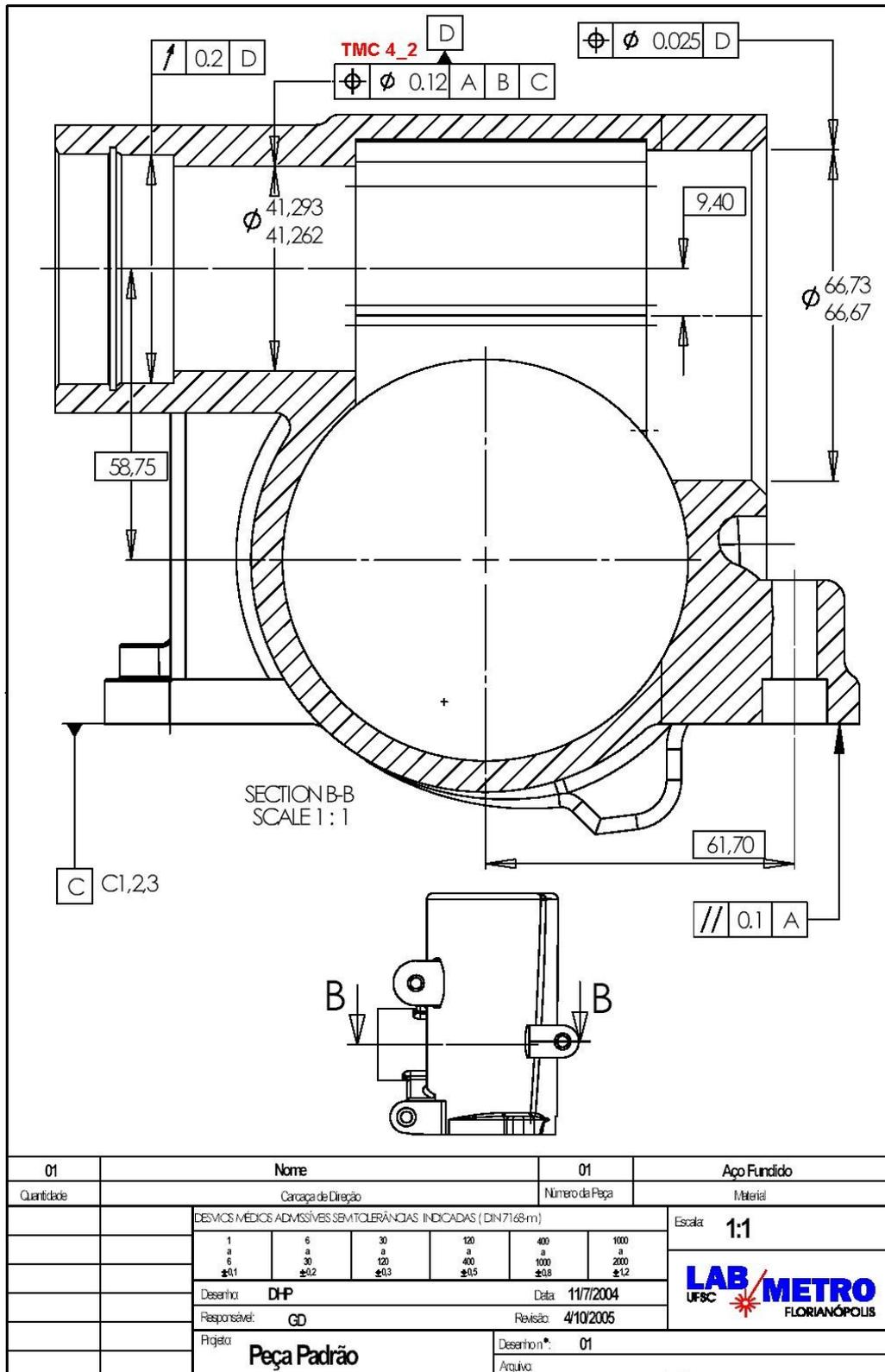
ANEXO A: DESENHO MECÂNICO DA PEÇA PADRÃO

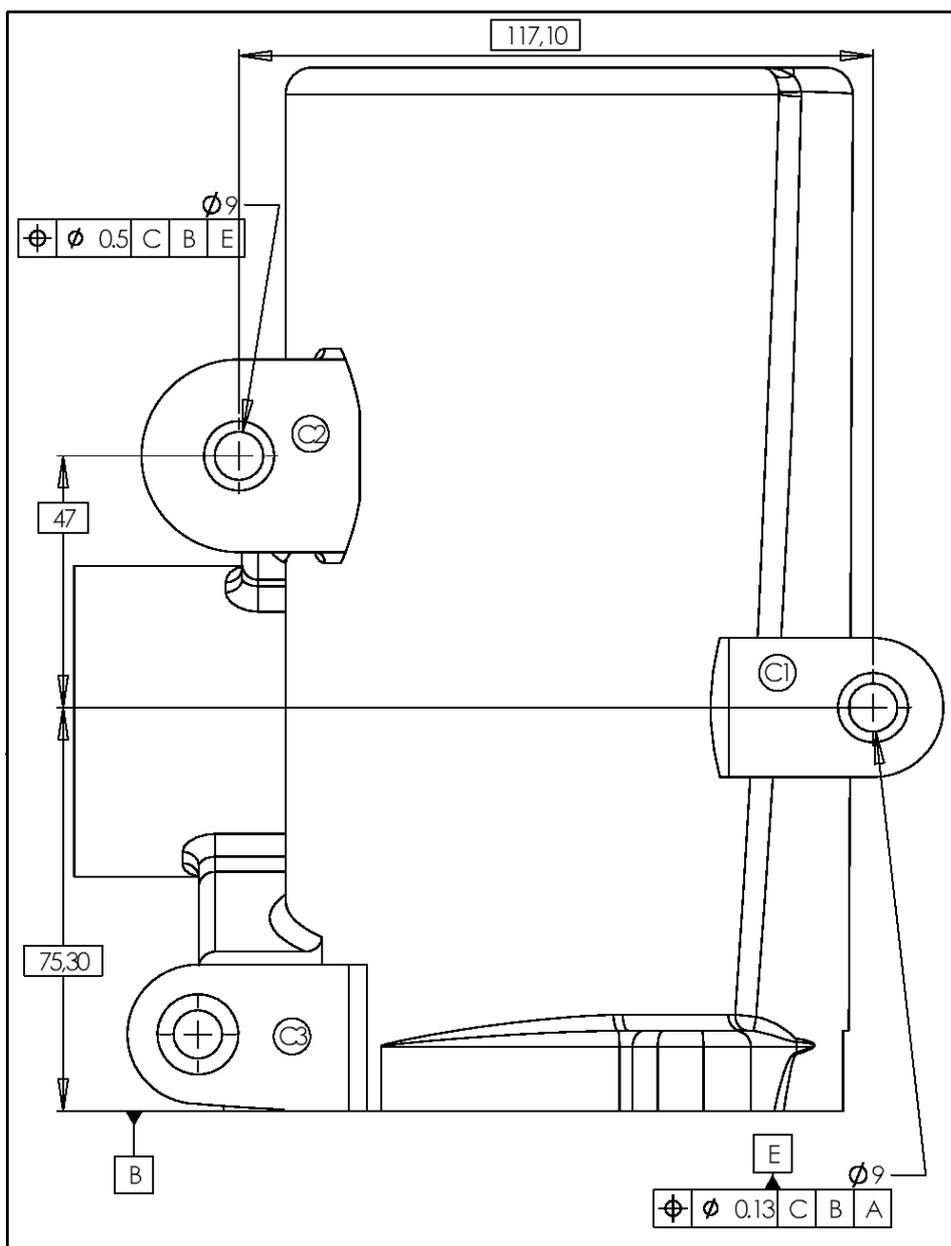
A.1 DEFINIÇÃO DAS REFERÊNCIAS UTILIZADAS

Definição das estratégias de medições adotada por um analista de TMC da Fundação CERTI para as referências identificadas na peça calibrada.

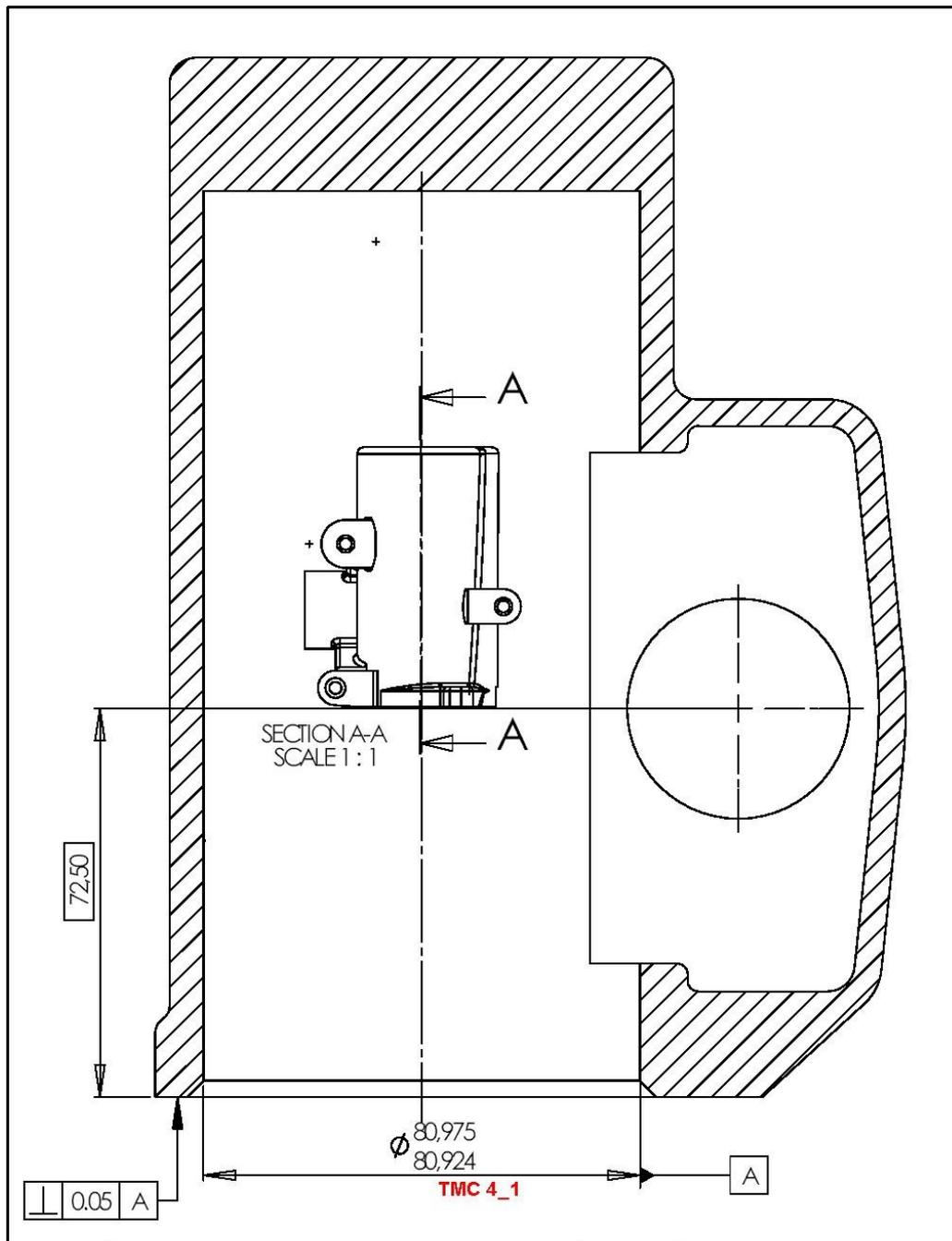
Referência	Descrição
Ref. A	Eixo associado pelo método dos mínimos quadrados, obtido a partir do centro de três seções circulares associadas pelo método maior círculo inscrito, com cinco pontos cada, sendo esses uniformemente distribuídos sobre toda a circunferência para duas das seções, e sobre um arco de aproximadamente 240° para a terceira.
Ref. B	Plano associado pelo método do plano tangente externo, obtido a partir de dez pontos uniformemente distribuídos sobre uma circunferência.
Ref. C	Plano integral associado pelo método do plano tangente externo, obtido a partir de três pontos medidos em cada um dos três planos C1, C2 e C3.
Ref. D	Eixo associado pelo método dos mínimos quadrados, obtido a partir do centro de três seções circulares determinadas pelo método do maior círculo inscrito, com cinco pontos uniformemente distribuídos em cada seção.

A.2 VISTAS DO DESENHO MECÂNICO DA PEÇA PADRÃO





01	Nome	01	Aço Fundido
Quantidade	Carçaça de Direção	Número da Peça	Materia
	DESMOS MEDIOS ADMISSÍVES SEM TOLERÂNCIAS INDICADAS (DIN 7168-m)		Escala 1:1
	1 a ±0,1	6 a ±0,2	30 a ±0,3
		120 a ±0,5	400 a ±0,8
		1000 a ±1,2	
	Desenho: DHP	Data: 11/7/2004	
	Responsável: GD	Revisão: 4/10/2005	
	Projeta: Peça Padrão	Desenho*: 01	
		Arquivo: Peça_new_hubner6.SLDDRW	



01	Nome	01	Aço Fundido
Quantidade	Carcaça de Direção	Número da Peça	Material
	DESMOS MÉDICOS ADMISSÍVEIS SEM TOLERÂNCIAS INDICADAS (DIN 7168-m)		Escala: 1:1
	1 a ±0.1	6 a ±0.2	30 a ±0.3
		120 a ±0.5	400 a ±0.8
			1000 a ±1.2
	Desenho: DHP	Data: 11/7/2004	
	Responsável: GD	Revisão: 4/10/2005	
	Projeto: Peça Padrão	Desenho n.º: 01	
		Arquivo:	