

VALIDAÇÃO DE PROCESSOS DE MEDIÇÃO POR COORDENADAS EM OPERAÇÕES DE CONTROLE DA QUALIDADE

Ademir Linhares de Oliveira¹, André Roberto de Souza²

¹Fundação CERTI – Centro de Metrologia e Inovação em Processos, Florianópolis, Brasil

²Centro Federal de Educação Tecnológica de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil

Resumo: Este trabalho apresenta um método de validação de processos de medição que utilizam máquinas de medir por coordenadas para o controle da qualidade dos produtos, baseando-se em ensaios experimentais na máquina de medir. São determinadas as incertezas de medição de todos os parâmetros de inspeção de um produto controlados em uma máquina de medir por coordenadas. A comparação das incertezas obtidas com as incertezas máximas estabelecidas pela indústria para este produto permite validar num primeiro momento o processo de medição. Este trabalho considera os aspectos técnicos importantes para a validação de um processo de medição por coordenadas e, além disso, aborda recomendações de onde atuar quando for necessário baixar suas incertezas de medição, e se há vantagens e possibilidade de simplificá-lo buscando uma otimização operacional.

Palavras chave: medição por coordenadas, incerteza de medição, metrologia dimensional.

1. INTRODUÇÃO

1.1. Processo Produtivo e Processo de Medição

Um processo produtivo está sujeito a uma série de fatores de influência que definem a sua variabilidade. O controle das causas principais que influenciam um processo produtivo é fundamental para a manutenção da qualidade de seus produtos. A utilização de meios de medição permite verificar a conformidade desses produtos e obter informações necessárias para ajustes no processo. A inspeção com o meio de medição permite separar as peças não conformes, de tal modo que os requisitos funcionais e tecnológicos do produto sejam atendidos.

No setor industrial metal-mecânico, a utilização de máquinas de medir por coordenadas no controle de processos produtivos vem crescendo bastante no Brasil desde a última década. As características principais da medição por coordenadas que justificam este crescimento são a sua grande flexibilidade em se adequar a diferentes tarefas de medição e as facilidades de automatização e informatização, inerentes desta tecnologia [1].

1.2. Fatores de Influência do Processo de Medição

Fatores de influência também agem sobre um processo de medição, ocasionando a sua variabilidade. Em um processo de medição por coordenadas existem vários fatores que influem nos resultados de medição. De uma maneira mais geral, estes fatores de influência podem ser associados à máquina de medir, à peça a inspecionar, às condições ambientais onde se encontra a máquina, aos operadores e programadores da máquina de medir e aos métodos e procedimentos de medição. Cada um desses fatores são subdivididos em vários outros, conforme apresentado na figura 1 [2].

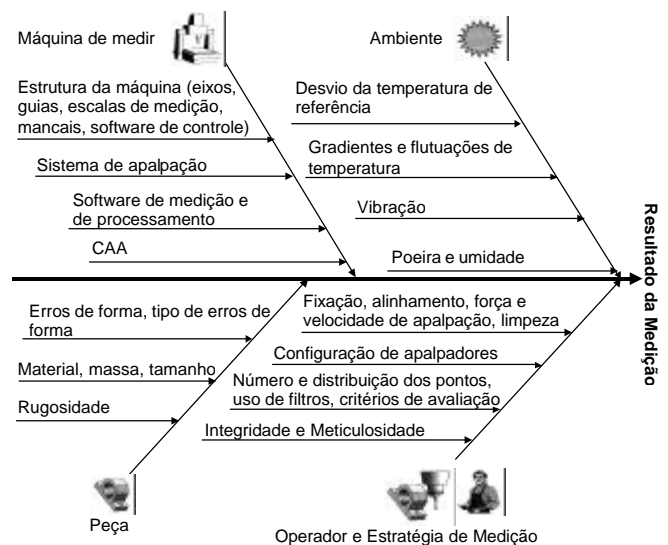


Figura 1. Fatores de influência na medição por coordenadas

A superposição dos diversos fatores de influência define a variabilidade do processo de medição. O controle dos fatores de influência que mais contribuem para as variações de um processo de medição é fundamental para a manutenção da confiabilidade das medições. O atendimento às especificações técnicas do produto (busca da conformidade geométrica) só é passível de demonstração e verificação através da utilização de processos de medição adequados [1].

Processos de medição que possuam dispersão ou desvios sistemáticos relativamente altos em comparação com os limites de aceitação dos produtos ocasionarão custos adicionais (diretos ou indiretos) muito elevados, pois aumentam-se os erros de classificação de conformidade das peças, e as ações “de melhoria” no processo produtivo são definidas com base em resultados de medição duvidosos. A figura 2 apresenta as principais conseqüências quando se aprova peças não conformes e quando se rejeita peças conformes [7].

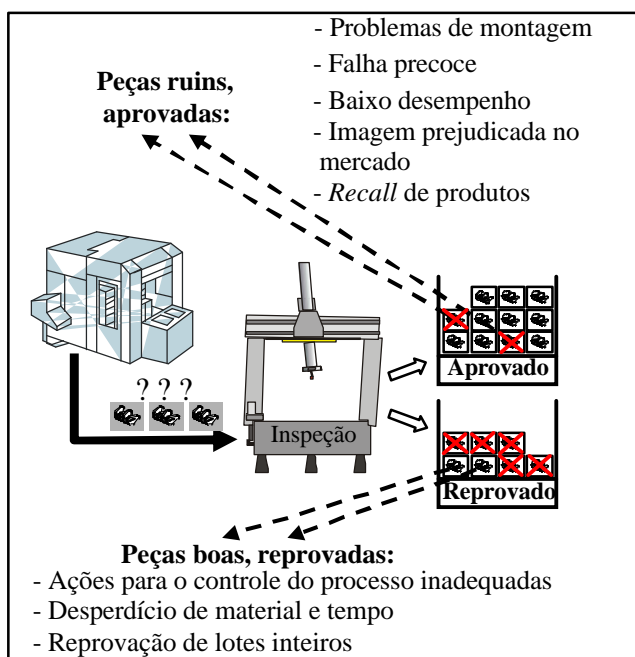


Fig. 2. Processo de Inspeção com MMCs

No caso específico de um processo cujo controle é realizado por meio de máquinas de medir por coordenadas, há o agravante de que muitas vezes o usuário desconhece os pré-requisitos para uma medição confiável com esta tecnologia, como por exemplo:

- Entendimento e uso adequado das funções do software da máquina de medir;
- Capacitação metrológica dos operadores, como subsídio para minimizar erros de medição;
- Definição de estratégias adequadas de medição, tais como número e distribuição de pontos, direção de apalpação, velocidade de medição, etc.;
- Seleção adequada dos apalpadores (diâmetro do sensor, comprimento e espessura da haste);
- Qualificação prévia dos apalpadores;
- Controle da temperatura ambiente e das peças a medir;
- Máquina instalada em local apropriado e bem ajustada pelo fabricante;
- Dispositivos de fixação adequados (sem deformar as peças; reproduzem fielmente o posicionamento das peças na máquina a cada nova fixação);
- Alinhamento adequado da peça pelo programa de medição: levando-se em conta elementos funcionais e de referência da peça;

- Interpretação correta dos desenhos de medição;
- Conhecimento da peça e dos processos de fabricação envolvidos;
- Manutenção e verificação periódica da máquina;
- Etc.

1.3. Incertezas de um Processo de Medição

É imprescindível conhecer as limitações de um processo de medição para que se possa agir de forma eficaz sobre seu processo produtivo. Estas limitações estariam bem definidas se fossem conhecidas as incertezas do processo de medição para cada parâmetro de inspeção de um determinado produto. Entretanto, os métodos atuais de calibração e verificação de máquinas de medir por coordenadas mais utilizados não fornecem informações suficientes para se avaliar as incertezas de medição em tarefas específicas. Para avaliação dos erros de máquinas de medir por coordenadas, fabricantes e laboratórios de calibração em geral se baseiam em normas e diretrizes internacionais de aceitação e verificação de máquinas de medir, como a ISO 10360-2. Esta norma, e as normas nacionais similares, não tratam de calibrações, mas sim de verificações para ensaios bem definidos como erros para medição de comprimentos, posição e forma. A aplicação destas normas possibilita a comparação entre diferentes máquinas de medir e serve como base para contratos de compra e venda. Por outro lado, os métodos de calibração que permitem avaliar os erros de uma máquina de medir para suas inúmeras possibilidades de tarefas de medição são, em geral, muito complexos. O risco de uma avaliação não realista das incertezas de medição por algum destes métodos é bastante provável de ocorrer [6]

Por esta razão, foi elaborada recentemente a norma ISO 15530 parte 3, que trata da determinação de incertezas de medição em máquinas de medir por coordenadas, utilizando-se peças calibradas. O objetivo desta norma é fornecer uma técnica experimental para simplificar a avaliação de incertezas nas medições com máquinas de medir por coordenadas [11]. Com base nesta norma e na ferramenta estatística mais importante para monitoramento de processos, que são as cartas de controle, foi elaborado um método para validação de processos de medição por coordenadas em operações de controle da qualidade, descrito no item 2.

2. MÉTODO DE VALIDAÇÃO PROPOSTO

Uma visão geral do método proposto para validação de processos de medição por coordenadas é apresentada no fluxograma da figura 3.

O método de validação pode ser dividido em 3 grandes partes, mostradas no fluxograma pelas áreas entre as linhas tracejadas e identificadas como A, B e C. Segue nos subitens a seguir um esclarecimento mais detalhado de cada uma dessas áreas.

**FLUXOGRAMA DE VALIDAÇÃO DE UM PROCESSO DE MEDIÇÃO
POR COORDENADAS (PMC)**

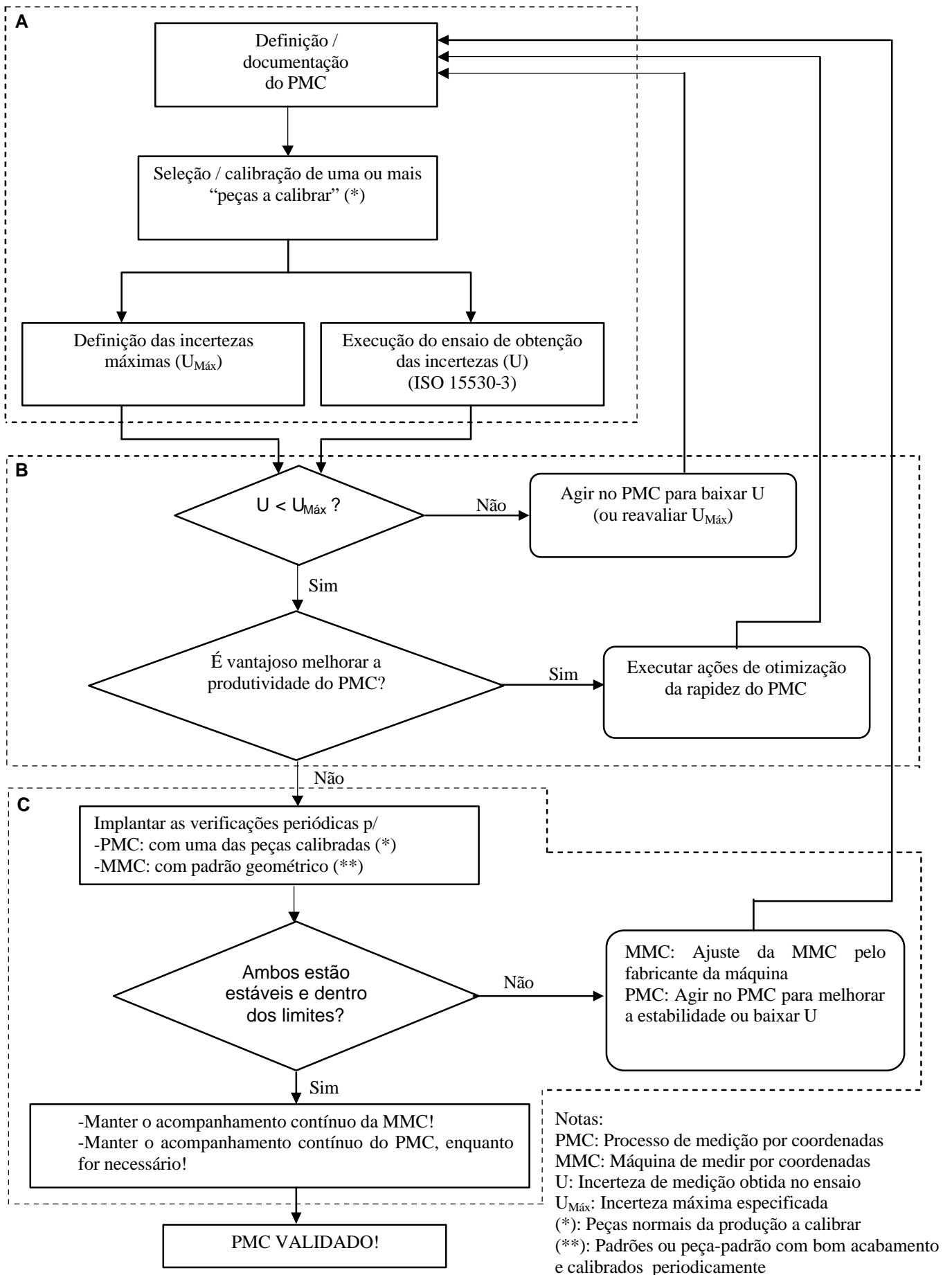


Fig. 3. Fluxograma de validação de um processo de medição por coordenadas

2.1. Área A – Avaliação das Incertezas de Medição do PMC (Processo de Medição por Coordenadas):

O método de avaliação das incertezas de medição do processo de medição por coordenadas se baseia na norma ISO 15530-3, e utiliza peças calibradas para simular as medições reais na máquina de medir. As incertezas de medição são avaliadas para cada parâmetro de inspeção do produto. Uma comparação das incertezas obtidas com as incertezas máximas estabelecidas pela indústria permite dizer se o processo de medição está validado neste momento.

2.1.1. Definição / Documentação do PMC:

Para se validar um processo de medição por coordenadas deve-se, em primeiro lugar, defini-lo e documentá-lo. A documentação das condições reais do processo de medição por coordenadas é importante para a padronização das medições, para o conhecimento das amplitudes de variação de alguns dos fatores de influência e para a definição de ações de melhoria no processo de medição.

Deve-se relacionar por exemplo: peça, parâmetros de inspeção, desenhos e tolerâncias, etapas de fabricação, máquina de medir por coordenadas, acessórios da máquina (apalpadores, esfera-padrão, dispositivo de fixação, etc.), programas de medição CNC (ou passos de medição manual), posições e orientações das peças no volume da máquina, condições ambientais em torno da máquina, faixa de temperatura em que as peças são normalmente medidas, frequência e horários em que as medições são realizadas, operadores encarregados, situações especiais que influem nas medições, etc.

2.1.2. Seleção e Calibração de Uma ou Mais “Peças a Calibrar”:

As peças a calibrar devem ser similares às peças reais inspecionadas com o processo de medição por coordenadas em avaliação. Estas peças devem cumprir os requisitos de similaridade colocados na tabela 1, conforme estabelecido na norma ISO 15530-3 [11].

Tabela 1. Requisitos de similaridade para as peças a calibrar

Parâmetro	Requisitos Admissíveis	
Características geométricas	Dimensão	-acima de 250 mm: até 10 % de variação -até 250 mm: até 25 mm de variação
	Ângulos	até +/- 5° de variação
Material: dureza, coef. exp. térmica, elasticidade)	Deveriam ser similares devido às propriedades funcionais	

As peças a calibrar não deveriam ter erros de forma localizados (como rebarbas, rechupes, deformações, etc.) próximos aos pontos de medição.

Existe a possibilidade de se utilizar apenas uma única peça calibrada no ensaio de avaliação das incertezas. Entretanto, a utilização de mais peças calibradas permite considerar também a influência da variação do processo produtivo sobre os resultados de medição. Estas variações se manifestam nas características das peças (erros de forma, coeficiente de expansão térmica, na elasticidade, na plasticidade e na rugosidade). O uso de apenas uma peça calibrada somente é possível se as variações entre as peças são conhecidas e pequenas o suficiente para que possam ser desprezadas, ou se os efeitos das variações das peças no processo de medição sejam avaliados e adicionados quadraticamente às incertezas de medição obtidas no ensaio proposto [11]. Para os casos gerais, recomenda-se o uso de pelo menos 3 peças calibradas, obtidas de diferentes lotes.

A calibração das peças selecionadas é realizada numa máquina de medir por coordenadas de referência, do laboratório de metrologia da própria indústria ou de um laboratório de calibração externo, na temperatura de 20°C. A calibração define os valores de referência, com suas respectivas incertezas, para cada parâmetro de inspeção destas peças, sendo, portanto, muito importante empregar estratégias de medição consistentes. As incertezas da calibração deveriam ser baixas o suficiente para não contribuir muito no balanço de incertezas do PMC. Uma relação de até 3 vezes menor que a incerteza do processo de medição em estudo serve como referência. Entretanto, para peças com erros de forma elevados, mesmo esta baixa relação pode não ser atingida. Uma forma de minimizar a incerteza da calibração é aumentando-se o número de pontos. A norma ISO 15530-6 pode ser utilizada como um guia para se avaliar as incertezas na calibração de peças com máquinas de medir por coordenadas [12].

2.1.3. Definição das Incertezas Máximas ($U_{Máx}$):

Cada parâmetro de inspeção deve ter associada uma incerteza máxima admissível pela indústria. A definição destas incertezas é resultado de uma decisão gerencial envolvendo principalmente as áreas de projeto, fabricação e garantia da qualidade. A incerteza máxima é determinada levando-se em conta a especificação do produto (tolerância ou erro máximo permissível (MPE)), estudos de CEP, custos, parâmetros críticos, requisitos da qualidade, etc. [10]. Para vários destes critérios, foi elaborada uma ferramenta computacional (figura 4) que define as incertezas máximas de cada parâmetro de inspeção.

Fig. 4. Ferramenta computacional para definição de $U_{Máx}$

Com o uso desta ferramenta, as incertezas máximas podem ser definidas das seguintes formas:

- Relação tolerância / incerteza de medição: definido por uma relação numérica entre o intervalo de tolerância e a incerteza de medição.
- Índices de capacidade de meios de medição (C_g , C_{gk}): índices obtidos ou especificados considerando-se a avaliação de meios de medição através de padrões bem acabados (com pequenos desvios de forma e rugosidade).
- Número de falhas na inspeção de conformidade das peças: especifica-se um número admissível de falhas (em ppm) de classificação incorreta das peças em conformes e não conformes, que podem ocorrer por culpa do processo de medição.
- Redução da capacidade do processo devido ao efeito do PMC: especifica-se a redução nos índices de capacidade do processo produtivo devido ao efeito do processo de medição.

2.1.4. Execução do Ensaio de Obtenção das Incertezas:

Nos ensaios, as seguintes condições gerais devem ser seguidas [11]:

- Ensaiar pelo menos 1 peça calibrada (um número maior permite considerar também o efeito das variações do processo produtivo no processo de medição);
- Realizar pelo menos 20 ciclos de medição ao todo, e pelo menos 10 ciclos por peça calibrada (ex.: se são utilizadas 3 peças, então deve-se medir ao todo no mínimo 30 vezes, 10 vezes por peça);
- As medições devem ocorrer ao longo de um dia (se necessário, em 2 dias);
- Medir todos os parâmetros de inspeção;
- O ensaio de avaliação das incertezas com as peças calibradas deve ocorrer nas condições mais próximas possíveis das medições reais, como se uma peça fabricada estivesse realmente sob inspeção. Os seguintes aspectos do processo de medição deveriam ser observados: programa CNC (o mesmo das medições reais), procedimento de fixação, estratégia de alinhamento, limpeza, temperatura da peça, tempo de estabilização térmica, parâmetros de máquina (velocidade de medição e de deslocamento, aceleração e desaceleração, força de medição, distância de aproximação), posições e orientações da peça na mesa da MMC, apalpadores, etc. Documentar as condições do ensaio para cada ciclo de medição.

Eventuais contribuições de incertezas que não forem abrangidas no ensaio, deverão ser consideradas num balanço de incertezas final.

2.2. Área B – Tomada de Decisões e Ações de Melhoria no PMC:

As incertezas de medição obtidas com o ensaio segundo a norma ISO 15530 parte 3 são comparadas com as incertezas

máximas admissíveis para cada parâmetro de inspeção. Todas as incertezas deveriam ser menores que as incertezas máximas especificadas.

2.2.1. Agir no PMC para baixar U:

Se as incertezas obtidas são maiores que as incertezas máximas admissíveis, são necessárias ações para baixar as incertezas de medição do processo de medição por coordenadas.

Para uma ação de melhoria eficaz e eficiente sobre o PMC, é necessário se conhecer suas principais causas de variação (sistemáticas ou aleatórias). Alguns ensaios recomendados:

a) Ensaio de curto prazo com uma única peça calibrada e uma única fixação: medir várias vezes, calcular o desvio-padrão e comparar com o desvio-padrão obtido no ensaio de avaliação das incertezas do PMC. Se for significativamente menor, então deve-se avaliar:

- A reprodutibilidade do dispositivo de fixação;
- Variações nas condições ambientais;
- Repetitividade na qualificação dos apalpadores.

b) Ensaio de apalpação: realizado para saber se o cabeçote indexador e o apalpador estão de acordo com o especificado pelo fabricante. Podem ser utilizados bloco-padrão, anel-padrão ou esfera-padrão, até 30 mm de tamanho, conforme se queira avaliar as incertezas de apalpação 1D, 2D ou 3D, respectivamente. De uma maneira geral, recomenda-se o uso de uma esfera-padrão calibrada, diferente daquela utilizada para qualificar os apalpadores [8].

c) Ensaio para avaliar os erros da MMC: Pode ser necessário chamar a assistência técnica para ajustar a MMC, caso o ensaio demonstre que a máquina não atende aos requisitos especificados pela empresa [8].

d) Ensaios para avaliar erros da MMC em tarefas específicas de medição: podem ser utilizados padrões para avaliar erros da máquina de medir em situações específicas. O uso de padrões permite avaliar os efeitos dos erros da máquina e ambiente, eliminando a influência dos erros de forma da peça. Os padrões devem portanto ser similares aos elementos reais de medição, cuja incerteza da máquina pretende-se avaliar.

e) Outras ações de melhoria: pequenas mudanças no processo de medição (estratégias, limpeza, parâmetros da máquina, apalpadores, alinhamento, fixação, etc.) podem ser suficientes para se baixar as incertezas para valores aceitáveis. Algumas dessas mudanças podem ser, por exemplo:

- Utilizar apalpadores mais curtos e mais espessos;
- Introduzir nos procedimentos de medição a limpeza das peças, apalpadores, esfera-padrão e dispositivo de fixação;
- Corrigir as tendências (desvios sistemáticos) obtidos do ensaio de avaliação das incertezas de medição do PMC;

- Aumentar o número de ciclos de medição das peças (usar a média dos ciclos como valor de medição);
- Aumentar o número de pontos de medição: resulta numa definição mais exata do mensurando e minimiza a dispersão do elemento medido;
- Baixar velocidades de medição e deslocamento, aceleração e desaceleração da máquina (os apalpadores deverão ser qualificados nas mesmas condições);
- Padronizar o posicionamento da peça na máquina e realizar o alinhamento CNC;
- Distribuir os pontos de medição em locais adequados na peça (ex.: pontos afastados das bordas em peças estampadas, pontos afastados de partes flexíveis de peças plásticas, etc);
- Distribuir os pontos afastados e de forma simétrica sobre o elemento da peça a medir. Este procedimento tende a minimizar os erros de medição;
- Reavaliar as incertezas máximas: em último caso, se não forem possíveis a realização de ações de melhoria no processo de medição que reduzam as incertezas de medição aos valores admissíveis, por limitação técnica ou devido a custos proibitivos, então não resta alternativa senão reavaliar os valores especificados das incertezas máximas. Neste caso, os critérios utilizados para definir as incertezas máximas não são cumpridos.

2.2.2. É vantajoso melhorar a produtividade do PMC?:

Em muitas situações é importante que o PMC seja rápido e produtivo operacionalmente. Por exemplo:

- Quando a máquina de medir por coordenadas é utilizada em regime total de operação ou em determinados períodos do dia, ocasionando atrasos em outros setores da indústria;
- A indústria prevê aumento da demanda de serviços de inspeção na máquina de medir por coordenadas, e não há recursos para aquisição de uma outra máquina;
- São medidas muitas peças na máquina de medir por coordenadas por dia, logo uma pequena redução no tempo de medição por peça, resulta numa grande economia de tempo de máquina. Ex.: 100 peças por dia, 10 minutos por peça: uma redução de 1 minuto por peça, resulta numa economia de 100 minutos por dia;

Nesses casos, deve-se analisar a possibilidade de se otimizar operacionalmente o PMC (válido para máquinas CNC):

1. Verificar o tempo de medição total, procurando identificar as operações mais demoradas. Estas operações deveriam ser as primeiras a serem analisadas quanto à possibilidade de redução de tempo.
2. Otimizar o processo de fixação e alinhamento da peça na máquina: padronizar a posição e orientação da peça, conceber uma forma de fixação rápida e repetitiva e programar um alinhamento CNC da peça.
3. Reduzir tempos de máquina parada, causados por exemplo por:

- O operador realiza cálculos para obter os resultados de medição finais antes de repassá-los adiante;
 - A máquina aguarda a impressão de resultados de medição (automaticamente pelo programa CNC).
 - O operador aguarda a estabilização de temperatura da peça na máquina antes de medi-la;
 - Problemas de gerenciamento e organização da rotina de trabalho (máquina parada em horários de almoço, lanche, troca de turnos, etc).
4. Reduzir os tempos de fixação das peças: uso de *pallets*;
 5. Racionalizar o programa CNC:
 - Programar com uma seqüência contínua de medições, sem idas e voltas do apalpador;
 - Minimizar as indexações angulares dos apalpadores;
 - Programar as posições intermediárias do apalpador, tendo sempre em mente o próximo ponto a ser apalpado;
 - Utilizar os recursos de programação off-line (fora da máquina) do software da máquina.
 6. Quanto à escolha dos apalpadores: A troca de apalpadores requer um certo tempo para ocorrer. Logo, se possível minimizar as trocas, sem prejudicar a confiabilidade das medições, então deve-se fazê-lo. O uso de apalpador do tipo estrela reduz a necessidade de troca de apalpadores!
 7. Quanto à alteração de parâmetros de medição da máquina de medir: (requer uma qualificação dos apalpadores nas mesmas condições!)
 - Aumentar a velocidade de deslocamento e/ou a aceleração e desaceleração da máquina: a alteração destes parâmetros modifica as condições dinâmicas da máquina. Não se deve ultrapassar os limites especificados pelo fabricante, sob pena de piora na confiabilidade das medições.
 - Aumentar a velocidade de medição: corresponde à velocidade de apalpação da máquina. Deve-se seguir as recomendações do fabricante. Velocidades muito altas tendem a aumentar a dispersão dos resultados.
 - Reduzir a distância de aproximação: corresponde a distância que a máquina se desloca com velocidade de medição, antes de uma apalpação. Distâncias muito pequenas não são recomendáveis, pois aumentam-se os erros devido a efeitos dinâmicos da máquina.
 - Quanto ao número de pontos de medição: recomenda-se o número mínimo de pontos que representa bem o mensurando (compromisso de medir rápido, mas com qualidade). As máquinas com recursos de *scanning* permitem a medição de muitos pontos num tempo relativamente curto. São apropriadas, portanto, quando se necessita de informações dos desvios de forma das peças.
 - Quanto ao tempo de repetições, discussões e análises: repete-se freqüentemente medições de peças para confirmar resultados? Se isto ocorre é porque causas especiais não conhecidas estão atuando no PMC. Uma investigação do mesmo é necessária para eliminar ou

minimizar estas variações. Os tempos dispendidos para repetição de medições, discussões e análises tendem a ser bastante elevados, além de colocar em cheque a confiabilidade das medições.

2.3. Área C – Implantação das Verificações Periódicas:

A verificação periódica é realizada para os diferentes processos de medição por coordenadas da indústria e também especificamente para a máquina de medir. Ambos os tipos de verificações diferem entre si pelos objetos utilizados para a coleta dos dados e pelos seus objetivos, conforme exposto nos subitens abaixo.

2.3.1. Verificação Periódica do PMC:

Um processo de medição por coordenadas somente recebe o status de validado se for comprovada a sua estabilidade no tempo e se os dados se mantêm dentro dos limites especificados para cada parâmetro de inspeção. O uso de cartas de controle é fundamental para a observância dessas condições, bem como para direcionar ações de melhorias mais consistentes no processo de medição.

Se a indústria tem muitos PMCs ou processos de medição com muitos parâmetros de inspeção, então sugere-se selecionar apenas os mais críticos (ex.: processos de medição cuja dispersão das medições é próxima ao intervalo de tolerância, processos de medição de peças com requisitos funcionais vitais para a qualidade do produto final, etc.). Para cada um desses parâmetros será traçada uma carta de controle para o monitoramento do processo de medição.

Na fase de implantação da verificação periódica do PMC, deve-se selecionar uma das peças calibradas como objeto de referência, definir a frequência e horários em que os dados serão coletados, definir e instruir os responsáveis e a forma de documentação e preenchimento dos dados nas respectivas cartas de controle.

As análises de cartas de controle realizadas em estudos de CEP podem ser realizadas de forma análoga para um processo de medição [3]. Neste caso, os fatores de influência serão em menor número, mas não menos importantes. O controle desses fatores de influência é fundamental para a garantia da qualidade dos produtos.

Para empresas que mantêm monitoramento contínuo de CEP e verificam periodicamente a máquina de medir, não há necessidade de verificar continuamente também os processos de medição. Estes devem ser realizadas até que demonstrem estar dentro dos limites especificados e totalmente sob controle, sem a existência de causas especiais de variação. Os desvios sistemáticos e aleatórios remanescentes no processo de medição não deveriam justificar um novo investimento em melhoria.

2.3.2. Verificação Periódica da MMC:

Com o uso, é natural que as máquinas de medir por coordenadas mudem suas características ao longo do tempo. Este processo é mais acentuado quando as condições ambientais (temperatura, vibrações, sujeira) não são

favoráveis. A verificação periódica da máquina permite prever o momento certo de se chamar a assistência técnica para o seu ajuste. Desta forma, evita-se que medições ocorram com a máquina desajustada, cujas implicações podem custar muito caro. Além disso, economiza-se quando, analisando-se a carta de controle, fica constatado que a máquina está dentro do especificado e pode-se postergar seu ajuste. Entretanto, a manutenção preventiva da máquina deve ser mantida, para evitar paradas inesperadas por falta de manutenção.

A máquina de medir por coordenadas deve ser verificada periodicamente com um padrão genérico e bem acabado como tetraedro, cubo de esferas, placa-padrão, "ball-bar", peças-padrão, padrões escalonados, blocos-padrão, etc. Recomenda-se a verificação com padrões espaciais ou planos, para reduzir o tempo de verificação. O padrão utilizado para verificar a máquina de medir deve ser calibrado periodicamente.

2.3.3. Ambos estão estáveis e dentro dos limites?

Análise da estabilidade e dos desvios da MMC e do PMC frente aos limites especificados. A análise dos dados das cartas de controle (ex. carta das médias e amplitudes) é realizada avaliando-se por exemplo [3]:

- Pontos além dos limites de controle: presume-se a ocorrência de uma causa especial de variação, que deve ser analisada e corrigida de imediato.
- Sequência de 7 pontos consecutivos em um lado da média ou 7 pontos consecutivos crescentes ou decrescentes: se ocorrer na carta de amplitudes, indica alguma mudança no processo de medição que resultou numa maior ou menor dispersão das medições, conforme os valores estejam acima ou abaixo da amplitude média, respectivamente. Se ocorrer na carta das médias, indica que a tendência do processo de medição se alterou.
- Padrões não aleatórios óbvios: por exemplo padrões cíclicos.

2.3.4. Ajustar a MMC / Ações sobre o PMC:

Se a máquina tem uma tendência de sair das especificações, então deve-se chamar a assistência técnica a fim de ajustá-la. Se o PMC tem a tendência de sair de suas especificações, deve-se analisar as causas de imediato e agir sobre o processo de medição, conforme recomendações no item 2.2.1.

2.3.5. Manter o acompanhamento contínuo da MMC e do PMC:

O monitoramento contínuo da MMC é um pré-requisito para que um processo de medição possa ser considerado como válido. O monitoramento do PMC deve ser realizado enquanto houver necessidade de se agir sobre o processo de medição.

3. ANÁLISE COMPARATIVA

O método de validação apresentado neste trabalho considera aspectos de diversos sistemas de garantia da qualidade já consagrados, tais como CEP, MSA, R&R, GUM, PUMA, ensaios de capacidade de meios de medição (Cg, Cgk), entre outros, aplicados à avaliação de processos de medição por coordenadas. O método se aproxima de estudos de CEP nas etapas de verificação periódica e análise de cartas de controle para definição de ações de melhoria. Esta parte também abrange o ensaio de estabilidade previsto num estudo de MSA. Pode-se dizer que o ensaio de avaliação das incertezas de medição abrangem os ensaios de R&R e tendência de um estudo de MSA. O ensaio de linearidade de um estudo de MSA, entretanto, não é abordado neste trabalho, por ser desnecessário, uma vez que para cada processo de medição existirá uma peça de referência calibrada de dimensões similares às peças a medir [4, 5].

Uma diferença entre o método proposto e os métodos de avaliação da capacidade de processos de medição por coordenadas, através dos índices Cg e Cgk, está na escolha dos objetos de referência. Este trabalho está baseado na norma ISO 15530-3, que utiliza peças calibradas com características similares às peças reais a medir. O uso destas peças possibilita a consideração dos efeitos do processo produtivo sobre as incertezas do processo de medição. Em um estudo de capacidade, utiliza-se em geral padrões bem acabados e diferentes das peças a inspecionar. Assim, os efeitos das peças e estratégias de medição sobre o processo de medição são desconsiderados na análise de capacidade. É por esta razão que estudos de R&R, nas condições reais de uso, são realizados em conjunto com os ensaios de capacidade para uma avaliação mais completa de um processo de medição. A informação obtida por um ensaio de capacidade é útil para se comparar diferentes máquinas de medir e avaliar o desempenho em condições ótimas [4, 5].

4. CONCLUSÃO

A incerteza dos processos de medição é um parâmetro de extrema importância para a confiabilidade de qualquer operação de controle dimensional. É por esta razão que seu uso está previsto na norma ISO 14253-1, que trata das regras para comprovação da conformidade de produtos [9]. Na medição por coordenadas, é bastante comum os usuários utilizarem a incerteza volumétrica da máquina como estimativa das incertezas de medição de suas peças [8]. Fazendo isso, correm o risco de utilizar incertezas de medição não compatíveis com a realidade do processo de medição.

O método de validação proposto orienta os usuários de máquinas de medir por coordenadas a documentar as estratégias de medição utilizadas, definir as incertezas máximas admissíveis para cada parâmetro de inspeção e verificar a adequação das incertezas obtidas na máquina em relação às incertezas máximas. Quando necessário, também orienta o usuário como otimizar o processo de medição, para que este atenda às incertezas máximas especificadas. Além disso, aborda recomendações de onde atuar no processo de

medição se houver vantagem e possibilidade de simplificá-lo buscando uma otimização operacional. Após a validação do processo de medição por coordenadas, o usuário é orientado a realizar verificações periódicas da máquina e do processo de medição, com intuito de garantir que este continuará validado com o passar do tempo.

O método proposto está baseado principalmente na norma internacional ISO 15530-3 e no uso de cartas de controle, o que possibilita um reconhecimento internacional de avaliações de processos de medição realizadas por este método. Desta forma, barreiras técnicas relacionadas à validação de processos de inspeção com máquinas de medir por coordenadas são superadas.

REFERÊNCIAS

- [1] A. L. Oliveira; A. R. Sousa; A. A. B. Neto, "Influências da Incerteza da Medição por Coordenadas na Conformidade Dimensional de Peças Seriadas", ENQUALAB-2002, anais.
- [2] A. Weckenmann, B. Gawande, "Koordinatenmesstechnik", Carl Hanser Verlag München Wien, 1999.
- [3] Chrysler Corporation, Ford Motor Company, General Motors Corporation, "Fundamentos de Controle Estatístico do Processo (CEP)", 1ª Edição Brasileira, 1997.
- [4] Dr. E. Dietrich, "Sonderfälle bei der Beurteilung von Messverfahren", Q-DAS, Versão 2.2 D, maio, 2001.
- [5] Dr. E. Dietrich, "Leitfaden zum Fähigkeitsnachweis von Messsystemen", Q-DAS, Versão 2.1 D/E, dezembro, 1999.
- [6] E. Trapet, "La Incertidumbre en Mediciones con MCs", Unimetrik, Vitória, 2002.
- [7] F. CERTI, "Garantia da Confiabilidade Metrológica na Medição por Coordenadas", apostila de curso, julho, 2003.
- [8] Norma ISO 10360-2, "Acceptance test and reverification test for Coordinate Measuring Machines (CMM) – Part 2: CMMs used for measuring linear dimensions", 2000.
- [9] ISO TR 14253-1, "Decision Rules for Proving Conformance or Non-Conformance with Specifications", ISO GPS, 1998.
- [10] ISO TR 14253-2, "Guide to the Estimation of Uncertainty in GPS Measurement, in Calibration of Measuring Equipment and in Product Verification", ISO GPS, 1998.
- [11] Norma ISO TS 15530-3, "Coordinate Measuring Machines – Techniques for Evaluation of the Uncertainty of Measurement–Part 3: Use of Calibrated Workpieces", 2000.
- [12] Norma ISO TS 15530-6, "Coordinate Measuring Machines– Techniques for Evaluation of the Uncertainty of Measurement–Part 6: Uncertainty Assessment Using Un-Calibrated Workpieces", setembro, 2000 (em elaboração!).

Autor: Ademir Linhares de Oliveira, Eng., Fundação Centros de Referência em Tecnologias Inovadoras - CERTI, Rodovia Amaro Antônio Vieira 2797, A 201 – Itacorubi, 88034-102, Florianópolis, Brasil, ademirlinhares@hotmail.com

Autor: Prof. André Roberto de Sousa, Dr. Eng., Gerência de Mecânica do Centro Federal de Educação Tecnológica de Santa Catarina, Av. Mauro Ramos, 950 - Centro, 88020-300, Florianópolis - SC. E-mail: asouza@cefetsc.edu.br