



## 16° Congresso de Iniciação Científica

### DETERMINAÇÃO EXPERIMENTAL DA INCERTEZA NA MEDIÇÃO POR COORDENADAS

#### Autor(es)

---

ALEXANDRE CAFFEU RAMOS

#### Orientador(es)

---

ÁLVARO JOSÉ ABACKERLI

#### Apoio Financeiro

---

PIBIC/CNPq

#### 1. Introdução

---

Máquinas de medir por coordenadas vêm se desenvolvendo muito ao longo dos anos, em decorrência da grande necessidade de obtenção de produtos de alta qualidade. As mesmas são fundamentais para se definir, com uma grande exatidão, dimensões de peças complexas.

As MMCs, assim como são conhecidas, conseguem detectar erros mínimos, e são bastante utilizadas no controle de qualidade; visto que, os consumidores estão cada vez mais exigentes e com as fábricas se dirigindo rumo à excelência daquilo que produzem.

Para que o produto final cumpra todas as especificações técnicas é necessário que seus componentes, satisfaçam individualmente cada uma de suas especificações. Esta é a tarefa que cabe à metrologia dimensional, e é justamente por isso que a mesma ocupa uma posição de destaque dentro dos processos de modo geral (CARDOZA, 1995).

A MMC do tipo ponte móvel é a mais utilizada, pois possui maior rigidez, além de uma pequena incerteza de medição.

Existem fatores que podem prejudicar as medições de uma MMC, desta forma, os mesmos devem ser levados em consideração, na tentativa de reduzi-los ou mesmo eliminá-los.

Erros devido ao Sistema do Apalpador:

É de grande importância que a seleção do apalpador seja criteriosa, a fim de se evitar maiores erros de medição. Deve-se verificar o diâmetro da esfera do apalpador e o tamanho da haste, pois quanto maior a

haste, maior o erro.

Pesquisas realizadas, variando parâmetros tais como o comprimento e a orientação da haste usada no apalpador, demonstraram que o valor destes erros pode equivaler várias vezes à tolerância desejada para medição (ORREGO, 1999)

O apalpador usado na pesquisa é do tipo “touch – trigger” que funciona como um interruptor elétrico. Quando a ponta do apalpador faz contato com a superfície da peça fecha-se ou abre-se um circuito (por exemplo, fechando ou abrindo um contato mecânico) e envia-se um pulso elétrico ao sistema de controle. Ele imediatamente lê a posição indicada pelas três coordenadas da máquina (ORREGO, 1999).

Erros devido ao Sistema de Coordenadas:

Os erros no sistema de coordenadas são uma das maiores fontes de erros nas MMCs. Esses erros podem ser atribuídos a problemas na estrutura mecânica, deformações elásticas dos componentes durante o movimento, erros de montagem ou de ajustes, propriedades dos materiais utilizados, além da instalação da máquina. Essas causas conduzem aos chamados erros geométricos.

Cada eixo de uma MMC está sujeito a seis graus de liberdade: três lineares e três rotacionais, assim uma MMC tem três possíveis erros lineares (erros de posicionamento) e três rotacionais (“roll”, “pitch” e “yaw”) em que *roll* significa rotações em torno do eixo X, *pitch* em torno do eixo Y e *yaw* em torno do eixo Z.

Sendo três, o número de eixos da maioria das MMCs, tem-se um conjunto de 18 erros geométricos, dependentes das translações “X”, “Y” e “Z” além da perpendicularidade entre os eixos, o que totaliza 21 erros geométricos.

A combinação destes 21 erros de uma MMC gera o que se convencionou chamar de **erro volumétrico**. (ORREGO, 1999)

Erros devido ao Ambiente:

O ambiente onde se encontra a MMC é influente nas medições. Devem-se tomar alguns cuidados a fim de se evitar maior acúmulo de erros, tornando a máquina inadequada às medições mais precisas.

Sabe-se que a temperatura do ambiente deve corresponder a 20 °C, embora, esta temperatura não impossibilite totalmente a ocorrência de erros térmicos.

Mudanças grandes e rápidas de temperatura provocam flexões nos elementos das máquinas, devido a resposta nas partes finas ser mais rápida que nas partes mais espessas. O uso de sistemas de controle de temperatura que façam circular o ar rapidamente e o uso de materiais com expansão térmica, suficientemente homogênea minimizam ou permitem controlar de certa forma os efeitos dos gradientes de temperatura (ORREGO, 1999).

Outro fator que deve ser levado em consideração é a fundação. A fundação também pode ser decisiva para o aumento de erros de medição, se a sala onde serão realizados os testes estiver próxima a lugares com muita vibração, como: rodovias, ferrovias, máquinas ferramentas, compressores de ar e equipamentos de ventilação.

Caso estes movimentos se transmitam à máquina a exatidão e a repetibilidade da medição ficará comprometida, uma vez que movimentos relativos entre o apalpador os eixos da MMC e a peça vão ocorrer. Se a amplitude de vibração da máquina exceder a certos limites danos severos à própria máquina poderão

ocorrer (CARDOZA, 1995).

Se estes cuidados com o ambiente forem tomados, não só minimizará o erro de medição, como também aumentará a vida útil da máquina, e conseqüentemente menores serão os custos com a manutenção (SOUSA, 2004).

## 2. Objetivos

---

Determinar a incerteza de uma MMC, utilizando normas já existentes para sua diminuição em condições apropriadas para obtenção de dados experimentais.

Para este projeto de iniciação científica são necessários: aprofundamento em medições por coordenadas, investigação dos fatores influentes nas medições a fim de serem reduzidos; aprender a manusear a máquina de medição por coordenadas presente no laboratório de metrologia da UNIMEP e se familiarizar com o software instalado na máquina.

Precisa-se aprender a calcular a incerteza e aplicações de análises estatísticas para que possam ser utilizadas em resultados experimentais na determinação da capacidade de medição de uma máquina de medir por coordenadas em termos de incerteza.

Para se determinar a incerteza de uma forma mínima, será utilizada a norma ISO / TS 15530 – 3, a qual contém os critérios a serem seguidos e os cálculos necessários a fim de estimar a incerteza de uma peça padrão para uma peça de dimensões desconhecidas.

## 3. Desenvolvimento

---

O trabalho desenvolvido foi realizado no laboratório de metrologia da UNIMEP, campus Santa Bárbara d' Oeste. Este possuía todos os instrumentos necessários para a realização da pesquisa prática.

A base teórica foi encontrada através de consulta em obras especializadas na área de metrologia, além da Internet que também foi utilizada como subsídio para complementação bibliográfica.

Foram utilizados materiais como a máquina de medir por coordenadas, peças utilizadas para medição e termômetro de temperatura e umidade.

O Trabalho experimental é calcular a incerteza da MMC, seguindo a norma ISO/TS 15530-3. A norma descreve um procedimento experimental, no qual são obtidas medições de uma peça ou padrão calibrado em um equipamento de referência, processando-as estatisticamente para estimar a incerteza expandida.

O uso de peças padrão de dimensões e geometria similares a da peça de trabalho é para facilitar a medição e estimar a incerteza.

A incerteza expandida de uma determinada medição será avaliada pela equação abaixo, com as respectivas incertezas padrão.

formula [1]

Sendo:

**U** = incerteza expandida

**K** = fator de cobertura, que é igual a 2 para uma aproximada chance de 95% de cobertura

**ucal** = incerteza padrão do parâmetro da peça calibrada ou padrão calibrado ( resultante da incerteza da calibração das peças padrão calibradas determinadas no certificado de calibração)

**up**= incerteza padrão do procedimento de medição ( resultante de um procedimento de medição)

**uw** = incerteza padrão resultante das influencias de peça calibrada ou padrão calibrado (devido à variação do coeficiente de expansão, formas de erro, rugosidade, elasticidade e plasticidade)

**b** = erro sistemático.

A incerteza da peça calibrada (**ucal**), é o erro da calibração da peça padrão, segue a seguinte expressão para calcular **ucal**.

Formula [2]

Sendo:

A incerteza padrão **up** é o desvio padrão das medições efetuadas, que é calculado da seguinte forma:

Formula [3]

A incerteza padrão do processo de manufatura **uw** é a variação de erros de forma, devido à mudança no processo de manufatura, além da variação do coeficiente de dilatação térmica e elasticidade, devido à mudança de material e propriedade da superfície dos padrões a serem medidos influenciam na incerteza de uma medição. Desta forma, o **uw** é calculado por:

Formula [4]

Erro sistemático **b** é a variação do valor encontrado na MMC com o valor calibrado da esfera. Sendo calculado da seguinte forma:

## Formula [5]

O laboratório, já estando climatizado à temperatura e umidade relativa do ar ideais, ajustes na MMC foram feitos, envolvendo seleção do apalpador e calibração do mesmo. O apalpador selecionado apresentava uma esfera de 3 mm de diâmetro e uma haste de 21mm, a qual era a menor haste disponível no laboratório.

Após isto, a esfera padrão de diâmetro 25,4mm foi posicionada em um dispositivo magnético, que impossibilite sua movimentação, na área de trabalho da MMC.

Em seguida, foi realizada a distribuição de onze pontos em torno da calota superior da esfera e então, as vinte medições de cada ponto foram executadas, de acordo com a norma ISO 15530. No intervalo de cada medição da esfera, foi anotada a temperatura e a umidade da sala.

O mesmo foi realizado com a esfera de trabalho, a qual tinha um diâmetro de 40 mm, seguindo a mesma distribuição dos pontos da primeira esfera.

## 4. Resultado e Discussão

---

Com os valores encontrados na medição foram feitos cálculos para determinar a incerteza.

Primeiramente, foi calculado o ucal, usando a equação [2].

Sabendo que o erro de forma dado pelo certificado de calibração da esfera padrão é de  $U_{cal} = 0,00025 \mu$  e o da esfera de trabalho é de  $U_{cal} = 0,0004 \mu$ , o ucal da esfera padrão é de  $0,000125 \mu$  e o da esfera de trabalho é de  $0,0002 \mu$ .

Foi calculado o diâmetro da esfera referente a cada ponto medido, utilizando as coordenadas XYZ obtidas na medição (resultado em anexo), e a partir disto, foi possível calcular o up aplicando a equação [3].

O up da esfera padrão foi de  $0,002178 \mu$  e o da esfera de trabalho foi de  $0,002346 \mu$ .

Sabendo que a dilatação térmica do aço é de  $1,1 \times 10^{-5} \text{ C}^{-1}$ , e a dimensão média da esfera padrão é de 25,4mm e da esfera de trabalho é de 40 mm e temperatura média no local do teste foi de 20,6 C. Portanto o uw para esfera padrão é de  $0,0001676 \mu$  e para esfera de trabalho é de  $0,000484 \mu$ .

O valor médio do diâmetro da esfera padrão é 25,4020mm e da esfera de trabalho é 40,0031mm, com isso determinamos o erro sistemático usando a equação [4]. A esfera padrão teve o erro sistemático de  $0,002 \mu$ , já a esfera de trabalho de  $0,0031 \mu$ .

Após ter calculado a incerteza ucal, up, uw e o erro sistemático, conseguimos determinar a incerteza expandida utilizando a equação [1]. Tendo como resultado  $0,00837 \mu$  para a esfera padrão e  $0,011 \mu$  para a esfera de trabalho.

Foram realizados os mesmos cálculos para estimar a incerteza referente a cada ponto da esfera medido.

Segue abaixo a tabela da incerteza expandida destes pontos.

Os valores de incerteza obtidos para a esfera padrão corresponderam aproximadamente aos valores de incerteza contidos no certificado de calibração desta esfera. Sendo assim, os resultados referentes à esfera de trabalho puderam ser confiados.

Os valores de incerteza obtidos para a esfera padrão corresponderam aproximadamente aos valores de incerteza contidos no certificado de calibração desta esfera. Sendo assim, os resultados referentes à esfera de trabalho puderam ser confiados.

## 5. Considerações Finais

---

Através do estudo e da familiarização com a máquina de medir por coordenadas, adquiriu-se conhecimentos básicos sobre as medições, formando a base para análise da incerteza de uma MMC.

A qualidade dos resultados de uma MMC é dependente, em primeiro plano, dos erros de medição das coordenadas. Para alcançar bons resultados deve-se garantir que a máquina tenha movimentos relativos geometricamente bem definidos, com mínimos erros de reticidade, ortogonalidade, planicidade, etc (mínima distorção do sistema coordenado em relação ao ideal). Isto implica em uma estrutura bastante rígida, de precisão e estável. Além disso, é de grande importância que os usuários de MMCs entendam como estes erros afetam o desempenho das máquinas para se obter melhores resultados.

Por fim, os resultados obtidos provaram que a MMC garante alta precisão nas medições, apesar de apresentar pequenas variações, que foram aceitáveis.

## Referências Bibliográficas

---

ABACKERI, A. J. ; CAUCHICK Miguel P. A. **Princípios de Medição por Coordenadas**. Apostila de treinamento técnico especializado. 2ª edição revisada e ampliada. Salto – SP, Julho 1999.

CARDOZA, Jorge Alexandre Sosa. **Máquinas de Medir a Três Coordenadas**. 1995. 209 f. Tese (Doutorado) - Usp, São Carlos, 1995.

LINK, Walter. **Tópicos Avançados da Metrologia Mecânica**. Rio de Janeiro: Editora da Mitutoyo Sul América Ltda, 2000. 263 p.

ORREGO, Roxana Maria Martinez. **Método de Calibração direta para Máquinas de Medir a Três Coordenadas**. 1999. 175 f. Tese (Doutorado) - Usp, São Carlos, 1999.

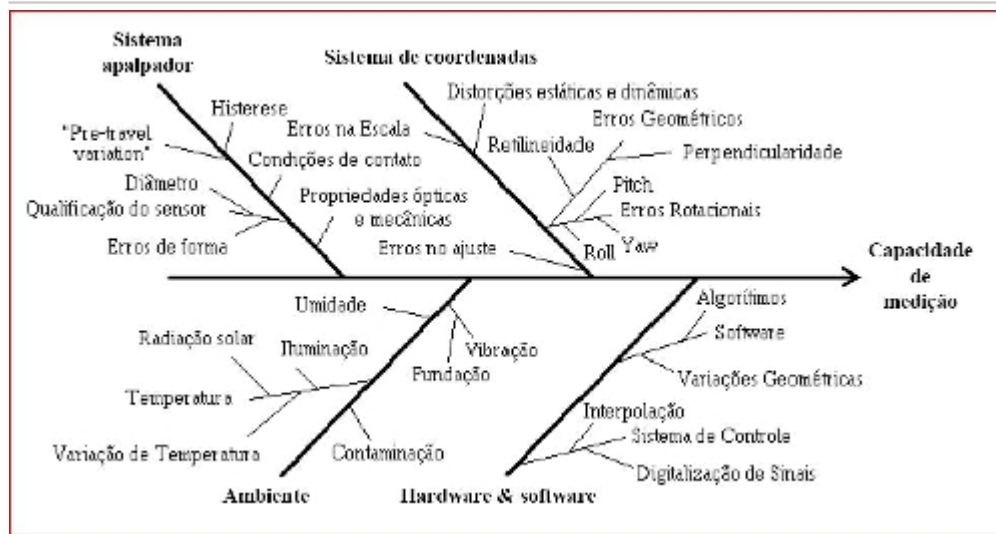
PIRATELLI FILHO, Antonio. **Metodo Para Avaliação do Desempenho de Máquinas de Medir a Três**

**Coordenadas Através de Planejamento de Experimentos.** 1997. 225 f. Tese (Doutorado) - Usp, São Carlos, 1997.

Guia para a Expressão da Incerteza de Medição Terceira edição brasileira em língua portuguesa – Rio de Janeiro: ABNT, IMETRO, 2003

INMETRO. Vocabulário Internacional de Termos Fundamentais e Gerais de Metrologia. 2ª edição. Brasília, SENAI/ DN, 2003. 72p.

## Anexos



$$U = k \times \sqrt{u_{\text{cal}}^2 + u_p^2 + u_w^2} + |b| \quad [1]$$

$$u_{\text{cal}} = \frac{U_{\text{cal}}}{k} \quad [2]$$

$$u_p = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad [3]$$

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i \quad [3]$$

$$u_w = (T - 20^\circ\text{C}) \times u_\alpha \times l \quad [4]$$

$$b = \bar{y} - x_{\text{cal}} \quad [5]$$

<b>Pontos</b>	<b><i>Esfera Padrão</i></b>	<b><i>Esfera de Trabalho</i></b>
<b>1</b>	0,00581 $\mu$	0,00841 $\mu$
<b>2</b>	0,00507 $\mu$	0,00962 $\mu$
<b>3</b>	0,00794 $\mu$	0,00858 $\mu$
<b>4</b>	0,00742 $\mu$	0,0106 $\mu$
<b>5</b>	0,00704 $\mu$	0,00932 $\mu$
<b>6</b>	0,00569 $\mu$	0,00893 $\mu$
<b>7</b>	0,00864 $\mu$	0,0125 $\mu$
<b>8</b>	0,00683 $\mu$	0,0158 $\mu$
<b>9</b>	0,00601 $\mu$	0,00951 $\mu$
<b>10</b>	0,00531 $\mu$	0,0151 $\mu$
<b>11</b>	0,00815 $\mu$	0,0117 $\mu$