



**Formação Avançada em Metrologia 3D**

[www.forma3d.com.br](http://www.forma3d.com.br)

# **Incerteza de resultados de Medição em Máquinas de Medir por Coordenadas**

**Material didático informativo sobre Medição 3D**

# Incerteza de resultados de Medição em Máquinas de Medir por Coordenadas

Este material informativo aborda de modo resumido as questões envolvidas na estimativa da incerteza de resultados de medição em máquinas de medir por coordenadas.

*Os temas aqui apresentados são objetos de estudo dos cursos do **Programa FORMA3D** e foram deles extraídos.*

# Incertezas sobre a Incerteza...

Em quase todos os treinamentos já ministrados pelo FORMA3D surgiram os questionamentos abaixo:

Qual a incerteza de medição de uma máquina de medir por coordenadas?

A especificação de erro volumétrico é a incerteza da máquina?

Como estimar a incerteza na medição por coordenadas?

FORMA3D



FORMA3D



FORMA3D



# Incertezas sobre a Incerteza...

Afinal, como lidar com a questão da incerteza quando trabalhamos com a medição por coordenadas?

Mitutoyo



Faro



Leica



Hexagon



# Resgatando a definição...



2.26 (3.9)

**incerteza de medição**

incerteza

*measurement uncertainty ; uncertainty measurement ; uncertainty  
incertitude de mesure ; incertitude  
incertidumbre de medida ; incertidumbre*



Parâmetro não negativo que caracteriza a dispersão dos **valores atribuídos a um mensurando, com base nas informações utilizadas.**

# Em outras palavras...



(...)

A dúvida associada a uma medição é denominada de ***incerteza de medição***. A palavra *incerteza* significa *dúvida*.

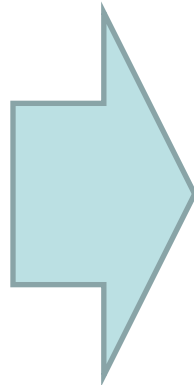
De forma ampla ***incerteza de medição*** significa ***dúvida acerca do resultado de uma medição***.

(...)

# Aplicando a definição na Medição 3D

A incerteza é do **resultado da medição**, que depende de vários **M's**.

**M**áquina  
**M**ensurando  
**M**etrologista  
**M**eio ambiente  
**M**étodo

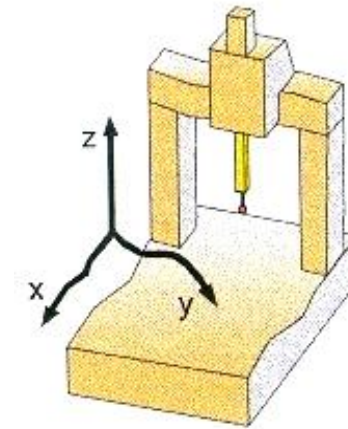


# Aplicando a definição na Medição 3D

Como a incerteza é do **resultado da medição**, há que se definir bem a condição na qual se quer avaliar a exatidão do resultado.

Lembre-se de que a medição por coordenadas tem como principal característica a versatilidade e as inúmeras possibilidades de medição.

Desta forma, ao se falar a incerteza de medição da máquina se está afirmando, na verdade, a incerteza do resultado da medição do qual participa (também) a máquina.



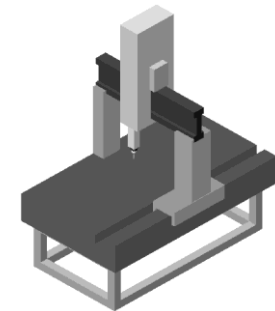


# É necessário definir melhor o problema

Para avaliar a incerteza da medição, as condições devem ser bem estabelecidas.



Qual a incerteza do resultado da medição de um comprimento de 250 mm **nesta** peça, medida **nesta** sala de medidas, por **este** operador, **nesta** posição do volume **desta** máquina de medir por coordenadas com **este** apalpador, apalpando-se **desta** forma, e calculando a distância com **esta** função do software?



**Para resolver o problema há que se obter informação!**

# Obtendo a Informação

Algumas das componentes necessárias para estimar a incerteza da medição podem ser estimadas por uma avaliação do **Tipo A** da incerteza de medição, a partir da distribuição estatística dos valores provenientes de séries de medições.

As outras componentes podem ser estimadas por uma avaliação do **Tipo B** da incerteza de medição, a partir de informações obtidas por meios como certificados de calibração, informações de catálogo, valores deduzidos com base na experiência profissional, etc.



**TIPO A**  
Componentes  
obtidas  
com base na  
**Experimentação**

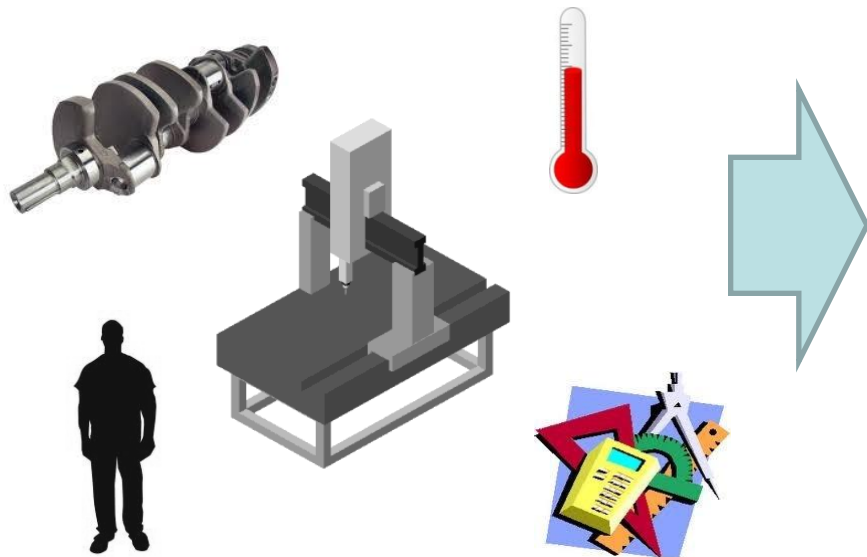
**TIPO B**  
Componentes  
obtidas  
com base na  
**Informação**



# Obtendo a informação

Na medição em questão, parte da informação necessária à estimativa da incerteza tem que ser obtida experimentalmente, medindo-se repetidamente e avaliando a distribuição estatística dos valores obtidos nestas medições :

## Avaliação Tipo A



- 1) 250,012 mm
- 2) 250,018 mm
- 3) 250,016 mm
- 4) 250,010 mm
- 5) 250,009 mm
- ...
- n) 250,011 mm

Desvio-padrão



Precisão  
de Medição<sup>1</sup>

<sup>1</sup> VIM 2012

# Obtendo a informação...

Outra parte da informação necessária à estimativa da incerteza deve ser estimada com base na informação:

Certificado de calibração da máquina

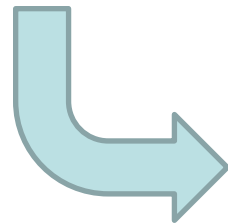
Incerteza de apalpação

Instabilidade na temperatura ambiente

Incerteza dos sensores de temperatura, se usados

Incerteza dos coeficientes de expansão dos materiais, se usados

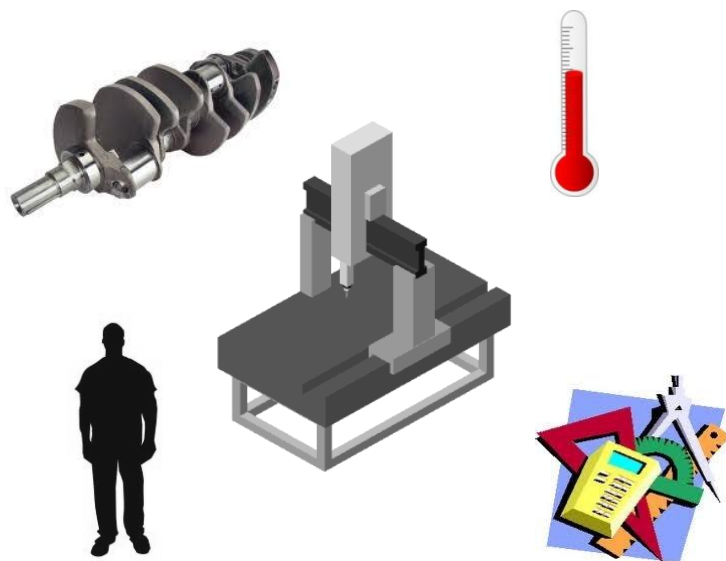
Etc.



## Avaliação Tipo B

# Utilizando as informações

As componentes obtidas nas avaliações Tipo A e Tipo B (bem como erros sistemáticos não corrigidos) devem ser combinadas matematicamente de maneira apropriada para a obtenção da Incerteza do Resultado de Medição.



**Avaliação**

**Tipo B**

**Avaliação**

**Tipo A**



**Incerteza do  
Resultado**

# Voltando às questões frequentes...

Qual a incerteza de medição de uma máquina de medir por coordenadas?

Devido à multiplicidade de fatores na medição por coordenadas, não é viável estimar uma incerteza geral para cada tarefa de medição.

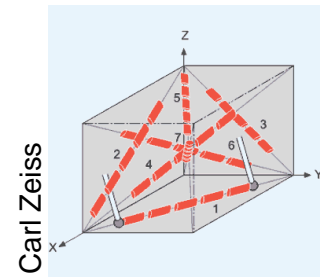
Por isso a norma ISO10360 especifica um teste padronizado para avaliar o erro máximo da máquina na medição de comprimentos, o conhecido erro volumétrico.

$$\text{Ex: } \text{MPE} < \pm (2 + L/400) \mu\text{m}$$

*MPE = Maximum Permissible Error*



FORMA3D



# Voltando às questões frequentes...

A especificação de erro volumétrico é a incerteza da máquina?



FORMA3D

Embora não seja exatamente a componente de incerteza da máquina, o erro máximo volumétrico está associado à sua incerteza **para a medição de comprimentos.**

Mas, lembre-se, o ensaio de avaliação da exatidão da máquina (Norma ISO10360) é realizado sob condições muito bem controladas (baixa velocidade, apalpador curto, padrões bem acabados, etc.). Em condições de medição menos controladas, a incerteza da máquina pode variar significativamente.

# Voltando às questões frequentes...

Como estimar a  
incerteza na  
medição por  
coordenadas?

A rigor, a incerteza de medição deve ser determinada pelo procedimento explicado anteriormente, com base no ISO GUM (*Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement*).

No entanto, em situações onde os efeitos sistemáticos não sejam significativos e onde a componente Tipo A seja a fonte de incerteza predominante, uma boa estimativa pode ser feita com base na Repetibilidade dos resultados obtidos em uma série de medições. Cada caso deve analisado individualmente.





# Estratégias para avaliar a Incerteza

*Com padrões dimensionais convencionais que representem a característica geométrica e o tipo de peça a serem avaliados.*



Bloco padrão



Padrão escalonado



Padrões cilíndricos



Esquadro



Régua

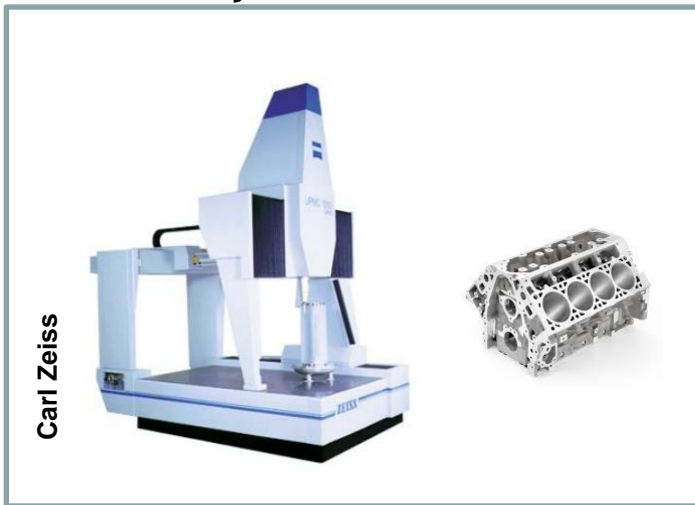


Plano

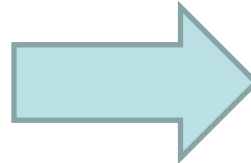
# Estratégias para avaliar a Incerteza

*Com a própria peça, calibrada em processo de medição de exatidão superior ao processo de medição que se quer avaliar, inclusive empregando o método da substituição.*

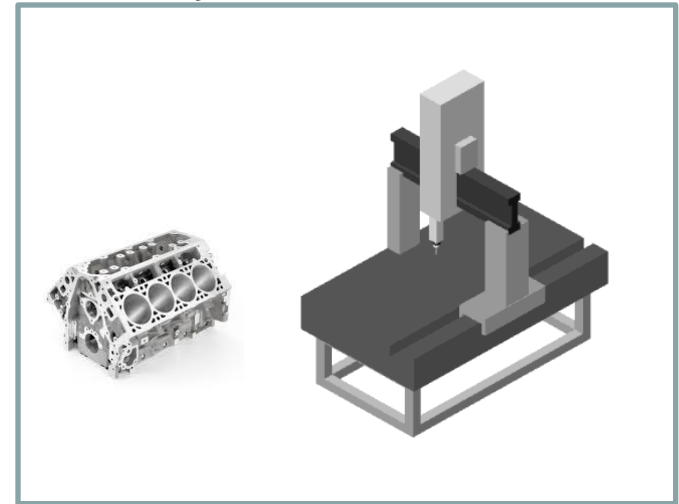
Condições de referência



Calibração da Peça



Condições usuais praticadas

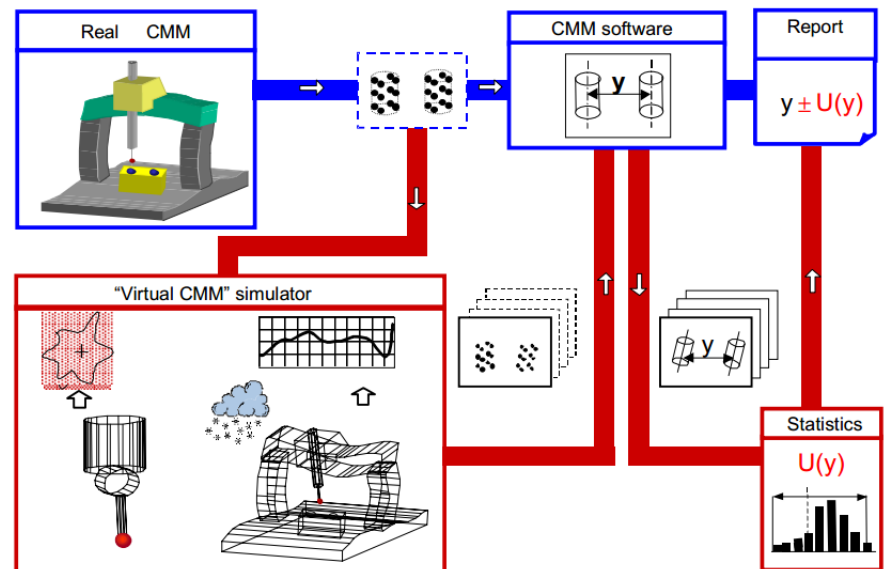


Avaliação da Incerteza

# Estratégias para avaliar a Incerteza

*Através de simulações computacionais que representem com fidelidade o processo de medição*

*O comportamento real da máquina e do apalpador são mapeados através de ensaios detalhados, revelando diversos parâmetros de erro. Estes erros são introduzidos em um software que passa, então, a simular o comportamento da máquina real. Para cada tarefa de medição o software usa estas informações para avaliar a incerteza do resultado.*



# Isso não encerra o assunto...

A estimativa da incerteza de medição em máquinas de medir por coordenadas de qualquer natureza é um processo que deve ser muito bem analisado dados os múltiplos fatores que precisam ser definidos em cada medição e as particularidades de cada medição.

Analisar a incerteza da medição levando em conta apenas o erro máximo volumétrico pode esconder fontes de incerteza bem mais significativas para a obtenção dos resultados. Diversos trabalhos têm sido realizados de modo a sistematizar um método de avaliação da incerteza mas muito ainda há por fazer para reduzir as incertezas sobre a estimativa da incerteza na medição por coordenadas.

Estas e outras abordagens são estudadas e praticadas nos cursos do FORMA3D.

# Referências Bibliográficas

As seguintes fontes de informação foram utilizadas na elaboração deste material informativo. Recomenda-se sua leitura para aprofundamentos no tema.

Sousa, A. FORMA3D – Métodos Avançados para Garantia da Exatidão na Medição 3D. Apostila de Curso, 2012.

Albertazzi, A.; Sousa, A. Fundamentos de Metrologia Científica e Industrial. Ed Manole. 2008

VIM – Vocabulário Internacional de Metrologia. Conceitos Fundamentais e Gerais e Termos Associados. 1ª Ed. Luso Brasileira 2012.

Evaluation of measurement data — Guide to the expression of uncertainty in measurement  
[http://www.bipm.org/utils/common/documents/jcgm/JCGM\\_100\\_2008\\_E.pdf](http://www.bipm.org/utils/common/documents/jcgm/JCGM_100_2008_E.pdf) - Acesso em Abril de 2013.

Piekar, D. Calibração de peças padrão em máquinas de medir por coordenadas. Dissertação de Mestrado: <http://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/88352/228125.pdf?sequence=1> Acesso em Abril de 2013.

Trenk, M. et al. The “Virtual CMM” a software tool for uncertainty evaluation – practical application in an accredited calibration lab. Acesso em Abril de 2013.  
[http://www.aspe.net/publications/Summer\\_2004/04SU%20Extended%20Abstracts/Trenk-1670.PDF](http://www.aspe.net/publications/Summer_2004/04SU%20Extended%20Abstracts/Trenk-1670.PDF)

**Estes e outros temas você encontra em nossos cursos.**



**Formação Avançada em Metrologia 3D**

[www.forma3d.com.br](http://www.forma3d.com.br)