

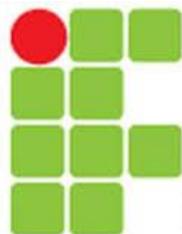
SIMPÓSIO SAE BRASIL DE

Metrologia
2016

24 DE NOVEMBRO
RESENDE | RJ

Integração de Máquinas de Medir por Coordenadas em Linhas de produção na Indústria 4.0

André Roberto de Sousa



**INSTITUTO FEDERAL
SANTA CATARINA**

Programa de Pós-Graduação em
Mecatrônica



REALIZAÇÃO

SAE BRASIL
Seção Rio de Janeiro





SIMPÓSIO SAE BRASIL DE

Metrologia

2016

24 DE NOVEMBRO
RESENDE | RJ

Introdução

Engenheiro Mecânico com Mestrado e Doutorado em Metrologia
Professor em cursos de graduação e pós graduação do IFSC na área de Metrologia
Pesquisador e Coordenador de Projetos de P&D com empresas
Idealizador e Coordenador do Programa FORMA3D de Formação em Metrologia 3D

Objetivo da Apresentação

Abordar a IoT e sua inserção na manufatura atual, analisando as oportunidades e desafios para a área de medição por coordenadas no cenário da chamada Indústria 4.0.

1. A HORA E A VEZ DOS SISTEMAS INTELIGENTES

Vocês já perceberam que muito dos aparelhos que nos rodeiam são ditos “Smart”?

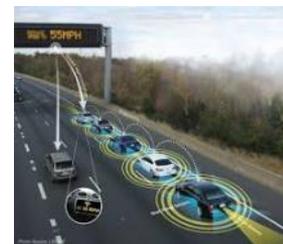
Smart TV

Smart Phone

Smart Car

Smart Home

Smart Road



A internet e os sistemas ditos inteligentes (Cyber Physical Systems – CPS) estão causando e irão causar uma revolução nas nossas vidas.

SIMPÓSIO SAE BRASIL DE

Metrológia

2016

24 DE NOVEMBRO
RESENDE | RJ

1. A HORA E A VEZ DOS SISTEMAS INTELIGENTES



É a era da internet das coisas
Internet of Things ou *IoT*.

1. A HORA E A VEZ DOS SISTEMAS INTELIGENTES

Exemplo do Smart Watch

Relógio de pulso com diversos sensores, capacidade de análise de dados e aprendizado, e conectividade com o mundo via internet.

“Metrologia Embarcada”

- Olhos (câmera) e ouvidos (microfone) atentos
- Temperatura ambiente e corporal
- Batimento cardíaco
- Posição geográfica
- Orientação espacial
- Vibrações
- Etc.



2. A ERA DAS FÁBRICAS INTELIGENTES

Estes conceitos e tecnologias podem e devem ser utilizados para produzir mais, melhor com menor custo e menor impacto ambiental

A inserção da IoT no contexto industrial tem o poder de causar uma nova revolução industrial, o que seria a 4ª revolução.

1ª Revolução: surgimento das máquinas a vapor

2ª Revolução: massificação da produção

3ª Revolução: automação da produção

4ª Revolução: produção inteligente



INDÚSTRIA 4.0 – SMART FACTORY

2. A ERA DAS FÁBRICAS INTELIGENTES

- Fábricas limpas e amigáveis com o meio ambiente
- Sistemas de produção com inteligência embarcada em cada dispositivo
- Processos extremamente flexíveis
- Capacidade de produção em massa de modo customizado
- Integração com o big data da internet e tecnologias de armazenamento e processamento em nuvens
- Conexão entre os sistemas: integração física e integração lógica
- Máquinas capazes de “enxergar” o que se passa ao seu redor e tomar decisões



INOVAÇÕES QUE CARACTERIZAM UMA FÁBRICA INTELIGENTE

3. CENÁRIO POSSÍVEL EM UMA INDÚSTRIA 4.0



Customização
em Massa



3 cilindros



4 cilindros



V6



V8

3. CENÁRIO POSSÍVEL EM UMA INDÚSTRIA 4.0



População conectada



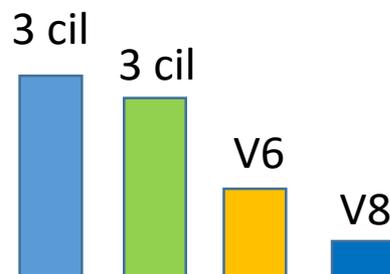
Busca



DATA Mining



Movimento de busca
Identificado



Demanda identificada
e volume estimado



**INFORMAÇÃO DE
POSSE DA FÁBRICA...**

SIMPÓSIO SAE BRASIL DE

Metrolologia

2016

24 DE NOVEMBRO
RESENDE | RJ

3. CENÁRIO POSSÍVEL EM UMA INDÚSTRIA 4.0

INFORMAÇÃO DE POSSE DA FÁBRICA...

Planejamento da Produção

Adequação de lay out

Alocação de meios de produção

Setup, Startup e Follow up



3. CENÁRIO POSSÍVEL EM UMA INDÚSTRIA 4.0

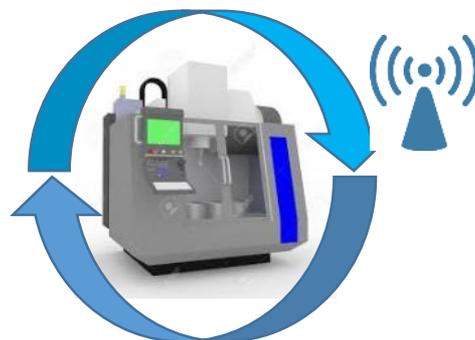
Peças
Instrumentadas



Manufatura Flexível
Sistemas Cognitivos

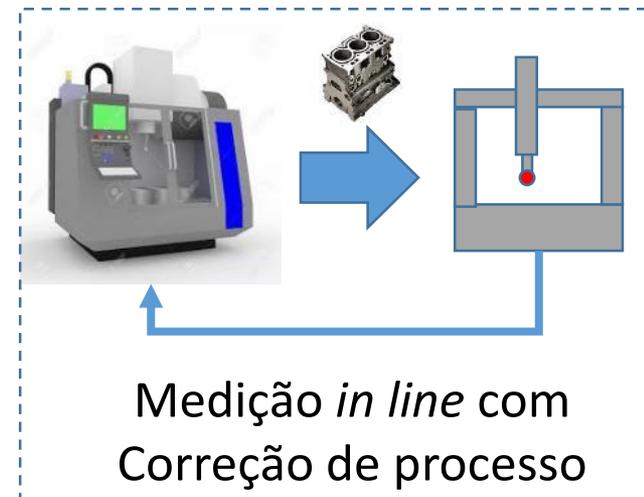
Sensores

Conectividade



Controle e Adaptabilidade

Fabricação
Assistida



Sistemas com capacidade de “sentir” o que se passa ao seu redor e tomar decisões.

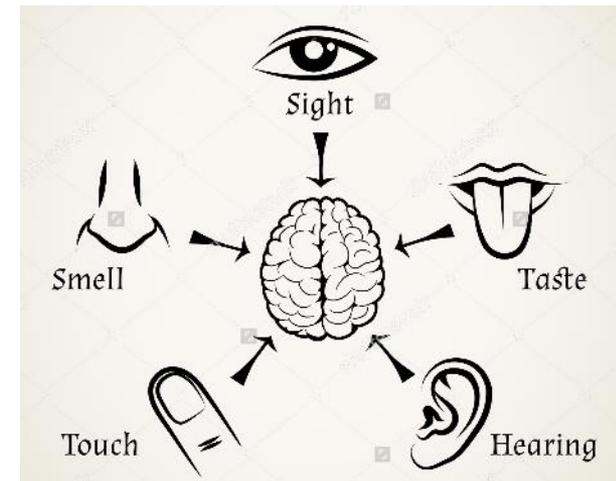
4. METROLOGIA NA INDÚSTRIA 4.0

Visibilidade é uma questão chave na Indústria 4.0

A Indústria 4.0 requer a integração de dados de muitos tipos de sensores para obter a visibilidade necessária para prever problemas, auto diagnosticar à medida que estes problemas ocorrem e auto regular processos para a solução destes problemas.

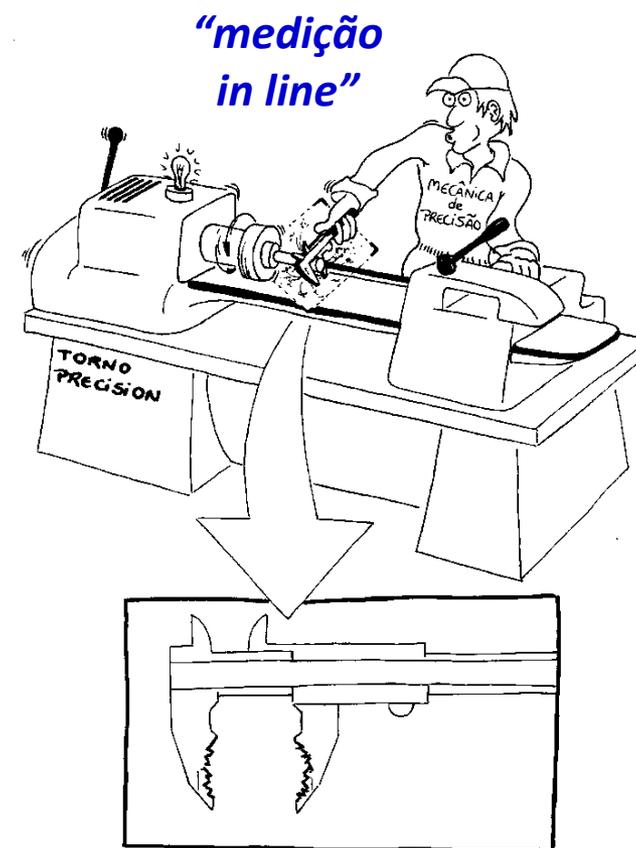
↳ Máquinas com capacidade de “sentir” o que se passa ao seu redor e tomar decisões para que os processos funcionem sempre melhor.

Tudo tem que estar visível!!



4. METROLOGIA NA INDÚSTRIA 4.0

- Capacidade de adaptação a distintos cenários
- Proximidade da processos
- Conectividade e capacidade de tomar decisões **certas**



Confiabilidade Metrologógica não muda de importância na Indústria 4.0

SIMPÓSIO SAE BRASIL DE

Metrologia
2016

24 DE NOVEMBRO
RESENDE | RJ

5. INTEGRAÇÃO DE MÁQUINAS DE MEDIR NA INDÚSTRIA 4.0

A TECNOLOGIA REÚNE CARACTERÍSTICAS PROMISSORAS

Flexibilidade
Integrabilidade
Automação
Conectividade

Mitutoyo



SIMPÓSIO SAE BRASIL DE

Metrologia 2016

24 DE NOVEMBRO
RESENDE | RJ

5. INTEGRAÇÃO DE MÁQUINAS DE MEDIR NA INDÚSTRIA 4.0

Exemplos atuais

Sistemas de Medição por Coordenadas para medição *in line*

Hexagon



Mitutoyo



Zeiss



5. INTEGRAÇÃO DE MÁQUINAS DE MEDIR NA INDÚSTRIA 4.0

Exemplos atuais

Sistemas de Medição por Coordenadas para medição *in line*



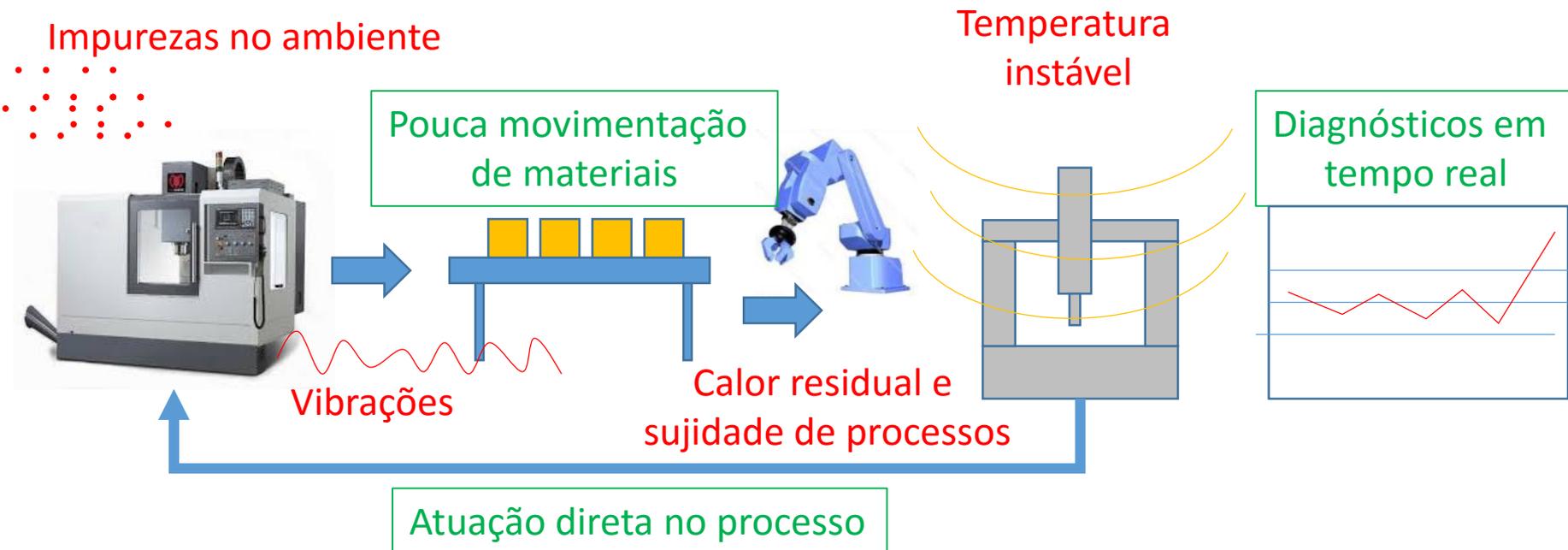
5. INTEGRAÇÃO DE MÁQUINAS DE MEDIR NA INDÚSTRIA 4.0

CARACTERÍSTICAS:

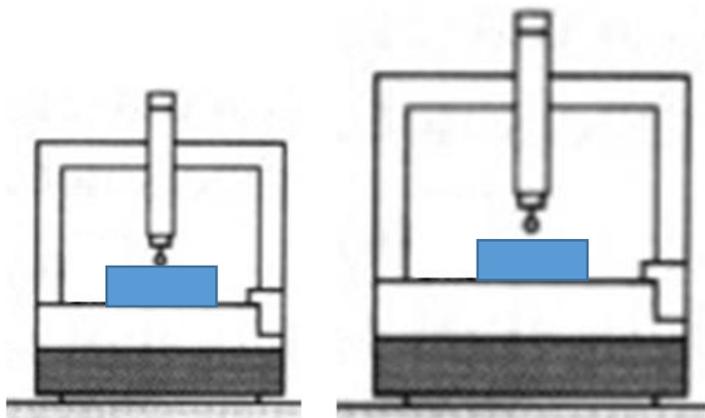
- Proximidade com os processos
- Robustez e Garantia de funcionalidade
- Integração com sensores
- Conectividade: MMC como coisa da IoT
- Inteligência embarcada
- Maior capacidade de interação com os operadores: robótica assistiva



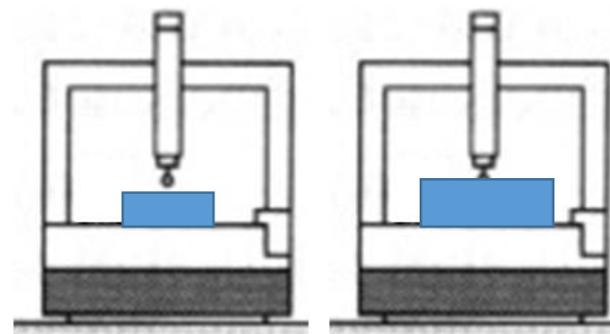
6. DESAFIOS PARA A MEDIÇÃO POR COORDENADAS



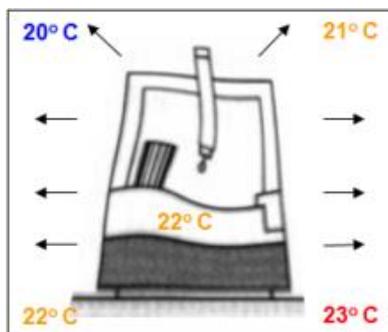
Dilatação térmica da máquina



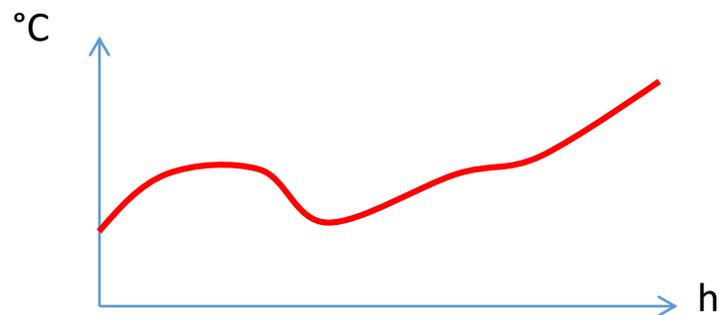
Dilatação térmica da peça



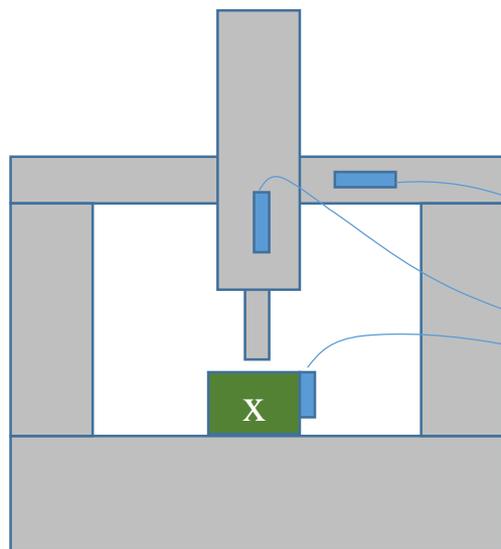
Gradiente espacial



Variação no tempo



Correção do efeito da temperatura em medição por coordenadas operando em modo absoluto.



- Temp. e material das escalas
- Temp. e material da Peça



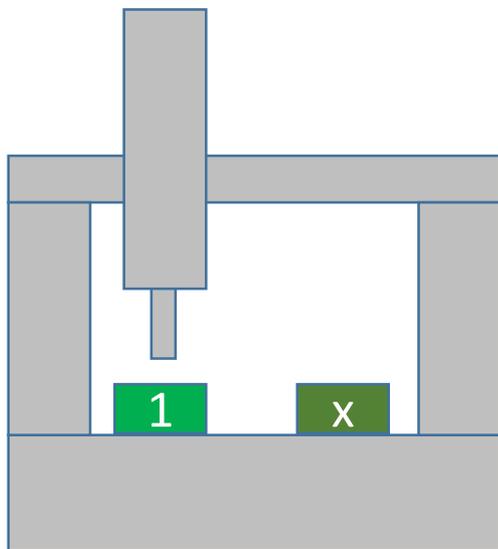
Cálculo
do Erro

Resultado = $R_x - \text{Erro}$

Referenciado
para 20°C (ISO1)

Compensa erros causados pela temperatura ambiente
Considera o calor residual de erros na peça
Assume que o gradiente espacial é pequeno
Assume que a temperatura da peça é homogênea

Correção do efeito da temperatura em medição por coordenadas operando em modo diferencial.



- x Peça a medir
- 1 Peça calibrada

$$\text{Resultado} = R_x - (R_1 - \text{Valor Calibrado})$$

Compensação de erros

Compensa erros causados pela temperatura ambiente
 Compensa erros de medição da máquina de medir
 Não considera o calor residual da peça

6.1 AVALIAÇÃO METROLÓGICA DE SISTEMA OPERANDO EM MODO ABSOLUTO EM AMBIENTE SEM CONTROLE DE TEMPERATURA



Máquina de medir integrada a robô em ambiente sem controle de temperatura

SIMPÓSIO SAE BRASIL DE

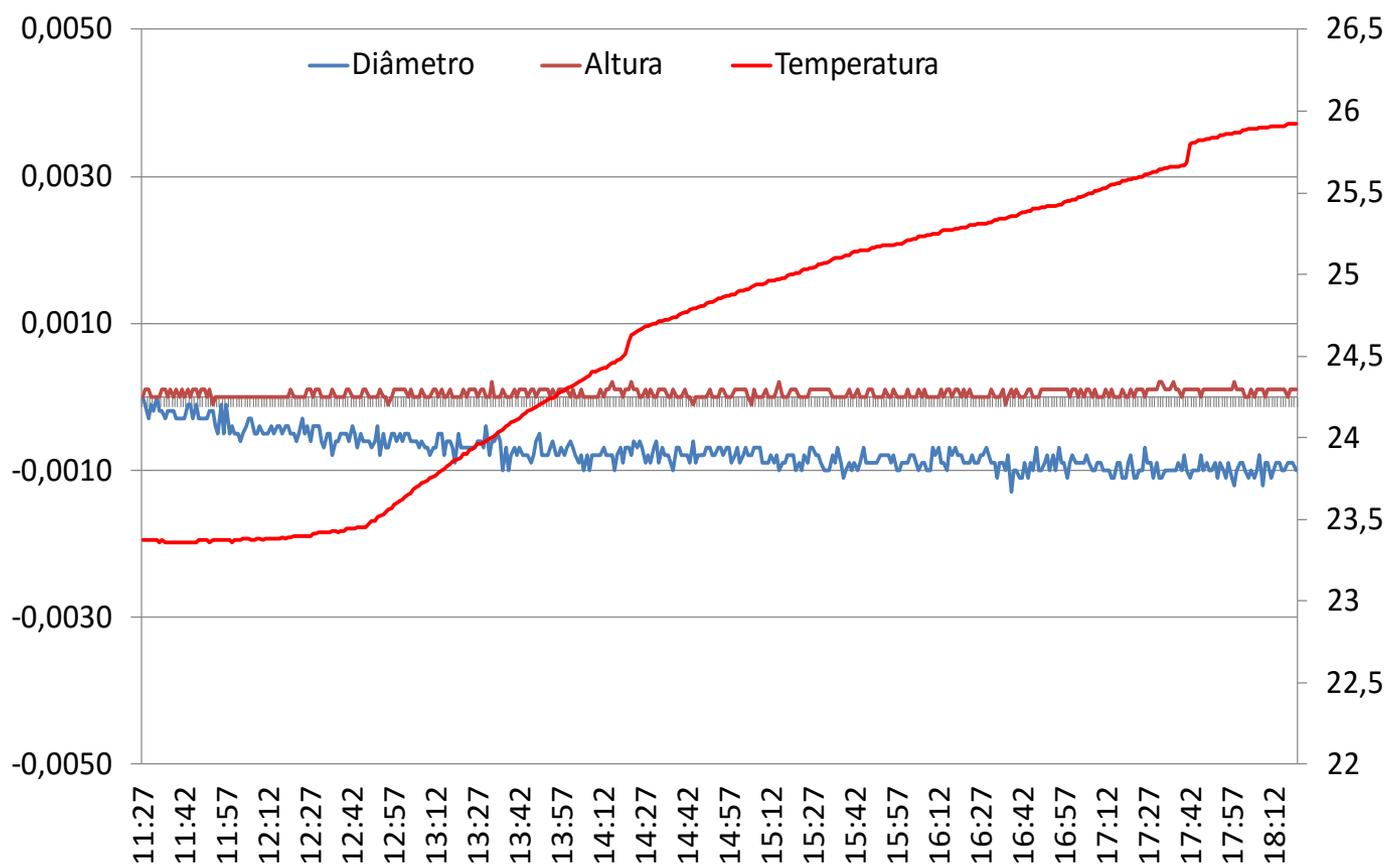
Metrolologia

2016

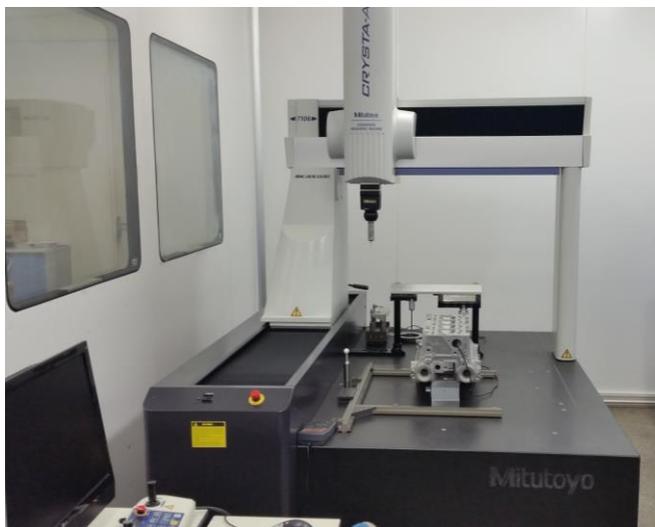
24 DE NOVEMBRO
RESENDE | RJ

Varição dimensional medida (mm)

Temperatura ambiente (°C)



6.2 AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DA CORREÇÃO DA TEMPERATURA CAUSADA PELO CALOR RESIDUAL NA PEÇA



Medição a 20°C para estabelecer valores de referência

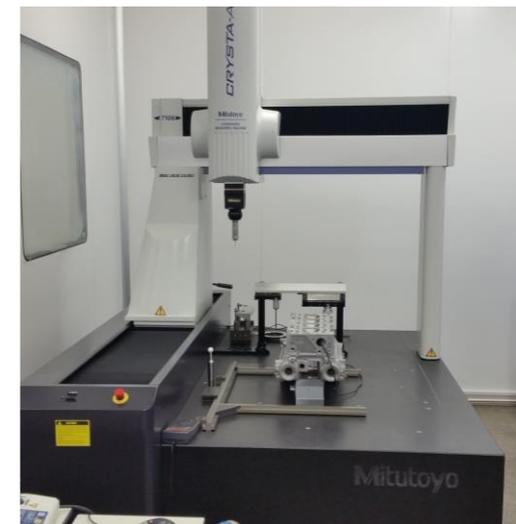
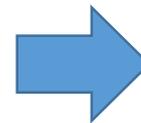
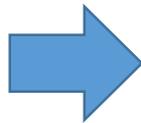
Dimensão	Comprimento	Distância	Largura
Valor de referência (mm)	392,1792	335,9911	166,2462

SIMPÓSIO SAE BRASIL DE

Metrologia 2016

24 DE NOVEMBRO
RESENDE | RJ

Esta mesma peça de alumínio foi deixada em um refrigerador até a sua temperatura chegar próximo a 12°C. Neste momento a peça foi levada até a máquina de medir, sendo medida duas vezes a cada 1°C de variação aproximadamente, enquanto a peça sofria a estabilização térmica natural até atingir a temperatura da sala de medição.



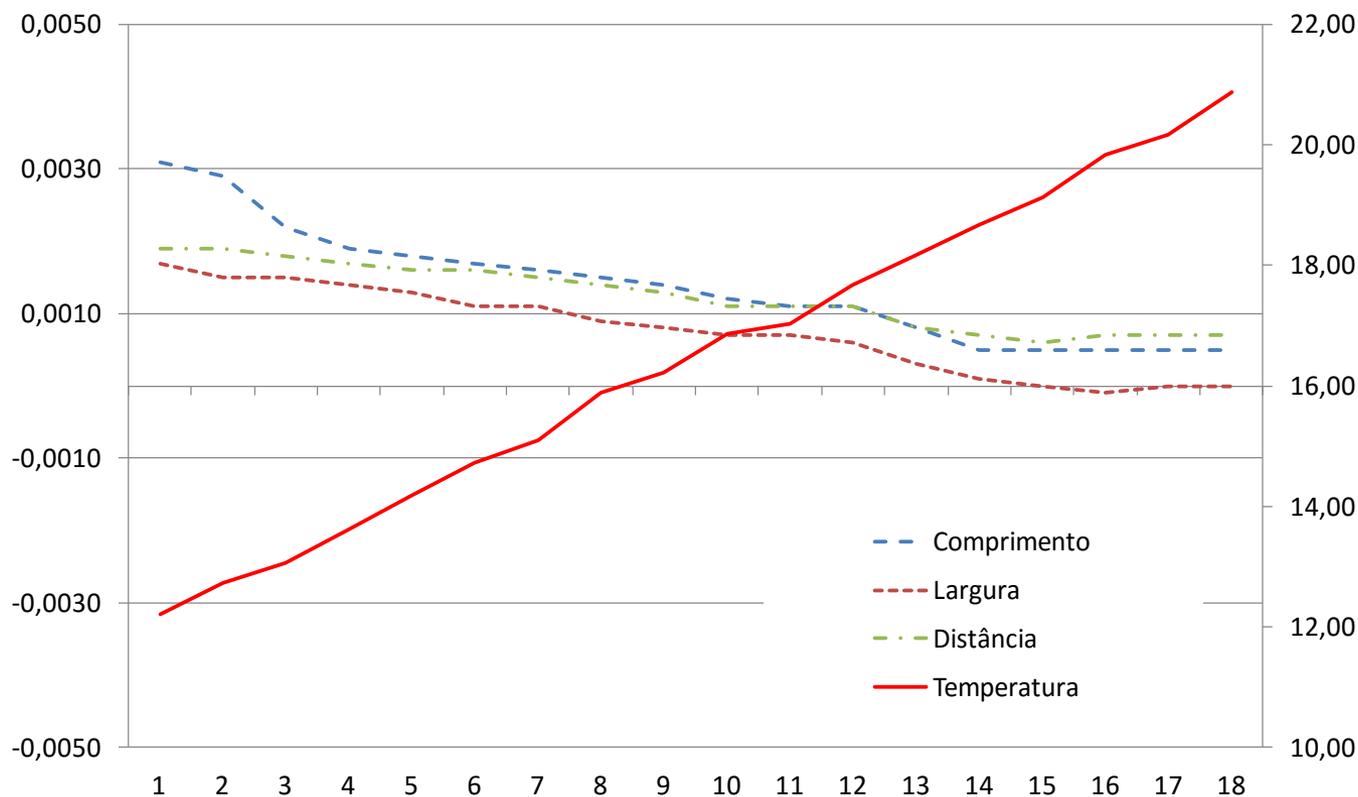
SIMPÓSIO SAE BRASIL DE

Metrologia 2016

24 DE NOVEMBRO
RESENDE | RJ

Varição dimensional (mm)

Varição de temperatura (°C)

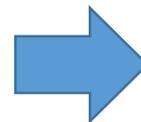
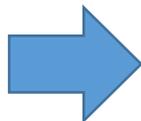


SIMPÓSIO SAE BRASIL DE

Metrologia 2016

24 DE NOVEMBRO
RESENDE | RJ

Após este teste, a peça foi levada até um aquecedor até sua temperatura chegar próximo a 32°C. Neste momento a peça foi novamente levada à sala de medição, sendo medida duas vezes a cada 1°C de variação aproximadamente até sua temperatura atingir temperatura de 20°C.



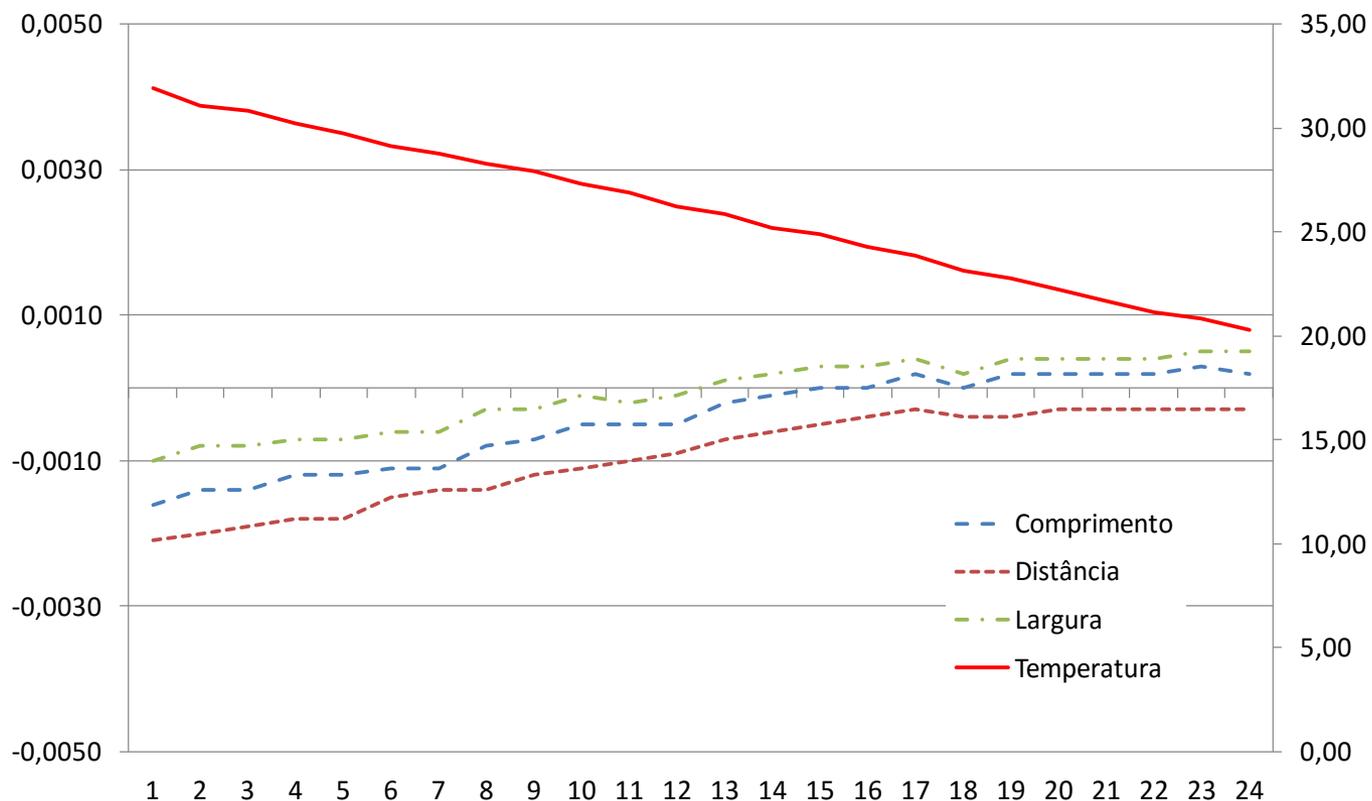
SIMPÓSIO SAE BRASIL DE

Metrologia 2016

24 DE NOVEMBRO
RESENDE | RJ

Varição dimensional (mm)

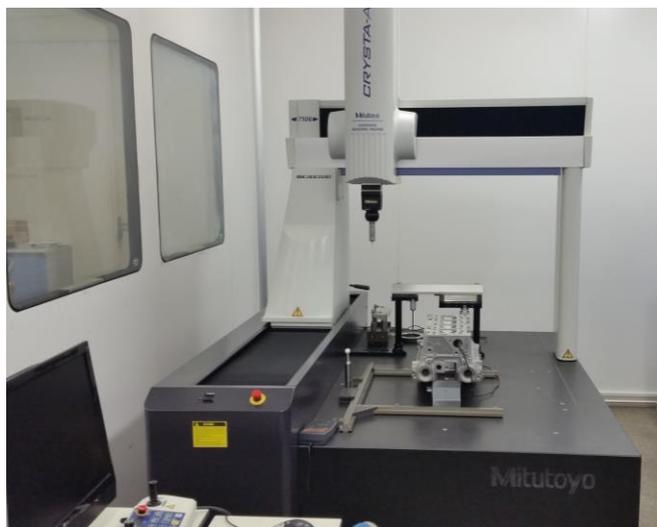
Varição de temperatura (°C)



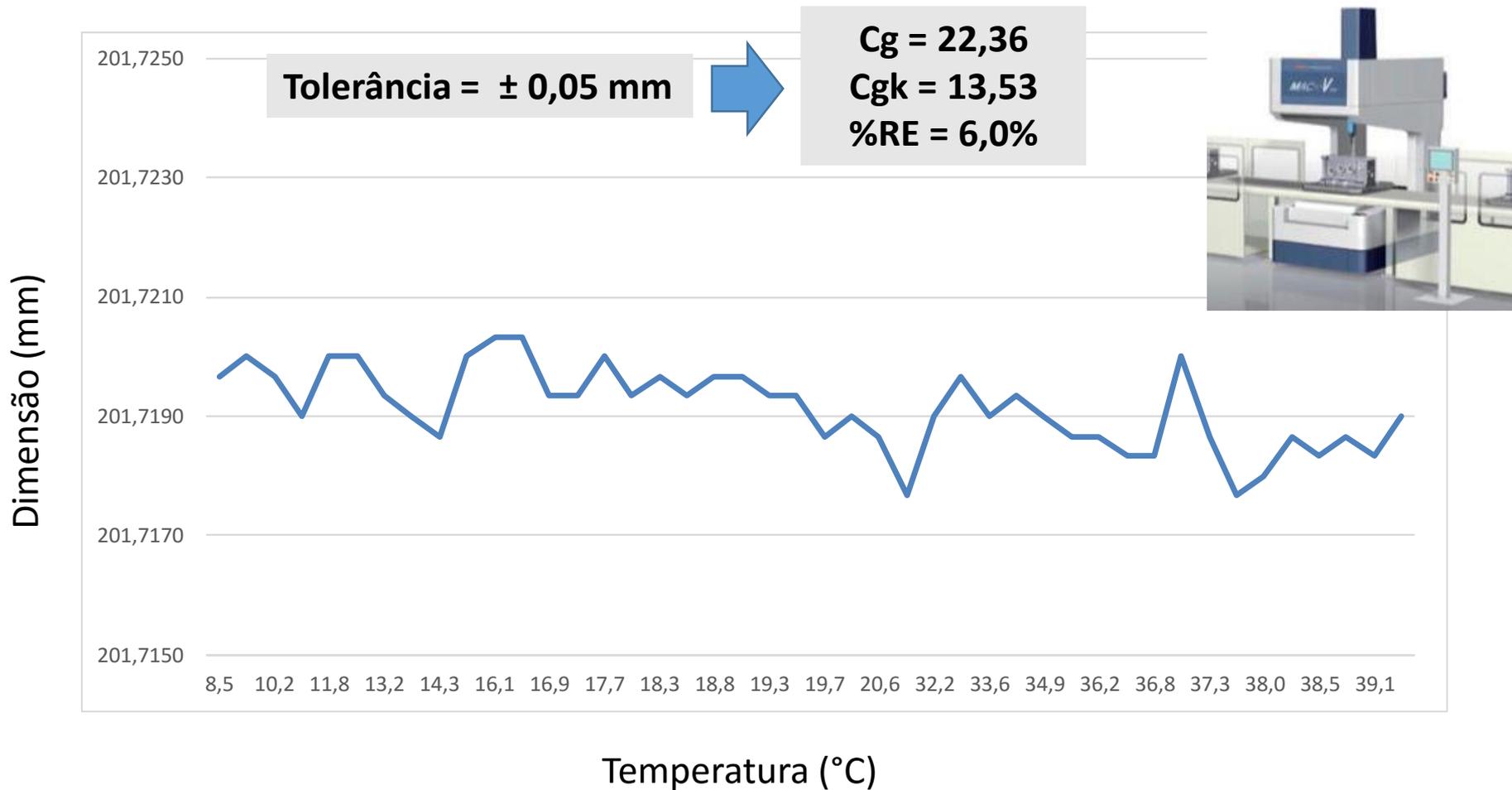
SIMPÓSIO SAE BRASIL DE

Metrologia 2016

24 DE NOVEMBRO
RESENDE | RJ

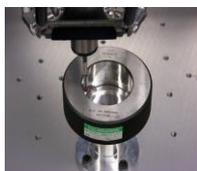


Dimensão	Largura	Comprimento	Distância
Varição esperada sem a compensação de temperatura	0,077 mm	0,183 mm	0,156 mm
Varição nos resultados com a compensação de temperatura	0,003 mm	0,005 mm	0,004 mm
Redução da variação dimensional com a compensação	97%	95%	98%

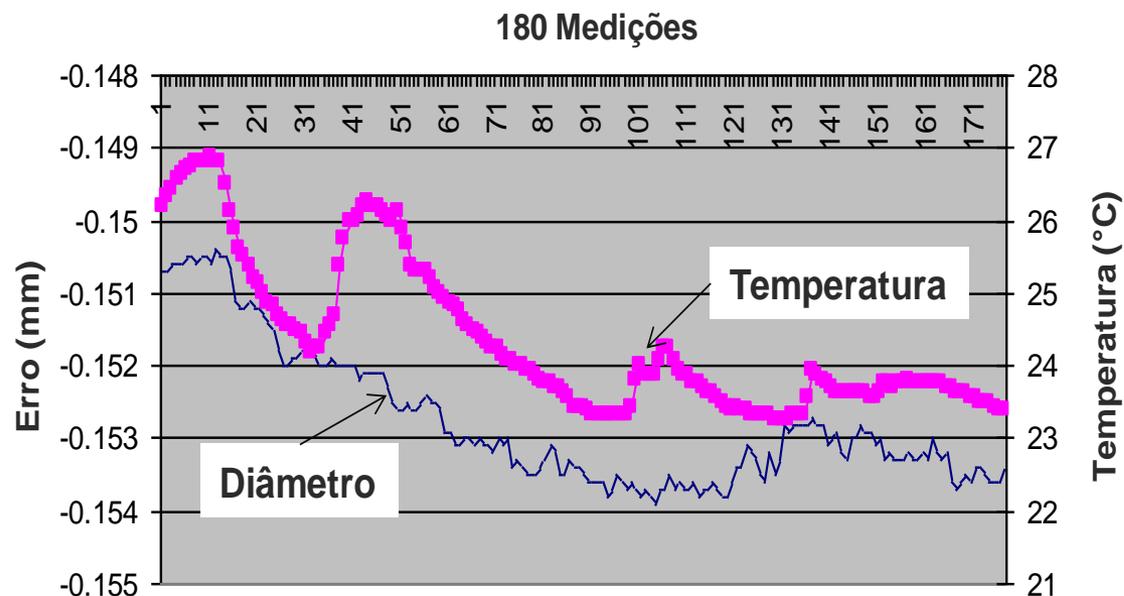


6.3 AVALIAÇÃO DA SENSIBILIDADE À TEMPERATURA DE SISTEMA DE MEDIÇÃO POR COORDENADAS OPERANDO EM MODO DIFERENCIAL

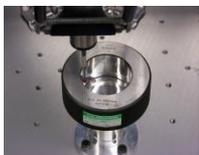
Medição de anel padrão sem comparação com peça de referência



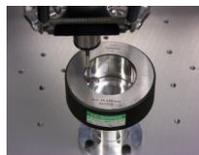
Peça



Medição de anel padrão por comparação com peça de referência

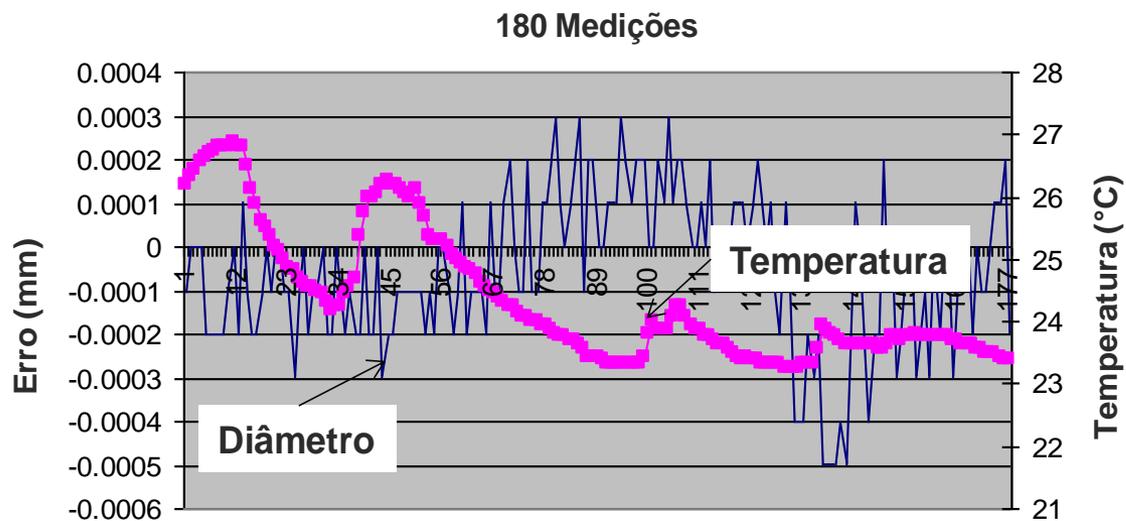


X



Peça

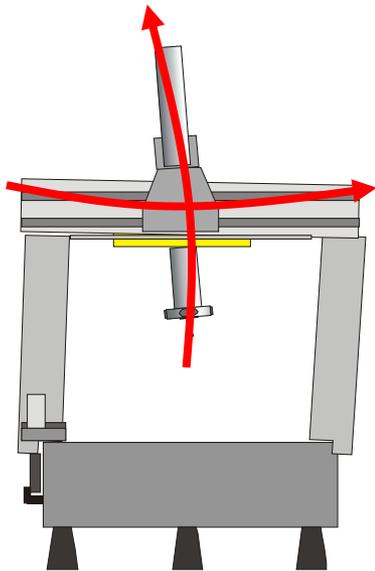
Padrão



6.4 AVALIAÇÃO DA ESTABILIDADE DA ESTRUTURA CARTESIANA DA MÁQUINA DE MEDIR DIANTE DE VARIAÇÕES DE TEMPERATURA

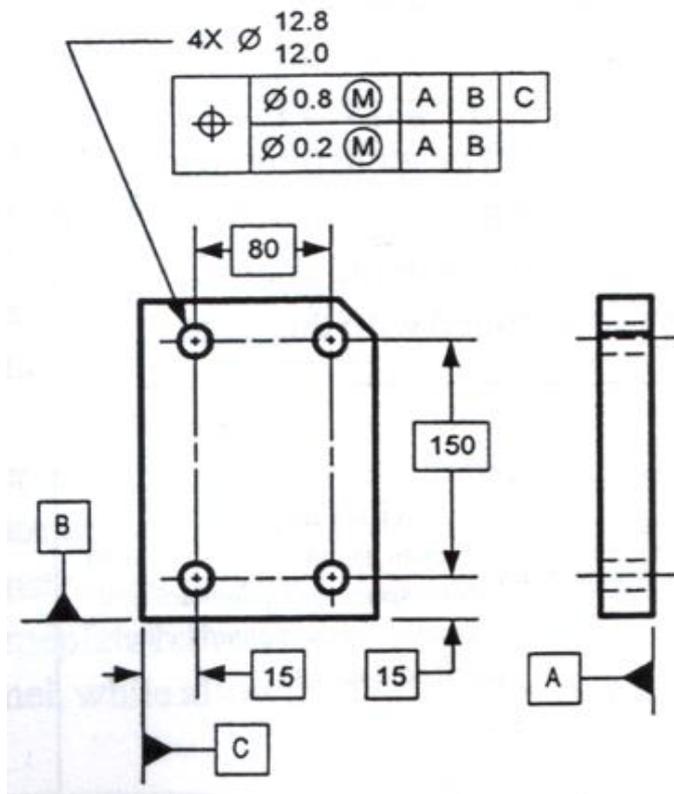
A correção de dilatação térmica linear não encerra o assunto...

Há que se avaliar como a estrutura cartesiana é sensível à variação de temperatura no tempo e no espaço.



- Como ficam os erros de perpendicularidade?
- Como ficam os erros de retitude?
- Como ficam os erros angulares?
- Esses erros são importantes?

- Esses erros são importantes?



Erros de perpendicularidade são críticos no controle de tolerâncias de localização e orientação.

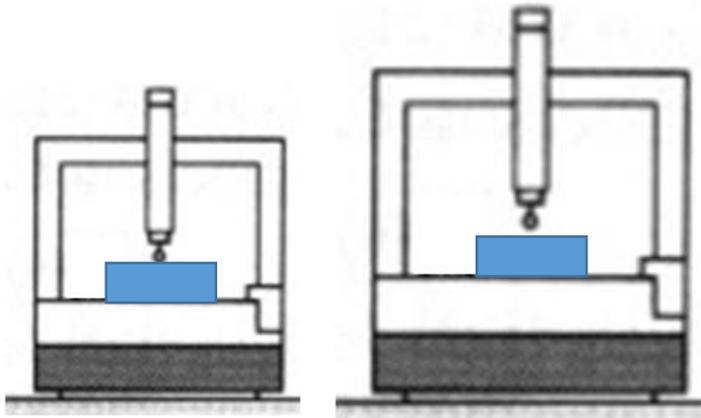
Erros de retitude afetam a exatidão no controle de tolerâncias de orientação e forma.

Erros angulares afetam o controle de praticamente todas as tolerâncias geométricas e dimensionais.

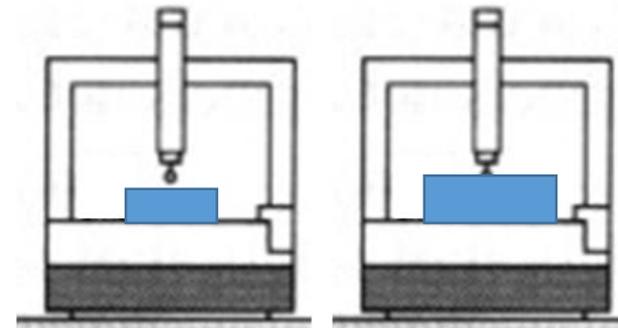
É importante que a estrutura cartesiana se mantenha estável mesmo na presença de dilatação térmica.

- Dilatação térmica é passível de correção.
- Distorção térmica é de difícil correção.

Dilatação térmica da máquina

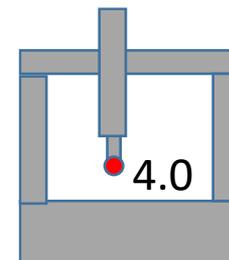


Dilatação térmica da peça



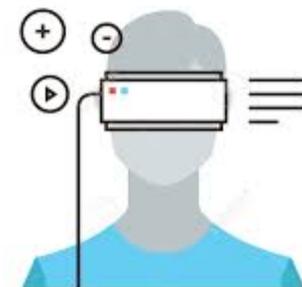
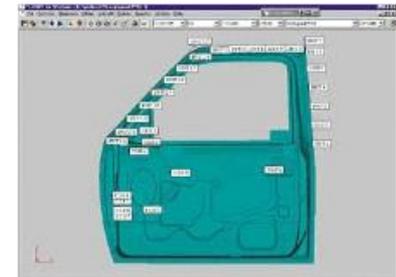
7. OPORTUNIDADES E NECESSIDADES

- Inteligência embarcada
 - Máquina de medir que analisa a sua capacidade de medir as tolerâncias das peças
 - Máquina de medir que conhece seus erros e propõe uma estratégia otimizada para o atendimento destas tolerâncias (posição, fixação, apalpação, processamentos)
 - Máquinas de medir com a capacidade de autoverificação e autocalibração e correção de erros
 - Máquina de medir com capacidade de aprender diante da experiências que vivencia ao seu redor
 - Máquina de medir capaz de identificar peças e pessoas
 - Máquina de medir capaz de interagir de modo mais efetivo com os operadores



7. OPORTUNIDADES E NECESSIDADES

- Inteligência embarcada
 - Máquina de medir com a capacidade de sinalizar quando possui algum problema
 - Máquinas de medir que sinalizam sobre o seu impacto ambiental
 - Realidade aumentada para programação e operação da máquina, medição e análise de relatórios
 - Visibilidade em tempo real e em qualquer lugar de todo o estado de funcionamento da máquina



7. OPORTUNIDADES E NECESSIDADES

- IoT não funciona sem bons aplicativos.
- A Máquina é o sensor. Como usar as informações que ela gera?
- São necessários aplicativos eficientes e fáceis de usar.
- Os modelos que relacionam eventos com causas e determinam ações são peça chave neste cenário.



7. OPORTUNIDADES E NECESSIDADES

- Precisamos de pessoas competentes para extrair o máximo de vantagens que o cenário da Indústria 4.0 permitirá.
- Importante saber o que fazer com tanta inovação e tirar o proveito dela.
- Informação e Qualificação para gerar capacidade de análise das tecnologias disponíveis e das possibilidades que elas geram.



CONCLUINDO

- Os avanços tecnológicos e a IoT estão se integrando ao cenário industrial e têm o potencial de proporcionar avanços em todas as áreas, incluindo a área de metrologia e medição por coordenadas.
- O cenário na área de medição por coordenadas é vantajoso tanto para as CMMs como os ODS (Optical Digitizers and Scanners)
- Informe-se muito sobre as tecnologias e o conceito da Indústria 4.0, e os desdobramentos para a área de metrologia
- Verifique a pertinência destas tecnologias no seu cenário e o que elas podem agregar de valor às atividades de medição
- Cuidado com euforia. Atualmente a Indústria 4.0 ainda gera mais perguntas do que é capaz de responder. Estamos só no início.
- Prepare-se agora para o que virá.

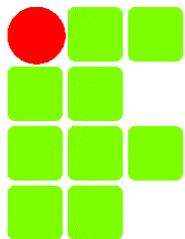
SIMPÓSIO SAE BRASIL DE

Metrologia
2016

24 DE NOVEMBRO
RESENDE | RJ

Obrigado.

asousa@ifsc.edu.br



INSTITUTO FEDERAL
SANTA CATARINA

Programa de Pós-Graduação em
Mecatrônica

