

A IMPORTÂNCIA DA INCERTEZA DE MEDIÇÃO NA AVALIAÇÃO DA CONFORMIDADE DE PRODUTOS MECÂNICOS

R. A. de Oliveira Neto¹ & L. Soares Jr.²

¹Graduando em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal do Ceará. E-mail: arrais.neto@hotmail.com; ²Doutor em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal da Paraíba. Professor adjunto do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Ceará (UFC). Coordenador do Laboratório de Metrologia da UFC. E-mail: lsjota@gmail.com

Artigo submetido em Janeiro/2016 e aceito em Junho/2016

RESUMO

Este trabalho discute os elementos importantes para a confiabilidade dos resultados de medições, o tratamento formal para a incerteza de medição e sua relação com a tolerância da característica medida no ambiente industrial. A metodologia proposta está baseada nas normas internacionais ISO/GPS 14253, partes 1 e 2, que tratam da avaliação da conformidade de produtos e da avaliação de incerteza de medição para ambiente fabril, respectivamente. Uma característica dimensional em um tambor de freio de ferro fundido foi medida com um

paquímetro e uma máquina de medição por coordenadas, com o objetivo de demonstrar o efeito da incerteza de medição na avaliação da conformidade. Adicionalmente, um aplicativo desenvolvido em Excel[®] com VBA foi desenvolvido para simular, de forma didática para os alunos de Engenharia, a importância da incerteza de medição na avaliação da conformidade de produtos mecânicos. Pretende-se com este trabalho contribuir para a disseminação da cultura metroológica nas empresas e na academia.

PALAVRAS-CHAVE: Incerteza de Medição. Avaliação da Conformidade. Produto Mecânico.

THE IMPORTANCE OF MEASUREMENT UNCERTAINTY IN ASSESSING THE COMPLIANCE OF MECHANICAL PRODUCTS

ABSTRACT

This paper discusses the important elements for the reliability of the results of measurements, the formal treatment for the measurement uncertainty and its relationship with the tolerance of the characteristic measured in an industrial environment. The proposed methodology is based on international standards ISO/GPS 14253, Parts 1 and 2, dealing with the conformity assessment of products and the evaluation of measurement uncertainty for factory environment, respectively. A dimensional characteristic of an iron cast brake drum was measured with a caliper and with

a coordinate measurement machine with the purpose to demonstrate the effect of measurement uncertainty in the assessment of conformity. In addition, an application developed in Excel[®] with VBA is designed to simulate, in a simple way for students of engineering, the importance of measurement uncertainty in assessing the compliance of mechanical products. It is intended with this work contribute to the dissemination of culture in metrology companies and in the academy.

KEYWORDS: Measurement uncertainty. Conformity Assessment. Mechanical Product.

INTRODUÇÃO

No contexto da produção atual, procura-se fabricar dentro das especificações de projeto na primeira vez, evitando retrabalhos e aumento de custo no ambiente industrial. Considerando que as atividades de projeto, fabricação e metrologia estão tipicamente envolvidas nas fases de produção, uma comunicação não ambígua entre essas atividades é fundamental para fabricação dentro das especificações (ALMACINHA, 2005).

Para exemplificar, de uma maneira simplista, a comunicação técnica entre as partes, considere a Fig. 1, na qual um desenho mecânico de um cilindro Fig. 1a está representado com tolerância dimensional. Na Fig. 1b, verifica-se que o cilindro fabricado possui erro de forma, mas no desenho não foi especificada a tolerância geométrica para orientar a avaliação desses erros geométricos. Finalmente, na Fig. 1c observa-se que, por conta dos erros (ou desvios) de forma, existem diversos valores possíveis para o diâmetro da peça produzida. Se a funcionalidade da peça depende também da variação da forma, além da dimensão, a tolerância geométrica dever ser especificada no desenho mecânico e uma forma de se fazer a medição ou seu controle também.

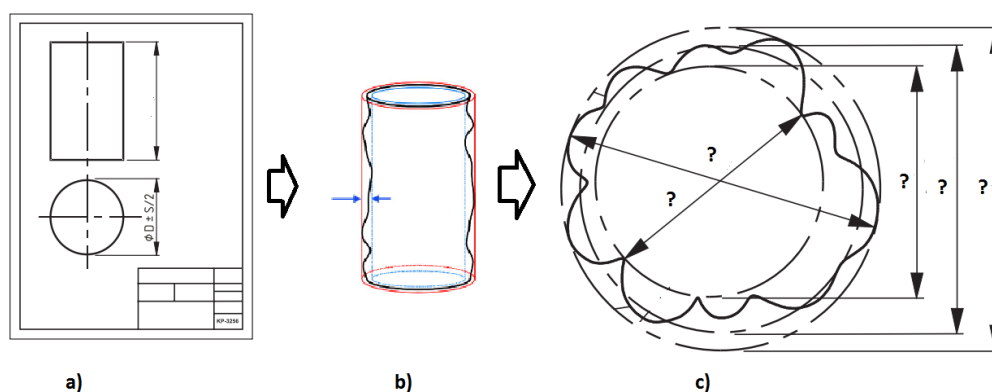


Fig. 1 – A importância da comunicação técnica não ambígua entre projeto, fabricação e metrologia
Fonte: Adaptada de BENNICHI; NIELSEN, 2005.

Particularmente, na tarefa de medição representada no exemplo da Fig. 1c, verifica-se que não há um valor único para o diâmetro medido do cilindro fabricado, mas um valor mais provável (muitas vezes, um valor médio) e uma parcela de dúvida deste valor médio, própria da natureza aleatória das medidas, desvios geométricos, erros sistemáticos não totalmente corrigidos etc. Essa parcela de dúvida é tecnicamente denominada, na Metrologia, de incerteza de medição. Portanto, um resultado de medição somente estará completo se a magnitude da incerteza de medição associada ao valor estimado for conhecida e expressada no resultado. Por conseguinte, somente

será possível afirmar com um dado nível de confiança que o diâmetro especificado do cilindro da Fig. 1a, por exemplo, irá satisfazer ou não uma dada especificação de projeto se a incerteza de medição do resultado também for estimada.

Caso contrário, corre-se o risco de aprovar um cilindro defeituoso ou reprovar um cilindro dentro da especificação, com provável consequência financeira (THEODOROU; ZANNIKOS, 2014). Essa atividade é denominada de avaliação da conformidade, formalmente definida como a demonstração de que requisitos especificados relativos a um produto ou processo são atendidos (ISO/IEC 17000, 2005). Apesar da importância de se considerar a incerteza de medição para avaliar corretamente a conformidade de produtos e processos, Soares Júnior (1999), Baldo (2003) e Souza (2009) afirmaram que o conceito de incerteza da medição ainda é abordado de forma inadequada em ambientes industriais e até mesmo na academia.

Segundo Frota et al (1999), aproximadamente 10% do PIB (Produto Interno Bruto) de países em desenvolvimento são gastos em retrabalho e desperdício por conta de práticas equivocadas, ou inexistência delas, no campo da metrologia. No Brasil, isso representou aproximadamente 452 bilhões de reais em 2014. Fica patente que o grau de desenvolvimento da metrologia pode indicar o nível de desenvolvimento econômico de um país. O documento denominado de *Diretrizes Estratégicas para a Metrologia Brasileira 2013-2017* (CONMETRO, 2013), destaca que em muitas das áreas de formação profissional ainda há uma carência de conceitos fundamentais de metrologia. Entre as metas do documento, se destacam a intensificação dos programas para inserção de conteúdos de metrologia nas disciplinas dos cursos de nível superior e profissionalizantes e a promoção da produção e publicação de literatura, incluindo livros didáticos, teses, estudos e pesquisas no âmbito da Metrologia.

Este trabalho discute os elementos importantes para a confiabilidade dos resultados da medição e detalha as bases para a aplicação adequada da incerteza da medição no meio industrial, com foco na avaliação da conformidade. Para a consecução dos objetivos, procura-se ressaltar as diferenças importantes entre a norma ISO 14253-2 (2011) e o método denominado de ISO-GUM para estimativas da incerteza de medição. A avaliação da conformidade na presença da incerteza de medição, pela norma ISO 14253-1 (2013), é discutida e se utiliza de um estudo de caso real, no qual um paquímetro digital e uma máquina de medição por coordenadas são utilizados para avaliar e demonstrar a conformidade de uma medida de diâmetro de um tambor de freio.

2 AVALIAÇÃO DA CONFORMIDADE NA INDÚSTRIA

A avaliação da conformidade é uma tarefa corriqueira no meio industrial, no qual a metrologia atua como uma ferramenta coadjuvante em todo processo de produção. Na Figura 2 está apresentada uma visão simplificada da função da metrologia e da avaliação da conformidade no ciclo de fabricação de um produto mecânico. Mas a lógica da Fig. 2 pode ser aplicada para outras indústrias como química, petróleo e gás, cimento etc.

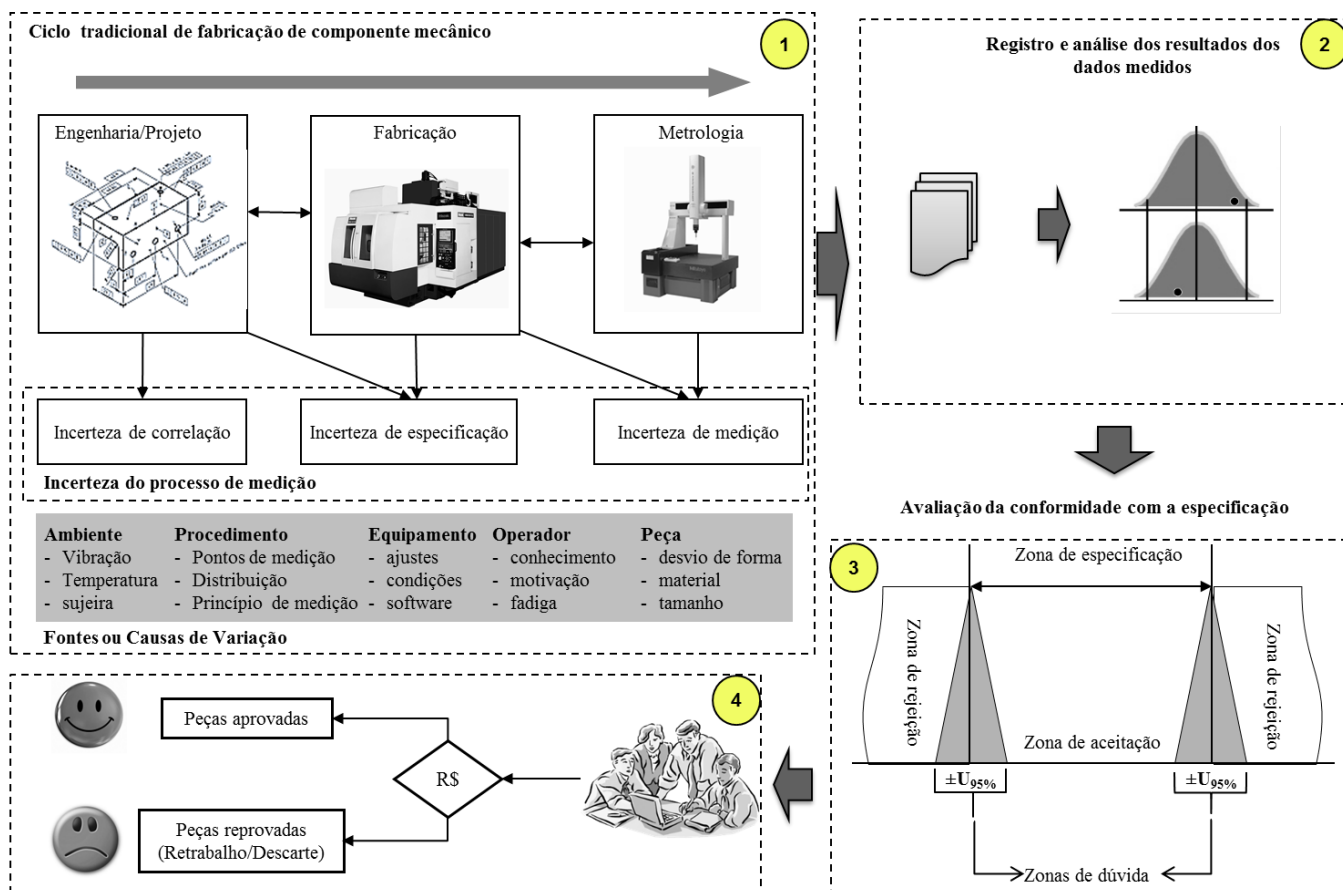


Fig. 2 – A função da metrologia e da avaliação da conformidade no ciclo de fabricação

Fonte: Elaborada pelos autores (2015).

Na fase um, da Fig. 2, o conceito de incerteza de medição é ampliado para envolver as imperfeições do ciclo de produção, desde a fase inicial do projeto até a fase de medição ou inspeção final, culminado numa incerteza total do processo de medição (HEPING; XIANGQIAN, 2008). A incerteza de correlação é uma estimativa de quão bem as características dimensionais e geométricas especificadas no desenho mecânico atendem aos requisitos de funcionalidade de uma peça. O projetista deve realizar diversas simulações para se atingir um bom grau de confiança que

as variações, presentes em qualquer processo de fabricação e de medição, não afetem de maneira significativa a funcionalidade do produto.

A incerteza de especificação resulta de aplicações incompletas ou incoerentes dos conceitos de especificação de produto, ou seja, em erros de representação das tolerâncias dimensionais e geométricas, por exemplo. Reforça-se, portanto, que os profissionais envolvidos nas três áreas do ciclo de desenvolvimento do produto, compreendam, por exemplo, a sintaxe e a semântica de uma tolerância geométrica no desenho sem ambiguidades. Desta forma, a incerteza de medição pode representar a fonte mais significativa em comparação às demais (ISO/TS 17450-2, 2002).

Na fase dois, da Fig. 2, os dados obtidos da medição são avaliados com auxílio de ferramentas estatísticas. Um valor mais provável da característica medida e sua incerteza estimada são calculados pelo *Guia para Expressão da Incerteza de Medição - ISO-GUM* (2012) ou pela norma internacional ISO 14253-2 (2011), que se apresenta como uma alternativa prática para o cálculo da incerteza de medição em ambiente industrial e que não se contrapõe ao ISO-GUM (SILVA; SOARES JÚNIOR, 2013). Na Figura 3 procura-se sistematizar as principais diferenças entre o método de avaliação de incerteza de medição pelo ISO-GUM e o método proposto na norma ISO 14253-2.

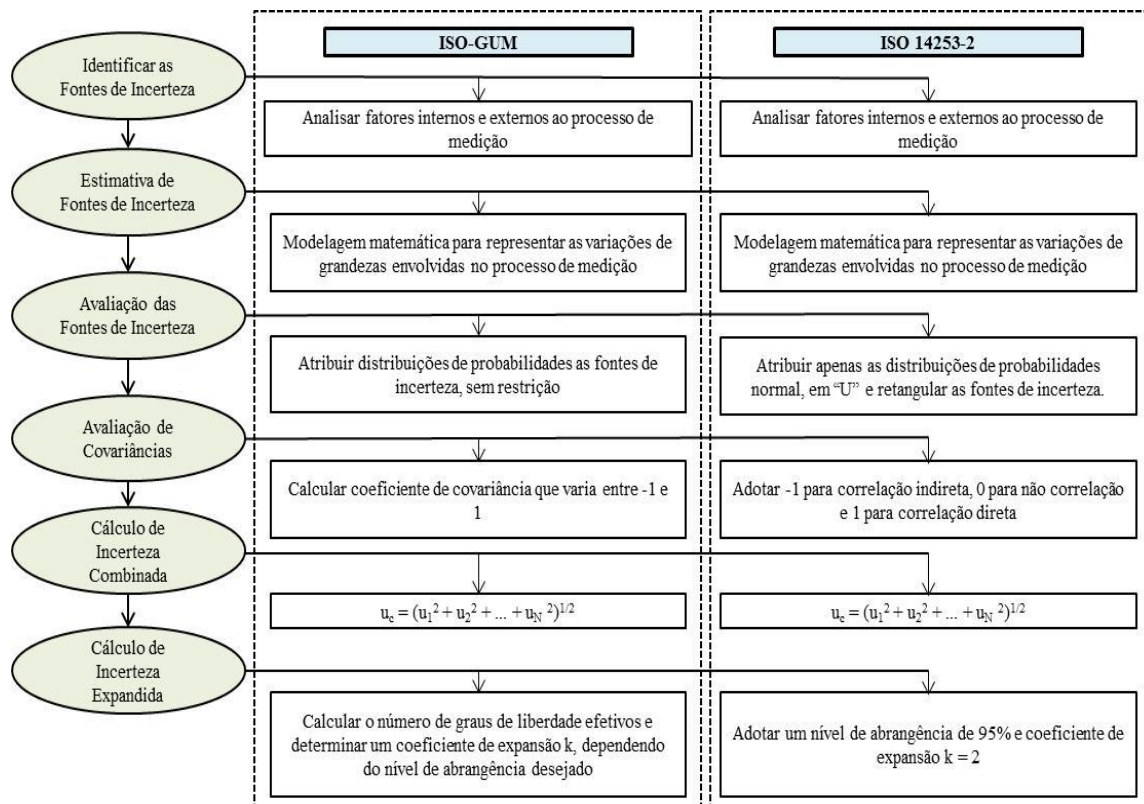


Fig. 3 – ISO-GUM versus ISO 14253-2
 Fonte: Elaborada pelos autores (2015).

A proposta da metodologia na norma 14253-2 é simplificar o processo de avaliação de incerteza respeitando as bases conceituais constantes no ISO-GUM. Para mais detalhes sobre a metodologia de cálculo de incerteza pela norma ISO 14253-2, consultar a própria norma e a referência de Silva e Soares Júnior (2013). Destacam-se como simplificações a adoção das funções de densidade de probabilidades (pdfs) normal, em forma de “U” e distribuição retangular para modelagem da fonte de incerteza como desvios padrão, a adoção de correlação 1, 0 ou -1 para o cálculo das covariâncias e a utilização do fator $k=2$ para o nível de abrangência de 95%.

Na fase três, da Fig. 2, tem-se a avaliação da conformidade considerando a incerteza de medição avaliada na fase anterior. Cabe destacar que a incerteza de medição estimada e sua relação com a tolerância da característica medida pode levar em consideração aspectos relacionados com a política de qualidade da empresa, estabelecendo-se relações mais conservativas ou não. Aspectos econômicos e técnicos podem ser considerados, sendo necessário adotar relações mais conservativas, quando os custos associados às operações de retrabalho são elevados ou adotar relações menos conservativas, quando limitações técnicas para produção ou medição são evidenciadas (ISO 14253-1, 2013).

Na Figura 4 procura-se detalhar a lógica de avaliação da conformidade, com base na norma ISO 14253-1.

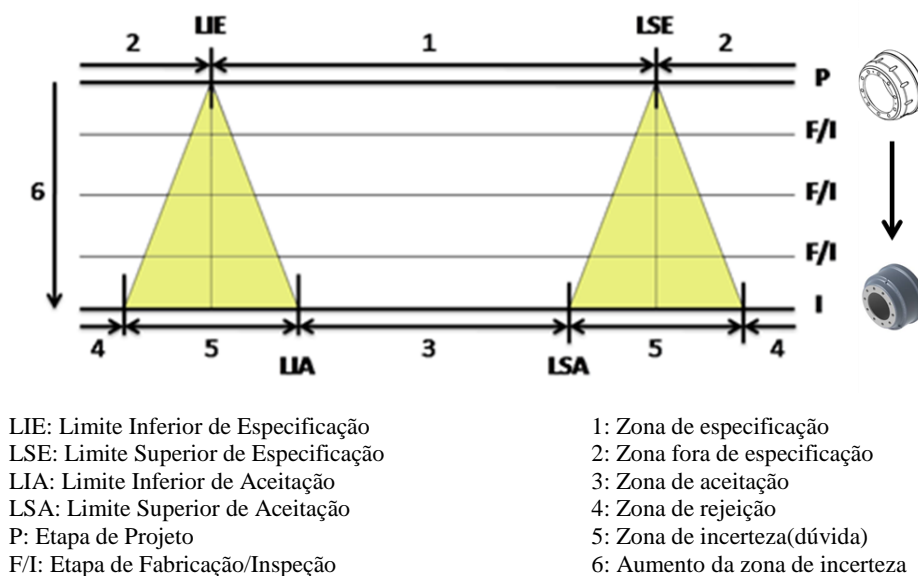


Fig. 4 – A lógica da avaliação de conformidade na presença da incerteza de medição
 Fonte: Adaptada de ISO 14253-1 (2013).

Na fase de projeto, representada pela linha P, na Fig. 4, tem-se a zona 1 de especificação, que define a tolerância da característica de interesse pelos limites inferior (LIE) e superior (LSE) de especificação e a zona 2, dentro da qual a peça estaria fora de especificação. Nessa fase, espera-se

que as contribuições das incertezas de correlação e especificação sejam insignificantes. Na sequência, nas fases de fabricação e inspeção (F/I), a peça é avaliada por medição e sua incerteza estimada tem a contribuição das imperfeições do próprio processo de fabricação e de inspeção.

Essa incerteza de medição está representada pela zona 5, na Fig. 4, e compreende uma faixa de valores que pode ser razoavelmente atribuído ao valor medido. Nota-se na Figura 4 que a zona 1 é reduzida da zona de incerteza de medição, resultando na zona 3, sobre a qual se pode afirmar, com um dado nível de confiança, que a característica medida atende aos requisitos especificados. O mesmo não se pode afirmar se a medida estiver na zona 4. Na zona 5 não se pode afirmar, com um dado nível de confiança, que a peça atende ou não aos requisitos especificados.

Ressalta-se que quanto maior a zona 5 (incerteza de medição), menor será a zona 3 (zona de aceitação) para tolerar variações no processo de fabricação. O inverso também é verdadeiro e desejável, porém deve haver um equilíbrio entre custo e benefício, uma vez que alcançar baixos níveis de incerteza exige altos investimentos em padrões, por exemplo. Verifica-se, então, a importância de se conhecer a incerteza do processo de medição e reduzi-la ao nível adequado.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo de caso consistiu na medição do diâmetro do encaixe do cubo de roda de um tambor de ferro fundido, com cota no valor de 164,00 mm e tolerância especificada de $0,00 + 0,20$ mm. Para demonstrar a aplicação das normas ISO 14253, partes 1 e 2, a dimensão selecionada foi medida utilizando-se um paquímetro com indicação digital, faixa nominal de 300 mm e resolução de 0,01 mm. Na segunda fase do estudo, foi utilizada uma máquina de medição por coordenadas (MMC), com faixa nominal de 700x500x400 mm calibrada, apalpador tipo TP-20, cabeçote MH-20 e com um programa de medição *GeopakWin*, versão 2.4 R8. Em ambos os casos foi utilizado o princípio de medição por contato ou apalpação mecânica. As medições foram realizadas no Laboratório de Metrologia da UFC, com uma variação estimada da temperatura de $\pm 1^\circ\text{C}$.

Foram consideradas as seguintes fontes de incertezas no processo de medição:

- 1) Variação de forma da peça;
- 2) Repetitividade da medição;
- 3) Variação da temperatura ambiente;
- 4) Erro máximo admitido (Emad) para o sistema de medição utilizado.

3.1. MEDIÇÃO COM PAQUÍMETRO DIGITAL

Inicialmente, a superfície da peça a ser medida foi limpa com álcool isopropílico. A peça permaneceu 24 horas na sala do laboratório para estabilização da temperatura com o ambiente. Com a peça estabilizada, foram demarcadas oito posições igualmente espaçadas de aproximadamente 45°, conforme a fig. 5a. Na Figura 5b, consta o tambor de freio e o paquímetro utilizado para as medições.

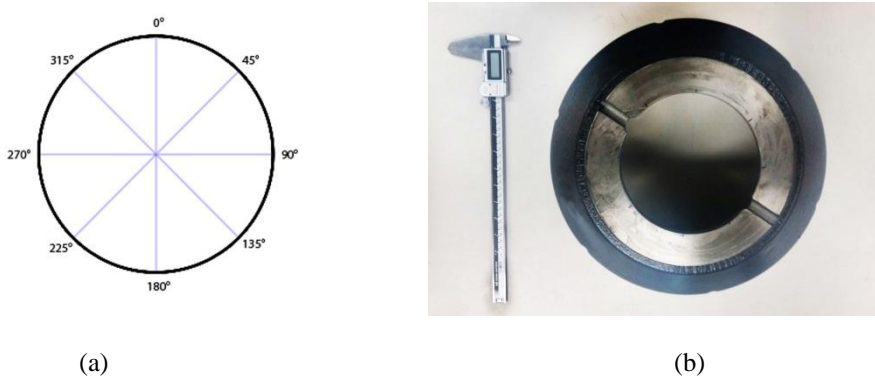


Fig. 5 - Posições das medições (5a) e tambor de freio e paquímetro (5b)
Fonte: Elaborada pelos autores (2015).

3.2. MEDIÇÃO COM MÁQUINA DE MEDIÇÃO POR COORDENADAS

Na Máquina de Medição por Coordenadas, da Fig. 6, mediu-se, de forma automatizada, o diâmetro do tambor nos oito pontos demarcados, utilizando-se a função círculo no programa computacional da máquina. Como resultado, obteve-se o valor médio (três repetições) do diâmetro e a circularidade da peça para estimativa do erro de forma. Na Figura 6 está representada a configuração da medição do tambor de freio na máquina de medição por coordenadas (MMC).

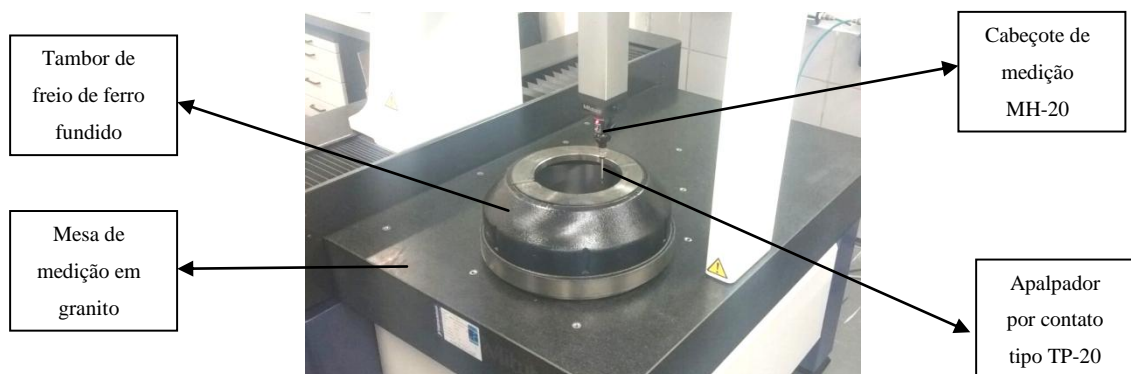


Fig. 6 - Tambor de freio montado sobre a mesa de medição da MMC
Fonte: Elaborada pelos autores (2015).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para o processamento e análise dos dados medidos foi desenvolvido um programa computacional em VBA (*Visual Basic for Applications*) baseado nos conceitos das normas ISO 14253, partes 1 e 2. Os Quadros 1a e 1b, denominados de “Entrada de Dados”, contêm as informações gerais dos limites de especificação, tolerância, característica a medir e as fontes de incertezas significativas para os dois processos de medição.

Quadro 1a - Entrada de dados para a estimativa de incerteza do processo de medição com o paquímetro

ESTIMATIVA DA INCERTEZA DO PROCESSO DE MEDIÇÃO NO PAQUÍMETRO								
BASEADA NA ISO/GPS 14253 2								
ENTRADA DE DADOS						DATA:	22/09/2015	
DADOS GERAIS								
MENSURANDO	Diâmetro interno do tambor					UNIDADE	mm	
LIMITES DE ESPECIFICAÇÃO	Nominal:	164	Afast. Inferior:	0	Afast. Superior:	0,2	FONTE	Projeto
LIMITE INFERIOR DE ESPECIFICAÇÃO (LIE):		164	LIMITE SUPERIOR DE ESPECIFICAÇÃO (LSE):		164,2			
MÍNIMA RAZÃO DESEJADA ENTRE A FAIXA DOS LIMITES ESPECIFICADOS E A FAIXA DE INCERTEZA DE MEDIÇÃO DO PROCESSO:							4	
LOCAL DA MEDIÇÃO		USINAGEM		SETOR RESPONSÁVEL		Fabricação		
Laboratório de metrologia								
COMPONENTES ENVOLVIDOS NO PROCESSO DE MEDIÇÃO								
DESCRIÇÃO				INFORMAÇÕES COMPLEMENTARES				
1	Variação de forma			Definição do mensurando				
2	Repetitividade da medição			Relatório técnico				
3	Variação da temperatura ambiente			Condições ambiente				
4	Emad do Paquímetro			Especificação do Instrumento de medição				

Fonte: Elaborada pelos autores (2015).

Quadro 1b - Entrada de dados para a estimativa de incerteza do processo de medição com a MMC

ESTIMATIVA DA INCERTEZA DO PROCESSO DE MEDIÇÃO NA MMC								
BASEADA NA ISO/GPS 14253-2								
ENTRADA DE DADOS						DATA:	07/10/2015	
DADOS GERAIS								
MENSURANDO	Diâmetro interno tambor de freio					UNIDADE	mm	
LIMITES DE ESPECIFICAÇÃO	Nominal:	164	Afast. Inferior:	0	Afast. Superior:	0,2	FONTE	Projeto
LIMITE INFERIOR DE ESPECIFICAÇÃO (LIE):		164	LIMITE SUPERIOR DE ESPECIFICAÇÃO (LSE):		164,2			
MÍNIMA RAZÃO DESEJADA ENTRE A FAIXA DOS LIMITES ESPECIFICADOS E A FAIXA DE INCERTEZA DE MEDIÇÃO DO PROCESSO:							4	
LOCAL DA MEDIÇÃO		USINAGEM		SETOR RESPONSÁVEL		Fabricação		
Laboratório de metrologia								
COMPONENTES ENVOLVIDOS NO PROCESSO DE MEDIÇÃO								
DESCRIÇÃO				INFORMAÇÕES COMPLEMENTARES				
1	Variação de forma			Definição do mensurando				
2	Repetitividade da medição			Relatório técnico				
3	Variação da temperatura ambiente			Condições ambiente				
4	Emad da MMC			Especificação da MMC				

Fonte: Elaborada pelos autores (2015).

As telas do programa representadas pelos Quadros 2a e 2b contêm os cálculos das incertezas do processo de medição, com base na norma ISO 14253-2. Na última linha é apresentada a incerteza expandida da medição para um nível de abrangência de, aproximadamente, 95%. O Quadro 2a refere-se ao paquímetro e o Quadro 2b à máquina de medição por coordenadas. No Quadro 2a destaca-se que a incerteza expandida para a medição com o paquímetro foi de 0,04 mm.

Quadro 2a - Balanço das incertezas de medição para o paquímetro digital

ESTIMATIVA DA INCERTEZA DO PROCESSO DE MEDIÇÃO								
BASEADA NA ISO/GPS 14253 2								
PLANILHA DE CÁLCULO				DATA: 22/09/2015				
Diâmetro interno do tambor				Usinagem Fabricação				
ESTIMATIVA DA INCERTEZA EXPANDIDA DO PROCESSO DE MEDIÇÃO (U _{95%})								
FONTE DE INCERTEZA	Estimativa da fonte de incerteza		Tipo de avaliação	Tipo de distribuição	Coeficiente de sensibilidade	Fator da distribuição	Incerteza padrão	
	Valor	Unidade						
1	Varição de forma	0,0270	mm	B	Retangular	1	1,732	0,0155889
2	Repetitividade da medição	0,0068	mm	A	Normal	1	1	0,006825
3	Varição da temperatura ambiente	1,0000	°C	B	Retangular	0,001886	1,732	0,0010889
4	Emad do Paquímetro	0,0200	mm	B	Retangular	1	1,732	0,0115473
Incerteza combinada							0,0206 mm	
INCERTEZA EXPANDIDA							K= 2	U _{95%} → 0,04 mm

Fonte: Elaborada pelos autores (2015).

No Quadro 2b, destaca-se que a incerteza expandida para a medição com a MMC foi de 0,018 mm, ou seja, praticamente 50% menor que a incerteza obtida com a utilização do paquímetro.

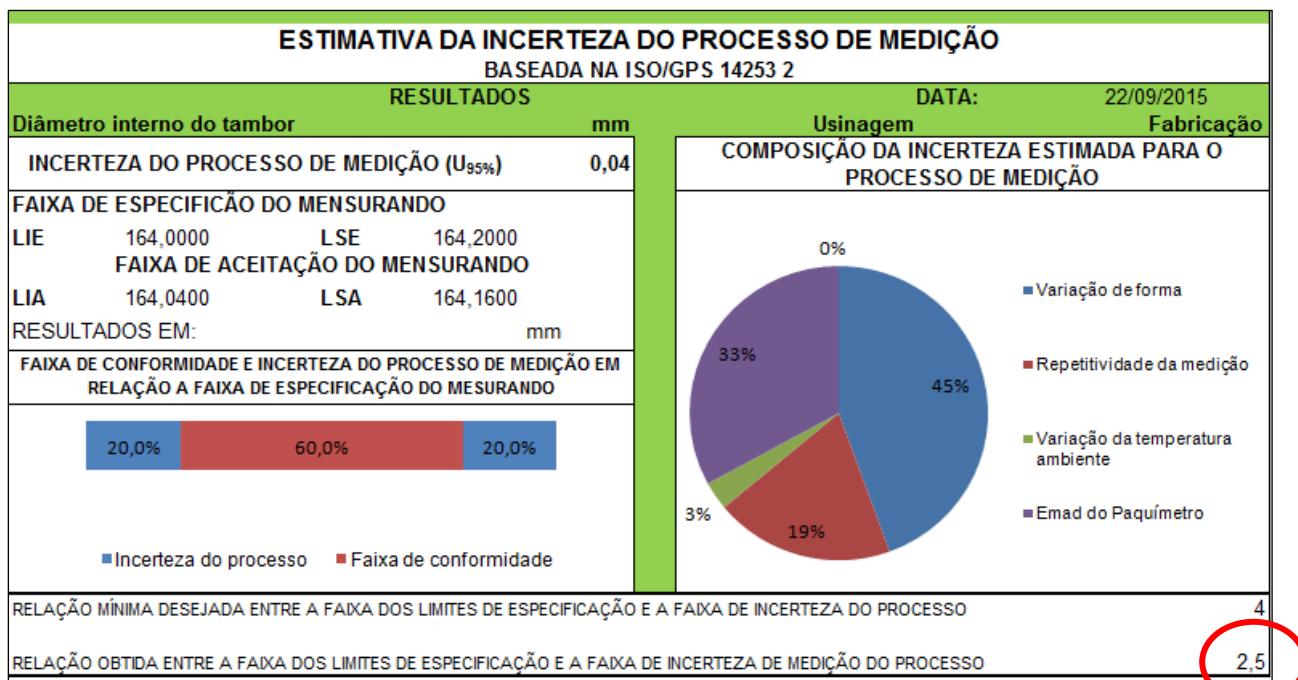
Quadro 2b - Balanço das incertezas de medição para a máquina de medição por coordenadas

ESTIMATIVA DA INCERTEZA DO PROCESSO DE MEDIÇÃO								
BASEADA NA ISO/GPS 14253 2								
PLANILHA DE CÁLCULO				DATA: 07/10/2015				
Diâmetro interno tambor de freio				Usinagem Fabricação				
ESTIMATIVA DA INCERTEZA EXPANDIDA DO PROCESSO DE MEDIÇÃO (U _{95%})								
FONTE DE INCERTEZA	Estimativa da fonte de incerteza		Tipo de avaliação	Tipo de distribuição	Coeficiente de sensibilidade	Fator da distribuição	Incerteza padrão	
	Valor	Unidade						
1	Varição de forma	0,0150	mm	A	Retangular	1	1,732	0,0086605
2	Repetitividade da medição	0,0016	mm	A	Normal	1	1	0,0016
3	Varição da temperatura ambiente	1,0000	°C	B	Retangular	0,001886	1,732	0,0010889
4	Emad da MMC	0,0030	mm	B	Retangular	1	1,732	0,0017321
Incerteza combinada							0,0090 mm	
INCERTEZA EXPANDIDA							K= 2	U _{95%} → 0,018 mm

Fonte: Elaborada pelos autores (2015).

Nas telas seguintes do programa computacional, representadas nos quadros 3a e 3b, têm-se a avaliação da conformidade baseada na norma ISO14253-1. Para efeito de exemplificação da metodologia adotada, foi arbitrado, neste estudo, que a incerteza de medição desejada seria, pelo menos, quatro vezes menor que a tolerância especificada para a dimensão do tambor. A rigor, a definição dessa relação deve levar em conta o risco do produtor e do consumidor, uma vez que pode impactar na capacidade de fabricação, como será discutido mais adiante.

Quadro 3a - Análise dos resultados para o paquímetro digital



Fonte: Elaborada pelos autores (2015).

Analisando o Quadro 3a para a medição do diâmetro do tambor com o paquímetro, constata-se que a relação entre a tolerância especificada e a incerteza esperada para o processo de medição foi de 2,5. Portanto, inferior ao valor desejado de quatro. A consequência direta é que a faixa de especificação (LIE, LSE) foi reduzida em 40%, por conta da incerteza de medição estimada, conforme gráfico de barras no lado esquerdo do Quadro 3a. O valor médio do diâmetro (após as correções sistemáticas conhecidas) foi de 164,06 mm, que está dentro da faixa de aceitação do mensurando (LIA=164,04 mm e LSA = 164,16 mm). Desse modo, o diâmetro está aprovado, mas com essa relação de 2,5 o setor de fabricação poderá ter menor liberdade (60,0% da Faixa de Especificação) para produzir peças dentro das especificações.

Esta possibilidade é real, pois outras fontes de variação (não consideradas no estudo) podem ocorrer como desgaste de ferramenta, variações térmicas, deformações mecânicas etc. Portanto, o paquímetro, nestas condições, não seria indicado para avaliar a conformidade com essa

tolerância definida em projeto, uma vez que contribui com 33% da incerteza total, conforme apresentado no gráfico de pizza do Quadro 3a. Adicionalmente, outras fontes de incertezas como a repetitividade das medições (19%) e variações da forma da peça de 45% foram significativas.

No Quadro 3b, para a medição com a MMC, constata-se que a relação entre a tolerância especificada e a incerteza esperada para o processo de medição foi de 5,6 (satisfazendo o valor desejado de 4), conforme destacado com um círculo em vermelho no Quadro 3b.

Quadro 3b - Análise dos resultados para a máquina de medição por coordenadas

ESTIMATIVA DA INCERTEZA DO PROCESSO DE MEDIÇÃO			
BASEADA NA ISO/GPS 14253 2			
RESULTADOS		DATA:	07/10/2015
Diâmetro interno tambor de freio mm		Usinagem	Fabricação
INCERTEZA DO PROCESSO DE MEDIÇÃO ($U_{95\%}$)		COMPOSIÇÃO DA INCERTEZA ESTIMADA PARA O PROCESSO DE MEDIÇÃO	
0,018			
FAIXA DE ESPECIFICAÇÃO DO MENSURANDO			
LIE	164,0000	LSE	164,2000
FAIXA DE ACEITAÇÃO DO MENSURANDO			
LIA	164,0180	LSA	164,1820
RESULTADOS EM: mm			
FAIXA DE CONFORMIDADE E INCERTEZA DO PROCESSO DE MEDIÇÃO EM RELAÇÃO A FAIXA DE ESPECIFICAÇÃO DO MENSURANDO			
<p>■ Incerteza do processo ■ Faixa de conformidade</p>			
RELAÇÃO MÍNIMA DESEJADA ENTRE A FAIXA DOS LIMITES DE ESPECIFICAÇÃO E A FAIXA DE INCERTEZA DO PROCESSO			4
RELAÇÃO OBTIDA ENTRE A FAIXA DOS LIMITES DE ESPECIFICAÇÃO E A FAIXA DE INCERTEZA DE MEDIÇÃO DO PROCESSO			5,6

Fonte: Elaborada pelos autores (2015).

Um aspecto importante neste caso é que a faixa de especificação (LIE, LSE) foi reduzida em apenas 18% por conta da incerteza de medição estimada, conforme gráfico de barras no lado esquerdo do Quadro 3b. O valor médio do diâmetro (após as correções sistemáticas conhecidas) foi de 164,116 mm, que está dentro da faixa de aceitação do mensurando (LIA=164,018 mm e LSA = 164,182 mm). Desse modo, o diâmetro está aprovado e o setor de fabricação possui maior liberdade (82,0% da Faixa de Especificação) para produzir peças dentro das especificações.

Para esta situação em estudo, a máquina de medição por coordenadas é adequada (independentemente do custo de aquisição que não está em discussão neste trabalho) e poderia avaliar, com maior segurança, a dimensão do diâmetro do tambor. A fonte mais significativa foi a variação relativa à forma geométrica do diâmetro do tambor com 66%.

5 PARCERIAS

Este trabalho foi realizado em parceria com a Associação Técnico-Científica Eng.º Paulo de Frontin (ASTEF) e com o apoio operacional do Sr. Francisco Robson Alencar, técnico do LAMETRO/UFC.

6 CONCLUSÃO

Este trabalho abordou a relação entre projeto, fabricação e Metrologia no desenvolvimento de produtos mecânicos, destacando a importância da comunicação não ambígua entre as partes. A incerteza de medição no contexto da avaliação da conformidade de produtos mecânicos foi amplamente discutida, tendo como base as normas ISO 14253, partes 1 e 2, demonstrando que é possível ampliar a cultura metrológica no meio industrial, fundamentada em normas internacionalmente reconhecidas. Foi ressaltado que esses assuntos devem ser tratados nos cursos de Engenharia e técnicos de forma adequada.

Em um estudo de caso real, procurou-se demonstrar o impacto da incerteza de medição sobre o intervalo de especificação de projeto. A seleção adequada do sistema de medição é parte importante na composição da incerteza final de uma medição, sem, contudo, menosprezar outras fontes como a repetitividade das medições, erros de forma da peça e variações de temperatura.

A metodologia aqui abordada poderia ser aplicada para avaliar uma conformidade de características como a densidade em biocombustíveis, tensão de ruptura em aços para construção civil, torque em motores de combustão interna, vazão em hidrômetros residenciais, eficiência térmica em garrafas térmicas de uso doméstico, índice de coliformes termotolerantes em mananciais etc. Como se percebe nos exemplos citados, muitos produtos utilizados diretamente ou indiretamente no nosso cotidiano têm a metrologia como a base técnica para a qualidade. Um equívoco na avaliação da conformidade de um produto pode trazer grandes prejuízos financeiros para a empresa produtora ou até mesmo risco de morte para o consumidor.

REFERÊNCIAS

ALMACINHA, J. A. Introdução à nova linguagem ISO de especificação geométrica de produtos – parte 1: a classificação dos elementos geométricos de superfície e suas aplicações. **Revista Tecnometal**. Porto: AIMMAP, nov./dez., 2005, 161, p. 7-14. Disponível em: <http://www.inegi.up.pt/instituicao/ons/pdf/14_jasa-3.pdf>. Acesso em: 30 jun. 2016.

BALDO, C. R. A. **Interação entre o controle de processos e a metrologia em indústrias de manufatura**. Dissertação submetida à Universidade Federal de Santa Catarina para obtenção do grau de Mestre em Metrologia, Florianópolis: UFSC, 2003.

BENNICH, P.; NIELSEN, H. **An overview of the GPS Matrix System**, Institute for Geometrical Product Specifications, First Edition 2005. Disponível em:
<<http://www.ifgps.com/An%20Overview%20of%20GPS.pdf>> Acesso em: 30 jun. 2016.

CONMETRO - CONSELHO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL. **Diretrizes estratégicas para a metrologia brasileira 2013-2017**. Aprovado na 47ª reunião do CBM, Rio de Janeiro – RJ, 2013. Disponível em:
<<http://www.inmetro.gov.br/legislacao/resc/pdf/RESC000246.pdf>>. Acesso em: 30 jun. 2016.

FROTA, M.N, VALCOV, L e CALDAS, R., **Programa RH Metrologia - Documento Básico**. INMETRO/MCT – CAPES/MEC – CNPQ - Rio de Janeiro, 1999. 90 p.

ISO-GUM. **Avaliação de dados de Medição: guia para a expressão de incerteza de medição**. Rio de Janeiro: INMETRO/CICMA/SEPIN, 2012. Disponível em:
<http://www.inmetro.gov.br/noticias/conteudo/iso_gum_versao_site.pdf>. Acesso em: 30 jun. 2016.

ISO/IEC 17000. **Avaliação de Conformidade – Vocabulário e Princípios Gerais**. ABNT NBR, 2005.

ISO/TS 17450-2. **Geometrical product specifications (GPS) - General concepts - Part 2: Basic tenets, specifications, operators and uncertainties**, 2002.

ISO 14253. **Geometrical Product Specifications (GPS) – Inspection by measurement of workpieces and measuring equipment: Part 1: Decision rules for proving conformance or nonconformance with specifications**, 2013.

ISO 14253. **Geometrical product specifications (GPS) Inspection by measurement of workpieces and measuring equipment: Part 2: Guidance for the estimation of uncertainty in GPS measurement, in calibration of measuring equipment and in product verification**, 2011.

HEPING, P., XIANGQIAN, J. **Evaluation and management procedure of measurement uncertainty in new generation geometrical product specification (GPS)**. Elsevier Ltd, 2008.

SILVA, J. H. B.; SOARES JÚNIOR, L. **Avaliação da conformidade de peças na presença da incerteza de medição: uma proposta baseada em normas e guias da ISO**. Rio de Janeiro: XII Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação, 2013.

SOARES JÚNIOR, L. **Confiabilidade metrológica no contexto da garantia da qualidade industrial: diagnóstico e sistematização de procedimentos**, Dissertação submetida à Universidade Federal de Santa Catarina para obtenção do Grau de Mestre em Metrologia, 1999. Disponível em:
<<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/81053/138148.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 30 jun. 2016.

SOUSA, A. R.; WANDECK, M., **Deficiências da Metrologia Industrial no Brasil no Correto Entendimento do GD & T e na Definição de Estratégias de Medição Consistentes para o seu Controle Geométrico**, V Congresso Brasileiro 7º de Metrologia, Metrologia para a competitividade em áreas estratégicas 9 a 13 de novembro de 2009. Salvador, Bahia – Brasil.

THEODOROU, D.; ZANNIKOS, F. **The use of measurement uncertainty and precision data in conformity assessment of automotive fuel products**. National Technical University of Athens, School of Chemical Engineering, Laboratory of Fuels and Lubricants Technology, Measurement 50 (2014), p.141–151.