

AVALIAÇÃO DA INCERTEZA DE MEDIÇÃO DE INSTRUMENTOS NA INDÚSTRIA: COMPARAÇÃO DE PROCEDIMENTOS

Paulo Henrique Incerpi

Universidade Federal de Itajubá. Av. BPS 1303, 37500-903, Itajubá, MG. incerpi@unifei.edu.br

José Leonardo Noronha

Universidade Federal de Itajubá. Av. BPS 1303, 37500-903, Itajubá, MG. jln@unifei.edu.br

Luiz Fernando Barca

Universidade Federal de Itajubá. Av. BPS 1303, 37500-903, Itajubá, MG. barca@unifei.edu.br

Resumo. Qualquer Sistema de Medição (SM) por mais preciso que seja, sempre apresentará um erro na sua indicação, não importando como, quando ou onde o SM está sendo utilizado. A partir desta consideração, pode-se dizer que um SM será adequado ao uso quando o seu erro, considerando a sua incerteza, for menor que a tolerância especificada pelo processo de fabricação. Não existe uma relação fixa definida entre a Incerteza de Medição (IM) e o intervalo de tolerância de fabricação do produto, entretanto, é recomendável que a tolerância seja dividida por um fator entre 3 e 10. No ambiente industrial, devido principalmente à estrutura dos laboratórios de calibração e à complexidade dos cálculos envolvidos no levantamento da IM, é usada uma fórmula simplificada para a determinação desta. O uso desta fórmula resulta em um valor maior que aquele que seria encontrado ao ser usado o método de cálculo mais completo. Este valor maior pode, muitas vezes, exigir o uso de um SM mais preciso e normalmente de maior custo para aquisição, para calibração e para manutenção. O objetivo deste artigo é mostrar uma formulação simplificada para avaliação da incerteza de medição que permita reduzir os custos de calibração de instrumentos de medição na indústria.

Palavras-chave: Metrologia, incerteza de medição, conformidade, calibração.

1. INTRODUÇÃO

No relato do resultado de uma medição de uma grandeza física, é obrigatório que seja dada alguma indicação quantitativa da qualidade desse resultado, de forma que aqueles que o utilizam possam avaliar sua confiabilidade, INMETRO (1998).

Segundo Liska (1999), a indústria de fabricação mecânica, de um modo geral, utiliza a relação existente entre a incerteza do sistema de medição e o intervalo de tolerância de fabricação para decidir se o instrumento está apto ou não para avaliar a conformidade de determinada característica geométrica do produto. Essa relação deve estar entre 3 e 10, para que o instrumento seja considerado apto. De um modo geral é assumido que a incerteza do sistema de medição deverá ser menor ou igual a um quinto da faixa do intervalo de tolerância da característica geométrica que está sendo controlada pelo sistema de medição em estudo.

Nesse sentido, este trabalho tem como objetivo mostrar uma formulação simplificada e adequada para ser usada na determinação e avaliação da incerteza de medição das medições diretas, que possa ser usada pela indústria mecânica na avaliação da conformidade de determinada característica geométrica do seu produto.

São apresentados os principais conceitos e terminologias usadas na determinação e avaliação da incerteza de medição visando uniformizá-los para um melhor entendimento do processo de cálculo sugerido. Em seguida, são apresentados os resultados dos dois processos de cálculo encontrados em três casos práticos de avaliação da incerteza de medição, a fim de que possam ser comparados.

2. CONCEITOS FUNDAMENTAIS

Para que possamos apresentar os dois métodos de cálculo a serem usados neste trabalho, é necessário antes apresentar os conceitos e terminologias de cada uma das parcelas envolvidas nos referidos métodos, bem como apresentar as principais fontes de erro e incerteza para a medição e calibração e as principais considerações a serem feitas para a avaliação da IM em medição direta, que é o interesse deste trabalho.

2.1. Terminologia

Para que se possa expor de forma clara e eficiente os conceitos da metrologia, através do qual são determinados e tratados os erros de medição, é preciso empregar a terminologia técnica apropriada. A terminologia adotada neste texto está baseada em INMETRO (2000) que estabelece o Vocabulário de Termos Fundamentais e Gerais em Metrologia, ao qual chamaremos de *VIM* e no INMETRO (1998) ao qual chamaremos de *Guia*.

2.1.1. Incerteza de Medição (IM)

Parâmetro, associado ao resultado de uma medição, que caracteriza a dispersão dos valores que podem ser fundamentadamente atribuídos a um mensurando (objeto da medição).

Observações:

- 1) O parâmetro pode ser, por exemplo, um desvio padrão (ou um múltiplo dele), ou a metade de um intervalo correspondente a um nível de confiança estabelecido;
- 2) A IM comprehende, em geral, muitos componentes. Alguns destes componentes podem ser estimados, com base na distribuição estatística dos resultados das séries de medições e podem ser caracterizados por desvios padrão e experimentais. Os outros componentes, que também podem ser caracterizados por desvios padrão, são avaliados por meio de distribuição de probabilidades assumidas, baseadas na experiência ou em outras informações;
- 3) Entende-se que o resultado de uma medição é a melhor estimativa do valor do mensurando, e que todos os componentes da incerteza, incluindo aqueles resultantes dos efeitos sistemáticos, como os componentes associados com correções e padrões de referência, contribuem para a dispersão.

De acordo com o *Guia*, quando se tem a incerteza de um resultado de medição expressa como um desvio padrão pode-se chamá-la de incerteza padrão (u).

2.1.2. Resultado de uma Medição (RM)

Valor atribuído a um mensurando obtido por medição. Em geral, o resultado da medição (RM) é somente uma aproximação ou estimativa do valor de uma quantidade específica que pode ser medida. Esse resultado somente estará completo quando estiver acompanhado de uma declaração quantitativa de sua incerteza.

A incerteza do RM geralmente possui várias componentes, que podem ser agrupadas em duas categorias (Tipo A e Tipo B), de acordo com o método usado para estimar seus valores numéricos.

2.1.3. Incerteza do Tipo A (I_A)

É a incerteza calculada a partir de uma série de observações repetidas e tem a sua variância estatisticamente estimada. É obtida através de uma função densidade de probabilidade derivada de uma distribuição de freqüência. A justificativa para essa avaliação está baseada no Teorema Central do Limite que afirma que a média das amostras tende para a média da população quando o número de medidas aumenta.

2.1.4. Incerteza do Tipo B (I_B)

É a incerteza calculada utilizando-se o conhecimento disponível. É obtida de uma suposta função densidade de probabilidade, baseada no grau de credibilidade de que um evento irá ocorrer. Essa função densidade é freqüentemente chamada de probabilidade subjetiva. Por exemplo, quando é sabido que qualquer valor da amostra pode ocorrer com a mesma chance (probabilidade) sem preferência para nenhum deles, deve ser usada uma distribuição uniforme para fazer a avaliação da incerteza.

2.1.5. Incerteza Combinada (u_c)

É a incerteza padronizada de um resultado de medição quando este resultado é obtido por meio dos valores de várias outras grandezas, sendo igual à raiz quadrada positiva de uma soma de termos, sendo estes as variâncias ou covariâncias destas outras grandezas, ponderadas de acordo com quanto o resultado da medição varia com mudanças nestas grandezas (*Guia*). Assim, a incerteza combinada é obtida com aplicação da Eq. (1).

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + \dots + u_p^2} \quad (1)$$

2.1.6. Incerteza Expandida (U)

É a grandeza que define um intervalo em torno do resultado de uma medição que pode ser esperado englobar uma grande fração da distribuição de valores que podem ser razoavelmente atribuídos ao mensurando (*Guia*).

Esta fração pode ser vista como a probabilidade de abrangência ou nível de confiança do intervalo.

Para associar um nível de confiança específico ao intervalo definido pela incerteza expandida, são necessárias suposições explícitas ou implícitas com respeito à distribuição de probabilidade caracterizada pelo resultado da medição e sua incerteza combinada. O nível de confiança que pode ser atribuído a este intervalo só pode ser conhecido na medida em que tais suposições possam ser justificadas.

A incerteza expandida é dada pela Eq. (2).

$$U = k \cdot u_c \quad (2)$$

Em aplicações nas áreas da engenharia é comum trabalhar com níveis de confiança de 95%. Para atingir este nível de confiança, a incerteza padrão combinada (u_c), que corresponde a apenas um desvio padrão, deve ser multiplicada por um coeficiente numérico, o coeficiente de Student. No “*Guia*”, este coeficiente é denominado de *fator de abrangência*, comumente representado pelo símbolo “ $k_{95\%}$ ” quando o nível de confiança 95% é usado.

A denominada *incerteza expandida* ($U_{95\%}$) corresponde à faixa de valores que enquadra a incerteza com nível de confiança de aproximadamente 95%. É estimada pela Eq. (3).

$$U_{95\%} = k_{95\%} \cdot u_c \quad (3)$$

Onde:

u_c é a incerteza padrão combinada;

$k_{95\%}$ é o fator de abrangência para o nível de confiança de 95%

$U_{95\%}$ representa a incerteza expandida para o nível de confiança 95%

É muito comum representar a incerteza expandida pelo símbolo U e o fator de abrangência pelo símbolo k , subentendendo-se que o nível de confiança é sempre 95%. O fator de abrangência $k_{95\%}$ equivale ao coeficiente de Student para dois desvios padrão.

2.1.7. Grau de Liberdade Efetivo (ν_{eff})

O grau de liberdade efetivo, geralmente representado por ν_{eff} , é obtido a partir valor de k de cada uma das incertezas envolvidas no estudo. O ν_{eff} é obtido a partir da fórmula de Welch-Satterthwaite expressa pela Eq. (4).

$$\nu_{eff} = \frac{u_c^4}{\frac{u_1^4}{\nu_1} + \frac{u_2^4}{\nu_2} + \frac{u_3^4}{\nu_3} + \dots + \frac{u_p^4}{\nu_p}} \quad (4)$$

2.2. Principais Fontes de Erro e Incerteza para a Medição

Na metrologia dimensional, as principais fontes de erros e incerteza na medição são:

- Influências externas: o mais crítico, de modo geral, é a variação da temperatura ambiente, embora outras grandezas como vibrações mecânicas, variações atmosféricas, umidade ou tensão da rede, também possam trazer alguma influência;
- Variação da temperatura ambiente: provoca dilatação das escalas dos instrumentos de medição, da mesma forma age sobre o mensurando, modificando o comprimento da peça a medir, provoca instabilidade interna dos sistemas elétricos de medição;
- Existência de atrito, folgas, imperfeições construtivas e o comportamento não ideal de elementos físicos são outros exemplos de perturbação interna;
- Modificação indevida do mensurando pela ação do SM, ou do operador, força de medição aplicada no mensurando, por exemplo;
- Modificação do mensurando por outros módulos da cadeia de medição: acontece, por exemplo, na conexão indevida de dispositivos registradores;
- Erros do operador: erros de interpolação na leitura, erros inerentes ao manuseio ou à aplicação irregular do sistema de medição.

2.3. Principais Fontes de Erro e Incerteza para a Calibração

Na calibração, as fontes de erros e incerteza mais comuns na metrologia dimensional são:

- Incerteza do sistema de medição ou padrão de referência;
- Incertezas associadas com a diferença de temperaturas entre o SM ou padrão de referência e sistema de medição a calibrar;
- Estabilidade do SM/padrão em função do tempo (grau de utilização/agressividade do meio);
- Resolução do SM;
- Deformação elástica do SM ou padrão de referência e sistema de medição a calibrar;
- Erros de co-seno, devido ao desalinhamento entre padrão e o eixo de medição do SM;
- Erros na geometria do padrão e do sistema de medição: planeza e esfericidade de sensores, retilineidade, planeza, paralelismo ou perpendicularidade de dispositivos auxiliares, circularidade em padrões cilíndricos e padrões de referência.

2.4. Principais Considerações na Avaliação da IM em Medição Direta

Na metrologia dimensional, em particular no caso de medição direta, dentre as principais fontes de incerteza podemos citar a incerteza da calibração do sistema de medição (I_C), o arredondamento devido à resolução do sistema de medição (I_R), a influência da diferença de temperatura entre a peça e a escala do sistema de medição (I_T) e a incerteza tipo A (I_A).

Com relação aos efeitos sistemáticos mais significativos podemos considerar que a tendência dos sistemas de medição é zero, que a influência da força de medição não é significativa e que sistemas de medição e peças são dos mesmos materiais. Sendo assim, não existem efeitos sistemáticos para serem corrigidos.

2.5. Avaliação e Expressão da Incerteza Pelo Método do *Guia*

A avaliação da incerteza usando o método proposto no *Guia* deve ser feita seguindo o seguinte procedimento:

- a) Expressar matematicamente a relação entre o mensurando e as grandezas de entrada das quais o mensurando depende ($Y = f(X_1, X_2, \dots, X_N)$). Essa expressão deverá conter as grandezas, incluindo suas respectivas correções e fatores de correção, que podem contribuir com um componente de incerteza significativo;
- b) Determinar o valor de cada uma das grandezas de entrada;
- c) Avaliar a incerteza padrão - u de cada estimativa de entrada;
- d) Avaliar as covariâncias associadas com quaisquer estimativas de entrada que sejam correlacionadas;
- e) Calcular o RM (estimativa y do mensurando Y) a partir da expressão matemática do item “a” usando as estimativas obtidas no item “b”;
- f) Determinar a incerteza combinada - $u_c(y)$ do RM de y a partir das u e das covariâncias com as estimativas de entrada;
- g) Multiplicar a $u_c(y)$ pelo fator de abrangência k (de acordo com o nível de confiança requerido) para obter a U e assim determinar o intervalo “ $y - U$ a $y + U$ ”;
- h) Relatar o RM de y juntamente com sua $u_c(y)$ ou U .

Assim, podemos resumir a forma de expressão do RM, por exemplo, usando a expressão mostrada na Eq. (5).

$$RM = Y = y \pm U \quad (5)$$

2.6. Avaliação e Expressão da Incerteza Pelo Método Alternativo

Segundo Liska (1999), nas indústrias de fabricação mecânica, inclusive nas certificadas pela ISO 9000, o cálculo de incerteza de medição - quando executado - ocorre na calibração de instrumentos de medição.

Dentre os diversos métodos de cálculo alternativos ao método proposto pelo *Guia*, apresentaremos um que pode ser considerado como representativo dentro da realidade atual.

É um procedimento bastante simples e segue as seguintes etapas:

- a) Verificar o valor nominal da medida a ser realizada;
- b) Verificar, no certificado de calibração do instrumento que realizará as medições, o valor da incerteza de calibração (I_c) correspondente ao valor nominal da medida a ser verificada;
- c) Calcular a média aritmética (\bar{M}) das medidas realizadas, conforme ISO 3534-1 (1993);
- d) Calcular o desvio padrão das medidas (s);
- e) Determinar o fator t de *Student* correspondente ao número de medidas (t);
- f) Calcular e relatar o valor do RM com base na Eq. (6).

$$RM = \bar{M} \pm (I_c + t.s) \quad (6)$$

2.7. Procedimento para Gerenciamento da Incerteza de Medição (PUMA)

Segundo a ISO 14253-2 (1999) o procedimento baseia-se na implementação de uma ferramenta iterativa que proporciona um auto-ajuste no cálculo da incerteza.

Quando o resultado da incerteza calculada não satisfizer a incerteza alvo, as condições conhecidas ou assumidas (método de medição, procedimento de medição, condições de medição, princípio de medição e incerteza alvo) devem ser alteradas, uma de cada vez, até que a condição adequada seja encontrada. O objetivo desse procedimento é de que a incerteza calculada enquadre-se com a especificação de conformidade, possuindo uma relação preestabelecida com o intervalo de tolerância do processo (IT) (normalmente $U < IT/5$ para aprovação do resultado).

3. COLETA DE DADOS

Para a elaboração deste trabalho foram realizados seis ensaios. Utilizou-se três SM com suas respectivas peças, sendo que no primeiro ensaio de cada par “SM/Peça” foram realizadas 5 medidas de cada peça e no segundo ensaio de cada par foram realizadas 10 medidas de cada peça.

A coleta de dados foi realizada uma única vez e serviu para a avaliação e expressão da incerteza de medição ao serem usados os dois métodos apresentados neste trabalho.

3.1. Características dos Sistemas de Medição

A Tab. (1) apresenta as características dos SM, onde o valor de $I_c 95\%$ é a incerteza de calibração do SM com nível de confiança de 95% e k é o fator de abrangência.

Tabela 1. Características dos sistemas de medição ensaiados.

Sistema de medição	Resolução	$I_c 95\%$	k
Paquímetro quadrimensional digital	0,01 mm	0,02 mm	2,3
Micrômetro externo milesimal (análogo)	0,001 mm	0,0025 mm	2,1
Máquina de medir universal (análogica)	0,0001 mm	0,0008 mm	2,1

3.2. Condições de Realização dos Ensaios

As medições efetuadas com o Paquímetro foram realizadas à temperatura de $(28 \pm 3) ^\circ\text{C}$; com o Micrômetro à temperatura de $(20 \pm 3) ^\circ\text{C}$ e com a Máquina de medir à temperatura de $(20 \pm 1) ^\circ\text{C}$.

3.3. Resultados Obtidos Usando o Método do Guia

Para a determinação do valor da incerteza de cada um dos pares ensaiados, será seguido o procedimento descrito no item 2.5. Como exemplo de cálculo, estão apresentados na Tab. (2) o valor de cada um dos fatores utilizados para a determinação da incerteza do paquímetro ao realizar as cinco medidas para a peça A1 (19,99; 19,97; 20,01; 20,03 e 20,03).

Tabela 2. Parâmetros para a determinação da incerteza da medição da peça A1 (em mm).

Média	I_A	I_{B1}	I_{B2}	I_{B3}	u_c	v_{eff}	$k_{95\%}$	$U_{95\%}$	RM
20,006	0,0117	0,0029	0,0087	0,0006	0,0148	9,2	2,26	0,0339	$20,006 \pm 0,034$

Onde:

I_A - Incerteza padrão do tipo A;

I_{B1} - Incerteza padrão em função da resolução limitada do SM (tipo B);

I_{B2} - Incerteza padrão em função da incerteza de calibração do SM (tipo B);

I_{B3} - Incerteza padrão devido à diferença de temperatura entre peça e SM, ambos de aço (tipo B).

Para os outros pares SM/Peça ensaiados os valores serão apresentados resumidamente da seguinte forma: a Tab. (3) para as medidas das peças do paquímetro, a Tab. (4) para as medidas das peças do micrômetro e a Tab. (5) para as medidas das peças da máquina universal. Todas as medidas e resultados estão em mm e o nível de confiança dos resultados é de 95%.

Tabela (3). Resultados obtidos com as medidas das peças do paquímetro.

Peça	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	RM (mm)	k
A1	19,99	19,97	20,01	20,03	20,03	-	-	-	-	-	(20.006 ± 0.034)	2,3
A2	19,98	19,96	19,95	19,98	19,98	-	-	-	-	-	(19.970 ± 0.024)	2,1
A3	19,99	19,99	20,03	20,00	20,00	-	-	-	-	-	(20.002 ± 0.025)	2,2
A4	20,04	19,96	20,01	20,02	20,05	-	-	-	-	-	(20.016 ± 0.044)	2,4
A5	19,96	19,98	19,96	19,99	20,00	-	-	-	-	-	(19.978 ± 0.026)	2,2
A6	19,94	20,04	19,97	19,98	20,02	20,01	20,02	20,01	19,97	19,97	(19.993 ± 0.028)	2,1
A7	20,02	20,01	19,98	19,99	20,00	20,01	20,00	19,98	20,05	20,01	(20.005 ± 0.024)	2,1
A8	20,00	20,02	20,02	19,98	19,98	20,03	19,97	19,96	20,02	20,02	(20.000 ± 0.025)	2,1
A9	20,06	20,04	20,03	20,00	20,00	20,01	20,00	19,97	19,96	20,02	(20.009 ± 0.028)	2,1
A10	20,01	20,02	20,01	19,97	20,03	19,99	19,98	19,98	19,99	19,99	(19.997 ± 0.023)	2,1

Tabela (4). Resultados obtidos com as medidas das peças do micrômetro.

Peça	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	RM (mm)	K
B1	22,001	22,000	22,000	21,999	22,000	-	-	-	-	-	(22.0000 ± 0.0027)	2,0
B2	22,001	21,999	21,999	22,000	22,000	-	-	-	-	-	(21.9998 ± 0.0027)	2,0
B3	21,999	22,001	22,000	22,000	22,002	-	-	-	-	-	(22.0004 ± 0.0028)	2,0
B4	21,999	21,999	22,000	21,999	22,002	-	-	-	-	-	(21.9998 ± 0.0028)	2,0
B5	21,999	21,999	22,000	22,000	22,001	-	-	-	-	-	(21.9998 ± 0.0027)	2,0
B6	21,998	22,000	22,000	22,002	21,998	21,998	21,998	22,001	22,002	22,000	(21.9997 ± 0.0028)	2,0
B7	21,999	22,001	22,001	21,999	22,001	22,001	22,000	21,998	22,001	22,001	(22.0002 ± 0.0027)	2,0
B8	22,000	21,999	22,001	22,000	22,001	22,002	22,000	21,999	22,000	21,999	(22.0001 ± 0.0027)	2,0
B9	22,001	22,000	22,000	22,000	22,000	22,000	21,999	22,002	22,002	22,001	(20.0005 ± 0.0027)	2,0
B10	21,999	21,999	22,001	22,000	22,000	22,000	21,998	22,000	21,999	21,999	(21.9995 ± 0.0021)	2,0

Tabela (5). Resultados obtidos com as medidas das peças da máquina universal.

Peça	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	RM (mm)	k
C1	25,0000	25,0004	24,9995	25,0005	25,0004	-	-	-	-	-	(25.0002 ± 0.0009)	2,0
C2	25,0005	25,0003	25,0003	25,0002	25,0002	-	-	-	-	-	(25.0003 ± 0.0008)	2,1
C3	24,9994	24,9997	24,9995	25,0006	24,9997	-	-	-	-	-	(24.9998 ± 0.0009)	2,1
C4	24,9997	25,0005	24,9999	25,0000	25,0000	-	-	-	-	-	(25.0000 ± 0.0009)	2,0
C5	24,9996	25,0001	25,0001	24,9998	25,0003	-	-	-	-	-	(25.0000 ± 0.0009)	2,1
C6	25,0003	25,0001	25,0005	24,9999	24,9996	24,9999	25,0004	25,0001	25,0003	24,9998	(25.0001 ± 0.0008)	2,1
C7	24,9996	24,9999	24,9995	25,0006	24,9998	25,0005	24,9995	25,0000	24,9998	25,0003	(25.0000 ± 0.0009)	2,0
C8	25,0007	24,9997	25,0001	25,0007	24,9999	25,0003	24,9998	25,0000	24,9997	25,0000	(25.0001 ± 0.0009)	2,0
C9	24,9997	24,9999	25,0002	25,0002	24,9998	25,0000	24,9999	24,9996	25,0000	25,0005	(25.0000 ± 0.0008)	2,1
C10	25,0000	25,0000	25,0004	24,9999	24,9995	25,0003	25,0001	24,9997	25,0000	24,9996	(25.0000 ± 0.0008)	2,1

3.4. Resultados Obtidos Usando o Método Alternativo

A partir dos certificados de calibração de cada um dos SM determinamos o valor da I_c correspondente ao valor nominal das peças ensaiadas. Em seguida determinamos a média aritmética das medidas de cada peça (\bar{M}), o desvio padrão (s) e o fator de Student (t) para cada par ensaiado. Após o levantamento destes valores, determinamos os valores do RM para cada par usando a formulação representada pela Eq. (6). Os valores encontrados foram tabelados e estão apresentados na Tab. (6).

Tabela (6). Resultados obtidos usando o método alternativo (em mm).

PEÇA	MÉDIA	I_c	t de STUDENT	s	IM	RM
A1	20,006	0,02	2,87	0,026	0,095	$(20,006 \pm 0,095)$
A2	19,970	0,02	2,87	0,014	0,061	$(19,970 \pm 0,061)$
A3	20,002	0,02	2,87	0,016	0,067	$(20,002 \pm 0,067)$
A4	20,016	0,02	2,87	0,035	0,121	$(20,016 \pm 0,121)$
A5	19,978	0,02	2,87	0,018	0,071	$(19,978 \pm 0,071)$
A6	19,993	0,02	2,32	0,031	0,093	$(19,993 \pm 0,093)$
A7	20,005	0,02	2,32	0,021	0,068	$(20,005 \pm 0,068)$
A8	20,000	0,02	2,32	0,025	0,079	$(20,000 \pm 0,079)$
A9	20,009	0,02	2,32	0,030	0,090	$(20,009 \pm 0,090)$
A10	19,997	0,02	2,32	0,019	0,065	$(19,997 \pm 0,065)$
B1	22,0000	0,0025	2,87	0,0016	0,0070	$(22,0000 \pm 0,0070)$
B2	21,9998	0,0025	2,87	0,0011	0,0060	$(21,9998 \pm 0,0060)$
B3	22,0004	0,0025	2,87	0,0010	0,0050	$(22,0004 \pm 0,0050)$
B4	21,9998	0,0025	2,87	0,0010	0,0050	$(21,9998 \pm 0,0050)$
B5	21,9998	0,0025	2,87	0,0008	0,0050	$(21,9998 \pm 0,0050)$
B6	21,9997	0,0025	2,32	0,0007	0,0040	$(21,9997 \pm 0,0040)$
B7	22,0002	0,0025	2,32	0,0008	0,0040	$(22,0002 \pm 0,0040)$
B8	22,0001	0,0025	2,32	0,0011	0,0050	$(22,0001 \pm 0,0050)$
B9	22,0005	0,0025	2,32	0,0013	0,0060	$(22,0005 \pm 0,0060)$
B10	21,9995	0,0025	2,32	0,0008	0,0040	$(21,9995 \pm 0,0040)$
C1	25,0002	0,0008	2,87	0,0004	0,0020	$(25,0002 \pm 0,0020)$
C2	25,0003	0,0008	2,87	0,0001	0,0010	$(25,0003 \pm 0,0010)$
C3	24,9998	0,0008	2,87	0,0005	0,0020	$(24,9998 \pm 0,0020)$
C4	25,0000	0,0008	2,87	0,0003	0,0020	$(25,0000 \pm 0,0020)$
C5	25,0000	0,0008	2,87	0,0003	0,0020	$(25,0000 \pm 0,0020)$
C6	25,0001	0,0008	2,32	0,0003	0,0010	$(25,0001 \pm 0,0010)$
C7	25,0000	0,0008	2,32	0,0004	0,0020	$(25,0000 \pm 0,0020)$
C8	25,0001	0,0008	2,32	0,0004	0,0020	$(25,0001 \pm 0,0020)$
C9	25,0000	0,0008	2,32	0,0003	0,0010	$(25,0000 \pm 0,0010)$
C10	25,0000	0,0008	2,32	0,0003	0,0010	$(25,0000 \pm 0,0010)$

4. ANÁLISE DOS DADOS

Os resultados encontrados usando os dois métodos propostos tem basicamente a mesma forma de apresentação: “ $RM = \bar{M} \pm IM$ ”, sendo que para o método do *Guia* o valor de *IM* corresponde a incerteza expandida (*U*) e para o método alternativo corresponde a “ $I_c + t.s$ ”. Entretanto, é preciso lembrar que o resultado da medição fornecido pelo método do *Guia* apresenta a média das medidas e seu respectivo intervalo de confiança levando-se em consideração os componentes da incerteza do Tipo A e do Tipo B e o resultado obtido pelo método alternativo corresponde a uma estimativa do intervalo das medidas observadas na peça. Em resumo, isso implica em significado diferente para os dois resultados e deve-se ter cuidado ao compará-los, uma vez que no caso do *Guia*, o resultado está relacionado ao intervalo de confiança da média das medidas e no método alternativo o intervalo está relacionado à dispersão das medidas observadas.

Tabela (7). Comparativo dos resultados encontrados para o valor da incerteza.

PEÇA	U (<i>Guia</i>) (mm)	$I_c + t.s$ (Alternativo) (mm)	$\frac{(I_c + t.s) - U}{U}$
A1	0,034	0,095	177,3%
A2	0,035	0,061	70,9%
A3	0,033	0,067	105,9%
A4	0,039	0,121	207,4%
A5	0,034	0,071	111,2%
A6	0,032	0,093	190,3%
A7	0,036	0,068	89,7%
A8	0,034	0,079	133,2%
A9	0,032	0,090	178,4%
A10	0,035	0,065	85,4%
Média	0,034	0,081	135,0%
R1	0,0034	0,0077	114,6%
B2	0,0032	0,0058	78,3%
B3	0,0032	0,0054	65,9%
B4	0,0033	0,0053	60,5%
B5	0,0032	0,0049	52,9%
B6	0,0032	0,0041	28,1%
B7	0,0032	0,0044	38,0%
B8	0,0034	0,0051	53,5%
B9	0,0033	0,0055	65,0%
B10	0,0033	0,0044	33,5%
Média	0,0033	0,0052	59,0%
C1	0,00083	0,0020	141,7%
C2	0,00083	0,0012	39,3%
C3	0,00083	0,0022	162,2%
C4	0,00083	0,0016	99,2%
C5	0,00083	0,0016	93,1%
C6	0,00083	0,0015	77,7%
C7	0,00083	0,0017	108,4%
C8	0,00083	0,0017	100,5%
C9	0,00083	0,0014	71,4%
C10	0,00083	0,0015	77,5%
Média	0,00083	0,00163	97,0%

5. CONCLUSÕES

Com os dados da Tab. (7) podemos verificar que, na média, o valor da incerteza pelo método alternativo é 97% maior que a incerteza pelo método do *Guia*.

Como dito anteriormente, essa comparação deve ser cuidadosa uma vez que os resultados obtidos a partir do procedimento do *Guia* estão relacionados ao intervalo de confiança da média das medidas e no caso do método alternativo o resultado está relacionado à dispersão das medidas observadas.

A decisão sobre a aplicabilidade de ambos os métodos requer a análise da tolerância do processo de fabricação juntamente com os resultados obtidos na avaliação da incerteza aplicando o Procedimento para Gerenciamento de Incerteza - *PUMA*. Em primeiro lugar deve ser analisado qual resultado é mais representativo da grandeza: a média com seu intervalo de confiança ou a média com o intervalo das observações, que é mais interessante quando se tem uma grandeza com grande variação. Além disso a escolha do método implica na escolha do SM empregado. Se a opção for pelo método do *Guia* a incerteza menor permite o uso de um SM mais barato, caso a opção seja pelo método alternativo, para um mesmo valor de incerteza o SM empregado será mais caro.

Utilizando-se ambos os métodos deve existir a preocupação em se corrigir os efeitos sistemáticos quando esses forem relevantes. No método alternativo não são feitas considerações quanto a diferença de temperatura entre peça e SM e se essa influência fosse significativa a incerteza estaria subestimada.

6. REFERÊNCIAS

- INMETRO, 1998, Guia para a Expressão da Incerteza de Medição – segunda Edição Brasileira.
- INMETRO, 1999, Expressão da Incerteza de Medição na Calibração – Versão Brasileira da Publicação EA-4/02.
- INMETRO, 2000, Vocabulário internacional de termos fundamentais e gerais de metrologia, 2.^a Edição, Brasília.
- INMETRO, 2003, NIT-DICLA-021- Expressão da Incerteza de Medição.
- ISO 3534-1, 1993, Statistics – Vocabulary and symbols – Part I: Probability and General Statistical Terms, International Organization for Standardization (Genebra, Suíça).
- ISO 14253-2, 1999, Geometrical product specifications (GPS) - Inspection by measurement of workpieces and measuring equipment – Part 2 : Guide to the estimation of uncertainty in GPS measurement, in calibration of measuring equipment and in product verification, Switzerland.
- Liska, A.F., 1999, “Controle Estatístico das Componentes da Incerteza em Processos de Medição de Parâmetros Geométricos”, Dissertação de Mestrado, UFSC, Florianópolis – SC.

7. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.

EVALUATION OF MEASUREMENT UNCERTAINTY OF INSTRUMENTS IN THE INDUSTRY: A COMPARISON BETWEEN PROCEDURES

José Leonardo Noronha

Universidade Federal de Itajubá. Av. BPS 1303, 37500-903, Itajubá, MG. jln@unifei.edu.br

Paulo Henrique Incerpi

Universidade Federal de Itajubá. Av. BPS 1303, 37500-903, Itajubá, MG. incerpi@unifei.edu.br

Luiz Fernando Barca

Universidade Federal de Itajubá. Av. BPS 1303, 37500-903, Itajubá, MG. barca@unifei.edu.br

Abstract. All measurement system no matter how accurate is, it will always present a error in indication, not mattering as, when or where the measurement system is being used. With this consideration, it can be said that a measurement system will be adapted to the use when the error, considering the uncertainty, it goes smaller than the tolerance specified by the production process. Doesn't exist a defined fixed relationship among the Measurement Uncertainty and the interval of tolerance of fabrication of the product, however, it is advisable that the tolerance is divided by a factor between 3 and 10. In the industrial environment, owed mainly to the structure of the calibration laboratories and the complexity of the calculations involved in the calculation of measurement uncertainty, a simplified formula is used for the determination of measurement uncertainty. The use of this formula results in a larger value than the value that be found to the method of more complete calculation to be used. This larger value, in many cases, can demand the use of a more accurate measurement system and usually of larger cost for acquisition, for calibration and for maintenance. This article objective is to show a formulation simplified for evaluation of the measurement uncertainty that allows reducing the costs of calibration of measurement instruments in the industry.

Keywords. measurement uncertainty, conformance, calibration.