



PROPOSTA PARA UNIFORMIZAR A DECLARAÇÃO DA MELHOR CAPACIDADE DE MEDIÇÃO PARA A CALIBRAÇÃO DE TRENAS

Sueli Fischer Beckert¹, Adriane Machado²

¹ Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, Joinville, Brasil, sueli@joinville.ufsc.br

² Sociedade Educacional de Santa Catarina - SOCIESC, Joinville, Brasil, adrianem@sociesc.org.br

Resumo: Para a estimativa da incerteza de medição devem ser levadas em consideração as principais fontes de variação que podem afetar o resultado. O escopo de laboratórios acreditados tem demonstrado a falta de uniformidade na declaração de suas melhores capacidades de medição, relacionadas a calibração de trenas. Este artigo propõe as principais fontes de incerteza a serem consideradas no cálculo da incerteza expandida para o erro de indicação, destacando o efeito cumulativo e a incerteza agrupada utilizada na avaliação tipo A.

Palavras chave: calibração, trena, incerteza de medição

1. INTRODUÇÃO

A princípio, a expressão da incerteza de medição é esperada na apresentação dos resultados de uma calibração. Desde a emissão do Guia para Expressão da Incerteza de Medição [1], em 1993, e reeditado pela ISO (*Internacional Organization for Standardization*) em 1995, sua aplicação na calibração foi praticamente imediata.

Mesmo a norma ABNT NBR ISO/IEC 17025: 2005 [2], que estabelece os requisitos para avaliação de laboratório, coloca como exigência a inclusão da incerteza de medição nos certificados de calibração.

Os passos para obtenção da incerteza estão relacionados tanto no ISO GUM [1], como em outros documentos normativos ou orientativos, como é o caso do documento de referência EA 4/02 [3].

No entanto, observando a lista de laboratórios acreditados aqui no Brasil, como em outros países, verifica-se uma discrepância entre as melhores capacidades de medição apresentadas pelos laboratórios, referente aos resultados de calibração de trenas.

Mesmo sendo um instrumento de simples aplicação na metrologia dimensional, ele evidencia problemas na aplicação do método para determinação da incerteza de medição.

Neste sentido, este artigo tem como objetivo propor o balanço de incerteza de medição, destacando dois aspectos que talvez sejam os causadores desta discrepância: o método de avaliação tipo A e o efeito cumulativo das incertezas.

A relevância deste tema está em apresentar uma proposta para contribuir na uniformidade do balanço de incerteza dos resultados de calibração em trena, sendo um exemplo a ser

aplicado a instrumentos que também necessitam considerar o efeito cumulativo.

A sequência do artigo é composta de quatro partes: levantamento das melhores capacidades de medição declaradas por laboratórios acreditados no Brasil, um método de calibração de trena, a proposta de balanço de incerteza de medição e a apresentação de um exemplo de aplicação.

2. PESQUISA SOBRE MELHOR CAPACIDADE DE MEDIÇÃO

A melhor capacidade de medição (MCM) é definida como sendo a menor incerteza de medição que um laboratório pode atingir no escopo sua acreditação, quando executa calibrações mais ou menos de rotina, de instrumentos de medição próximos do ideal projetados para medição daquela grandeza [3]. Ainda de acordo com o EA 4/02, a avaliação da melhor capacidade de medição de laboratórios de calibração acreditados deve ser baseada no método nele descrito, mas deveria ser normalmente sustentada ou confirmada por evidência experimental.

Conforme o *site* do Inmetro [4], atualmente existem 45 laboratórios acreditados para calibração de trena, com faixas de medição que variam de 5m a 200m. Destes, foram selecionados 40 laboratórios para análise das melhores capacidades de medição.

A Tabela 1 estratifica os laboratórios por melhor capacidade de medição declarada, sendo avaliados 3 comprimentos: 2m, 10 m e 30 m. Através da Tabela 1, é possível comprovar diferenças significativas nos valores apontados pelos laboratórios. Também é importante destacar que 9 laboratórios apresentaram a mesma melhor capacidade de medição para a faixa cadastrada em seu escopo.

Fazendo uma análise adicional no escopo de 13 laboratórios acreditados junto a Associação Americana de calibração (A2LA), também se verifica uma dispersão na declaração da melhor capacidade de medição [5]. Considerando a aplicação do mesmo método de medição por parte dos laboratórios (comparação com régua graduada ou similar), os laboratórios declararam para o comprimento de 2 m, valores de 0,2 mm até 1,7 mm de incerteza de medição. E para o comprimento de 10 m, esta dispersão ficou entre 0,2 mm e 6 mm.

Tabela 1. Melhor capacidade de medição declarada pelos Laboratórios Acreditados

MCM (mm)	Comprimento 2m		Comprimento 10 m		Comprimento 30 m	
	Qtd	%	Qtd	%	Qtd	%
Até 0,2	26	65	5	14	3	13
0,2 - 0,4	12	30	15	42	5	21
0,5 - 1,0	2	5	15	42	6	25
1,0 - 2,0	-	-	-	-	9	38
>2,0	-	-	1	3	1	4
Total	40		36		24	

Fonte: Inmetro [4]

Segundo a ABNT NBR ISO/IEC 17025:2005 [2], é necessário que as principais fontes de incerteza sejam consideradas, o que pode ser uma das causas de variação entre as melhores capacidades de medição entre os laboratórios.

De acordo com a norma ABNT NBR 10123:2010 [6], que estabelece os requisitos técnicos para a trena de fita de aço, tem-se que o erro máximo admissível para qualquer distância compreendida entre 2 marcas não consecutivas é de $\pm(0,1 + 0,1L)$ mm para trenas Classe I; e para trenas Classe II é de $\pm(0,3 + 0,2L)$ mm, sendo “L” o comprimento medido em m. Para medições mistas (medição entre a face de referência e marca), o erro máximo admissível é incrementado em $\pm 0,1$ mm para trenas Classe I, e em $\pm 0,2$ mm em trenas Classe II.

Como os erros máximos admissíveis do equipamento estão em função da distância, é possível também estabelecer a melhor capacidade de medição com base no comprimento medido.

3. MÉTODO DE CALIBRAÇÃO DE TRENA E COMPONENTES DE INCERTEZA DE MEDIÇÃO

De acordo com NIST [7][8], a calibração usual de trenas é feita em bancadas de 5 m, ou por comparação com trenas-padrão. Para medições com maior exatidão, a utilização do laser interferométrico é uma prática recomendada [9].

Para a norma ABNT NBR 10123:2010 [6], a calibração consiste na determinação do erro de indicação. Para isso, a trena é apoiada sobre uma superfície plana e horizontal, e é tracionada adequadamente. A medição da distância entre marcas da escala da trena é feita com uma régua graduada ou trena-padrão, utilizada como referência (Figura 1).

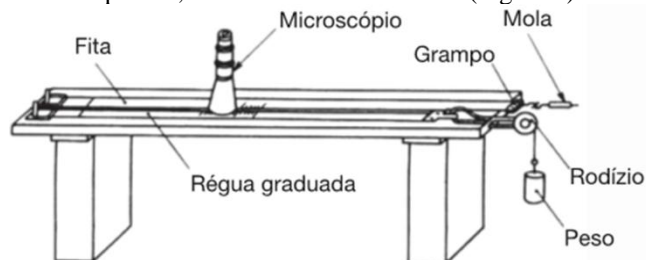


Figura 1. Exemplo de montagem para calibração de trena [6]

Com o auxílio de uma lupa graduada ou outro recurso óptico que permita a ampliação da imagem, é medida a diferença entre as indicações correspondentes da trena e do padrão utilizado.

As régua graduadas possuem um comprimento usual de 2m, o que exige o reposicionamento da trena sobre ela, no caso de comprimentos maiores. As medições são realizadas no meio do traço da trena e da régua. A utilização da lateral pode comprometer a medição, pois o padrão e o mensurando normalmente possuem espessuras de traço distintas. Um aspecto a ser considerado é a quantidade de ciclos a serem realizados. Como o processo de medição no reposicionamento da trena é similar do início ao final da calibração da trena, não é necessário mais do que dois ciclos de medição.

No caso de trenas com puxador com compensação (Figura 2), é necessária uma etapa adicional para medir o efeito nas medições internas e externas.

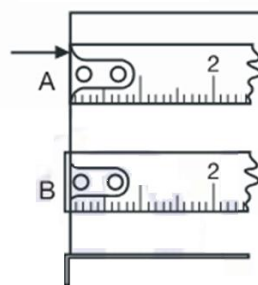


Figura 2. Trena com puxador com compensação [6]

Como fontes de incerteza de medição para o erro de indicação em trenas devem ser consideradas: a concordância inicial entre os traços da trena e da régua graduada, a incerteza dos padrões, a resolução aplicada para a leitura das medidas, a repetitividade das medições e a influência da temperatura.

4. BALANÇO DE INCERTEZA DE MEDIÇÃO

O procedimento, passo a passo, para o cálculo da incerteza de medição está apresentado no documento EA 4/02 [3], com as orientações para estimativa da incerteza de medição expandida.

Neste artigo, é considerado que a calibração da trena é feita por comparação com uma régua graduada de 2000 mm, e a medição entre as indicações do mensurando com o padrão é executada com o auxílio de uma lupa graduada. Devido a Norma ABNT NBR 10123:2010 [6] considerar a calibração entre duas marcas, inicialmente foi realizada a coincidência dos traços da trena e da régua graduada em 200 mm. Para trena com puxador com compensação isto é aplicável devido a dificuldade no alinhamento no início da régua graduada. Quando factível, faz-se o alinhamento no ponto “Zero” da trena e da régua graduada.

Até o comprimento de 2000 mm, a medição é direta, sendo necessário observar que o valor convencional (VC) do padrão é referenciado em 200 mm. Para a medição de comprimentos maiores, a trena é reposicionada a cada 2000 mm avaliados.

O modelo matemático para a obtenção do erro de indicação (y) é dado por:

$$y = -(C + D) - E_{PI} - E_R - E_{Temp} + E_{arred} + E_{rep} \quad (1)$$

onde:

- C = correção do padrão na indicação marcada na régua-graduada;
- D = diferença entre a posição na trena e na régua-graduada, sendo a medição referenciada na régua-graduada;
- E_R = correção devido a resolução da lupa;
- E_{PI} = Erro devido ao posicionamento inicial/reposicionamento da trena na posição inicial da régua-graduada;
- E_{Temp} = Erro devido a influência da temperatura;
- E_{arred} = Erro devido ao arredondamento;
- E_{rep} = erro acumulado até o posicionamento anterior da trena.

Para fins do cálculo do erro de indicação da trena, foram considerados “zeros”, os erros devido ao posicionamento inicial, a resolução da lupa, o arredondamento e o efeito da temperatura. No entanto, os efeitos aleatórios sobre as fontes de incerteza relevantes devem ser consideradas na obtenção da incerteza expandida. As incertezas-padrão das fontes de incerteza de medição são dadas por:

a) Incerteza-padrão devida às medições:

$$u_D = \frac{s_{ag}}{\sqrt{q}} \quad (2)$$

sendo s_{ag} o desvio-padrão agrupado, no qual são levados em consideração todos os desvios-padrão obtidos nas medições replicadas, e q é o número de ciclos de medição. s_{ag} é dado por:

$$s_{ag} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^q s_i^2}{n}} \quad (3)$$

onde n é o número de indicações avaliadas. O número de graus de liberdade (v_i) é obtido da expressão:

$$v_i = (q - 1) * n \quad (4)$$

b) Incerteza-padrão devida ao padrão:

$$u_C = \frac{U}{k} \quad (5)$$

U é a incerteza expandida obtida na calibração da régua graduada, e k o fator de abrangência, descritos no respectivo certificado de calibração. Para a lupa graduada, com tendência e incerteza inferiores a 0,01 mm, seu efeito é desprezível e, portanto não foi considerada neste trabalho;

c) Incerteza-padrão relativa à resolução da lupa, ao posicionamento inicial e ao arredondamento:

$$u_R = u_{PI} = u_{arred} = \frac{R}{2\sqrt{3}} \quad (6)$$

d) Incerteza padrão devida a temperatura de referência ser diferente de 20°C, calculada conforme o exemplo

apresentado no EA 4/02 [10], referente a calibração de bloco-padrão:

$$u_{T=20^\circ C} = \frac{\delta\alpha \cdot \Delta T}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{6}} \quad (7)$$

onde δα = diferença do coeficiente de dilatação linear entre o padrão e mensurando; e ΔT é a diferença de temperatura em relação à 20°C. O coeficiente de sensibilidade atribuído a esta incerteza padrão é igual ao comprimento medido;

e) Incerteza padrão devida a diferença de temperatura entre padrão e mensurando, também calculada conforme o exemplo apresentado no EA 4/02 [10]:

$$u_{temp} = \frac{\delta t}{\sqrt{3}} \quad (8)$$

onde δt é a diferença de temperatura entre padrão e mensurando. O coeficiente de sensibilidade atribuído a esta incerteza padrão é dado por:

$$c_{temp} = \alpha L \quad (9)$$

sendo α igual ao coeficiente de dilatação linear médio entre o padrão e mensurando e L é o comprimento medido;

f) u_(Eac) = incerteza combinada até a posicionamento anterior, considerando os respectivos graus de liberdade obtidos.

5. EXEMPLO DE APLICAÇÃO

Com a finalidade de esclarecer os conceitos apresentados anteriormente, na sequência é apresentado um exemplo de calibração de trena com faixa de medição de 8000 mm, para qual foi utilizada como padrão uma régua graduada. E as medições entre o mensurando e o padrão realizadas com uma lupa graduada com resolução de 0,1 mm.

Para fins de acompanhamento dos cálculos realizados, foram utilizadas as correções apresentadas na Tabela 2 para a régua graduada. Por exemplo, a régua graduada na indicação de 1000 mm possui um valor convencional de 1000,22 mm, utilizando a Indicação “0” como referência.

Tabela 2. Correção da régua graduada

Indicação (mm)	Correção (mm)	Indicação (mm)	Correção (mm)
0	0	900	0,21
200	0,06	1000	0,22
300	0,09	1200	0,26
400	0,11	1400	0,31
500	0,13	1500	0,33
600	0,15	1600	0,35
700	0,17	1800	0,49
800	0,19	2000	0,52

No início da calibração, foi realizado o alinhamento da indicação de 200 mm da trena com a régua graduada (Figura 3).

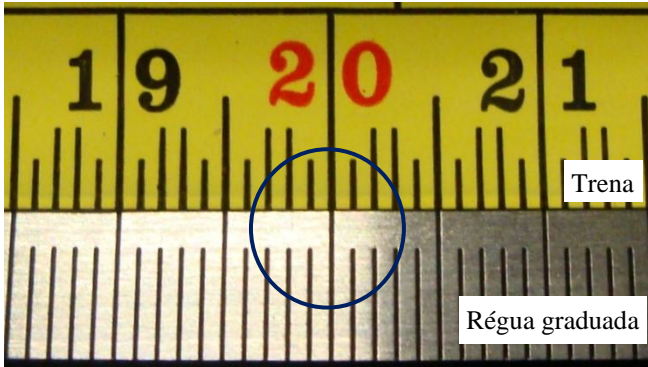


Figura 3: Alinhamento da trena com a régua-graduada em 200 mm

Para a calibração foram realizados 2 ciclos de medição, sendo os resultados obtidos na Tabela 3.

Tabela 3: Dados da calibração da trena (em mm)

Nr. de tombos	Indicação na trena	Posição na Régua Graduada	1a. Leitura	2a. Leitura
0	1000	1000	-0,3	-0,2
0	2000	2000	-0,4	-0,6
1	3000	1000	-0,3	-0,2
1	4000	2000	-0,4	-0,3
2	5000	1000	-0,2	-0,4
2	6000	2000	-0,5	-0,6
3	7000	1000	-0,2	0,0
3	8000	2000	-0,3	-0,4

As leituras apresentadas nas colunas a direita, correspondem a diferença entre as indicações na trena e régua graduada (Figura 4).

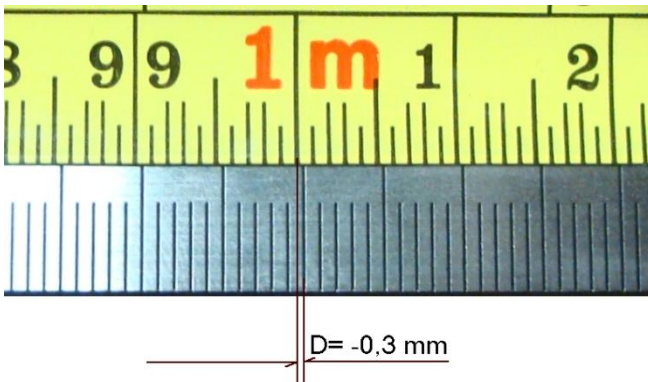


Figura 4: Exemplo da leitura D

Conforme pode ser observado na Figura 4, a leitura é feita do padrão para a trena. Neste caso, a indicação de 1000 mm na trena, corresponde a um valor anterior da indicação de 1000 mm no padrão.

Para determinação dos erros de indicação, é utilizada a Fórmula (1), considerando os erros devido a resolução da lupa, posicionamento inicial da trena, arredondamento e efeito da temperatura iguais a zero. Neste caso, a fórmula fica simplificada em:

$$y = -(C + D) + E_{rep} \quad (10)$$

A Tabela 4 apresenta os erros de indicação obtidos na calibração da trena.

Tabela 4: Erros de Indicação trena (em mm)

Indicação	Posição na régua graduada	Correção da régua graduada	(D) Média	Erro de Indicação	Erro de Indicação (arred)
1000	1000	0,16	-0,25	0,09	0,1
2000	2000	0,46	-0,50	0,04	0,0
3000	1000	0,22	-0,25	0,07	0,1
4000	2000	0,52	-0,35	-0,13	-0,1
5000	1000	0,22	-0,30	-0,05	-0,1
6000	2000	0,52	-0,55	-0,10	-0,1
7000	1000	0,22	-0,10	-0,22	-0,2
8000	2000	0,52	-0,35	-0,27	-0,3

Para auxiliar na interpretação da Tabela 4, são considerados dois casos:

- a) a calibração na indicação de 1000 mm foi feita por comparação com a régua-padrão, sendo inicialmente feito o alinhamento das duas escalas na indicação de 200 mm. Neste caso, está se avaliando uma diferença de 800 mm. A correção a ser aplicada na régua graduada é de 0,16 mm (0,22 mm – 0,06 mm), e a medida D é obtida da média das duas leituras realizadas (-0,25 mm). Neste caso, como ainda não houve nenhum reposicionamento da régua, tem-se que o erro de indicação da trena em 1000 mm é de $-(0,16 - 0,25) = +0,09$ mm. Fazendo o arredondamento para a quantidade de casas decimais aplicadas na leitura, tem-se que o erro de indicação é de +0,1 mm;
- b) a calibração na indicação de 6000 mm foi feita após o reposicionamento da trena, fazendo a indicação de 4000 mm coincidir com o zero da régua graduada, após 2 reposicionamentos da trena. Neste caso, é realizada a medida da diferença entre a indicação de 6000 mm da trena com a indicação de 2000 mm na régua graduada. A média das leituras foi $D = -0,55$ mm. Como o reposicionamento da trena foi no início da régua graduada, a correção a ser aplicada ao padrão é referente ao comprimento de 2000 mm, ou seja, $C = +0,52$ mm. O erro acumulado da trena em 4000 mm é de $E_{ac} = -0,13$ mm. Neste caso, o erro de indicação obtido para a indicação de 4000 mm na trena é de $-(0,52 + (-0,35)) + (-0,13) = -0,10$ mm.

Para a obtenção das demais indicações, o erro de indicação é obtido de forma similar.

Para a estimativa da incerteza de medição para o erro de indicação, é usual relacionar as fontes de incerteza em forma tabular, conforme apresentado na Tabela 5, permitindo facilitar os cálculos no balanço da incerteza. Nesta Tabela são relacionadas as fontes de incerteza, exceto a incerteza devido ao arredondamento e a incerteza acumulada até o posicionamento anterior.

Tabela 5: Balanço de incerteza para o erro de indicação

Fonte (x_i)	$u(x_i)$	Distrib	c_i	$u_i(y)$ (mm)	v_i/v_{eff}
D	0,073 mm	t	1	0,073	8
C	0,010 mm	N	1	0,010	∞
E_R	0,029 mm	R	1	0,029	∞
$E_{temp}(1)$	0,00000094	R	2000 mm	0,002	∞
$E_{temp}(2)$	0,577°C	R	0,023 °C ⁻¹ mm	0,013	∞
E_{PI}	0,029 mm	R	1	0,029	∞
Incerteza padrão $u^*(y)$ (mm)				0,085	15
Incerteza expandida U (mm)				0,19	k=2,20

Na Tabela 5 é apresentado um exemplo de cálculo de incerteza, sendo as incertezas padrão explicadas seguir:

a) Incerteza-padrão relativa às medições:

$$u_D = \frac{\delta_{ag}}{\sqrt{2}} = \frac{0,103 \text{ mm}}{\sqrt{2}} = 0,073 \text{ mm}$$

b) Incerteza-padrão relativa ao padrão, com os dados extraídos do certificado de calibração da régua graduada:

$$u_C = \frac{U}{k} = \frac{0,02 \text{ mm}}{2} = 0,01 \text{ mm}$$

c) Incerteza-padrão relativa a resolução da lupa e ao posicionamento inicial:

$$u_R = u_{PI} = \frac{R}{2\sqrt{3}} = \frac{0,1 \text{ mm}}{2\sqrt{3}} = 0,029 \text{ mm}$$

d) Incerteza padrão devida a temperatura de referência ser diferente de 20°C:

$$u_{T=20^\circ\text{C}} = \frac{\delta\alpha \cdot \Delta T}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{6}} = \frac{2 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1} \cdot 2^\circ\text{C}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{6}} = 0,00000094$$

tendo como coeficiente de sensibilidade $c_T = 2000 \text{ mm}$;

e) Incerteza padrão devida a diferença de temperatura entre padrão e mensurando:

$$u_{temp} = \frac{\delta t}{\sqrt{3}} = \frac{1^\circ\text{C}}{\sqrt{3}} = 0,577^\circ\text{C}$$

tendo como coeficiente de sensibilidade:

$$c_{temp} = 11,5 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1} \cdot 2000 \text{ mm} = 0,023 \text{ }^\circ\text{C}^{-1} \text{ mm}$$

Considerando que a incerteza combinada $u^*(y)$ é utilizada para as indicações das trenas que serão reposicionadas, optou-se por incluir separadamente a incerteza-padrão devido ao arredondamento.

A Tabela 6 apresenta, para as diferentes indicações calibradas, a incerteza combinada $u(y)$. Também apresenta o

resultado da calibração, composto pelo erro de indicação (y), incerteza expandida (U) e fator de abrangência (k).

Tabela 6. Resultado da calibração da trena (em mm)

Indicação	Erro de indicação	$u(y)$	v_{eff}	y	U	k
1000	0,09	0,090	19	0,1	0,2	2,15
2000	0,04	0,090	19	0,0	0,2	2,15
3000	0,07	0,124	34	0,1	0,3	2,08
4000	-0,13	0,124	34	-0,1	0,3	2,08
5000	-0,05	0,150	45	-0,1	0,3	2,06
6000	-0,10	0,150	45	-0,2	0,3	2,06
7000	-0,22	0,173	64	-0,2	0,4	2,00
8000	-0,27	0,173	64	-0,3	0,4	2,00

Os valores obtidos na Tabela 6 foram assim atribuídos:

a) para os comprimentos onde não foi realizado o reposicionamento da trena (neste caso para as indicações de 1000 mm e 2000 mm):

$$u(y) = \sqrt{0,085^2 + 0,029^2} = 0,090 \text{ mm}$$

onde o valor de 0,029 mm é a incerteza padrão devido ao arredondamento.

Os graus de liberdade efetivos foram obtidos pela fórmula de de Welch-Satterwaite[3]:

$$v_{eff} = \frac{0,090^4}{\frac{0,085^4}{15}} = 19$$

Para um nível de abrangência de 95,45%, tem-se $k=2,15$;

b) para comprimentos onde foram feitos os reposicionamento, é necessário calcular a incerteza combinada, levando em consideração a incerteza no último comprimento medido e a incerteza acumulada até o posicionamento. Por exemplo, para o comprimento de 6000 mm:

$$u(y) = \sqrt{0,085^2 + 0,124^2} = 0,150 \text{ mm}$$

Os graus de liberdade efetivos devem ser calculados, levando em consideração estas duas componentes:

$$v_{eff} = \frac{0,150^4}{\frac{0,085^4}{15} + \frac{0,124^4}{34}} = 49$$

Onde para um nível de abrangência de 95,45% tem-se $k = 2,06$. Quando os graus de liberdade forem superiores a 50, é aplicável $k = 2,00$.

A incerteza expandida, obtida pela multiplicação do fator de abrangência pela incerteza combinada, é declarada com a mesma quantidade de casas decimais do resultado da calibração y .

É importante destacar que os erros de indicação obtidos, são referenciados na indicação de 200 mm, com a finalidade de identificar o erro de marcação da trena. Para avaliar o efeito do puxador, a medição pode ser feita em um dispositivo, onde se tem a marcação de 200 mm, com uma face inicial e um rebaixo. Com o auxílio de um microscópio, é possível identificar o erro devido ao puxador, seja para medições internas como medições externas. Este erro pode ser acrescido ao erro de indicação, de forma a obter a tendência instrumental da trena.

No exemplo apresentado, foram realizados 3 reposicionamentos da trena. A incerteza expandida variou de 0,2 mm a 0,4 mm. Aplicando a regressão linear sobre a indicação da trena e a incerteza expandida (antes do arredondamento), é possível estabelecer a melhor capacidade de medição com base no comprimento medido.

A Figura 5 apresenta o diagrama de dispersão entre a indicação da trena L (em m) e a incerteza expandida U (em mm). Na mesma figura é representada a reta ajustada, com o respectivo coeficiente de Pearson (R^2).

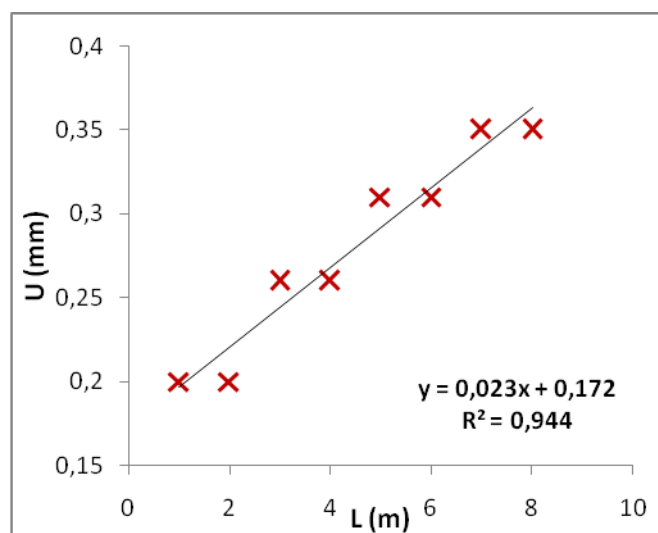


Figura 5. Incerteza expandida em função da indicação

Fazendo a adequação da reta ajustada, um exemplo da melhor capacidade de medição para o erro de indicação da trena é dado por:

$$\left(0,2 + \frac{L}{40}\right) \text{ mm, sendo } L \text{ em m}$$

Como a melhor capacidade de medição é obtida a partir das melhores condições de calibração que o laboratório pode executar em serviços de rotina, é recomendável realizar algumas calibrações variando as faixas de medição. Isto permitirá fazer uma estimativa apropriada da melhor capacidade de medição do laboratório.

CONCLUSÕES

Com base nos estudos realizados e nos resultados obtidos, é possível verificar que existem diferenças na incerteza de medição, de acordo com o comprimento avaliado. Um número menor de reposicionamentos e a utilização de um recurso óptico com menor resolução e

melhor repetitividade, pode contribuir para redução da incerteza de medição.

O exemplo aplicado no trabalho demonstra que o método com a utilização de régua graduada limitada em 2 m, com uma resolução de lupa em 0,1 mm é aplicável a trenas classe II, ainda com certa limitação. Ou seja, a obtenção de incertezas menores exigirá melhorias no método de medição utilizado.

Considera-se que este trabalho possa contribuir para a uniformização da apresentação das melhores capacidades de medição. É permitir que melhorias na apresentação do modelo matemático possam ser realizadas e testadas.

REFERÊNCIAS

- [1] BIPM, IEC, IFCC, ISO, IUPAC, IUPAP, OIML. *Guia para expressão da incerteza de medição*. 3ª. Edição brasileira. Rio de Janeiro: ABNT, INMETRO, 2003.
- [2] Associação Brasileira de Normas Técnicas. *ABNT NBR ISO/IEC 17025: Requisitos gerais para a competência de laboratórios de ensaio e calibração*. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.
- [3] EA Task Force Committee 2. EA 4/02: Expressão da incerteza de medição na calibração. Versão brasileira. Rio de Janeiro: Inmetro, ABNT, SBM, 1999.
- [4] www.inmetro.gov.br. Relação dos laboratórios acreditados. Disponível em http://www.inmetro.gov.br/laboratorios/rbc/consulta_servico.asp. Acessado em abril 2011.
- [5] <http://www.a2la.org>. Relação dos laboratórios acreditados. Disponível em <http://www.a2la.org/dirsearchnew/resultscurrent.cfm>. Acessado em abril 2011.
- [6] Associação Brasileira de Normas Técnicas. *ABNT NBR 10123: Instrumento de medição e controle – Trena de fita de aço - Requisitos*. Rio de Janeiro: ABNT, 2010.
- [7] NIST – Physical Measurement Laboratory. *SOP No 11 – Recommended Standard operations procedure for calibration of metal tapes - Bench Method*. 1986. Disponível em <http://ts.nist.gov/WeightsAndMeasures/CalibrationProcedures.cfm>. Acessado em julho 2011.
- [8] NIST – Physical Measurement Laboratory. *SOP No 12 – Recommended Standard operations procedure for calibration of steel tapes – Tape to tape Method*. 1986. Disponível em <http://ts.nist.gov/WeightsAndMeasures/CalibrationProcedures.cfm>. Acessado em julho 2011.
- [9] JEONG, D. Y.; SUH, H. S.; KIM, J. A.; KIM, J. W.; EOM, T. B. *50 m Linear measuring interferometer for calibration of survey tape*. 2006. Disponível em http://www.aspe.net/publications/Annual_2006/POSTERS/2METRO/2FORM/2071.PDF. Acessado em julho 2011.
- [10] EA Task Force Committee 2. EA 4/02: *Expression of the Uncertainty of measurement in calibration – Supplement 1 – Examples*, 1999. Disponível em <http://www.european-accreditation.org/n1/doc/ea-4-02.pdf>. Acessado em julho 2011.