

Evento: XXVIII Seminário de Iniciação Científica
ODS: 9 - Indústria, Inovação e Infra-estrutura

CÁLCULO DAS INCERTEZAS DE MEDIÇÃO NA CALIBRAÇÃO DE UM MICRÔMETRO EXTERNO¹

CALCULATION OF MEASUREMENT UNCERTAINTIES IN CALIBRATION AN EXTERNAL MICROMETER

Caroline Meinl Neumann², Tiago Ferreira Marques³

¹ Trabalho realizado na disciplina de Metrologia no curso de Engenharia Mecânica da Unijuí

² Aluna do Curso de Engenharia Mecânica da UNIJUÍ, carolmeinl@hotmail.com

³ Aluno do Curso de Engenharia Mecânica da UNIJUÍ, tiagomarquesengmec@gmail.com

INTRODUÇÃO

Conforme Santos, Silva e Galdino (2015, p. 187), “o micrômetro é um instrumento metrológico capaz de aferir as dimensões lineares de um objeto”. Estes instrumentos são amplamente utilizados na indústria mecânica e automotiva, pois permitem medir as dimensões de variados tipos de peças com uma precisão na casa milésima, sendo fundamentais para garantir processos que apresentam ajustes finos. De acordo com Souza e Arencibia (2011, p. 4), o funcionamento de um micrômetro externo “se baseia no Princípio de Palmer, que consiste no deslocamento axial de um parafuso com passo de alta exatidão no interior de uma porca fixa”.

Este trabalho tem por objetivo apresentar o desenvolvimento do processo de calibração de um micrômetro externo, seguindo parâmetros conforme a Norma NBR ISO/IEC 17025. Será demonstrado o procedimento das etapas de calibração de um instrumento através de uma coleta de dados realizada, onde serão calculadas as incertezas envolvidas. Através dos resultados obtidos, será descrita a conclusão, no qual será demonstrada se o sistema de medição está apto a ser utilizado ou não.

Palavras-chave: Instrumento; Blocos-Padrão; Amostras; Resolução.

Keywords: Instrument; Standard Blocks; Samples; Resolution.

METODOLOGIA

Para a realização deste trabalho, foi utilizado um Micrômetro externo, do tipo analógico, com uma faixa de medição de 0 a 25mm e resolução de 0,001mm. Foram utilizados também um suporte para micrômetros e um conjunto de blocos-padrão de classe 0, com tolerância para avaliação de 0,10µm. Conforme a Norma NBR NM-ISSO 3611 (1997), é adequado realizar medições em 10 diferentes pontos dentro da escala do instrumento, utilizando blocos com espessuras de 2,5 / 5,1 / 7,7 / 10,3 / 12,9 / 15,0 / 17,6 / 20,2 / 22,8 e 25,0 mm, sendo realizadas 5 medições para cada espessura de bloco a fim de identificar erros relacionados a repetibilidade.

Assim como qualquer processo de medição, o sistema de medição de um micrômetro apresenta incertezas, que podem ser relacionadas conforme Souza e Arencibia (2011, pg 12), como Erros Sistemáticos, provocado por uma grandeza de influência, podendo ser corrigido, desde que sua fonte seja detectada, Erro Aleatório, que não pode ser previsto e, portanto, não pode ser corrigido, podendo

Evento: XXVIII Seminário de Iniciação Científica

ODS: 9 - Indústria, Inovação e Infra-estrutura

apenas ser minimizado através do aumento do número de leituras consecutivas e o Erro Grosseiro, que é imprevisível, porém pode ser facilmente corrigido. De acordo com a norma NBR NM-ISO 3611 (1997), o erro de medição máximo admissível, para uma faixa de medição de 0 a 25 mm é de 4 µm.

O procedimento de calibração de um micrômetro externo com capacidade de até 100mm deve seguir a seguinte metodologia: Deixar o padrão e o instrumento a ser calibrado no laboratório de metrologia pelo tempo necessário para estabilização térmica; Separar as ferramentas e EPIs necessários para a realização da calibração, com o intuito de facilitar e melhorar a organização durante a calibração; Realizar a limpeza do micrômetro com pano limpo e álcool isopropílico; Verificar o funcionamento do micrômetro; Verificar a posição do zero das escalas principal e do tambor, para ver se o mesmo está zerado, se não estiver, zerar o mesmo; Realizar as calibrações em cima de mesas ou balcões, sem vibração; Usar suporte para fixar o micrômetro; Executar a calibração com blocos padrão de classe “0” ou “1”; Monitorar as condições de temperatura e umidade relativa do ar da sala onde é realizada a calibração; Realizar as leituras das medições de modo a evitar o erro de paralaxe; Realizar 5 medições para cada comprimento; Os valores encontrados devem ser anotados para posterior análise e elaboração do certificado de calibração; A partir das leituras realizadas realizar os cálculos com o intuito de determinar os erros de medição e incertezas envolvidas; Verificar os Critérios de Aceitação.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao realizar-se a calibração, obteve-se os seguintes valores nas indicações, conforme tabela 1.

Tabela 1: Valores das Indicações

| Seq. | VVC | Indicações | | | | |
|------|-------|------------|--------|--------|--------|--------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 1 | 2,50 | 2,502 | 2,501 | 2,5 | 2,501 | 2,501 |
| 2 | 5,10 | 5,103 | 5,103 | 5,103 | 5,103 | 5,102 |
| 3 | 7,70 | 7,703 | 7,701 | 7,702 | 7,702 | 7,703 |
| 4 | 10,30 | 10,302 | 10,302 | 10,302 | 10,301 | 10,301 |
| 5 | 12,90 | 12,903 | 12,904 | 12,901 | 12,901 | 12,902 |
| 6 | 15,00 | 15,003 | 15,003 | 15,002 | 15,001 | 15,002 |
| 7 | 17,60 | 17,604 | 17,603 | 17,604 | 17,604 | 17,603 |
| 8 | 20,20 | 20,2 | 20,203 | 20,204 | 20,203 | 20,204 |
| 9 | 22,80 | 22,807 | 22,806 | 22,806 | 22,806 | 22,807 |
| 10 | 25,00 | 25,006 | 25,006 | 25,005 | 25,005 | 25,005 |

Fonte: Adaptado de Souza e Arencibia (2011)

Nesta tabela, VVC indica o Valor Verdadeiro Convencional, que representa o valor de cada bloco padrão. Para cada ponto de medição é calculada a média (\bar{x}) das 5 medições pela equação 1; seu desvio padrão (S) pela equação 2, onde “n” é o número de amostras; também é calculado o erro de indicação (EI) pela equação 3.

Evento: XXVIII Seminário de Iniciação Científica
ODS: 9 - Indústria, Inovação e Infra-estrutura

Equação (1)

$$x = \frac{\sum \text{Amostras}}{\text{número de amostras}}$$

Equação (2)

$$S = \sqrt{\frac{\sum (VVC - x)^2}{n - 1}}$$

Equação (3)

$$EI = x - VVC$$

Obtêm-se então os seguintes resultados, conforme tabela 2:

Tabela 2: Média, Desvio Padrão e Erro de Indicação

| Seq. | VVC | Média | Desvio Padrão | Erro de Indicação |
|------|-------|---------|---------------|-------------------|
| 1 | 2,50 | 2,5010 | 0,0007071 | 0,0010 |
| 2 | 5,10 | 5,1028 | 0,0004472 | 0,0028 |
| 3 | 7,70 | 7,7022 | 0,0008367 | 0,0022 |
| 4 | 10,30 | 10,3016 | 0,0005477 | 0,0016 |
| 5 | 12,90 | 12,9022 | 0,0013038 | 0,0022 |
| 6 | 15,00 | 15,0022 | 0,0008367 | 0,0022 |
| 7 | 17,60 | 17,6036 | 0,0005477 | 0,0036 |
| 8 | 20,20 | 20,2028 | 0,0016432 | 0,0028 |
| 9 | 22,80 | 22,8064 | 0,0005477 | 0,0064 |
| 10 | 25,00 | 25,0054 | 0,0005477 | 0,0054 |

Fonte: Própria Autoria (2020)

A seguir foram calculadas as seguintes incertezas: Incerteza das amostras; incerteza decorrente da resolução do micrômetro; incerteza decorrente da resolução do bloco padrão e incerteza herdada do bloco padrão. Para evitar a utilização de números muito pequenos, para o cálculo das incertezas foram transformadas as unidades de milímetros para pra micrometros. Para o cálculo das incertezas foram levadas em conta as seguintes informações: Número de amostras: 5; Resolução do micrômetro: 1µm; Resolução do Bloco padrão: 0,1µm; Valor herdado do bloco padrão: 0,05µm;

A incerteza das amostras é determinada pelo cálculo da incerteza de Repetibilidade (u_{Re}), pela equação 4, onde “S” representa o desvio padrão amostral e “n” o número de amostras. A incerteza decorrente da resolução adotada do micrômetro (u_{ResM}) é determinada pela equação 5, onde “ResM” representa a resolução do micrômetro. A incerteza decorrente da resolução do bloco padrão (u_{ResBP}) é determinada pela equação 6, onde “ResBP” representa a resolução do bloco-padrão. A incerteza herdada do bloco padrão (u_{BP}) é calculada a partir da Incerteza de medição do bloco-padrão (UBP) pela equação 7, onde “KBP” é o fator de abrangência para (95,45%), e deve ser considerado igual a dois.

Equação (4)

$$u_{Re} = \frac{S}{\sqrt{n}}$$

Equação (5)

$$u_{ResM} = \frac{ResM}{\sqrt{3}}$$

Equação (6)

$$u_{ResBP} = \frac{ResBP}{\sqrt{3}}$$

Equação (7)

$$u_{BP} = \frac{UBP}{KBP}$$

Após o cálculo das incertezas, é calculada a incerteza combinada (u_c) para cada ponto de medição, pela equação 8, onde são consideradas as incertezas anteriormente calculadas. Também é calculado o número de graus de liberdade efetivos para cada ponto, e, como o número de graus de liberdade para a Resolução do Micrômetro, Resolução do Bloco-Padrão e Incerteza do Bloco-Padrão é infinito,

Evento: XXVIII Seminário de Iniciação Científica

ODS: 9 - Indústria, Inovação e Infra-estrutura

pela regra matemática, um valor dividido por infinito, tem como resultado 0, logo o valor do número de graus efetivos pode ser simplificado pela equação 9, onde “Vre” corresponde ao número de graus de liberdade para a repetitividade, que é igual a 4 neste caso. Em seguida, conforme tabela do coeficiente “t” de Student para uma faixa de abrangência 2,00 σ ou probabilidade de 95,45%, é definido o coeficiente “t” de acordo com os graus de liberdade calculados, para cada ponto de medição. Por último é determinada a Incerteza expandida (U), que consiste na multiplicação da incerteza combinada pelo coeficiente “t” de Student, conforme equação 10.

Equação (8)

$$uc = \sqrt{(uRe)^2 + (uResM)^2 + (uResBP)^2 + (uBP)^2}$$

Equação (9)

$$Vef = \frac{uc^4 * Vre}{uRe^4}$$

Equação (10)

$$U = uc * t$$

Obtêm-se os seguintes resultados, conforme tabela 3.

Tabela 03: Incertezas

| INCERTEZAS μm | | 5 | 1 | 0,1 | 0,05 | | | | |
|---------------|------|----------|----------------------|------------------------|-------------------------|---------------------|--------------------|-----------------|---------------------|
| Seq. | VVC | Amostras | Resolução Micrômetro | Resolução Bloco Padrão | Herdada do Bloco Padrão | Incerteza Combinada | Graus de Liberdade | Coeficiente "t" | Incerteza Expandida |
| 1 | 2,5 | 0,31623 | 0,57735 | 0,05774 | 0,025 | 0,66128 | 76,49 | 2,036 | 1,35 |
| 2 | 5,1 | 0,20000 | | | | 0,61424 | 355,87 | 2,013 | 1,24 |
| 3 | 7,7 | 0,37417 | | | | 0,69086 | 46,49 | 2,064 | 1,43 |
| 4 | 10,3 | 0,24495 | | | | 0,63031 | 175,38 | 2,017 | 1,27 |
| 5 | 12,9 | 0,58310 | | | | 0,82298 | 15,87 | 2,181 | 1,79 |
| 6 | 15 | 0,37417 | | | | 0,69086 | 46,49 | 2,064 | 1,43 |
| 7 | 17,6 | 0,24495 | | | | 0,63031 | 175,38 | 2,017 | 1,27 |
| 8 | 20,2 | 0,73485 | | | | 0,93664 | 10,56 | 2,284 | 2,14 |
| 9 | 22,8 | 0,24495 | | | | 0,63031 | 175,38 | 2,017 | 1,27 |
| 10 | 25 | 0,24495 | | | | 0,63031 | 175,38 | 2,017 | 1,27 |

Fonte Própria Autoria (2020)

No número 8 da sequência, que corresponde ao ponto de medição de 20,2 mm, foi encontrada a maior incerteza expandida de 2,14μm, e para esse ponto foi então preenchida a tabela 4, de balanço de incertezas.

Evento: XXVIII Seminário de Iniciação Científica
ODS: 9 - Indústria, Inovação e Infra-estrutura

Tabela 4: Balanço de Incertezas

| BALANÇO DE INCERTEZAS | | | | | | |
|-----------------------|-------------------------------------|-----------------------------|----------|--------------|----------------|----------|
| Processo de medição: | | Calibração de um Micrometro | | | Unidade: | mm |
| Ponto do instrumento | | 20,2 | EFEITOS | | | |
| Fontes de incertezas | | Sistemáticos | | Aleatórios | | |
| Símbolo | Descrição | correção | <i>a</i> | distribuição | <i>u</i> | <i>v</i> |
| Re | Repetitividade natural | -0,0028 | - | Normal | 0,000735 | 4 |
| ResM | Resolução do Micrômetro | - | 0,001 | Retangular | 0,000577 | ∞ |
| ResBP | Resolução do Bloco Padrão | - | 0,0001 | Retangular | 0,000058 | ∞ |
| UBP | Incerteza expandida do Bloco Padrão | - | - | Normal | 0,000025 | ∞ |
| <i>C_c</i> | correção combinada | -0,0028 | - | - | - | - |
| <i>u_c</i> | incerteza combinada | | | Normal | 0,00094 | 10 |
| <i>U</i> | incerteza expandida | | | Normal | 0,00214 | - |

Fonte: Própria Autoria (2020)

O resultado da medição é expresso pela equação 11.

$$\text{Equação (11)} \quad RM = \bar{I} \pm (C_c + U)$$

Neste caso, *C_c* representa o valor da correção combinada, que se resume na correção da Repetitividade natural, matematicamente representada pela diferença entre a média das indicações e o valor verdadeiro convencional. A média das indicações (*I*) nesse ponto foi de 20,2028mm, e o valor verdadeiro convencional é de 20,2mm. Logo, o resultado de medição para o ponto de maior incerteza expandida é o seguinte: $RM=20,2028\pm(0,0028+0,00214)$. Respeitando a resolução do instrumento calibrado, têm-se como resultado de medição para o ponto de 20,2mm: $RM=(20,203\pm0,005)$ mm.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Foi possível realizar o procedimento de calibração de um micrômetro externo, obtendo resultados realistas, considerando as fontes de incerteza envolvidas na calibração. Ao realizar a análise do erro máximo encontrado, conclui-se que este micrômetro externo está fora dos padrões especificados pela norma NBR NM-ISO 3611 (1997), que indica que para um micrômetro de 0 a 25 mm o erro máximo admissível é de 4µm, sendo que no ponto 9 de 22,8mm foram encontrados erros de até 6,4µm. O ponto 10 de 25mm também está fora do recomendável, com um erro de 5,4µm. Logo, esse micrômetro somente deve ser utilizado para processos auxiliares que exijam pouca tolerância dimensional, não sendo recomendado para utilização em liberação direta de produto. No ponto 8, de 20,2mm foi encontrada a maior Incerteza Expandida. Neste ponto a maior fonte de incertezas aleatórias é a repetitividade natural, enquanto que a menor é a Incerteza expandida do Bloco Padrão.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM-ISO 3611**: Micrômetro para medições externas. Rio de Janeiro, 1997. 12 p.

SANTOS, Fernando; SILVA, Kleber; GALDINO, Luciano. **Dispositivo De Calibração De Trena**

Evento: XXVIII Seminário de Iniciação Científica

ODS: 9 - Indústria, Inovação e Infra-estrutura

E Régua Graduada. Augusto Guzzo Revista Acadêmica. [S.l], n.16, 2015, p. 183-197

SOUZA, Cláudio; ARENCIBIA, Rosenda. **Adequação da calibração do micrômetro para externos à NBR ISO/IEC 17025.** Minas Gerais. 2011

Parecer CEUA: 98163218.7.0000.5350