

Estudo do erro sistemático ou tendência e repetitividade de um instrumento de medição

Study of the systematic error or trend and repeatability of a measuring instrument

João Cirilo da Silva Neto¹

¹CEFET-MG-Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - Unidade Araxá.
jcirilo@araxa.cefetmg.br

Resumo: As medições estão sempre sujeitas a erros porque muitos fatores podem interferir nos resultados. Por isso, é sempre importante calcular os erros que um sistema pode apresentar, antes de se considerar que uma medida está correta. O objetivo deste trabalho é mostrar um estudo experimental para calcular o erro sistemático ou tendência e repetitividade de um micrômetro externo, considerando um número finito de repetições.

Palavras-chave: Metrologia, Erros de Medição, Erro Sistemático, Tendência.

Abstract: Measurements are always subject to error because many factors can to interfere in the results. Therefore, is always important to calculate the errors that a measuring system may, before considering a measure is correct. The objective of this work is to show an experimental study for to calculate the systematic error or trend and repeatability of an external micrometer. A finite number of replicates was considered.

Keywords: Metrology, Measurement Errors, Systematic Error, Trend.

1. INTRODUÇÃO

De uma maneira geral, uma medição não está isenta de imperfeições. Portanto, o estudo dos erros deve ser valorizado na metrologia. Esta realidade, muitas vezes, não é observada porque, geralmente, os próprios operadores desconhecem os fundamentos básicos dos erros de medição.

Normalmente, não se consegue um sistema de medidas perfeito; o mensurando pode apresentar variações. Assim, é impossível eliminar completamente o erro durante uma análise metrológica. O que se pode fazer é delimitar as fontes de erros. Como isso, é possível obter

informações confiáveis da dimensão de mensurando, mesmo sabendo-se que erros estão envolvidos no processo. Para tanto deve-se conhecer a ordem de grandeza e a natureza dos erros envolvidos. Em alguns casos, a tolerância dimensional pode ser um parâmetro de verificação de erros. Com esse trabalho foi possível mostrar o cálculo do erro sistemático ou tendência e repetitividade de um micrômetro externo, considerando 10 repetições em um eixo que foi usinado por retificação cilíndrica.

O trabalho foi estruturado de modo a mostrar as definições gerais, procedimento experimental, resultados e as considerações finais.

2. DEFINIÇÕES GERAIS

Define-se metrologia como sendo a ciência das medidas e das medições [1]. A metrologia se aplica em todos os ramos da ciência em que é necessária a utilização da tecnologia de medição. Por isso, esta atividade tem sido muito valorizada no Brasil e no mundo.

O conceito de “erro de medição” pode ser utilizado [2]:

a) quando existe um único valor de referência, o que ocorre se uma calibração for realizada por meio de um padrão com um valor medido cuja incerteza de medição é desprezível, ou se um valor convencional for fornecido. Nestes casos, o erro de medição é conhecido.

b) caso se suponha que um mensurando é representado por um único valor verdadeiro ou um conjunto de valores verdadeiros de amplitude desprezível. Neste caso, o erro de medição é desconhecido. Não se deve confundir erro de medição com erro de produção ou erro humano.

Na prática, o valor "verdadeiro" é desconhecido. Usa-se então o chamado *valor verdadeiro convencional* (VVC), isto é, o valor conhecido com erros não superiores a um décimo do erro de medição esperado.

Os erros de medição são áreas da metrologia que tem grande importância na caracterização de um mensurando porque mostram a qualidade preliminar de uma medida materializada, tomando como base cálculos estatísticos e aspectos científicos pré-determinados. O erro sistemático ou tendência de um instrumento de medição é característico de qualquer processo de medição. Por isso, é importante saber determiná-lo quando for feita qualquer medição.

Portanto, o erro sistemático: é a parcela previsível do erro. Corresponde ao erro médio. Erro aleatório: é a parcela imprevisível do erro. É o agente que faz com que medições repetidas levem a distintas indicações [3].

Para o cálculo do erro sistemático ou tendência deve-se considerar um número suficiente de réplicas, tendo em vista que uma única medição não é o suficiente para se ter certeza do comportamento metrológico um instrumento de medição. Como também não é possível fazer infinitas medições, o número adequado de repetições vai depender da realidade de cada processo ou do nível de exatidão requerido (equação 1).

$$T_d = E_s = (\bar{x}) - VVC \quad (1)$$

Em que T_d : tendência de instrumento de medição; E_s : erro sistemático; (\bar{x}) : média de n medições; VVC : Valor verdadeiro convencional.

O erro aleatório, que é definido como sendo o componente do erro que, em medições repetidas, varia de maneira imprevisível [1], pode ser quantitativamente determinado através da repetitividade (Re). A repetitividade “Equação 2” de um instrumento de medição é uma faixa simétrica de valores dentro da qual, com uma probabilidade estatística definida, se situa o erro aleatório [2]:

$$Re = \pm t.s \quad (2)$$

Re: Faixa de dispersão dentro da qual se situa o erro aleatório, considerando, nesse caso, uma probabilidade $P=95\%$, s é desvio padrão experimental.

t: Coeficiente t-Student, em $t = f(n, P)$, em que: $n = n^\circ$ de medidas; $P =$ probabilidade. (n e p são tabelados) e o cálculo de t , que é tabelado [4], [5].

3. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Para o cálculo do erro sistemático ou tendência e repetitividade foi utilizado um eixo-padrão (diâmetro 25,000 mm, que é o VVC), “Figura 1”, de aço carbono ABNT 1020, retificado em uma retificadora cilíndrica universal.



Figura 1. Eixo-padrão (diâmetro 25,000 mm).

O diâmetro do eixo-padrão foi medido com um micrômetro externo de resolução 0,001 mm. Após dez repetições (aleatórias) em todo o comprimento do eixo, foram encontrados os resultados mostrados na “Tabela 1”.

Essa metodologia foi referenciada em [6], em que diz: “Se o processo de medida for repetido inúmeras vezes em condições supostamente idênticas, serão obtidas inúmeras leituras do instrumento que normalmente não serão todas iguais. Isto significa que nunca é possível garantir condições perfeitamente idênticas para cada tentativa. Todavia, estas leituras podem ser usadas para a estimativa numérica do erro associado ao processo de medida. Para tal, os dados acima devem compor uma seqüência aleatória ou, em outras palavras, o processo de medida deve estar em condições de controle estatístico”.

Tabela 1. Resultados obtidos na variação das medidas (mm)

Testes	Resultado das medições (mm) do eixo padrão
1	25,010
2	25,015
3	25,011
4	25,014
5	25,012
6	25,009
7	25,016
8	25,013
9	25,008
10	25,012

3.1. Cálculo do erro sistemático ou tendência

Para calcular erro sistemático ou tendência “Equação 1”, inicialmente, é necessário calcular

a média aritmética (\bar{x}). Nesse caso, a média (\bar{x}) = 250,12/10=25,012 mm.

Logo, com base na “Equação 1”, calcula-se: $T_d = E_s = 25,012 - 25,000 = 0,012$ mm.

3.2. Cálculo da repetitividade

Para calcular a repetitividade é necessário calcular o desvio padrão experimental (s), com base na “Equação 3”, em que o número de repetições (n) é 10.

$$s = \sqrt{\frac{\sum(x - \bar{x})^2}{n - 1}} \quad (3)$$

Levando em conta os dados da Tabela 1 e aplicando os mesmos na “Equação 3”, encontra-se **s= 0,003 mm**.

Para calcular t: Coeficiente t-Student, deve-se considerar 95% de probabilidade, isto quer dizer que existem 95% de chance de as dez medições se enquadrarem nesse percentual “Tabela 2”.

Tabela 2. Coeficiente de Student (t) para 95% de confiança

Graus de liberdade	1	2	3	...	8	9	10	11	...	15	...	∞
Coeficiente de Student (t)	12,17	4,3	3,18		2,31	2,26	2,23	2,20		2,13		1,96

Com base nessas informações e considerando um grau de liberdade (n-1)=10-1=9 e 95% de probabilidade, na “Tabela 2”, encontra-se: **t = 2,26**. O cálculo da repetitividade é feito com base na “Equação 2”.

Logo: $Re = \pm 2,26 \cdot 0,003 = \pm 0,007$ mm.

4. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Essa repetitividade ($\pm 0,007$ mm) deve ser interpretada de modo que existem 95% de probabilidade de o erro aleatório se enquadrar dentro de uma faixa simétrica de $\pm 0,007$ mm, centrada em torno do valor médio do diâmetro do eixo que é 25,012 mm.

Para eliminar totalmente o erro de medição é necessário empregar um sistema de medição perfeito sobre o mensurando, sendo este perfeitamente definido e estável. Em procedimentos experimentais, geralmente, não se consegue um sistema perfeito e o mensurando pode apresentar variações.

Portanto, é impossível eliminar completamente o erro de medição. Mas é possível, ao menos, delimitá-lo. Mesmo sabendo-se da existência do erro de medição, é ainda possível obter informações confiáveis da medição, desde que a ordem de grandeza e a natureza deste erro sejam conhecidas.

Para expressar o resultado da medição (RM) do diâmetro do eixo, deve-se utilizar a “Equação 4”, em que n é o número de repetições (nesse caso são dez).

$$RM = (\bar{T}) - Td \pm Re/n^{1/2} \quad (4)$$

Logo: $RM = 25,012 - 0,012 \pm 0,007/3,162 = 25,000 \pm 0,002$ mm.

A maneira correta de expressar o resultado da medição (RM) é:

$$RM = 25,000 \text{ mm} \pm 0,002 \text{ mm}$$

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.

Como a determinação do resultado de uma medição (RM) depende de vários fatores, a determinação analítica da mesma requer procedimentos que envolvem cálculos matemáticos e estatísticos que levam em consideração tanto aspectos físicos do instrumento, bem como a existência de erros.

O conhecimento aproximado do erro sistemático ou tendência, da repetitividade e a

caracterização da parcela aleatória é sempre desejável, pois isto torna possível sua correção parcial e a delimitação da faixa de incerteza ainda presente no resultado de uma medida.

Finalmente, se fosse estabelecido esse resultado como um critério de tolerância de fabricação de outros eixos, todos os eixos que fossem produzidos com dimensões entre 24,998 mm e 25,002 mm estariam dentro de uma tolerância de fabricação pré-estabelecida.

6. REFERÊNCIAS

- [1] INMETRO - Instituto Nacional de Metrologia Normalização e Qualidade Industrial, 2012. Vocabulário Internacional de Metrologia: Conceitos Fundamentais e Gerais e Termos Associados (VIM 2012). Rio de Janeiro, Edição Luso-Brasileira, 95 p.
- [2] Silva Neto, J. C. 2012, Metrologia e Controle Dimensional: Conceitos, Normas e Aplicações. Rio de Janeiro: Editora Elsevier, 239 p.
- [3] ALBERTAZZI, A.; SOUSA, A. R. Fundamentos de Metrologia científica e industrial. Barueri. SP: Manole, 2008, 407 p.
- [4] TOLEDO, G. Luciano & OVALLE, I. I. Estatística básica. São Paulo: Atlas. 1988.
- [5] THINKFN. Estatística. Disponível em: <http://www.thinkfn.com/wikibolsa/Estat%C3%A9stica>. Acesso em: 15 jul. 2015.
- [6] FRANÇA. Fernando A.: Instrumentação e Medidas: grandezas mecânicas, UNICAMP 2007.

AGRADECIMENTOS

O autor agradece à Diretoria do CEFET-MG pela oportunidade de participar do 8º Congresso Brasileiro de Metrologia 2015.