

Influência dos graus efetivos de liberdade na incerteza de medição no ensaio de tração

Influence of the freedom effective degrees on the uncertainty in measurement in tensile test

José Eduardo Ferreira de Oliveira ¹, Luiz Roberto Oliveira da Silva ²

¹ Instituto Federal de Pernambuco – Campus Recife; ² Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca do Rio de Janeiro.

E-mail: joseferreira@recife.ifpe.edu.br

Resumo: O objetivo deste trabalho é apresentar um estudo de caso para a avaliação da incerteza de medição na determinação da propriedade mecânica tensão limite de resistência de dois aços ABNT 1045 e 1050. Considerando-se o efeito da correlação será mostrado que, o número de graus efetivos de liberdade se apresentou com valores muito pequenos, isto é, abaixo de 1, impossibilitando assim, a avaliação da incerteza de medição pelo método analítico. Será então apresentada uma proposta a ser tomada para essa avaliação.

Palavras-chave: Correlação, incerteza expandida, graus de liberdade.

Abstract: The objective of this work is to present a case study for the evaluation of the uncertainty in measurement in the determination of the mechanical tensile strength. Considering the correlation effect, it will be shown that the number of the freedom effective degrees was presented with small values, making it impossible to evaluate the uncertainty in measurement by analytical method. Therefore, it will be presented which solution was taken for evaluation.

Keywords: Correlation, expanded uncertainty, freedom degrees.

1. INTRODUÇÃO

A metodologia para a expressão da incerteza de medição padronizada pelo método analítico do ISO GUM [1] é apresentada de acordo com a seguinte sequência [2]: Levantamento das fontes de incerteza de medição; Atribuição da distribuição probabilística para cada fonte de incerteza de medição; Determinação dos

coeficientes de sensibilidade; Determinação da incerteza padronizada combinada; Determinação do número de graus de liberdade efetivos; Determinação do fator de abrangência e Determinação da incerteza expandida de medição. As incertezas tipo A poderão apresentar correlação, a qual deverá ser verificada duas a duas.

Dentro deste contexto, serão apresentados dois estudos de caso para a avaliação da incerteza expandida de medição da propriedade mecânica tensão limite de resistência obtida através do ensaio de tração, onde a incerteza combinada considerando-se a correlação entre duas grandezas (força e diâmetro do corpo de prova) gera como consequência, valores do número de graus de liberdade efetivos, muito pequenos, isto é, menores que 1, impossibilitando assim, a determinação do fator de abrangência, e conseqüentemente, a obtenção da incerteza expandida através da distribuição t-Student.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

A máquina universal para ensaios de tração possui as seguintes características: Faixa nominal = 0 - 10000kgf (0 - 100kN); Menor divisão = 1kgf; Indicador digital; Incerteza expandida de medição = 3,5N para um fator de abrangência k_t de 2,0.

O paquímetro utilizado para a medição dos diâmetros do comprimento paralelo possui as seguintes características: Faixa nominal = 0 - 150mm; Menor divisão = 0,05mm; Incerteza expandida de medição = 0,03mm para um fator de abrangência k_d de 2,1.

A tensão limite de resistência mecânica σ , em MPa, é obtida, de acordo com a seguinte equação:

$$\sigma = \frac{4 \times F}{\pi \times d^2} \quad (1)$$

Onde: F = força axial em N e d = diâmetro do comprimento paralelo em mm.

Este estudo considerou dois tipos distintos de aço, aqui descritos como material 1 (aço ABNT 1045) e o material 2 (aço ABNT 1050), realizando o ensaio para cinco corpos de prova, conforme apresentado nas Tabelas 1 e 2. O motivo de se utilizar mais de um tipo de material foi para se gerar outro patamar de valor de tensão limite de resistência mecânica, e, conseqüentemente, se poder verificar se para tal situação poderá ocorrer de se ter valores para o número de graus de liberdade efetivos inferiores a 1. Além disto, foram tomadas cinco amostras de cada material, respeitando-se o tamanho mínimo de 3 para a determinação do desvio padrão.

Para a avaliação da incerteza de medição foram consideradas as seguintes fontes de incerteza: Incerteza estatística da força aplicada (i_a); Incerteza herdada da máquina de tração (i_{ht}); Incerteza devida à resolução da máquina de tração (i_{rt}); Incerteza estatística devida à medição dos diâmetros (i_d) e Incerteza herdada do paquímetro (i_{hp}).

O passo a passo para a avaliação da incerteza de medição pelo método analítico poderá ser verificado no trabalho de OLIVEIRA [3].

Tabela 1. Valores da medição da força máxima, juntamente com o seu diâmetro do comprimento paralelo para cada corpo de prova para o material 1 (aço ABNT 1045).

Força (N)	Diâmetro (mm)
17546	5,95
17892	5,95
18105	6,00
18574	6,05
19040	6,10

Tabela 2. Valores da medição da força máxima, juntamente com o seu diâmetro do comprimento paralelo para cada corpo de prova para o material 2 (aço ABNT 1050).

Força (N)	Diâmetro (mm)
20727	5,80
20914	5,80
20986	5,90
22004	6,10
22186	6,20

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para facilitar o entendimento dos métodos propostos neste trabalho, isto é, o método clássico dado pelo Guia ISO e a Simulação de Monte Carlo no seu Suplemento 1, dois estudos de caso serão apresentados.

3.1. Estudo de Caso 1 - Dados de incerteza referentes ao material 1 (aço ABNT 1045)

A Tabela 3 apresenta os resultados obtidos considerando-se o efeito da correlação pelo método analítico.

Tabela 3. Variáveis envolvidas no cálculo da incerteza de medição pelo método analítico para o aço ABNT 1045.

Incerteza estatística da força aplicada (i_a)	9,233MPa
Incerteza herdada da máquina de tração (i_{ht})	0,062 MPa
Incerteza devida à resolução da máquina de tração (i_{rt})	0,010 MPa
Incerteza estatística devida à medição dos diâmetros (i_d)	6,235 MPa
Incerteza herdada do paquímetro (i_{hp})	3,055 MPa
Coefficiente de correlação (r)	0,977
Incerteza combinada (u_c)	4,580 MPa
Graus efetivos de liberdade (v_{eff})	0,200
Fator de abrangência (k)	-
Incerteza expandida (U)	-

Analisando-se a Tabela 3, inicialmente constata-se que há uma forte correlação direta entre a força aplicada e o diâmetro do corpo de

prova, igual a 0,977. Outra constatação que chama atenção é que a fonte de incerteza padrão mais expressiva é a que vale 9,233MPa, no entanto, a incerteza combinada de 4,580MPa é praticamente a metade desta fonte individual.

O fator limitante da aplicação do método analítico para o cálculo da incerteza expandida de medição, diz respeito ao valor do número de graus de liberdade efetivos que vale 0,200. Isto impossibilita a determinação do fator de abrangência, que só pode ser obtido com o valor mínimo de v_{eff} igual a 1, o que gera um valor de k igual a 13,97. Como não se tem um valor de k , conseqüentemente não se obtém o valor da incerteza expandida. Uma solução viável é a utilização da Simulação de Monte Carlo, na qual para esta situação, foram pré-estabelecidos os seguintes parâmetros: 3000000 de iterações e número de colunas 400. O intervalo obtido foi portanto (+33, -32) MPa.

3.2. Estudo de Caso 2 - Dados de incerteza referentes ao material 2 (aço ABNT 1050)

A Tabela 4 apresenta os resultados obtidos considerando-se o efeito da correlação pelo método analítico.

Tabela 4. Variáveis envolvidas no cálculo da incerteza de medição pelo método analítico para o aço ABNT 1050 para cinco ensaios.

Incerteza estatística da força aplicada (i_a)	10,862MPa
Incerteza herdada da máquina de tração (i_{ht})	0,063MPa
Incerteza devida à resolução da máquina de tração (i_{rt})	0,102MPa
Incerteza estatística devida à medição dos diâmetros (i_d)	20,876MPa
Incerteza herdada do paquímetro (i_{hp})	3,671MPa
Coefficiente de correlação (r)	0,982
Incerteza combinada (u_c)	11,043MPa
Graus efetivos de liberdade (v_{eff})	0,292
Fator de abrangência (k)	-
Incerteza expandida (U)	-

Comparando-se i_{rt} dos dois aços, constata-se uma diferença entre os dois valores,

mesmo se tendo a mesmo se realizando os dois ensaios na mesma máquina de tração. Também para este ensaio, como o valor de v_{eff} foi igual a 0,292, ou seja, menor que 1, não foi possível a determinação do k e, conseqüentemente, da incerteza expandida de medição. O valor obtido por simulação foi ± 68 MPa.

4. CONCLUSÕES

Neste trabalho foram apresentados os resultados da avaliação da incerteza de medição do limite de resistência à tração de dois materiais diferentes pelos dois métodos mais tradicionalmente utilizados para tal avaliação: o Guia ISO, baseado na lei de propagação de incertezas; e o Suplemento 1 do Guia ISO, baseado na lei de propagação de PDFs através da Simulação de Monte Carlo. A principal conclusão que se chegou, utilizando-se a Simulação de Monte Carlo, é a que não se tem a possibilidade de se cair numa situação onde a influência do número de graus efetivos de liberdade possa comprometer a qualidade do resultado apresentado, fator preponderante na aplicação do método clássico do Guia ISO. Constatou-se também que, para os dois casos apresentados para o ensaio de tração, há uma forte correlação entre a carga aplicada e o diâmetro do comprimento da medida original, e que para os dois exemplos apresentados, esta correlação foi direta e perto de 100%. Outro aspecto importante verificado neste trabalho é que o resultado deste ensaio está fortemente relacionado ao número de ensaios realizados com a mesma matéria prima e também com a qualidade das medições do diâmetro do comprimento da medida original. Ficou constatado desta forma que a contribuição de cada fonte de incerteza padrão depende, fundamentalmente, do coeficiente de sensibilidade relacionado a essa fonte específica, fato este que pode ser verificado nas tabelas 3 e

4, onde as maiores contribuições de incertezas padrão estão exatamente nas incertezas tipo A. Esta conclusão coincide com o trabalho apresentado na mesma linha de ensaio por MANDAVGADE et al. [4] que afirma que o principal fator de influência na determinação da incerteza de medição das propriedades mecânicas por eles estudadas foi a variação atribuída ao mensurando, ou seja, a repetitividade. Logo, tais colocações levam à conclusão de que para se reduzir sensivelmente a incerteza de medição no ensaio de tração, deve-se controlar a variabilidade tanto nas cargas aplicadas, quanto nos diâmetros medidos. Tomando por base os resultados apresentados nos dois estudos de caso, pode-se concluir que o Guia ISO apresenta uma avaliação robusta para a incerteza de medição, principalmente quando as funções de medição são lineares ou fracamente não lineares. Por outro lado, o Suplemento 1 do Guia ISO pode ser considerado como uma ferramenta confiável e consistente na avaliação da incerteza de medição em situações onde as condições de aplicabilidade do Guia ISO não estão completamente atendidas.

5. REFERÊNCIAS

- [1] ISO GUM - Avaliação de dados de medição: guia para a expressão de incerteza de medição. RJ:INMETRO/CICMA/SEPIN, 2012.
- [2] OLIVEIRA, J. E. F. de. Desenvolvimento de um programa computacional para a integração de dados de projeto, fabricação e medição de peças torneadas com ênfase na síntese de tolerâncias dimensionais determinísticas. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2009.
- [3] OLIVEIRA, J. E. F. de. Estudo analítico da influência da correlação entre grandezas no cálculo da incerteza de medição da tensão de resistência mecânica. Revista Matéria, v.19, Rio de Janeiro, 2014.
- [4] MANDAVGADE, N. K.; JAJU, S. B. & LAKHE, R. R. Evaluation of Uncertainty of Measurement in Tensile Testing. Int J Engg Techsci Vol 2(2) 2011,221-224..