

COMPARAÇÃO INTRALABORATORIAL DO ENSAIO DE TENACIDADE À FRATURA K_{IC} *

Daniel Antonio Kapper Fabricio¹
Afonso Reguly²

Resumo

A avaliação das propriedades de mecânica da fratura dos materiais é uma necessidade crescente, sobretudo no setor de óleo e gás. Esse cenário exige a garantia da qualidade na execução de ensaios de tenacidade à fratura. Esse trabalho tem como objetivo realizar uma comparação intralaboratorial para o ensaio de tenacidade à fratura K_{IC} variando o executante do ensaio, visando atender ao requisito de garantia da qualidade da norma NBR ISO/IEC 17025. Os resultados foram comparados através de análise de variância. As diferenças entre os operadores não foram significativas frente ao erro residual a um nível de confiança de 95%, sendo tal resultado considerado satisfatório.

Palavras-chave: NBR ISO/IEC 17025; Tenacidade à fratura K_{IC} ; Garantia da qualidade; Análise de variância.

INTRALABORATORY COMPARISON OF THE FRACTURE TOUGHNESS K_{IC} TEST

Abstract

The evaluation of fracture mechanics properties of materials has been an increasing need, especially in the oil and gas industry. This scenario requires quality assurance of fracture toughness tests. This work aims to conduct an intralaboratory comparison of the fracture toughness K_{IC} test varying the performer of the test, in order to attend the quality assurance requirement of ISO/IEC 17025 standard. The test results have been compared through analysis of variance. Differences between operators were not significant against the residual error at a confidence level of 95%, and this result is considered satisfactory.

Keywords: ISO/IEC 17025; Fracture toughness K_{IC} ; Quality assurance; Analysis of Variance.

¹ Eng. de Produção, Laboratório de Metalurgia Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil.

² Professor Doutor, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil.

1 INTRODUÇÃO

A NBR ISO/IEC 17025 é uma norma internacional de qualidade voltada ao ambiente laboratorial, a qual especifica os requisitos necessários para que laboratórios de ensaio e calibração demonstrem sua competência técnica e a validade dos resultados fornecidos. Para obter a acreditação por essa norma, os laboratórios devem atender a uma série de requisitos, entre os quais se incluem o monitoramento da validade dos ensaios realizados [1].

A garantia da qualidade dos resultados de ensaio é relacionada aos processos internos e externos, sendo quantificável através de métodos estatísticos. Tais métodos podem incluir ensaios de proficiência, comparações internas, replicação de ensaios, uso de cartas de controle, entre outros [1].

Ensaio de tenacidade à fratura medem a resistência do material diante de uma trinca, sendo o objetivo da Mecânica da Fratura determinar se um defeito irá ou não levar o componente à fratura catastrófica para tensões normais de serviço, permitindo, ainda, determinar o grau de segurança efetivo de um componente trincado [2].

A Mecânica da Fratura Linear-Elastica (MFLE) é utilizada para analisar materiais que possuem comportamento frágil à fratura em condições linear-elásticas, apresentando limitada quantidade de deformação plástica na ponta da trinca. O parâmetro mais usual da MFLE é o K_{IC} . Para obtê-lo, inicialmente se calcula um valor provisório, denominado K_Q , que é uma função da largura do corpo de prova (W), da espessura (B), do tamanho da trinca (a) e da carga aplicada (P_Q), segundo a Equação 1. A função $f(a/W)$ é uma função adimensional do tamanho de trinca pela espessura. O valor de K_Q é validado como K_{IC} se certas condições dimensionais forem atendidas [3].

$$K_Q = \frac{P_Q}{B\sqrt{W}} f\left(\frac{a}{W}\right) \quad (1)$$

A análise de variância (ANOVA) é uma metodologia estatística que permite avaliar a significância de diversos fatores e interações. A ANOVA de um fator (*one-way* ANOVA) compara as variâncias entre os valores médios de uma variável a diferentes níveis de um fator, resultando em uma razão de variâncias ($F_{\text{calculado}}$). Em seguida, comparam-se os valores calculados de F com os valores tabelados da distribuição estatística de Fisher-Snedecor (F_{tabelado}), utilizando-se um nível de significância específico [4].

No teste da ANOVA, os ensaios realizados em cada nível do fator controlável configuram um grupo. O objetivo é identificar se os valores da variável de resposta medidos nos diversos níveis do fator controlável (grupos) diferem entre si em relação ao erro residual [5]. Se os valores $F_{\text{calculado}}$ forem maiores que os valores críticos F_{tabelado} , então a variabilidade provocada pelo termo correspondente é significativa frente ao erro residual.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Para os ensaios de tenacidade à fratura, foi realizada uma comparação intralaboratorial variando o operador (executante do ensaio). Dez corpos de prova de um mesmo material foram ensaiados, sendo cinco para cada operador. Os corpos de prova foram obtidos de um aço inoxidável martensítico AISI 420, tendo sido submetidos previamente a um mesmo tratamento térmico (temperado e revenido a 540°C).

Para a análise estatística dos resultados, foi realizada uma comparação intralaboratorial entre dois operadores (executante do ensaio) utilizando uma análise de variância para o fator 'operador' através do teste F. Utilizou-se um nível de significância de 5%, e os cálculos foram realizados através de planilhas eletrônicas.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Por se tratar do ensaio de um material de baixa tenacidade, foi utilizada a abordagem de Mecânica da Fratura Linear Elástica para quantificar a tenacidade, sendo calculado o parâmetro K_Q . Os parâmetros obtidos nos ensaios constam na Tabela 1.

Tabela 1. Resultados do ensaio de K_{Ic}

| Amostra | Operador | P_Q [N] | P_m [N] | B [mm] | W [mm] | a [mm] | f (a/W) [-] | K_Q [MPa.m ^{1/2}] |
|---------|------------|--------------|--------------|-----------|-----------|-----------|----------------|----------------------------------|
| 01 | Operador 1 | 1784 | 1809 | 6,08 | 11,86 | 5,93 | 2,66 | 28,87 |
| 02 | Operador 1 | 1725 | 1928 | 6,07 | 11,88 | 5,97 | 2,68 | 28,08 |
| 03 | Operador 1 | 1725 | 1922 | 6,04 | 11,97 | 5,99 | 2,67 | 27,76 |
| 04 | Operador 1 | 1825 | 1882 | 6,03 | 11,96 | 6,00 | 2,68 | 29,57 |
| 05 | Operador 1 | 1866 | 1866 | 6,05 | 11,83 | 5,92 | 2,67 | 30,52 |
| 06 | Operador 2 | 1713 | 1768 | 6,09 | 11,93 | 6,28 | 2,90 | 29,91 |
| 07 | Operador 2 | 1700 | 1839 | 6,07 | 12,05 | 6,33 | 2,89 | 29,20 |
| 08 | Operador 2 | 1777 | 1777 | 6,08 | 11,98 | 6,61 | 3,16 | 33,63 |
| 09 | Operador 2 | 1726 | 1792 | 6,08 | 11,96 | 6,16 | 2,79 | 28,93 |
| 10 | Operador 2 | 1735 | 1735 | 6,07 | 11,99 | 6,34 | 2,92 | 30,39 |

Foram compilados os valores de K_Q obtidos, segundo a Tabela 2, para execução da análise de variância.

Tabela 2. Valores de K_Q variando operador

| Repetição | Operador 1 [MPa.m ^{1/2}] | Operador 2 [MPa.m ^{1/2}] |
|-----------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| 1 | 28,9 | 29,9 |
| 2 | 28,1 | 29,2 |
| 3 | 27,8 | 33,6 |
| 4 | 29,6 | 28,9 |
| 5 | 30,5 | 30,4 |
| Média | 29,0 | 30,4 |

Em seguida, foi realizado um teste ANOVA e um fator (operador) para o parâmetro K_Q , a um nível de significância de 5%, cujos resultados são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3. ANOVA para o fator operador

| Fonte da variação | Soma Quadrada | Graus de Liberdade | Média Quadrada | $F_{calculado}$ | $F_{tabelado}$ |
|-------------------|---------------|--------------------|----------------|-----------------|----------------|
| Operador | 4,99 | 1 | 4,99 | 2,20 | 5,32 |
| Resíduo | 18,12 | 8 | 2,27 | | |
| Total | 23,12 | 9 | | | |

Como o valor $F_{\text{calculado}}$ foi menor que o F_{tabelado} , não foi possível comprovar, a um intervalo de confiança de 95%, que há diferenças significativas entre operadores frente ao erro residual, sendo este resultado considerado satisfatório.

4 CONCLUSÃO

Foi realizada uma análise estatística dos resultados do ensaio de tenacidade à fratura K_{IC} visando ao atendimento do requisito de garantia da qualidade da norma NBR ISO/IEC 17025.

Procedeu-se à realização de análise de variância entre dois operadores visando verificar a significância da diferença entre operadores. Não foi possível comprovar que há diferenças significativas entre operadores. Para esse trabalho, tal resultado foi considerado satisfatório.

REFERÊNCIAS

- 1 Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR ISO/IEC 17025: Requisitos gerais para a competência de laboratórios de ensaio e calibração. Rio de Janeiro: ABNT; 2005.
- 2 Anderson TL. Fracture mechanics – fundamentals and applications. 3rd ed. New York: CRC; 2005.
- 3 American Society for Testing and Materials. ASTM E399-12e3: Standard test method for linear-elastic plane-strain fracture toughness K_{IC} of metallic materials. West Conshohocken: ASTM; 2012.
- 4 Ribeiro JLD, Caten CST. Controle estatístico do processo: Cartas de controle para variáveis, cartas de controle para atributos, função de perda quadrática, análise de sistemas de medição. Série Monográfica Qualidade. Porto Alegre: FEENG/UFRGS/ 2012.
- 5 Ribeiro JLD, Caten CST. Estatística industrial. Série Monográfica Qualidade. Porto Alegre: PPGEP/UFRGS; 2000.