

# **ANÁLISE COMPARATIVA DOS SINAIS ORIUNDOS DO MARTELO E CORPO-DE-PROVA INSTRUMENTADOS DURANTE CARREGAMENTO POR IMPACTO E MONOTÔNICO.**

Ruddy Fernandes  
Moreira, Ruís Camargo Tokimatsu. – Engenharia Mecânica – Engenharia Mecânica –  
Departamento de Engenharia Mecânica – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira.

Há algum tempo vários pesquisadores tem estudado métodos e procurado técnicas para se determinar a tenacidade à fratura dinâmica a partir do ensaio de impacto, Rodrigues et al. (2001).

Entre estes estudos e propostas, uma modificação do ensaio de impacto Charpy clássico vem recebendo grande atenção. Este novo ensaio, conhecido como ensaio de impacto Charpy Instrumentado, Yamamoto et al. (1993), surgiu como uma alternativa promissora, pois objetiva a caracterização precisa de um processo dinâmico de fratura, a despeito das inúmeras complicações relacionadas à instrumentação. Esta modificação normalmente compreende a instrumentação do martelo, transformando em uma célula de carga, do pêndulo Charpy, por meio de extensômetros elétricos, de modo a se obter mais informações a cerca do ensaio.

O objetivo central do presente projeto de pesquisa de iniciação científica é caracterizar e analisar a cadeia de medição do ensaio Charpy Instrumentado em conformidade com a Norma ISO 14.556, utilizando-a na análise corpos-de-prova em condições microestruturais com valores de tenacidade à fratura distintos. Além disso, será feita uma análise comparativa entre os resultados obtidos a partir da cadeia de medição e os obtidos em ensaios de flexão em três pontos com carregamento monotônico. Mediante a análise comparativa entre os ensaios (impacto e monotônico), será possível interpretar o processo de fratura na curva obtida a partir do ensaio Charpy Instrumentado, tomando como referência a curva já consagrada do ensaio de flexão em três pontos com carregamento monotônico.

O material a ser utilizado na pesquisa é o aço ABNT 4340. As diferentes condições microestruturais foram resultantes de diferentes condições de tratamentos térmicos: como fornecido, temperado, temperado e revenido nas seguintes temperaturas: 473K, 573K, 673K e 773K. Para cada microestrutura foram confeccionados corpos-de-prova com dois tipos de raio de ponta – trinca aguda e entalhe arredondado (0,25mm). Corpos-de-prova assim preparados foram submetidos ao ensaio Charpy Instrumentado e tiveram a tenacidade à fratura dinâmica medida em temperatura ambiente para todas as condições já apresentadas. A medida de força durante o impacto foi feita por intermédio de dispositivos transformados em células de carga – o martelo pendular e o próprio corpo-de-prova.

Os ensaios de impacto serão realizados em temperatura ambiente numa máquina convencional Charpy com capacidade de 300 Joules. A calibração da força será realizada estaticamente na própria máquina de ensaio Charpy, aplicando se uma força conhecida no martelo instrumentado, devidamente montado em um aparato que represente as mesmas condições do ensaio dinâmico. A Figura 01 mostra um esquema da montagem experimental a ser implementada com CPs instrumentados.

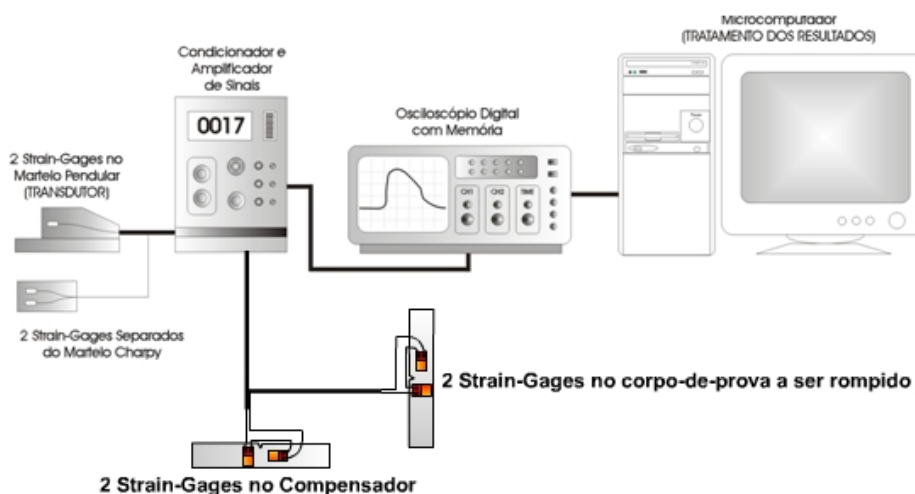


Figura 01 – Arquitetura do sistema que será empregada na instrumentação (Norma ISO 14.556).

Como o Condicionador/Amplificador de Sinais possui dois canais, será adquirido, simultaneamente, o sinal do martelo e do CP, ambos instrumentados e, dessa forma, compará-los de acordo com um dos objetivos propostos no projeto. O software utilizado para capturar o sinal tanto do canal 1 do osciloscópio digital (martelo instrumentado) quanto do canal 2 (corpo-de-prova instrumentado) será o Wavestar (versão 1.1). Ademais, o papel do CP compensador instrumentado em relação ao CP instrumentado a ser rompido, como já exibido nas imagens anteriores, corresponde à mesma função desempenhada pela peça isenta em relação ao martelo pendular.

A energia global foi obtida por integração numérica (energia líquida obtida a partir da rotina computacional GC3M). Assim, segue um exemplo para condição revenido a 400K:

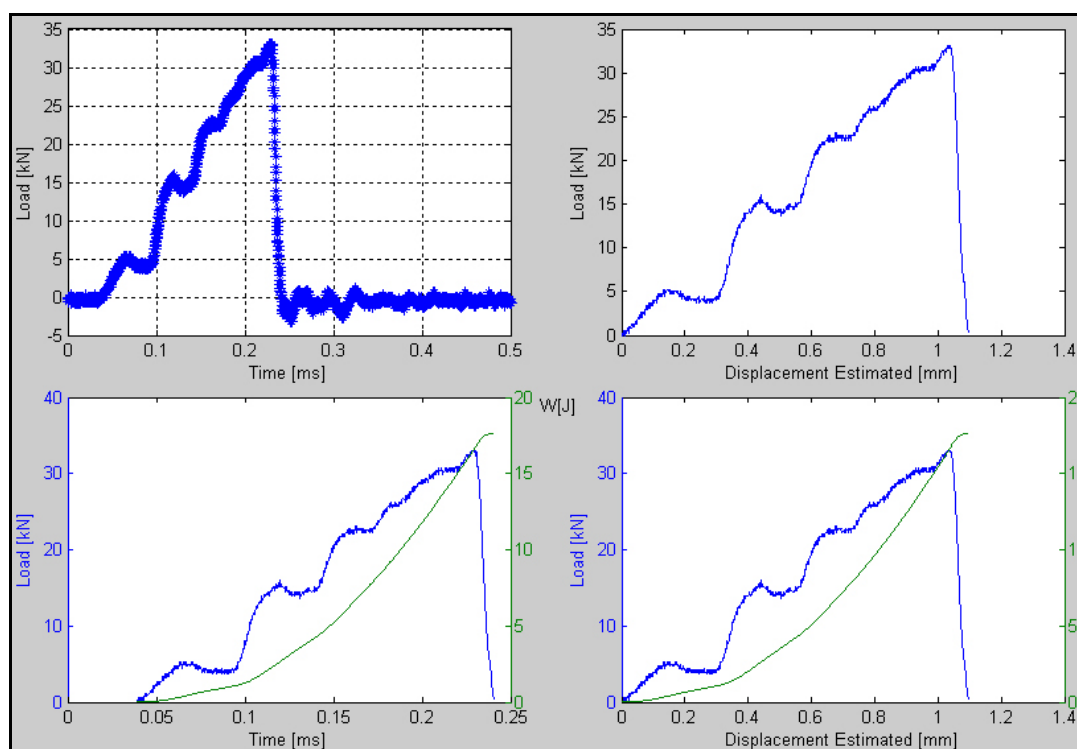


Figura 02 – Energia Líquida obtida (integração numérica) – CP não instrumentado: R4AI.

Na fase dos ensaios de impacto utilizando corpos-de-prova instrumentados foram diversas as dificuldades encontradas, uma vez que como a quantidade de amostras era pequena, devido ao custo de instrumentação, grande parte dessas amostras foi utilizada para testes nos ensaios de impacto. Esses testes trouxeram um melhor conhecimento do sinal, dos CPs instrumentados, a ser capturado no osciloscópio, pois diferente dos ensaios dinâmicos do martelo pendular, nos quais já eram conhecidas as curvas dos sinais a serem capturados, essas amostras possibilitaram entender como ajustar o sinal a ser capturado no osciloscópio e analisar o nível de ruído gerado no processo de impacto. De todas as amostras, foram obtidos dois sinais dos CPs instrumentados, sendo que um deles é apresentado na Figura 03.

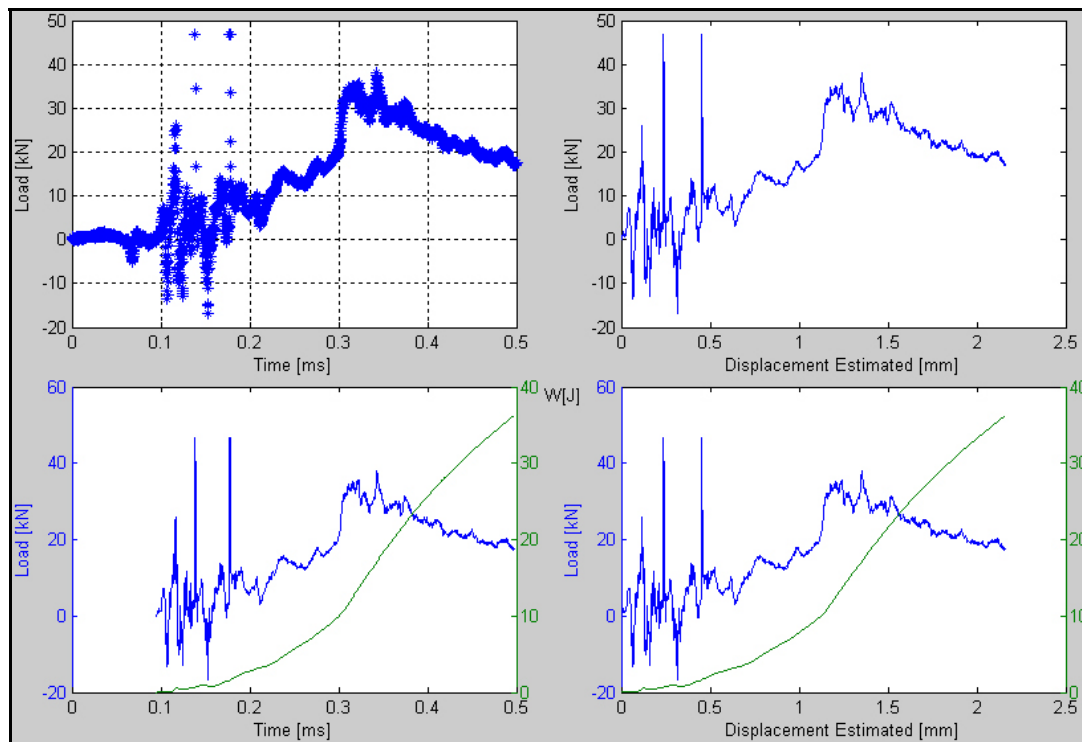


Figura 03 – Energia Líquida obtida (integração numérica) – CP instrumentado: R7AI.

Observa-se que o nível de ruído apresentado pela Figura 03 é exorbitante, impossibilitando uma análise e comparação significativa com as curvas do martelo pendular (Figura 02).

Os resultados obtidos nos ensaios de flexão estão divididos conforme a severidade do entalhe. Os CPs com a presença da pré-trinca por fadiga foram alvos de estudos para determinar o parâmetro tenacidade à fratura. Por outro lado os resultados dos CPs com o entalhe arredondado são de grande utilidade para caracterizar e determinar as propriedades mecânicas a serem determinadas nas curvas obtidas no ensaio de Impacto Charpy Instrumentado.

Para os CPs com pré-trinca são apresentadas curvas de carga em função do CTOD e valores do fator de tenacidade à fratura. Na Figura 04 estão apresentadas as curvas de carga em função da CTOD para as condições ensaiadas. Foi considerada uma curva de cada condição para apresentação na figura.

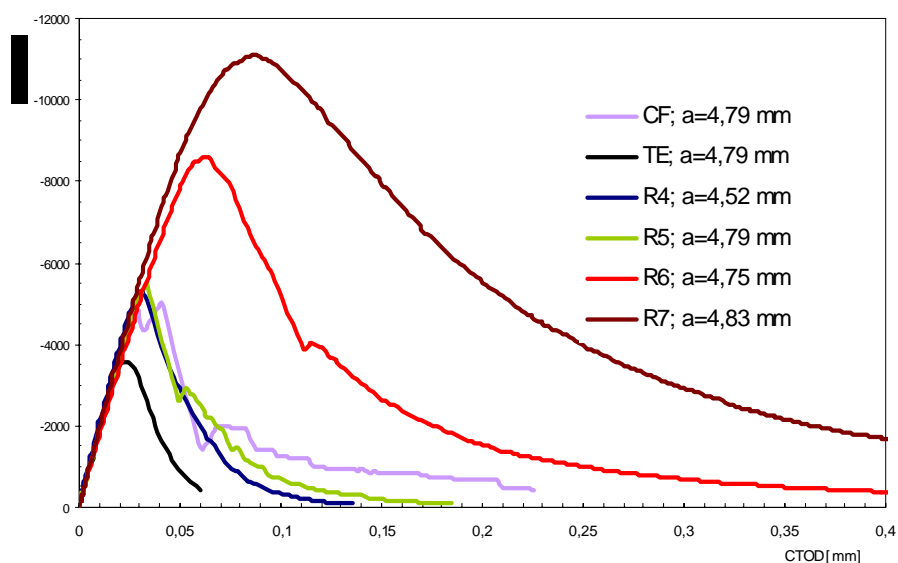


Figura 04 – Curva carga em função do CTOD para as condições ensaiadas.

Apresentou-se, neste trabalho, as metodologias experimentais do ensaio Charpy instrumentado, em conformidade com a ISO 14.556(2000), com um parâmetro adicional para a cadeia de ensaios: a instrumentação do próprio corpo-de-prova. Além disso, uma proposta de nova metodologia para aplicação de força durante a calibração estática, tanto para o martelo quanto para o CP. Dessa forma, as seguintes conclusões parciais são enumeradas abaixo:

- O sistema de calibração desenvolvido foi um dos maiores avanços do projeto, uma vez que esta metodologia aprimorada trouxe resultados mais significativos e coerentes para a pesquisa, tanto para o processo de calibração do martelo, quanto para os corpos-de-prova – sejam eles instrumentados ou não.

- A etapa na qual se encontraram mais dificuldades foi nos ensaios de impacto dos corpos-de-prova instrumentados. Como o nível de ruído pertencente aos sinais capturados era exorbitante, não foi possível realizar uma comparação e análise com os dados encontrados nos ensaios de carregamento dinâmico somente do martelo pendular instrumentado e os dados encontrados nos ensaios de carregamento monotônico. Esse ruído poderia ser reduzido se fosse realizado uma blindagem nos CPs instrumentados, minimizando o nível de ruído – se possível próximo ou menor que o apresentado pelo martelo – tendo em vista o fato dos extensômetros serem expostos ao meio externo. Além disso, uma gama maior de corpos-de-prova instrumentados, por mais que o custo dos ensaios elevasse, possibilitaria definir melhores condições para a captura do sinal e quantificar o a diferença entre o nível de ruído entre o ensaio do CP e o do martelo (ambos instrumentados).

- A rotina computacional empregada apresentou satisfatória funcionalidade, já que possibilitou a coleta de resultados importantes, como a filtragem e suavização do sinal, além da integração numérica das curvas geradas para obtenção da energia líquida.

## **Referências Bibliográficas**

RUBIO, L., FERNÁNDEZ-SÁEZ, J., NAVARRO, C., 2003. Determination of Dynamic Fracture-initiation Toughness using Three-point Bending Tests in a Modified Hopkinson Pressure Bar. Society for Experimental Mechanics, Vol. 43, nº4, pp. 379-386.

RODRIGUES, A. R., 2001. Charpy Instrumentado – Determinação da tenacidade à fratura dinâmica de materiais metálicos. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista Ilha Solteira, pp. 119.

BOHME, W., KALTHOFF, J. F., 1985. On the quantification of dynamic effects in impact loading and the practical application for KId determination. Journal de Physique, Colloque C5, nº8, t.46, pp.213-218.

TOKIMATSU, R. C., 1995. Influência de parâmetros microestruturais e procedimentos de ensaios no comportamento mecânico de um aço de ultra-resistência e baixa liga. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade de Campinas, pp. 435.

KOBAYASHI, T., YAMAMOTO, I., NINOMI, M. Evaluation of dynamic fracture toughness parameters by instrumented Charpy impact test. Engineering Fracture Mechanics, v.24, nº5, p.773-782, 1993.

**Bolsa: FAPESP**