

# CHARPY INSTRUMENTADO - DETERMINAÇÃO DA QUEDA DE VELOCIDADE DO MARTELO PENDULAR E CÁLCULO DA ENERGIA DE FRATURA UTILIZANDO-SE UM POTENCIÔMETRO RESISTIVO E A SEGUNDA LEI DE NEWTON

F.J. Santos (1), R.C. Tokimatsu (1), A. R. Rodrigues (2)

(1) Departamento de Engenharia Mecânica, FEIS, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - UNESP, Av. Brasil Centro, 56, Ilha Solteira, SP, cep: 15385-000

(2) Departamento de Engenharia Mecânica, EESC, Escola de Engenharia de São Carlos-USP, Av. Trabalhador São Carlense nº400, São Carlos SP, cep: 13560-970

**Palavras-chave:** Charpy Instrumentado, Queda de Velocidade, Força x Tempo, Deslocamento x Tempo, Força x Deslocamento, Energia de Fratura.

## RESUMO

Um dos ensaios mais comuns para caracterizar o comportamento mecânico dos materiais é o ensaio de impacto Charpy, que fornece apenas resultados de caráter comparativo. Com a instrumentação da máquina de ensaio Charpy é possível obter o parâmetro denominado fator de intensidade de tensões dinâmico,  $K_{Id}$ . Ele expressa o campo de tensões à frente de uma trinca e pode ser aplicado de maneira quantitativa no projeto estrutural. O principal resultado obtido desse ensaio é a curva carga-tempo. Em posse dela, determina-se a energia de fratura, a carga máxima e a carga de fratura, entre outros resultados, se a velocidade do pêndulo for admitida constante durante a ocorrência do impacto. Todavia, a velocidade do pêndulo não é constante. Ela varia inversamente com a carga.

No presente trabalho, determinou-se o decaimento da velocidade do martelo pendular durante o impacto com o corpo de prova em uma máquina Charpy devidamente instrumentada e calculou-se a energia de fratura para corpos de prova constituídos de diferentes materias.

Segundo a norma ISO 14.556 da *International Standardization Organization*, de maio de 2000, a velocidade com que o martelo pendular deixa o CDP é estimada por:

$$V(t) = V_0 - (1/m) \int_{t_0}^t F(t) dt, \quad (1)$$

onde  $V_0$  é a velocidade de impacto no momento em que o martelo atinge o corpo de prova,  $t_0$  é o tempo de início de deformação do corpo de prova e  $F$  é a taxa de carregamento. De (1), por integração simples, o deslocamento é dado por:

$$S(t) = \int_{t_0}^t V(t) dt. \quad (2)$$

Para determinação da força de impacto, utilizou-se uma cadeia de medição, que compreende, além sensores de força (strain-gages) alojados no martelo pendular, condicionadores e amplificadores de sinais, osciloscópio digital de memória e microcomputador para tratamento matemático do sinal. Assim, em posse da força de impacto, conseguida através desta cadeia de medição, e do deslocamento do martelo pendular durante o impacto, dado por (2), pôde-se gerar um gráfico força vs deslocamento e estimar a energia de fratura (tenacidade) do CDP ( corpo de prova), que representa a área sob a curva força vs deslocamento.

Uma outra forma de cálculo de energia foi feita através do uso de um potenciômetro resistivo de 10 k de resistência, acoplado no eixo da máquina de ensaio Charpy Convencional.

Observou-se através da segunda Lei de Newton, equação (1), que o decaimento da velocidade é muito acentuada nos materiais dúcteis, enquanto que, para os materiais mais frágeis, a diferença entre as velocidades inicial e final do martelo durante o impacto, é muito pequena. A figura 1 mostra a queda de velocidade para um corpo de prova constituído de aço inoxidável na condição de solubilizado e para um constituído de aço 300M.

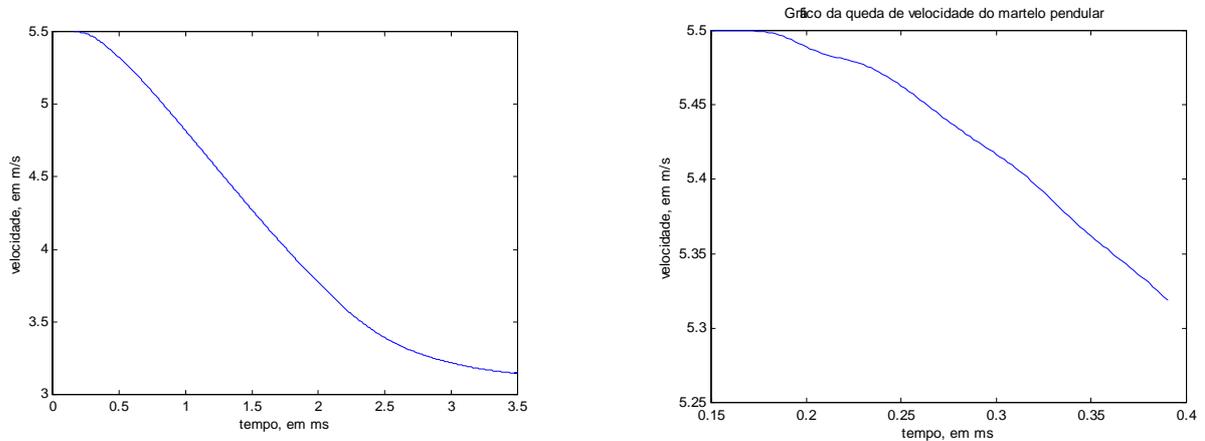


Figura 1 – Queda de velocidade do martelo pendular para dois tipos de CDP  
a) CDP constituído de aço inoxidável;  
b) CDP constituído de aço 300M

O deslocamento do martelo pendular pôde ser calculado através de (2) e com o uso do potenciômetro. Fez-se a aferição do mesmo, para uma tensão de entrada de 20 V, obtendo-se uma relação entre a voltagem de saída e o respectivo deslocamento angular. Considerando o comprimento do pêndulo, 825 mm, chegou-se ao seguinte fator de conversão:

$$D = b * 147,675, \quad (3)$$

onde  $D$  é o deslocamento do martelo pendular (mm) e  $b$  é a tensão obtida, em volts. A figura (2) ,mostra a curva força vs tempo, força vs deslocamento e a variação de energia para um CDP constituído de aço inoxidável, que absorveu 206 J de energia.

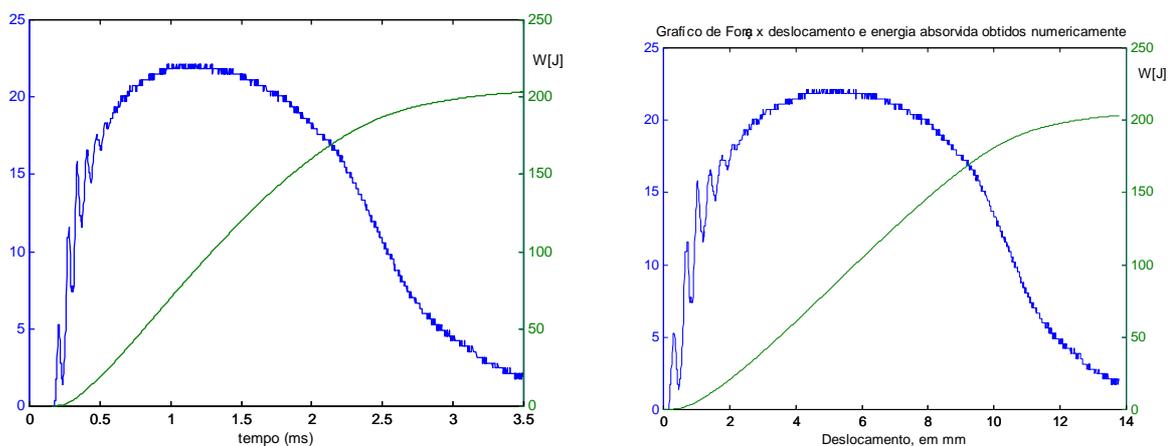


Figura 2- a) Curva Força vs tempo e variação da Energia  
b) Curva Força vs deslocamento e variação da energia, obtida segundo a equação (2).

Observou-se que utilizando as equações (1) e (2), o valor da energia estimada apresenta grande concordância com aquela lida no dial, 206 J. No entanto, o potenciômetro mecânico mostrou-se inadequado para medida de deslocamento quando se trata de ensaios extremamente dinâmicos, como o ensaio Charpy. Verificou-se também um retardo em sua resposta, dificultando assim a localização do impacto e, por conseguinte, a obtenção do deslocamento do martelo durante o evento. A figura 3, a seguir, mostra o gráfico da força vs deslocamento obtido e a variação da energia absorvida pelo CDP e a curva força vs tempo e os sinais simultâneos de deslocamento do martelo pendular solto a vazio e com o CDP de aço inoxidável.

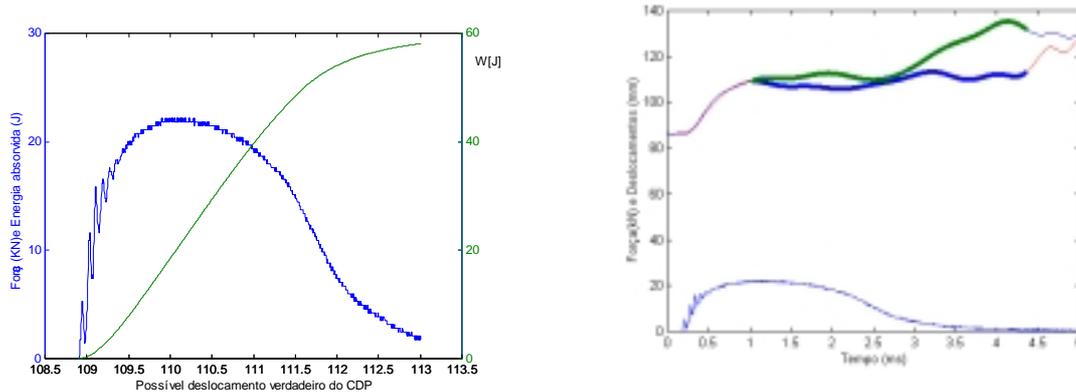


Figura 3 – a) Força vs deslocamento e variação da energia obtida por meio do potenciômetro; b) Força vs tempo e Deslocamento vs tempo a vazio e como o CDP, indicando o tempo de resposta ( retardo) do potenciômetro.

**Agradecimentos:** Agradecemos à FAPESP – FUNDAÇÃO DE AMPARO À PESQUISA DO ESTADO DE SÃO PAULO, pela bolsa de Iniciação Científica.

## REFERÊNCIAS

INTERNATIONAL STANDARD. **Steel - Charpy V-notch pendulum impact test - instrumented test method**. Geneva: ISO, 2000. 14p. (ISO 14556).

DIETER, G. E. Fratura frágil e ensaio de impacto. In: \_\_. **Metalurgia mecânica**. 2.ed. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1981. p.419-50.