Fadiga dos Materiais Metálicos
Prof. Carlos Baptista

Cap. 2 ABORDAGEM TENSÃO-VIDA

LEITURA 1: TÉCNICAS DE CONTAGEM DE CICLOS

As teorias de acumulação de dano indicam que o dano por fadiga é fortemente relacionado com a razão de ciclos, N_i / N_f (número aplicado de ciclos de tensão ou deformação dividido pela vida em fadiga esperada, para uma dada combinação "amplitude-média"). A vida em fadiga é obtida a partir de dados gerados em ensaios de amplitude constante, como já visto nos capítulos anteriores.

Durante a vida em serviço de componentes e estruturas, a magnitude dos carregamentos aplicados pode variar com o tempo, tornando mais difícil definir o que constitui um ciclo e a correspondente amplitude deste ciclo.

Os ciclos podem ser contados usando histórias de carregamento em que o parâmetro de interesse (força, torque, tensão, deformação, deflexão ou aceleração) é convenientemente registrado. Existem atualmente diferentes técnicas para contagem de ciclos, que são empregadas para reduzir um espectro de carregamentos complexo em um número de eventos de carregamentos simples de amplitude constante, os quais podem ser empregados para cálculo de dano acumulado e estimativa de vida em fadiga.

Existem basicamente dois tipos de técnicas de contagem, denominados: Métodos de 1 parâmetro e Métodos de 2 parâmetros. Embora tenham sido muito empregados no passado, os métodos de 1 parâmetro, tais como: "Level-Crossing", "Peak-Valley" e "Range Counting", são atualmente considerados insatisfatórios para análise de dano em fadiga. Métodos de dois parâmetros, como o método "Rainflow", podem representar mais fielmente um carregamento de amplitude variável. Este método foi desenvolvido por Matsuishi e Endo em 1968, baseando-se na analogia de gotas de chuva caindo no telhado de um pagode (casa de orações de vários andares encontrada no oriente) e escorrendo para as bordas do telhado. Diversas variações deste esquema original foram publicadas, para diferentes aplicações. A norma ASTM E1049 discorre sobre a contagem de ciclos, considerando especialmente o chamado método dos 3 pontos, que é uma variação do método "Rainflow".

O MÉTODO "RAINFLOW" DOS 3 PONTOS

Este método de contagem de ciclos usa três pontos consecutivos em uma história de carregamento para determinar se um ciclo foi ou não formado. A Figura 1 (na próxima página) mostra as regras que identificam os dois possíveis ciclos em uma história na qual a tensão é o parâmetro de carregamento. Os 3 pontos consecutivos de tensão (S_1, S_2, S_3) definem duas variações consecutivas, a saber: $\Delta S_1 = |S_1 - S_2|$ e $\Delta S_2 = |S_2 - S_3|$. Se $\Delta S_1 \leq \Delta S_2$, um ciclo de carregamento é extraído, variando de S_1 a S_2. Caso contrário, nenhum ciclo é formado. Este método requer que a história de carregameto seja rearranjada de modo a conter somente picos e vales, e inicia com o pico mais alto ou o vale mais profundo, aquele que for maior em valor absoluto. Então a regra de identificação de ciclos é aplicada para checar cada três pontos consecutivos. Os dois pontos formando um ciclo são descartados da história, e os pontos remanescentes são conectados entre si. O procedimento é repetido até que não reste nenhum evento de carregamento.

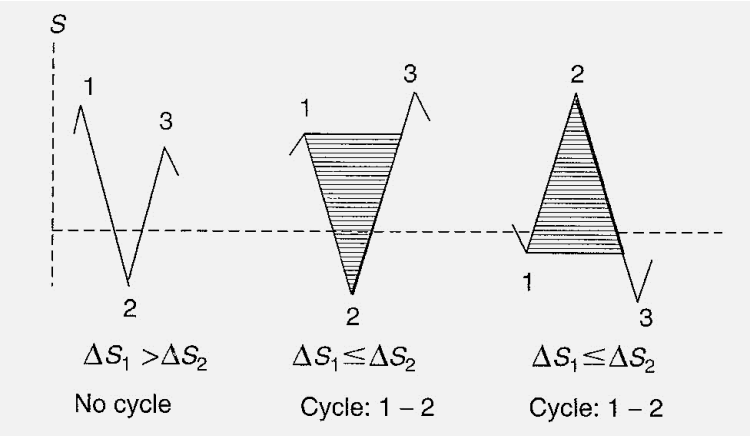

Figura 1. Regras para extração de ciclos.

A melhor maneira de entender o funcionamento do método é através de um exemplo prático, que será descrito a seguir. O objetivo é empregar o método "Rainflow" de 3 pontos para determinar o número de ciclos presentes na história de carregamento mostrada na Figura 2.

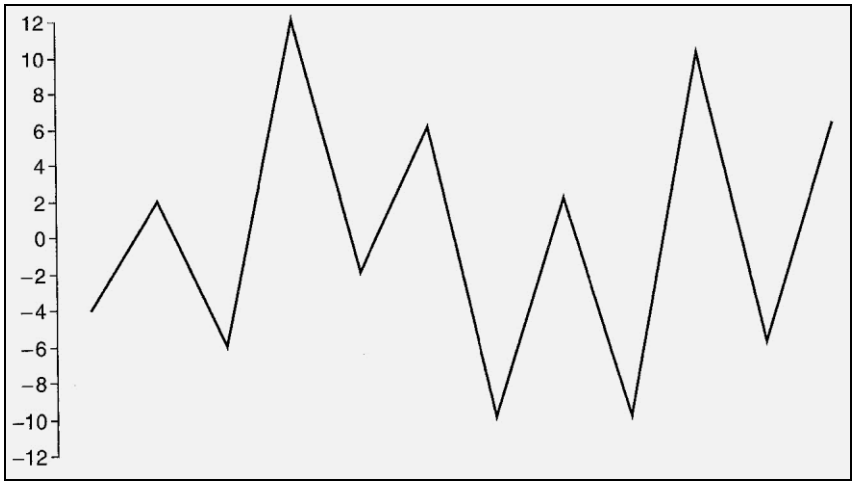

Figura 2. Exemplo de história de carregamento carga-tempo em serviço.

Inicialmente, a história de carregamento é rearranjada de modo que inicie com o máximo pico ou o vale mais profundo, qual deles seja maior. No carregamento apresentado o máximo pico tem intensidade 12, a qual é maior em magnitude absoluta que o máximo vale (igual a 10). Então, a parcela da história de carregamento que antecede o pico de 12 é retirada do início e superposta ao final do carregamento, como mostrado na Figura 3. A nova história de carregamento inclui novamente o pico de 12 no final, fechando o maior "loop" e sendo assim conservativo.

Após rearranjar a história de carregamento, inicia-se a extração dos ciclos, empregando-se segmentos de 3 pontos consecutivos, conforme descrito anteriormente (ver Figura 1). Assim, o segmento inicial formado pelos pontos 12, -2 e 6 não gera um ciclo. O primeiro ciclo extraído será formado pelos pontos consecutivos -2, 6, -8. Neste caso, forma-se o ciclo de -2 a 6, conforme mostrado na Figura 4. Este ciclo é extraído da história de carregamento, a qual é modificada ligando-se o ponto anterior a -2 (ou seja, o ponto 12) ao ponto posterior a 6 (ou seja, o ponto -10), conforme indicado pela linha tracejada, também na Figura 4.

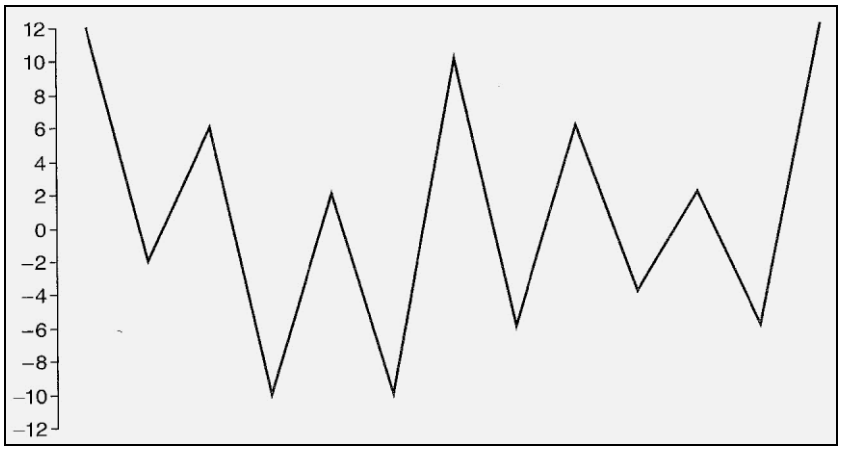

Figura 3. História de carregamento rearranjada para aplicação do método.

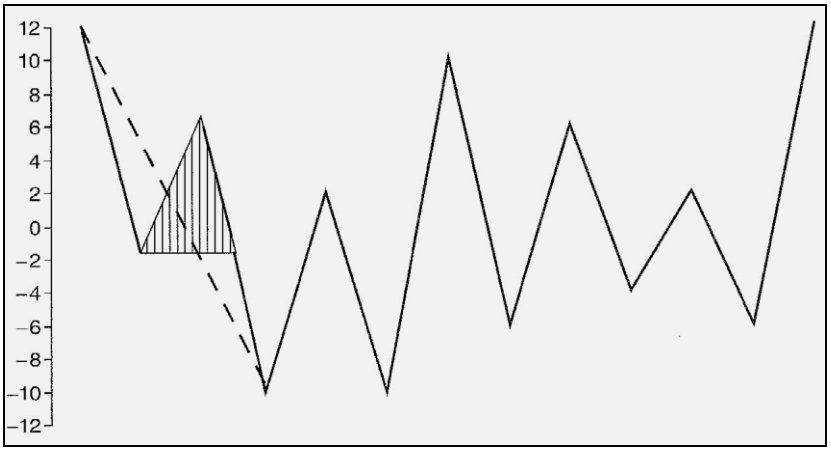

Figura 4. Primeiro ciclo extraído, variando de -2 a 6.

O mesmo processo é repetido até que todos os ciclos sejam identificados. Esta repetição é ilustrada na sequência de figuras iniciando com a Figura 5 e continuando com as Figuras 6, 7, 8 e 9. Sempre que um ciclo é extraído, o ponto imediatamente anterior ao primeiro ponto retirado é conectado ao ponto imediatamente posterior ao segundo ponto retirado.

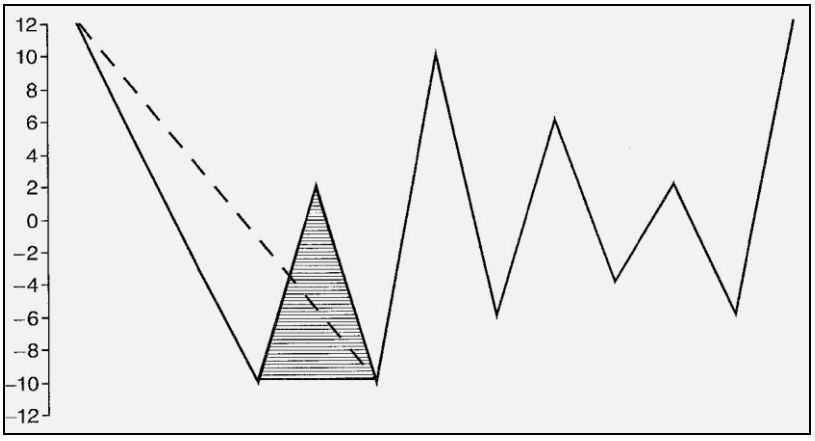

Figura 5. Segundo ciclo extraído, variando de -10 a 2.

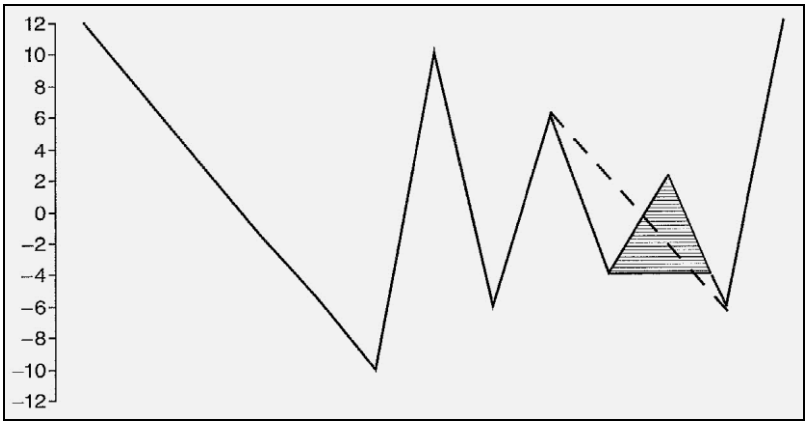

Figura 6. Terceiro ciclo extraído, variando de -4 a 2.

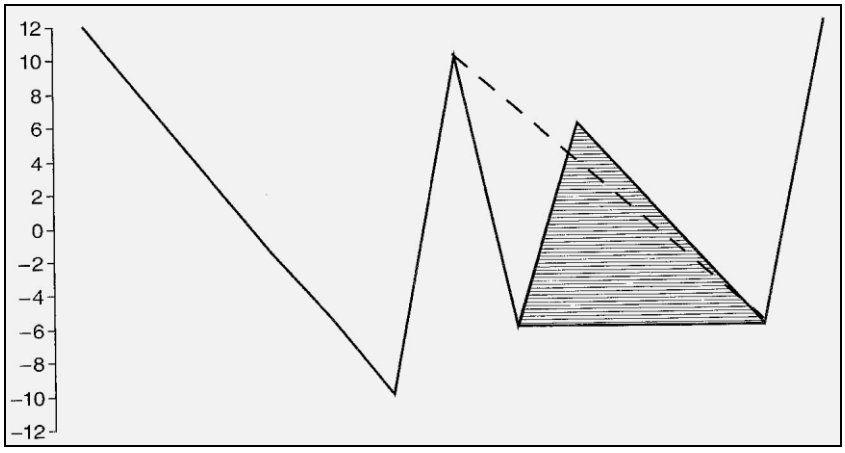

Figura 7. Quarto ciclo extraído, variando de -6 a 6.

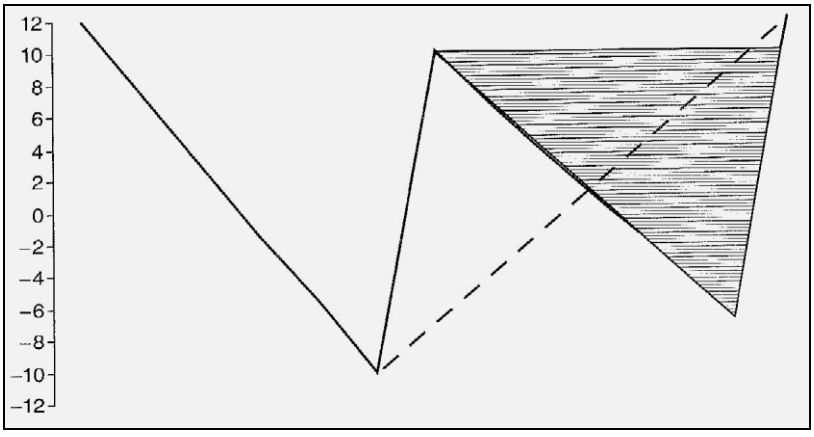

Figura 8. Quinto ciclo extraído, variando de 10 a -6.

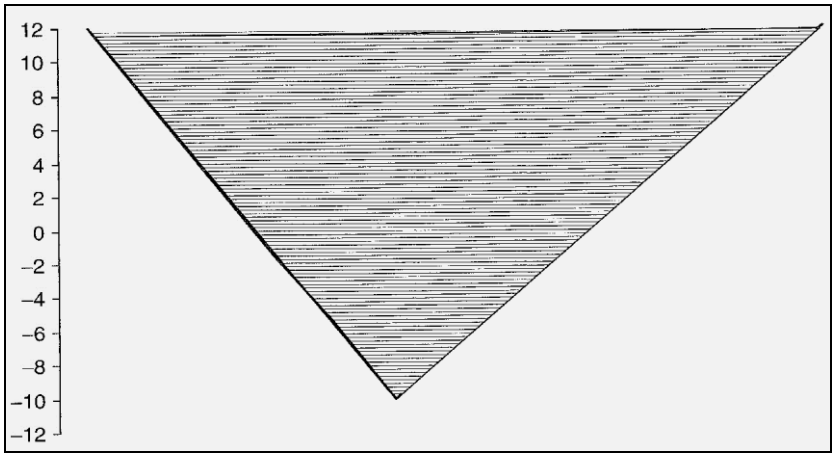

Figura 9. Sexto ciclo extraído, variando de 12 a -10.

Os resultados da contagem de ciclos são mostrados na Tabela 1. Esses resultados podem ser empregados para gerar histórias de carregamento a serem empregadas em previsão de vida (cálculo de dano acumulado) empregando-se os modelos conhecidos, bem como na realização de ensaios de laboratório.

Tabela 1. Resultados da aplicação do método de contagem "Rainflow" dos 3 Pontos.

No. of Cycles	From	To	Range	Mean
1	−2	6	8	2
1	−10	2	12	−4
1	−4	2	6	−1
1	−6	6	12	0
1	10	−6	16	2
1	12	−10	22	1

BIBLIOGRAFIA

LEE, Y.L.; PAN, J.; HATHAWAY, R.B.; BARKEY, M.E. "Fatigue Testing and Analysis: Theory and Practice". Amsterdam: Elsevier, 402p., 2005.