

# MECÂNICA DA FRATURA 1. INTRODUÇÃO E HISTÓRICO

Prof. Dr. Julio Almeida

Universidade Federal do Paraná  
Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica

PGMEC



1

## INTRODUÇÃO

A Mecânica da Fratura se estabeleceu a partir dos materiais metálicos, tradicionais na engenharia, que sendo importantes para a construção de componentes de máquinas e elementos estruturais, tem apresentado críticas e catastróficas rupturas frágeis ao longo dos anos.

2

## FALHAS HISTÓRICAS

### a) Acidente ferroviário em Versalhes – 1842

Um trem de passageiros, com 16 vagões, indo de Versalhes para Paris apresentou falha por fadiga num dos eixos da sua locomotiva, quando a mesma viajava a 40 km/h. Houve o descarrilamento da composição e um grande incêndio. O número de vítimas não pode ser determinado com precisão, mas estima-se algo em torno de 100 mortes e centenas de feridos.

3

## FALHAS HISTÓRICAS

### b) Acidentes ferroviários na Grã-Bretanha – 1860

Entre 1860 e 1889, mais de 200 pessoas morreram devido a falhas por fadiga em eixos de locomotivas e vagões ferroviários.

4

## FALHAS HISTÓRICAS

### c) Ponte Ashtabula – Michigan – 1876

Ponte de ferro fundido de 23 m de altura que desaba quando da passagem de um trem (92 mortes).

5

## FALHAS HISTÓRICAS

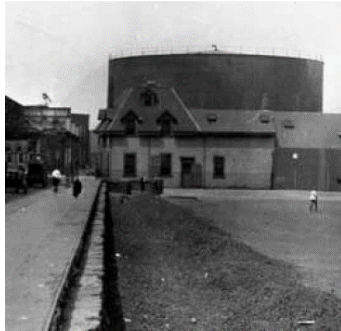
### d) Inundação de melão em Boston – 1919

Um grande tanque de melão (utilizado por apenas 8 vezes) rompeu num dia quente de inverno, lançando cerca de 9 milhões de litros de melão nas ruas de Boston. Formou-se uma onda que se deslocou a velocidades da ordem de 50 km/h por uma distância de 2 quarteirões, ocasionando 21 mortes e a devastação da cidade. A falha ocorreu devido a uma trinca de fadiga, próximo a uma janela de inspeção, que nucleou e se propagou pela base do tanque.

6

## FALHAS HISTÓRICAS

### d) Inundação de melão em Boston – 1919



7

## FALHAS HISTÓRICAS

### e) Ponte Tacoma Narrows – 1940

Instabilidade aerodinâmica e falha causada por vórtices de vento (70km/h) associados ao “design” da ponte.

8

## FALHAS HISTÓRICAS

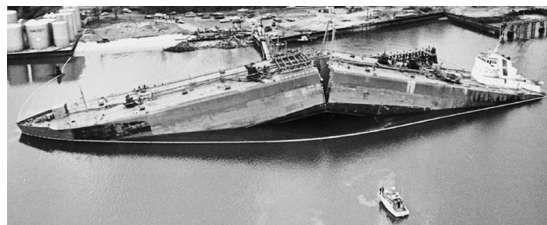
### f) Navios *Liberty* – 1940

1289 dos 4694 navios de guerra, construídos pelo governo norte-americano, sofreram fratura frágil ou falha nas suas estruturas soldadas. As falhas foram ocasionadas pela falta de experiência dos soldadores e pelo uso de aços de baixa tenacidade. O problema favoreceu o desenvolvimento da Mecânica da Fratura aplicada às falhas por fadiga.

9

## FALHAS HISTÓRICAS

### f) Navios *Liberty* – 1940



10

## FALHAS HISTÓRICAS

### g) Tanque de armazenagem GNL – Cleveland – 1944

Falha e explosão de um vaso de pressão de GNL, o qual se vaporizou com a ruptura e se incendiou causando uma gigantesca bola de fogo (131 mortes), devido a defeito de soldadura e uso de material inadequado na condição de calor (o período de guerra ocasionou a falta de ligas de aço com alto teor de níquel, as quais seriam adequadas para baixas temperaturas).

11

## FALHAS HISTÓRICAS

### g) Tanque de armazenagem GNL – Cleveland – 1944



12

## FALHAS HISTÓRICAS

### h) Falhas de aeronaves *Comets* – 1954

Primeiros aviões a jato comerciais. Neste ano, duas aeronaves se desintegraram no ar, matando todos os passageiros e a tripulação. Depois de muita investigação concluiu-se que as falhas eram decorrentes de problemas de fadiga, com trincas se iniciando em rebites localizados em cantos quadrados das janelas.

13

## FALHAS HISTÓRICAS

### h) Falhas de aeronaves *Comets* – 1954

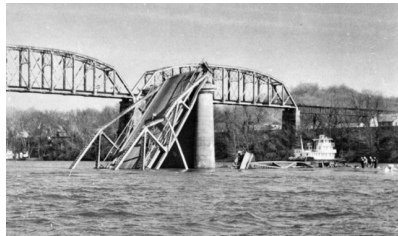


14

## FALHAS HISTÓRICAS

### i) Ponte Pleasant – Virgínia – 1967

Ponte com mais de 130 m de vão, sustentada por correntes ao invés de cabos, onde um dos elos dessas correntes se rompeu por microtrincas que se propagaram devido a uma combinação de fadiga e corrosão (46 mortes).



15

## FALHAS HISTÓRICAS

### j) Caças F-111 – 1969

O caça norte-americano perdeu uma das suas asas após apenas 100 horas de operação. A falha ocorreu devido a uma trinca por fadiga a partir de um defeito no pivô de ajuste da asa. O problema foi ainda agravado devido a baixa tenacidade do material. Após esse acidente a força aérea norte-americana implementou a metodologia DTA (*damage tolerance analysis* – análise de tolerância ao dano).

16



## FALHAS HISTÓRICAS

### k) Plataforma Alexander Kielland – 1980

Plataforma norueguesa afundou matando 123 pessoas. O motivo do acidente foi decorrente de falha por fadiga ocorrida em parte da sua estrutura metálica.

17

## FALHAS HISTÓRICAS

### l) Vôo 423 da Aloha Airlines – 1988

O Boeing sofreu uma descompressão repentina devido a uma falha por fadiga (em local de corrosão acelerada) ocorrida em janela de acesso ao teto da aeronave. O avião, mesmo perdendo parte de sua fuselagem, conseguiu aterrissar, ocasionando apenas 1 morte e muitos feridos.



Failed fuselage of the Aloha 737 aircraft in 1988.



## FALHAS HISTÓRICAS

### m) Terremotos em Kobe City - Japão, e Northridge – Califórnia – 1994/1995

Falhas em vigas “I” e colunas, devido a configuração das juntas e práticas de soldagem, as quais resultaram numa baixa ductilidade do aço.

19

## FALHAS HISTÓRICAS

### n) Morte do piloto Ayrton Senna – 1994

O piloto saiu da pista porque a coluna de direção rompeu por fadiga. Os mecânicos haviam cortado a barra de direção e soldado uma bucha afim de aumentar o comprimento deste componente. A falha ocorreu exatamente no ponto do cordão de solda realizado.

20

## HISTÓRICO DA MECÂNICA DA FRATURA

### a) Leonardo da *Vinci*

Ao medir a resistência de arames de aço fabricados numa trefiladora, *Vinci* registrou a presença de resistências variáveis e de forma proporcional ao comprimento do arame (maior volume de material = maior probabilidade de zonas defeituosas).

21

## HISTÓRICO DA MECÂNICA DA FRATURA

### b) *Griffith* - 1920

*Griffith*, usou a primeira lei da termodinâmica para formular a teoria da fratura baseada em um simples balanço de energia. O modelo de *Griffith* prevê a relação entre resistência e tamanho de falha em peças de materiais frágeis. Esforços subsequentes para aplicar a teoria de *Griffith* em metais falharam. O modelo de *Griffith* teve que esperar mais de 20 anos para poder ser aplicado aos metais.

22

## HISTÓRICO DA MECÂNICA DA FRATURA

### c) *Irwin* – década de 50

Um grupo de pesquisadores do Laboratório de Investigação Naval de Washington DC, nos anos 50, liderados pelo Dr. *Irwin* estudaram os trabalhos prévios de *Griffith*, *Inglis* e outros visando a sua aplicação em metais. Como consequência desses estudos, propôs-se a extensão dos postulados de *Griffith* aos metais, substituindo a dissipação da energia local por um fluxo plástico também localizado. Desenvolveu-se assim o conceito da taxa de alívio de energia.

23

## HISTÓRICO DA MECÂNICA DA FRATURA

### d) *Paris* – 1960

*Paris* e seus colaboradores tiveram dificuldades para estabelecer uma base para aplicação dos princípios da Mecânica da Fratura na análise e estudos de fadiga. Surgia a Lei de *Paris*.

24

## HISTÓRICO DA MECÂNICA DA FRATURA

### e) Wells – 1961

*Wells*, trabalhando com aços estruturais, verificou que estes eram muito dúcteis para o uso da MFLE. A partir desta observação ele apresentou um parâmetro, atualmente conhecido como CTOD (*crack tip opening displacement*), a partir do qual a frente da trinca se desloca com deformação plástica localizada. Surgiu a Mecânica da Fratura Elasto-Plástica (MFEP).

25

## HISTÓRICO DA MECÂNICA DA FRATURA

### g) ASTM – 1965

Criado o Comitê de Mecânica da Fratura da ASTM.

26

## HISTÓRICO DA MECÂNICA DA FRATURA

### h) *Rice* – 1968

*Rice*, desenvolveu outro parâmetro para caracterizar materiais com comportamento não linear, idealizando a deformação plástica como elástica não-linear. Tal parâmetro, atualmente, é conhecido como Integral J

27

## PILARES DA MECÂNICA DA FRATURA

**Griffith (1920)** –  
estabeleceu uma  
relação entre  
resistência à fratura e  
comprimento de trinca.



**Irwin (1948)** –  
reformulou as idéias  
de *Griffith* permitindo  
sua aplicação à  
Engenharia.



**Rice (1968)** –  
formulou as bases da  
Mecânica da Fratura  
não linear.

28

## BIBLIOGRAFIA DE REFERÊNCIA

- **Anderson, T.L.**, *Fracture Mechanics – Fundamentals and Applications*, 3a Ed., Taylor & Francis, USA (2005).
- **Bittencourt, E.**, *Mecânica da Fratura e do Dano*, Porto Alegre (2005).
- **Takahashi, B.X.**, *Metodologia Moderna para Análise de Fadiga Baseada em Elementos Finitos de Componentes Sujeitos à Fadiga Uni e Multiaxial*. Universidade de São Paulo, São Paulo, SP (2014).