

UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SOBRE ENSAIOS DE FADIGA EM COMPONENTES AUTOMOTIVOS

A REVIEW OF FATIGUE TESTS ON AUTOMOTIVE PARTS

SANTOS, Isabeau Nobre¹
LOPES, Diego Meireles¹

Resumo: O presente trabalho tem como objetivo apresentar de modo simples uma revisão bibliográfica sobre os mecanismos de fadiga mecânica em componentes automotivos, e também como esse processo atinge o dia a dia das pessoas envolvidas. Assim, foram analisados quais os principais testes e como se pode obter um resultado positivo, para que não haja a ruptura do material. Portanto, utilizando os estudos as propriedades mecânicas dos materiais, os quais são de extrema importância na engenharia, assim, consegue-se através desses o desenvolvimento de novos produtos e equipamentos, considerando uma das principais propriedades do material que é a resistência à fadiga.

Palavras-chave: Ensaio de fadiga, Propriedades Mecânicas, Fadiga, Ruptura.

Abstract: This paper aims to show in a simple and cohesive way not only the process of mechanical fatigue, but also how it affects the daily lives of the people involved. We will analyze which and how we can obtain a positive result so that the material does not rupture. Then, apply these studies on the mechanical properties of materials, which is extremely important in engineering, we have achieved through it the development of products and new equipment, and one of the great properties is the resistance to fatigue.

Keywords: Fatigue test, Mechanical Properties, Fatigue, Rupture.

¹Bacharel em Engenharia Mecânica – Universidade Santa Úrsula – USU – isabeau.engmec@gmail.com

²Mestre em Engenharia Mecânica e Tecnologia dos Materiais – CEFET/RJ – diego.lopes@usu.edu.br

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos 150 anos a análise de fadiga em materiais tem sido muito importante nos estudos e pesquisas de cientistas, e, continua sendo um dos aspectos mais importantes no projeto mecânico e manutenção de autopeças (KLEINUBING; NETO, 2012).

Todavia, os principais fatores de acidentes de trânsito são causados devido à fadiga de autopeças, que nem sempre são divulgados, devido ao fato de terem parâmetros de difícil reconhecimento.

Assim, a avaliação com exatidão para reconhecer a fadiga de autopeças como falha mecânica veicular é possível através de exames laboratoriais que identificam como transcorreu o processo da falha e seu modo, utilizando componentes que sofreram esforços cíclicos para comparação, por exemplo.

Segundo Kleinubing e Neto (2012), a maioria dos acidentes não conta com a presença do Perito no local do sinistro para a análise do nexa causal.

Isto posto, geralmente é realizada uma perícia depois que os veículos sinistrados já estão em um pátio ou depósito indicado, fato este explicado pelo número insuficiente de profissionais na área pericial, especialistas em Engenharia Mecânica, com ênfase em Automobilística, e carência de investimentos em tecnologia e laboratórios forenses públicos e privados.

O resultado destes fatos são muitas vezes trabalhos periciais não conclusivos, com poucos dados estatísticos sobre as causas dos acidentes de trânsito. (KLEINUBING; NETO, 2012).

Assim, o intuito principal deste trabalho é fazer uma análise das falhas mecânicas causadas pela fadiga de materiais e estudo de caso dos componentes automotivos, contribuindo para o estreitamento dos caminhos e direcionando de maneira sistemática o desenrolar das análises.

Por derradeiro, no presente artigo será demonstrada a importância da análise de falha em componentes veiculares e que essa investigação vai muito além da análise dos dados de campo e da perícia do automóvel, assim, necessitando de uma análise dos dados laboratoriais através da metalografia e outros.

Diversos componentes de máquinas, veículos e estrutura são, frequentemente, solicitados a elevados carregamentos repetitivos ao longo do tempo. Esses carregamentos geram tensões cíclicas que mesmo sendo de baixa intensidade podem provocar danos aos materiais, conseqüentemente, levando-o à fratura ou ruptura. Esse processo de acumulação de danos seguindo de eventual fratura é denominado fadiga mecânica.

2. OBJETIVO

O presente trabalho tem como objetivo uma revisão bibliográfica sobre Fadiga de Materiais, principalmente ligados à indústria automotiva.

A revisão é apresentada sob um aspecto geral descrevendo uma abordagem sob o material em fadiga e sua importância econômica dentro do cenário mundial com uma retrospectiva entre os feitos mais importantes da área em estudo.

3. REVISÃO DA LITERATURA

O estudo da fadiga tornou-se importante à medida que a tecnologia desenvolveu um número maior de máquinas, como automóveis, aviões, compressores, bombas, turbinas, entre outros, sujeitos a carregamento repetido e a vibração (DIETER,1981).

De acordo com Schütz (1996), as falhas por fadiga em componentes estruturais foram publicadas pela primeira vez em 1837 pelo engenheiro Wilhelm Albert, que elaborou uma máquina de testes para avaliar a durabilidade de correntes transportadoras utilizadas em minas na Alemanha no século XIX.

Contudo, a primeira pesquisa científica em fadiga foi publicada em 1870, pelo engenheiro August Wöhler. O trabalho foi resultado de 10 anos de ensaios de fadiga que objetivam entender melhor as falhas em eixos ferroviários. SCHIJVE (2008).

O estudo das falhas ocorridas pelo fenômeno da fadiga ganhou força com início do século XIX, onde houve um grande número de falhas em eixos de vagões ferroviários, estas falhas estavam ocorrendo mesmo em um curto período de utilização.

Esses componentes haviam sido projetados e fabricados com todo o conhecimento disponível na época, porém estes conhecimentos se baseavam apenas em tensões estáticas, e mesmo sendo confeccionados em material dúctil, os eixos apresentavam fratura repentina e de aparência frágil.

Esse período foi de extrema importância para os estudos no campo da fadiga em componentes mecânicos, pois foi o marco para a análise de carregamentos dinâmicos.

Com o objetivo de analisar as falhas dos eixos ferroviários, o engenheiro August Wöhler, também considerado como pai da fadiga, realizou testes em eixos, submetendo-os a carregamentos alternados até sua falha.

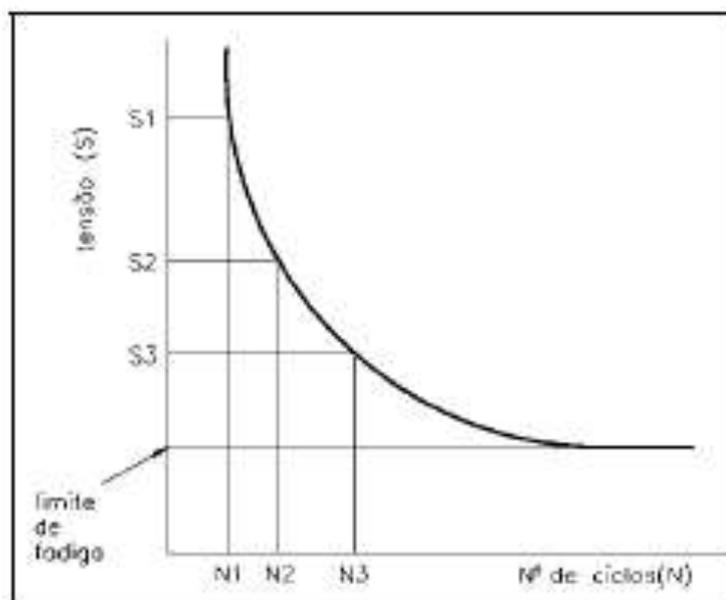
Através destes ensaios descobriu-se que a falha ocorrida devia-se a quantidade de ciclos de tensão as quais o material estava sendo submetido durante certo período de tempo.

Segunda Machado (2018), ao longo das pesquisas foi descoberta a existência de uma tensão limite de resistência a fadiga para aços, ou seja, foi possível definir uma tensão para qual os eixos pudessem resistir a milhões de ciclos de tensões alternadas.

A partir deste estudo surge o diagrama S x N (tensão x número de ciclos), também conhecido como curva de Wöhler, ferramenta essencial para determinação deste limite e estudo da vida a fadiga (MACHADO, 2018).

As falhas por fadiga constituem um custo significativo para a economia e pode envolver também um alto custo de vidas humanas, pois diversos acidentes ocorrem devido a falhas causadas pela fadiga do material (MACHADO, 2018).

Figura 1 – Curva S-N



Fonte: Revista do Parafuso (2005)

A fadiga tem sido uma das principais causas de falhas de componentes mecânicos principalmente de autopeças. É uma forma de falha que ocorre em estruturas sujeitas a tensões dinâmicas, tais como, automóveis, aeronaves e componentes de máquinas. Dentre os diferentes modos de falha, a falha por fadiga representa aproximadamente entre 50 a 90% de todas as falhas dos materiais metálicos (HENKE,2014).

Segundo Callister (2002), O termo “Fadiga” é usado porque a falha ocorre normalmente após um grande período de tensões repetitivas ou ciclos de deformação por um período de tempo. A fadiga é a maior causa de falha em metais, representando cerca de 90% dos casos de falhas em componentes mecânicos.

O ensaio de fadiga é um ensaio dinâmico, onde corpos de prova padronizados são submetidos a esforços repetidos. Existem diversas maneiras de realizar o ensaio, de acordo com o tipo de sollicitação a qual será aplicada, elas podem ser: Torção, Tração-Compressão, Flexão e Flexão-Rotativa, dentre estes será dado enfoque ao de flexão rotativa, ensaio base para elaboração de nosso projeto. (MACHADO, 2018).

3.1. TEORIA DA FADIGA

A Fadiga é o processo de alteração estrutural progressivo, localizado e permanente que ocorre em um material em condições que produzem variações de tensões e deformações em um ou mais pontos do material e que podem culminar em trincas ou fratura completa após um número suficiente de ciclos de carregamento (FONSECA JR., 2003, p.12).

Portanto, a fadiga mecânica nada mais é do que a ruptura de componentes, sob uma carga bem inferior à carga máxima suportada pelo material, devido a sollicitações cíclicas repetitivas.

3.2. O FENÔMENO DA FADIGA

As fraturas por fadiga representam aproximadamente 90% das falhas em serviços relacionados com causas mecânicas.

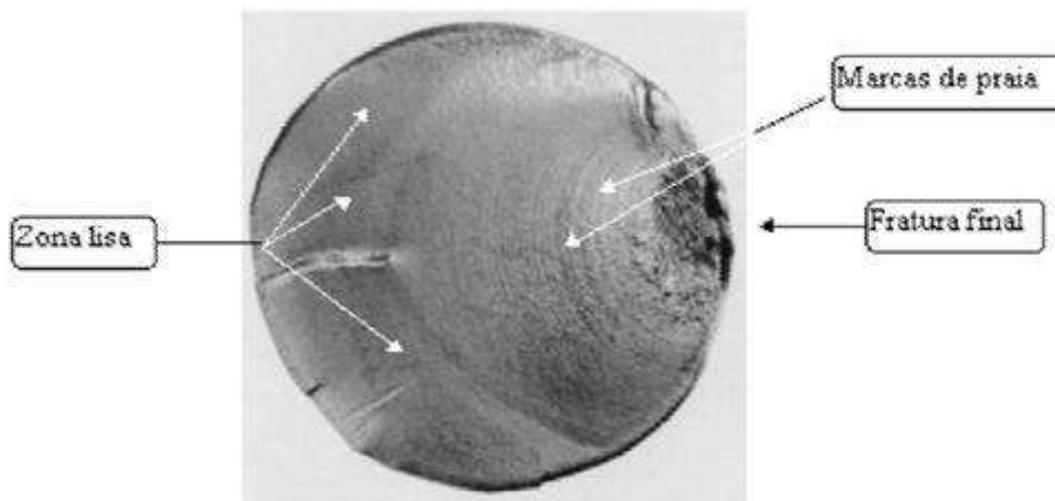
Para que haja o fenômeno da fadiga é preciso que ocorra de forma simultânea os seguintes processos: Carregamentos cíclicos; Deformações plásticas; e Tensões normais de tração durante o carregamento cíclico. Se qualquer um desses três fatores não existir, não ocorre o fenômeno da fadiga (FONSECA Jr, 2003).

A maioria das falhas ocasionadas pela fadiga são reconhecidas, geralmente, a partir do aspecto da superfície de fratura, a qual apresenta uma região lisa decorrente da fricção que se verifica entre as superfícies durante a propagação da trinca através da seção transversal do material.

A figura 1 ilustra uma zona onde a trinca iniciou e progrediu lentamente, que é região lisa e uma zona fribosa onde ocorreu a fratura brusca. Podendo-se notar uma região fortemente deformada (SENGMES, 2002).

Segundo Fonseca, Jr (2003, p. 12), “ O fenômeno da fadiga pode ser dividido em quatro etapas ou estágios distintos”, são eles:

Figura 2 – Superfície de fratura por fadiga



Fonte: SENGMEC (2002)

3.3.1 Nucleação da Trinca

De acordo com Fonseca Jr, (2003, p.12), “ As trincas por fadiga são encontradas na maioria das vezes em superfícies livres. Nas raras vezes onde as trincas por fadiga ocorrem no interior do material, existe sempre uma interface envolvida”.

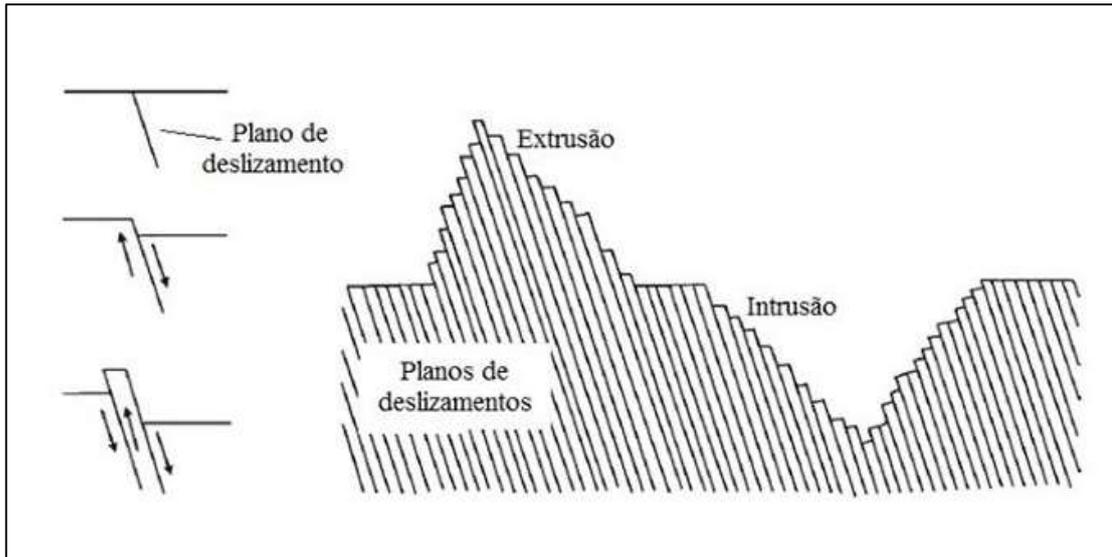
Por outro lado, para Garcia (2012, p.229), “ As trincas têm início em regiões de alta concentração de tensão ou em regiões de baixa resistência local.

Defeitos de superfície como ranhuras, pequenas trincas de usinagem, mau acabamento superficial ou pontos que sofreram deformação localizada e, principalmente formas que compõem cantos em ângulos retos ou entalhes correspondem aos principais fatores para a nucleação de trincas”.

Embora a nucleação de trincas geralmente ocorra em entalhes ou em outras discontinuidades, até mesmo em superfície sem defeitos as trincas podem ocorrer.

A formação de bandas de deslizamento é inerente a superfície dos materiais e pode levar a nucleação. Elas são o resultado do acúmulo sistemático de pequenos deslizamentos na ordem de 1 nm. O movimento destas bandas leva a formação de intrusões e extrusões na superfície, levando a formação de trincas.

Figura 3 – Desenvolvimento de intrusões e extrusões durante a nucleação de trincas de fadiga



Fonte: REVISTA FERRAMENTAL (2018)

3.3.2 Crescimento da trinca em bandas de deslizamento com alta tensão de cisalhamento

As microtrincas seguem crescendo até que atinjam certo tamanho que passam a se propagar de forma perpendicular às tensões de tração agentes no material.

Para Rosa (2012), no primeiro estágio de propagação, as tensões cisalhantes são as que são importantes, enquanto que no estágio 2 as tensões de tração são as que controlam o crescimento até atingir a ruptura final.

A relação proporcional de cada estágio como total de número de ciclos até a falha está ligada às condições que o componente está sendo submetido e às propriedades do material.

Na maioria dos componentes lisos como corpo de prova, mais de 70% da vida é usada para a nucleação e para a propagação no estágio 1, restando os 30% da vida para a propagação no estágio 2.

3.3.3 Crescimento da trinca na direção perpendicular à tensão máxima de tração

Neste segundo estágio de crescimento da trinca, ela atinge tamanho suficiente para crescer perpendicularmente ao eixo da máxima tensão de tração, verificando-se na superfície de fratura, a presença de estrias produzidas pelo carregamento cíclico e a presença de marcas de praia devido às várias ações da frequência, amplitude da carga durante o carregamento ou por paradas no crescimento da trinca, as quais podem ser vistas na figura 3.

As estrias apresentadas na figura um são formadas por paradas no crescimento da trinca, seja por uma redução da carga ou por uma parada do equipamento.

Quando a carga que provoca a falha por fadiga é de amplitude constante as linhas de repouso praticamente não aparecem, como é o caso da falha em corpos de prova de fadiga.

No caso de materiais frágeis ou duros, como as ligas de alta resistência de alumínio e os aços tratados de alta dureza, a nucleação das trincas inicia na interface entre a matriz e as inclusões existentes, já que a matriz não chega a ser deformada plasticamente.

Desta forma não surgem as bandas de deslizamento na superfície livre, com a nucleação iniciada mais no interior do material.

3.3.4 Ruptura do Material

A trinca continuará a crescer enquanto tensões de tração cíclicas e/ou fatores de corrosão estiverem presentes. Em um certo ponto, o tamanho da trinca torna-se grande o bastante para aumentar o fator de intensidade de tensão “K” na extremidade da trinca, até o nível da tenacidade à fratura do material “K_c” quando ocorre, de maneira instantânea, uma falha repentina e catastrófica no próximo ciclo de tensão de tração.

Segundo Fonseca Jr (2003, p.18), com o estudo da superfície da fratura de fadiga pode-se determinar:

- Os pontos de nucleação;
- Direção de crescimento da trinca
- Tamanho da trinca de fadiga antes da ruptura final
- Intensidade do esforço que foi submetido o material;
- Direção de carregamento

3.3. MODELOS DE FALHA POR FADIGA

Para Norton (2004), existem três modelos de falha por fadiga em uso e cada um possui uma área de aplicação e um propósito. As abordagens são: o modelo tensão-número de ciclos (S-N), o modelo deformação-número de ciclos (ϵ -N) e o modelo da mecânica da fratura linear-elástica (MFLE).

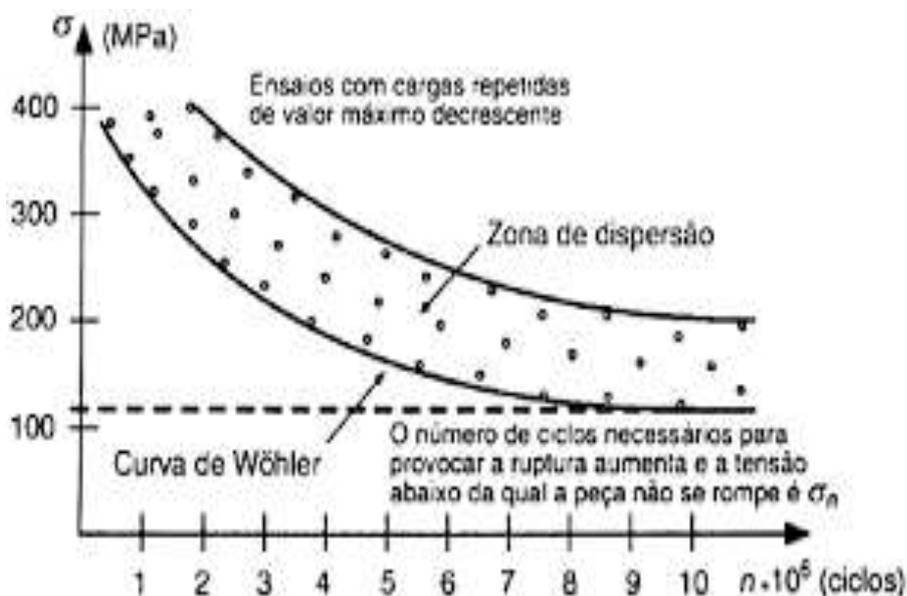
A utilização de cada método vai conforme a necessidade de cada particularidade que ambos fornecem, cabendo ao responsável pelo projeto escolher o mais apropriado para a situação definida.

3.3.5 Curva Wöhler (S-N)

A abordagem tensão-número de ciclos, ou seja, a curva de Wöhler é usualmente utilizada para caracterização de materiais em aplicações que envolvem fadiga de alto-ciclo, que relaciona a vida do material (número de ciclos) pelo limite de escoamento, obtendo número de ciclos maiores que 10^3 . Esta tornou-se a forma padrão para caracterizar o comportamento dos materiais submetidos a tensões cíclicas. (NORTON,2004).

A figura 4 apresenta a curva de Wöhler e suas zonas de fadiga e alto ciclo, transição e projeção a vida infinita.

Figura 4 – Representação da Curva de Wöhler



Fonte: Inspebras (2001).

3.3.6 Deformação-número de ciclos (ϵ -N)

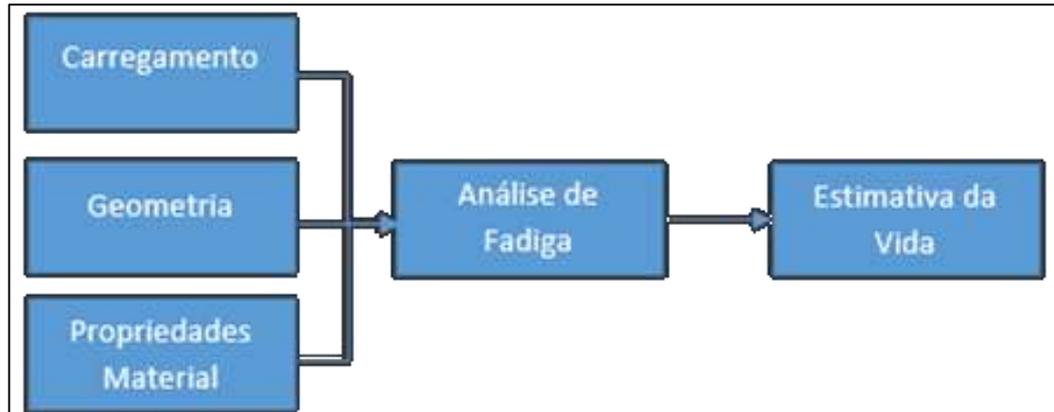
É o que reconhece explicitamente as deformações elasto-plásticas cíclicas atuantes no ponto mais solicitado da peça, e também as correlaciona com a vida de pequenos corpos de prova, geralmente testados em tração e compressão.

Estes dois métodos são similares filosoficamente, e são aplicados ou para prever a vida de pequenas peças ou o tempo de iniciação das trincas em estruturas de grande porte (quando comparadas aos corpos de prova padronizados).

3.3.7 Modelo mecânica da fratura linear-elástica

É através do cálculo da vida no estágio de propagação da trinca, considerando o início da contagem de ciclos com a nucleação da trinca. Método bastante complexo, sensível a condições iniciais da trinca. Pode-se observar na figura 5 abaixo a contabilização da vida fadiga.

Figura 5 – Representação da contabilização da vida fadiga



Fonte: Ensus, (2016)

3.4. METODOS DE ENSAIO DE FADIGA

Uma das mais importantes na caracterização de um elemento em relação à fadiga, quando se trata da abordagem tensão-número de ciclos é a curva de Wöhler.

Algumas variáveis como limite de resistência à fadiga, vida e sobrevida são características que devem ser consideradas na execução de projetos.

E com isso há possibilidades de se escolher alguns métodos de acordo com o objetivo do ensaio. Segue alguns desses métodos:

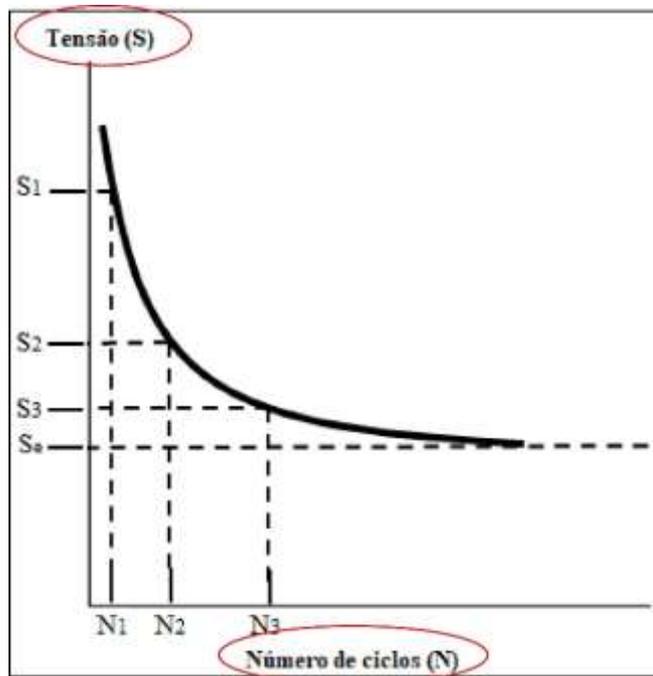
- Estimativa de Curva
- Tensão Constante
- Sobrevivência

3.3.8 Método Estimativa de curva

É o mais utilizado com se procura estimar toda curva S-N. Devendo utilizar-se no mínimo 10 corpos de prova, conforme é recomendado pela ISO 6892 de acordo com a necessidade. Realizando-se os ensaios da fadiga em diferentes níveis de tensão, modificando a cada novo ensaio.

Os dados são plotados em um gráfico Tensão x Número de ciclos e uma curva média é traçada através dos pontos obtidos.

Figura 6 – Representação da Curva S-N



Fonte: Scielo, (2019)

3.3.9 Método de tensão constante

Este método baseia-se na determinação da vida em fadiga em um nível de tensão definido para aplicação do componente.

Os experimentos têm indicado que este método é mais eficiente para os níveis de tensões maiores que a tensão de escoamento do material.

3.3.10 Método da Sobrevivência

Este é usado para determinar a média e o desvio-padrão do limite de resistência à fadiga para uma vida prescrita.

Assim, são ensaiados corpos de prova em faixas estreitas de tensão, limitadas entre dois desvio-padrão acima e abaixo do limite de resistência à fadiga estimado empiricamente. Determinando assim o limite médio de resistência à fadiga e seu desvio médio.

4. ENSAIO DE FADIGA

O ensaio de fadiga consiste na aplicação de carga cíclica em um determinado corpo de prova apropriado e padronizado por normas segundo o tipo de ensaio a ser realizado. Portanto, é capaz de fornecer dados quantitativos relativos às características de um material ou componente, o ensaio de fadiga é realizado em um conjunto de amostras e vários níveis de tensão para gerar uma relação de vida em fadiga em função da tensão. seus principais resultados normalmente obtidos através de gráficos Tensão-Número de ciclos, são: limite de resistência à fadiga, resistência à fadiga e a vida em fadiga (GARCIA, 2012).

Os aparelhos existentes hoje no mercado, para o ensaio de fadiga, são constituídos por um sistema de aplicação de cargas, aonde permite-se alterações na intensidade e sentido do esforço causado, através de um contador de número de ciclos.

Esses tipos de aparelhos, são programados para que assim que ocorra a ruptura do corpo de prova, ele seja interrompido.

4.1. TIPOS DE ENSAIO

Os tipos de ensaio de fadiga são o ensaio por flexão rotativa, por tração-compressão, por tração e por flexão (GARCIA,2012).

4.1.1. Flexão Rotativa

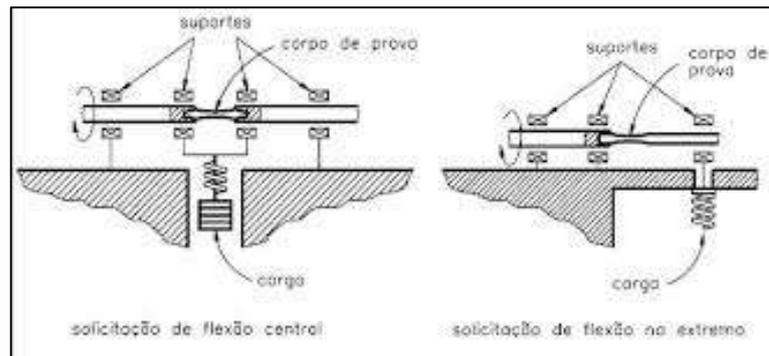
O ensaio por flexão rotativa segue sendo o ensaio mais utilizado, pois tem a possibilidade em realizar teste em alta frequência, diminuindo assim o tempo necessário aos testes e assim viabilizar sua execução em larga escala.

Este ensaio consiste em submeter um corpo de prova a solicitações de flexão, enquanto o mesmo é girado em torno de um eixo, por um sistema motriz com conta-giros, numa rotação determinada e constante.

Segundo MACHADO (2018), foi observado que o ensaio de fadiga por flexão rotativa é adequado para estimar o limite de fadiga de um material, sendo que, a partir deste é possível iniciar a análise e dimensionamento de componentes mecânicos, conhecendo sob quais cargas e período de tempo este poderá ser utilizado.

Assim, podendo assim prevenir falhas inesperadas e acidentes causados pela fratura de componentes devido a fadiga.

Figura 7 – Solicitação de flexão



Fonte: EBAH, (2010)

-Momento de Flexão(M_b)

$$M_b = \frac{P \cdot l}{2}$$

P= carga

-Tensão de Flexão (S_b)

$$S_b = \frac{M_b}{W}$$

W = módulo de Resistência

Já para seções circulares, tem-se:

$$W = \frac{\pi \cdot d^3}{32}$$

$$S_b = \frac{M_b \cdot 32}{\pi \cdot d^3} = \frac{P \cdot l \cdot 32}{2 \cdot \pi \cdot d^3}$$

4.1.2. Tração

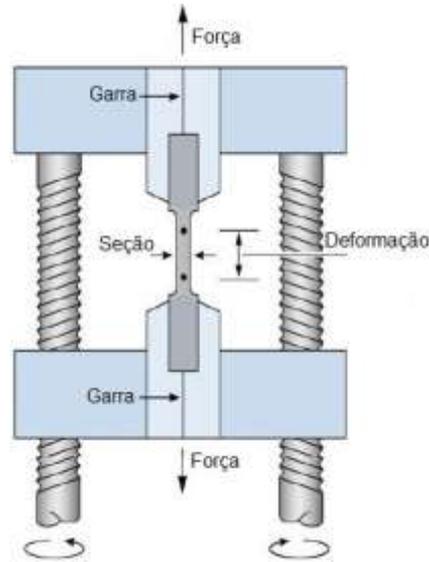
O ensaio de tração consiste na aplicação de uma força de tração axial num corpo de prova padronizado, promovendo a deformação do material na direção do esforço, que tende a alongá-lo até fraturar, conforme pode-se observar na Figura 8.

Devido à facilidade de execução e reprodutibilidade dos resultados, este ensaio é amplamente utilizado.

Além disso, através da medição da força e do alongamento a cada instante do ensaio é possível construir um gráfico tensão-deformação, a interpretação correta desse gráfico fornece importantes propriedades mecânicas do material.

Entre essas propriedades, vale ressaltar o módulo elástico, alongamento, tensão de escoamento, limite de resistência à tração e tensão de ruptura, além de possibilitar a comparação entre ductilidade e fragilidade entre os materiais.

Figura 8 – Solicitação de tração axial do corpo de prova



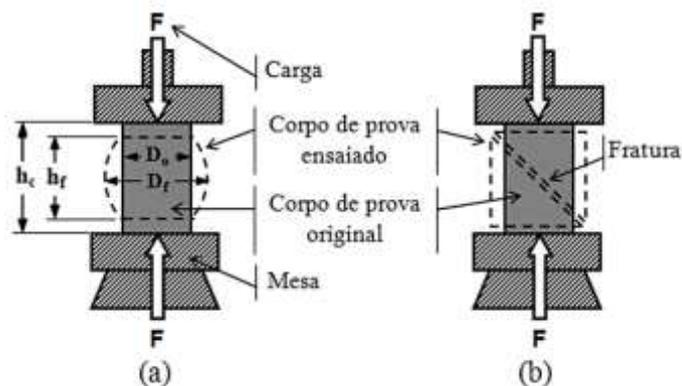
Fonte: EBAH, (2010)

4.1.3. Compressão

O ensaio de compressão é a aplicação de carga compressiva uniaxial uniforme na seção transversal em um Corpo de Prova (CP), conforme pode-se observar na figura 9.

As propriedades mecânicas obtidas são as mesmas do ensaio de tração, onde é principalmente observado o carregamento e a deformação do material.

Figura 9 – Ensaio de compressão do corpo de prova



Fonte: BIOPDI, (2013)

4.1.4. Flexão

O ensaio de flexão é utilizado para determinar as propriedades de Resistência à Flexão, Módulo de Elasticidade, Deformação sob Flexão, entre outras.

Essas propriedades são importantes para o controle de qualidade e para avaliar o desempenho dos materiais plásticos quando submetidos a uma carga de flexão.

Figura 10 – Ensaio por flexão de um corpo de provas.



Fonte: Afinkopolimeros (2019)

5. ESTUDOS DE CASO

O estudo de caso apresentado a seguir visa exemplificar, um exemplo de um braço de suspensão inferior analisado pelo Método de Elementos Finitos ocorreram, que obtiveram como causa a fadiga.

5.1. FADIGA MECÂNICA EM COMPONENTES AUTOMOTIVOS

Os métodos de estimativa de vida a fadiga SN e EN fazem parte das ferramentas de análise estrutural de software CAE baseados no método dos elementos finitos. As propriedades mecânicas de material, e em especial curvas SN e EN, levantadas nos ensaios de fadiga são informadas para análise por elementos finitos por software computacional.

O modelo matemático de elementos finitos representa naturalmente a geometria do componente, e carregamento alternado e as tensões e deformações calculadas são outros dados necessários para efetuar a estimativa de vida.

Este ensaio virtual permite avaliar a vida da estrutura com rápida alteração de qualquer uma das variáveis (geometria, carga, propriedade) a um custo muito baixo em relação a um ensaio em laboratório.

Em uma primeira observação pode-se levar a crer que o carregamento sofrido pela maioria das estruturas de engenharia são estáticos, porém elas estão sujeitas a cargas que são de um modo geral variáveis no tempo.

5.2. FADIGA MECÂNICA NO DIA A DIA

Em uma primeira observação somos levados a crer que o carregamento sofrido pela maioria das estruturas de engenharia são estáticos, porém elas estão sujeitas a cargas que são de um modo geral variáveis no tempo. Para que haja uma exemplificação melhor do que estamos abordando, vamos comentar sobre alguns casos:

- Embreagem - A embreagem é responsável pela ligação entre volante e caixa de marchas, que por sua vez se liga às rodas. Sua função é desacoplar o disco do platô, interrompendo essa ligação, para que a mudança de marcha seja realizada.

Um dos problemas mais comuns é quando a embreagem fica deslizando ou patinando e não gera o torque necessário para o sistema de transmissão do veículo. Esse problema ocorre por diversos motivos, em geral quando o disco da embreagem não consegue ser freado pelo platô, devido a algum dano ou mesmo excesso de resíduos, como graxa ou óleo.

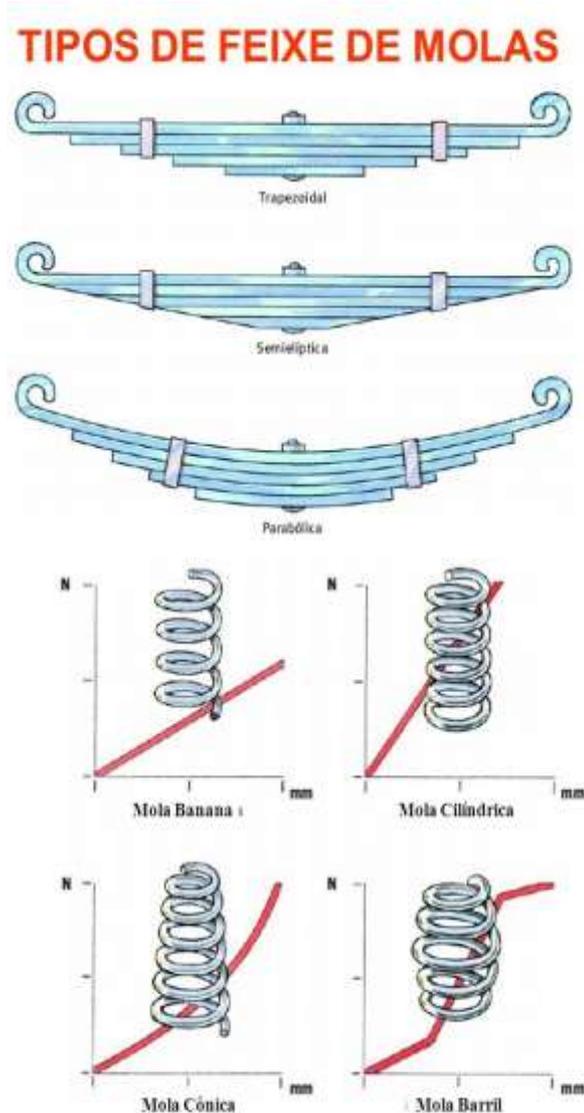
Figura 11 – Modelo de Kit Embreagem Mecânica de caminhão SCANIA



Fonte: VALEO (2018)

- Mola de suspensão - As molas são itens do sistema de suspensão, responsáveis por absorver, juntamente com os amortecedores, os impactos sofridos pelo carro, devido às irregularidades do solo. Podem ser do tipo feixe ou helicoidal. É aconselhado a substituição da mesma em 70 mil km para as de feixe e 60 mil Km para as helicoidais. Esses valores são estipulados para que não haja a quebra da peça, mas dependendo do uso do automóvel o surgimento da trinca que é um dos processos para a fadiga do material, pode surgir até antes do aconselhado.

Figura 12 - Tipos de feixes de Molas de Suspensão



Fonte: Adaptado (2019)

5.3. ACIDENTE FATAL NO AUTOMOBILÍSMO

O acidente que ocasionou a morte do piloto brasileiro da escuderia Williams de Fórmula 1, Ayrton Senna, provocou uma grande comoção nacional no dia 1º de Maio de 1994. Na época, foi instaurada uma comissão de doze peritos para investigação oficial das causas do acidente no circuito de Imola na Itália.

Figura 13 – Imagem do F1 de Ayrton Senna após o acidente da corrida de Imola.



Fonte: esportesmotor.com (2019)

O laudo pericial apresentado à época, após avaliações da pista, as medidas de segurança do autódromo e a parte mecânica do automóvel concluiu que o acidente foi provocado pela ruptura por fadiga de uma emenda aplicada à coluna de direção do carro.

A emenda foi uma resposta dos engenheiros às críticas do piloto Senna a posição de dirigir o veículo. Ao segurar o volante, as mãos de Senna raspavam na parte de fibra de carbono do cockpit. Havia duas alternativas para solucionar o problema. A primeira, mais trabalhosa, era refazer por completo o cockpit.

Por outro lado, a outra opção, aumentar o comprimento da coluna de direção, aproximando o volante do piloto em alguns centímetros. A equipe de Senna optou pela segunda alternativa, mais rápida e fácil de executar pois seria impossível redesenhar o carro no meio do campeonato (VEJA, 1997).

A coluna de direção foi fabricada, em sua maior parte, por um tubo de aço de 22 mm de diâmetro, mas foi modificada para que ficasse mais larga. Um outro tubo de 18 mm de diâmetro (com 5 cm de comprimento) foi soldado em ambos os lados e adicionado à coluna principal. Ficando 30 cm com o diâmetro inicial, 5 cm com a emenda e sua seqüência com o diâmetro inicial.

Assim, os mecânicos fizeram uma "luva", soldando-a numa das extremidades da coluna de direção já seccionada. O outro lado dessa luva, de diâmetro ligeiramente inferior ao da coluna de direção, foi encaixado por dentro da coluna e soldado. (RIVA, 2004).

Com isso, durante o decorrer da corrida da etapa de imola na Itália, o cordão de solda realizado no eixo da barra de direção do F1 foi sendo desgastado por fadiga, devido à solicitação repetida de torção e flexão, até que em uma curva em alta de velocidade, a mais de 200 km/h, o piloto Senna esterçou o volante e o carro não mais obedeceu se chocando contra o muro e o braço da suspensão acabou acertando o capacete próximo a viseira acidentando o piloto.

Figura 14 – Modelo da barra de direção do F1 Willians



Fonte: Alta Octanagem Brasil (2017)

A figura 14 acima mostra a situação do volante com a coluna de direção quebrada após o acidente. A ruptura foi possivelmente provocada pelo processo de fadiga do material devido a solicitações ou esforços repetidos e a possíveis problemas de soldagem.

A identificação da causa foi possível, principalmente, pelas marcas de praia que surgiram a cada ciclo de solicitação, isto é, a cada vez que a coluna de direção se submetia a um tipo de esforço, como torção ou flexão. No caso da coluna de direção do veículo de Senna, ocorria torção quando ele virava o volante para manobrar o carro e flexão pela trepidação e vibração do veículo. (RIVA, 2004).

A comprovação da suspeita inicial dos peritos foi feita por meio de exame da peça em um microscópio eletrônico, que mostrou sinais de fadiga no metal da coluna da direção do carro.

O exame no microscópio eletrônico apontou que 70% do setor ao redor do local de fratura apresentava as famosas marcas de fadiga. Assim, menos de dois meses depois do acidente, já havia testes de laboratório comprovando que a coluna de direção se quebrou antes da batida do carro contra o muro, e não depois. (VEJA, 1995).

Figura 15 – Sinais de possível fadiga na coluna de direção do carro acidentado.



Fonte: Alta Octanagem Brasil (2017)

De acordo com todos os estudos e laudos apontados, ficou claro a combinação de indícios, como mostra a figura 15, vestígios e com os exames laboratoriais apresentado as marcas de praia de fadiga na coluna de direção, possibilitaram aos peritos concluir que o acidente foi ocasionado pela ruptura da emenda aplicada à coluna de direção do carro.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os estudos sobre análise de ensaios de fadiga são de extrema importância para projetos de componentes mecânicos automotivos, pois através desses é possível selecionar corretamente os materiais, determinar qual o melhor *design* para fabricação de um componente, mecanismo, peça ou produto, estimar a vida útil destes, analisar falhas ou defeitos de fabricação ou uso, verificar seu comportamento quando em utilização.

Assim, com esses dados é possível, por exemplo, programar manutenções antes de uma falha catastrófica que pode levar a perdas de produção e por consequência perdas econômicas.

As falhas por fadiga podem causar prejuízos materiais e humanos, já que existem inúmeros casos de acidentes causados pela fadiga, tais como, em aviões, navios, automóveis entre outros.

Por fim, esse trabalho de revisão bibliográfica é importante para contribuir com os avanços nos estudos de fadiga mecânica para prevenir e assim tornar mais seguro os componentes mecânicos automotivos podem sofrer falhas devido ao projeto, falta de manutenção ou até mesmo mal uso do produto.

7. SUGESTÃO DE TRABALHOS FUTUROS

Sugere-se realizar análise de fadiga em outros projetos de componentes mecânicos automotivos para estimar a vida útil destes, analisar falhas ou defeitos de fabricação ou uso, principalmente para auxiliar em caso de perícias de engenharia mecânica.

Ainda, recomenda-se realizar análise de fadiga em outros projetos de componentes mecânicos automotivos através da técnica de elementos finitos, utilizando softwares, tais como, Cosmos, ANSYS, entre outros.

REFERÊNCIAS

CALLISTER JR., WILLIAM D., Ciência e Engenharia dos Materiais: Uma Introdução, 1a ed., Rio de Janeiro, LTC, 2002

DA ROSA, Edison. Análise de Resistência Mecânica, UFSC, 2012.

<http://www.grante.ufsc.br/download/Fadiga/FADIGA-Livro-Edison-da-Rosa.pdf>

FONSECA Jr, Taylor Mac Intyer. Métodos de previsão da curva deformação-vida em fadiga para as ligas de alumínio AA6261-T6 e AA6351-T6. 2013, 157f.

MACHADO, Heloíza Fadiga em componentes mecânicos: estudo para redução de perdas econômicas e de vidas. XV SEGeT, 2018, Volta Redonda, RJ.

Site de Pesquisa Ensus, Disponível em:

<http://ensus.com.br/fadiga/>

SOARES, Marco A. Ensaio de materiais I-30 – Ensaio de Fadiga. Disponível em:

<https://www.mspc.eng.br/dir90/ens3.php>

VEJA. O remendo fatal. São Paulo: Abril, edição 1390, 1995. Disponível em:

<http://veja.abril.com.br/idade/exclusivo/050203/senna.html>. Acesso em: 02 de dezembro de 2019.

GARCIA, Amauri; SPIN, Jaime A.; SANTOS, Carlos A. dos. Ensaio dos Materiais. 2.ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012.

NOGUEIRA, Rodrigo de Moura, Máquina de testes de fadiga mecânica por flexão rotativa. 2014. 29f. Projeto de Graduação – Curso Superior de Engenharia Mecânica. PUC, Rio de Janeiro, 2014.