

INFORMAÇÕES GERAIS DO TRABALHO

Título do Trabalho: Construção de uma máquina de ensaio de fadiga por flexão rotativa de baixo custo

Autores: Luiz Augusto Ferreira de Campos Viana, Jefferson Rodrigues da Silva, Felipe Fernandes Lopes, Aryelton Dias Gonçalves, Vinícius Fonseca da Silva, Marcos Raphael Batista Gonçalves e João Victor Oliveira Rodrigues

Palavras-chave: Fadiga; Máquina de ensaio; Baixo custo.

Campus: Arcos

Área do Conhecimento (CNPq): Máquinas, Motores e Equipamentos.

RESUMO

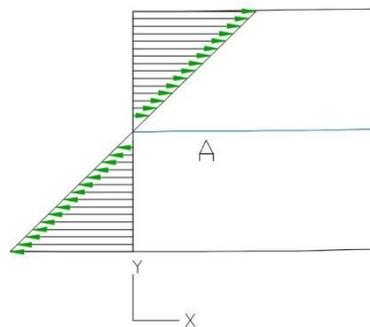
Dentre os inúmeros fatores que um engenheiro deve considerar em um projeto há o fato de que um elemento sujeito a um carregamento alternado pode sofrer fratura por fadiga. Um fenômeno que pode causar redução da vida útil do componente e em alguns casos falhas repentinas. Para evitar os danos de uma eventual falha e possibilitar a previsibilidade da resistência dos materiais quando expostos à carregamentos alternados, são efetuados ensaios mecânicos que simulam as condições reais de operação e seus resultados podem então ser utilizados para tornar os equipamentos mais seguros e confiáveis. No entanto, as máquinas que realizam tais ensaios normalmente são caras, o que dificulta o acesso a dados confiáveis sobre a resistência de determinado material quando submetido a carregamento cíclico. Este trabalho tem por objetivo a construção de uma máquina de ensaio de fadiga por flexão rotativa de baixo custo, para que a obtenção de informações sobre a resistência à fadiga de materiais submetidos a carregamentos que envolvam flexão rotativa seja acessível aos alunos do IFMG – *Campus* Avançado Arcos. Para efetuar a construção com o menor custo possível foi seguido o modelo de R. R. Moore que é o mais comum por ser simples e de fácil construção, também foram utilizados elementos de máquina reaproveitados advindos de doações. Além disso foi desenvolvido um sistema de aquisição de dados utilizando a plataforma para projetos eletrônicos Arduino e um sensor óptico digital para substituir o sistema analógico ou mecânico geralmente empregado neste tipo de máquina. Com isso foi cumprido o objetivo de finalizar a construção mantendo o baixo orçamento, resultando em uma máquina de ensaio de fadiga por flexão rotativa funcional e de fácil manuseio para os laboratórios da instituição e que poderá então ser utilizada para o desenvolvimento de diversas pesquisas e atividades didáticas que irão agregar conhecimentos importantes na formação dos alunos.

INTRODUÇÃO:

O estudo do fenômeno denominado fadiga teve início no século XIX com a percepção de que alguns eixos de vagões projetados e testados para resistir à um carregamento estático, quando colocados em operação, fraturavam-se mesmo estando submetidos a níveis de tensão muito inferiores aos níveis suportados nos testes estáticos. Isto se deve ao fato de que, em um carregamento estático de flexão, tal

qual os eixos eram expostos nos testes executados antes de coloca-los em operação, a metade inferior da seção transversal está sujeita a uma tensão normal de tração enquanto a metade superior sujeita a uma tensão normal de compressão (Figura 1).

Figura 1 - Distribuição de tensões normais à seção transversal em um eixo submetido a flexão pura



Fonte: Próprios autores

Quando o eixo gira por 180° , a parte da seção transversal antes tracionada é comprimida e região antes comprimida é tracionada. Esta rotação do eixo caracteriza um carregamento dinâmico em que qualquer ponto da seção transversal (exceto pontos sobre a linha neutra) é submetido a esforços alternados de tração e compressão ao longo do tempo. Este tipo de esforço pode antecipar a falha de um material que estaria corretamente dimensionado para trabalhar sob carregamentos estáticos.

A falha de uma peça da natureza de um eixo rotativo, por exemplo, se dá por três etapas: nucleação da trinca, propagação da trinca e fratura. A nucleação da trinca ocorre a partir de concentradores de tensões no interior da peça e a propagação da trinca ocorre somente sob tração. Quando um eixo é submetido a um carregamento de flexão, metade dos pontos de sua seção transversal serão expostos a tração, enquanto que em um carregamento de flexão rotativa, todos os pontos da seção transversal em algum momento serão expostos a tração, exceto aqueles localizados exatamente sobre a sua linha neutra. Tal fato justifica a ruptura por tensões menores em carregamentos dinâmicos, pois há maior probabilidade de nucleação de trincas e maior propensão à propagação das mesmas. (BUDYNAS,2005)

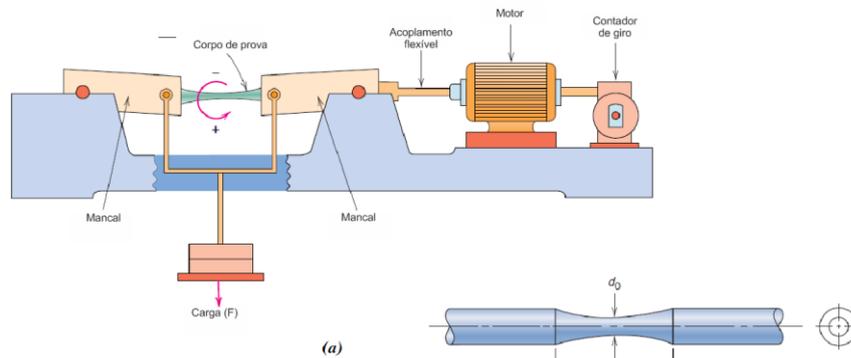
Há uma tensão limite abaixo da qual não haverá este tipo de fratura, então o material apresentará vida infinita à fadiga. Qualquer tensão acima desta promoverá a fratura após um determinado número de ciclos de solicitações, e o aumento da tensão implica na redução do número de ciclos até a fratura.

Ao se projetar um elemento que será submetido a um carregamento dinâmico busca-se sempre a vida infinita à fadiga. Para o projeto é necessário conhecer o número de ciclos que o material suporta sob a tensão que será imposta sobre ele. Por isso é preciso simular as condições de operação sobre a peça ou caso não seja possível, sobre um corpo de prova composto do mesmo material (preferencialmente do mesmo lote) para assegurar que o projeto não seja comprometido por desconsiderar as características do material.

Em 1919 R. R. Moore desenvolveu uma máquina de ensaio de fadiga por flexão rotativa para simular estas condições de carregamento alternado (Figura 2), na qual um corpo de prova é submetido a flexão por um sistema de pesos ou hidráulico enquanto é rotacionado através da ação de um motor. Um

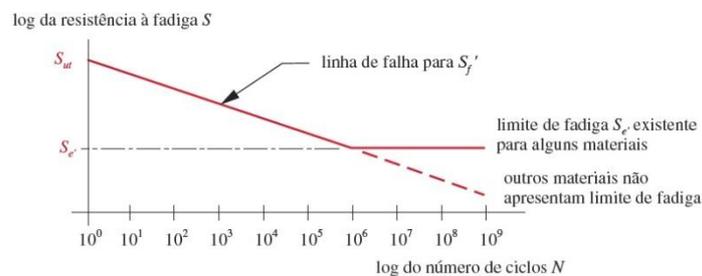
mecanismo realiza a contagem dos ciclos em paralelo, e então obtém-se a quantidade de ciclos requerida para a ruptura do corpo de prova em relação a uma tensão conhecida. Compilando os dados de ruptura de vários corpos de prova sob tensões variadas é possível confeccionar a curva S-N (tensão-número de ciclos) referente ao material (NORTON,2013) (CALLISTER; RETHWISCH, 2012). Um exemplo de curva S-N pode ser vista na Figura 3, onde o eixo das ordenadas corresponde à tensão aplicada ao corpo de prova e o eixo das abscissas corresponde ao número de ciclos de alternância de tensão suportado pelo corpo de prova, ambos em escala logarítmica.

Figura 2 - Máquina de R. R. Moore



Fonte: (CALLISTER; RETHWISCH, 2012)

Figura 3 - Exemplo de Diagrama S-N.

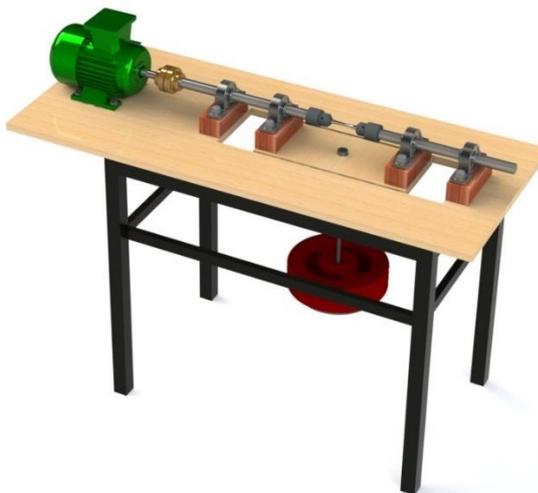


Fonte: (NORTON, 2013)

O conhecimento sobre a fadiga é fundamental na formação de engenheiros mecânicos, porém a aquisição de máquinas de ensaio de fadiga é dificultada pelos altos preços. Uma maneira encontrada para contornar esse empecilho foi construir uma máquina de ensaio de fadiga por flexão rotativa de baixo custo, utilizando elementos de máquina reaproveitados e elaborando um sistema de contagem de ciclos eletrônico específico para este projeto.

Como base para a construção da máquina foi confeccionado um modelo tridimensional adaptado do modelo de R. R. Moore (Figura 2). O modelo, apresentado pela Figura 4, foi desenvolvido utilizando o software SolidWorks, ano 2017.

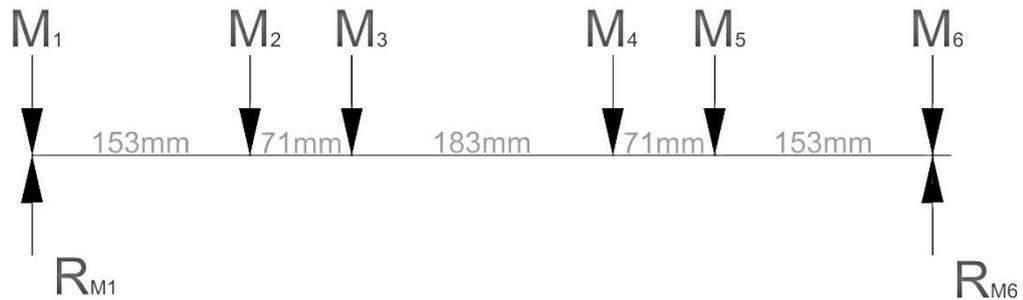
Figura 4 - Modelo tridimensional



Fonte: Próprios Autores

A partir do modelo tridimensional, partiu-se para a construção da máquina. Foi fabricada então uma mesa com estrutura metálica sobre a qual foi inserido um tampo de madeira para dar suporte aos demais componentes do equipamento. A mesa foi fabricada a partir de sucata e materiais reutilizados. Um motor elétrico de um quarto de cavalo de potência e 3450 rpm sem uso foi doado e reaproveitado, sendo utilizado para promover a rotação do corpo de prova. Para conexão do eixo do motor ao eixo primário, que suporta um dos mandris, foi utilizado um acoplamento flexível GR 067 que permite um desalinhamento do eixo de 1,5 graus. Este desalinhamento é o que permite a flexão do corpo de prova. Os eixos primário e secundário foram fabricados sob medida para o projeto, utilizando o aço SAE 1045, após todos os cálculos pertinentes ao seu dimensionamento serem finalizados. Para suporte dos eixos, foram utilizados mancais de rolamentos autocompensadores, também reaproveitados, para permitir o desalinhamento dos eixos. A intensidade da tensão de flexão atuante no corpo de prova é definida em função dos pesos fixados na parte inferior do tampo livre da mesa, seguindo o diagrama de corpo livre apresentado na Figura 5, onde M_1 , M_2 , M_3 , M_4 , M_5 e M_6 são as diversas forças aplicadas sobre os eixos conectados pelo corpo de prova e R_{M1} e R_{M6} representam as reações de apoio nos dois mancais fixados na mesa.

Figura 5 - Diagrama do sistema



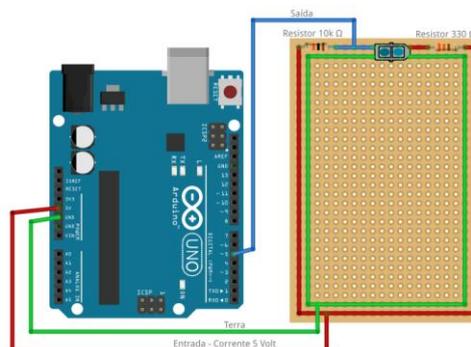
Fonte: Próprios Autores

Para contagem dos ciclos de tensão aos quais os corpos de prova são submetidos, foi utilizada a plataforma Arduino e componentes eletrônicos, tais como sensor óptico reflexivo, *jumpers*, resistores e *protoboard*, que foram devidamente montados e programados para tal finalidade. O esquema de montagem do contador de ciclos eletrônico é apresentado na Figura 6. Um resumo dos componentes utilizados no projeto é apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 - Lista de materiais

Descrição	Quantidade	Descrição	Quantidade
Mesa	1	Rolamento UC205	4
Haste	1	Mandril 1/2"	2
Motor 1/4 HP	1	Base para mancal	4
Acoplamento GR 067	1	Sensor TCRT 5000	1
Base para as anilhas	1	Resistor 10k Ω	1
Eixo primário	1	Resistor 330 Ω	1
Eixo secundário	1	<i>Protoboard</i>	1
Parafuso	12	<i>Jumper</i>	1
Mancal P205	4	Arduíno	1

Figura 6 – Representação do sistema eletrônico para contagem de ciclos



Fonte: Próprios Autores utilizando o software Fritzing

Para a aquisição dos dados foi desenvolvido uma programação na linguagem compatível ao Arduino, que além da contagem de ciclos registra o tempo de ensaio e a velocidade de rotação em tempo real.

RESULTADOS E DISCUSSÕES:

Após realizadas todas as operações de dimensionamento, fabricação, aquisição e montagem a máquina foi finalizada em conformidade com o projeto. O equipamento finalizado é apresentado na Figura 7.

Figura 7 - Máquina finalizada



Fonte: Próprios Autores

A Tabela 2 apresenta os custos para aquisição dos componentes necessários para construção da máquina.

Tabela 2 - Custo dos componentes para fabricação da máquina de ensaio.

Descrição	Custo (R\$)	Descrição	Custo (R\$)
Mesa	40,00	Rolamento UC205	0,00
Haste	0,00	Mandril 1/2"	0,00
Motor 1/4 HP	0,00	Base para mancal	0,00
Acoplamento GR 067	60,00	Sensor TCRT 5000	15,00,00
Base para as anilhas	0,00	Resistor 10k Ω	0,30
Eixo primário	55,00	Resistor 330 Ω	0,30
Eixo secundário	55,00	Protoboard	12,00
Parafuso	17,00	Jumper	5,00
Mancal P205	0,00	Arduino	40,00

O custo final da máquina portanto foi de R\$ 299,60 atendendo à necessidade da construção do equipamento utilizando pequeno orçamento.

CONCLUSÕES:

O projeto atendeu aos objetivos propostos resultando em uma máquina de ensaio de fadiga por flexão rotativa de baixo custo funcional que será efetivamente utilizada pelos alunos, agregando conhecimentos valiosos sobre falhas e propriedades dos materiais. Possibilitando ainda estudos sobre variação das propriedades dos materiais em relação a sua composição, tratamentos térmicos e etc.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

BUDYNAS, R. G.; MISCHKE, C. R.; SHIGLEY, J. E. **Projeto de engenharia mecânica**. 7. ed. Porto Alegre: Bookman, 2005.

CALLISTER, W. D.; RETHWISCH, D. G. *Ciência e Engenharia de Materiais: Uma introdução*. 8. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012.

NORTON, R. L. **Projeto de Máquinas: uma abordagem integrada**. 4. ed. Porto Alegre: Bookman Editora, 2013.

Participação em Congressos, publicações e/ou pedidos de proteção intelectual:

Pretende-se realizar ensaios com a utilização do equipamento construído. Foram adquiridos corpos de prova para tal finalidade. Entretanto os mesmos não foram ainda realizados. Portanto, até então, não há participação em qualquer congresso ou publicações realizadas à partir da pesquisa desenvolvida.