

CONEM 2016
CONGRESSO NACIONAL DE
ENGENHARIA MECÂNICA

21-25
AGOSTO DE 2016
FORTALEZA - CEARÁ

PROTÓTIPO DE UMA MÁQUINA DE ENSAIO DE FADIGA ROTATIVA COMPUTADORIZADA DE BAIXO CUSTO

Tarcísio Carlos Fonseca, tarcisiocf89@gmail.com¹

Luiz Claudio Oliveira, lco@div.cefetmg.br²

¹CEFET-MG campus 2, Av. Amazonas 7675, Nova Gameleira, Belo Horizonte-MG - CEP: 30.510-000

²CEFET-MG campus Divinópolis, R. Álvares de Azevedo 400, Bela Vista - Divinópolis-MG - CEP 35503-822

Resumo: Mostra-se o projeto e construção de um protótipo de uma máquina de ensaio de fadiga computadorizada de baixo custo. O principal objetivo foi a utilização de um dispositivo mecânico e elétrico, acionado por software para ensaiar os corpos de prova. Foram realizadas as etapas de i) projeto e simulação dos componentes mecânicos da máquina, ii) construção mecânica, iii) montagem da parte eletrônica e programação do microprocessador. Máquinas deste tipo tem um custo bastante elevado para laboratórios de ensino, assim é de grande interesse desenvolver-se um protótipo deste tipo, tanto para instituições de ensino quanto para a indústria de médio porte. Observe-se que na automação de tais processos, devem-se efetuar medidas mecânicas com sensores, transformá-las e registrar os dados, que serão utilizados tanto no controle do equipamento quanto em análises dos resultados de ensaio obtidos.

Palavras-chave: Ensaios Mecânicos, Fadiga Rotativa, Automação Mecatrônica

1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento do protótipo de uma máquina de ensaio de fadiga, conforme realizado, contou com a interação de três áreas: Mecânica, Eletrônica e Computação. Essa máquina tem como componentes principais mancais, eixos, acoplamentos e mandris em sua parte mecânica, acionados por um motor de indução e por um motor de corrente contínua. Além disso temos sensores, microcontroladores, componentes eletrônicos e interação com computador para a parte eletrônica e computacional.

O objetivo geral foi desenvolver um protótipo de uma máquina de ensaio de fadiga por flexão rotativa computadorizada de baixo custo. Isso porque, considerando-se que uma máquina de ensaio de fadiga tem um custo elevado, é de grande interesse e benefício para institutos de pesquisa e pequenas empresas desenvolver um protótipo deste tipo.

A máquina conta com dispositivos mecânicos e elétricos que oferecem uma estabilidade maior durante o ensaio, garantindo uma maior confiabilidade no mesmo. Uma dos grandes problemas deste tipo de ensaio são as vibrações, e com estes dispositivos elas tem sua ação diminuída.

O princípio de funcionamento das máquinas de ensaio de fadiga por flexão rotativa ainda é o mesmo utilizado por Wohler, ou seja, os corpos de provas são fabricados segundo a literatura/normas e então uma das suas extremidades é fixada e a outra fica livre, onde se aplica uma carga estática que provoca a deflexão enquanto o corpo de prova gira através da parte fixa.

Outro método utilizado para este teste é fixar o corpo de prova nas suas extremidades em um suporte articulado e então aplicar cargas iguais e de mesma distância do centro, sendo que esta tem a vantagem de fornecer um momento constante e força cortante nula no corpo de prova.

Dentre os trabalhos de maior relevância sobre a construção de máquinas de ensaio, com uma abordagem semelhante à aqui utilizada, não se mencionam nem utilizam dispositivos elétricos ou computacionais para auxílio ao ensaio.

2. PROJETO ESTRUTURAL MECÂNICO

Como requisitos básicos de projeto temos: (1) baixo custo em todos os componentes, sem perda sensível de qualidade; (2) aplicação de carga de forma computadorizada, ou seja, sem necessidade de se colocarem pesos calibrados

como força para fletir os corpos de prova. O projeto da máquina é mostrado na Fig. 1, e a aplicação de cargas computadorizada na Fig. 2. As partes mais importantes serão detalhadas a seguir.

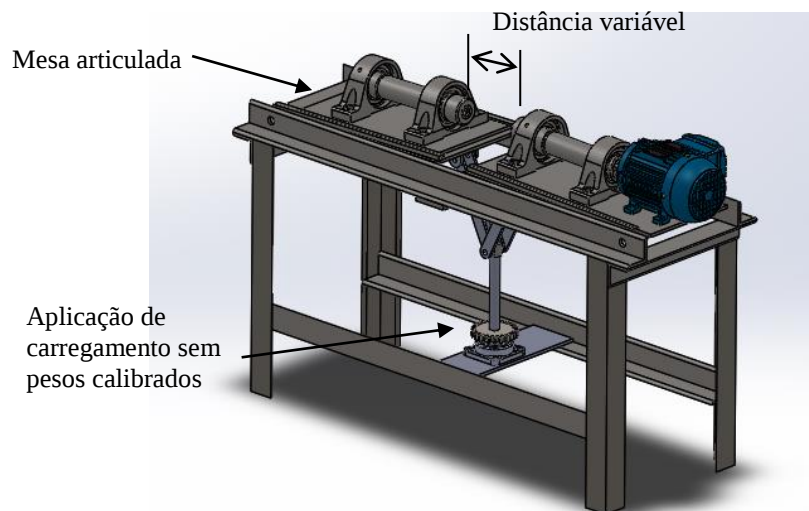


Figura 1. Projeto estrutural mecânico básico.

2.1. Aplicação de carregamento

Foi definido um sistema de aplicação de carregamento, Fig. 2, através de quatro barras (1) que são deslocadas numa rosca sem fim (2), através do giro de uma roda dentada (3), a ser acionada por um programa computacional (sistema não mostrado nessa figura). O motor (Fig. 1) e o sistema da Fig. 2 fornecem tensões cíclicas constantes, durante todo o processo de ensaio, até atingir a ruptura, com uma flexão constante, momento fletor igual nas duas partes do corpo de prova e força de cisalhamento nula.

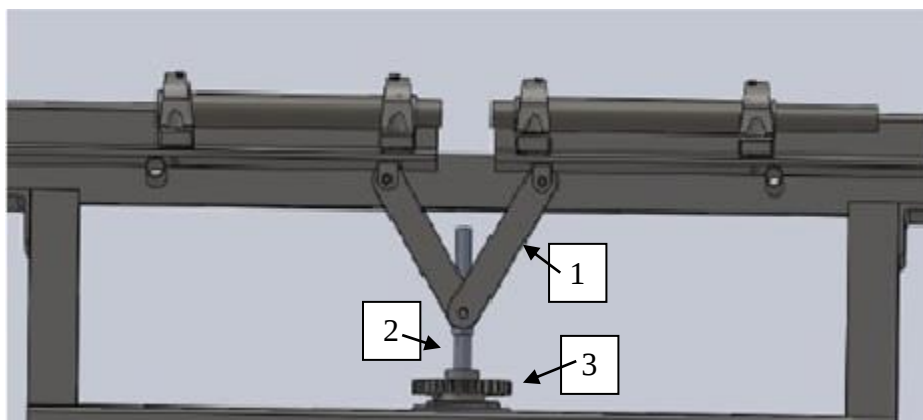


Figura 2. Sistema de aplicação de carregamento: (1) barras de aplicação de carregamento, movimentadas por (2) uma rosca sem fim e (3) uma roda dentada.

2.2. Sistema de fixação do corpo de prova

As dimensões do corpo de prova podem variar de acordo com a norma ISSO 1143 (METALS - Rotation bar bending fatigue testing), Fig. 3, sendo que seu diâmetro D pode ter entre 5 mm a 12,5 mm, sendo recomendados valores de 6mm, 7,5mm e 9,5 mm. É necessário também que o raio de concordância R entre D e d seja maior ou igual a cinco vezes o tamanho do diâmetro menor, ou seja $R \geq 5d$.

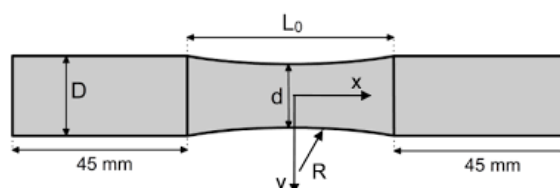
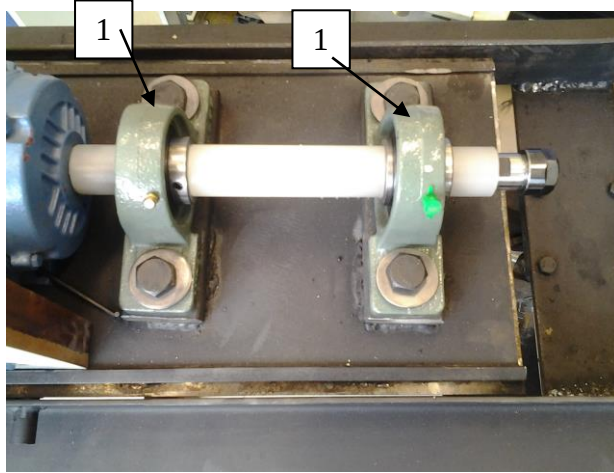


Figura 3. Corpo de prova típico.

A fim de satisfazer às exigências da norma, podendo-se ensaiar corpos de prova de tamanhos variáveis, o desenvolvimento do projeto foi feito com o objetivo de poder controlar a distância entre as pinças que irão prender o corpo de prova, “distância variável” na Fig. 1, detalhe de construção na Fig. 4 (a). Neste sistema, porta-pinças (1) poderão se deslocar sobre uma mesa articulada, na distância que for necessária, já que serão presas com parafusos borboleta. Os porta-pinças e as pinças, Fig. 4 (b), onde os corpos de prova são acoplados, são do modelo ER-16 haste reta. Optou-se pela compra das pinças para se ter um material de alta qualidade e durabilidade, devido a dificuldades em fabricação.



(a)



(b)

Figura 4. Fixação dos corpos de prova: (a) porta-pinças com pinça (b).

2.3. Mesas Articuladas e base da estrutura

Mesas articuladas foram projetadas e construídas (retificadas), Fig. 5 (1) e (2), para receberem outras duas chapas, que irão deslizar sobre estas mesas para possibilitar a alteração do corpo de prova, conforme descrita acima (Fig. 4). A Fig. 5 mostra a base do protótipo da máquina de ensaio já com as mesas articuladas (1) e (2).

Após a usinagem das chapas das mesas, deu-se início a usinagem dos perfis que irão segurar chapas nas quais os mancais e o motor trifásico irão presos, ou seja, chapas que irão deslizar sobre as mesas retificadas. Esses perfis foram usinados com uma profundidade de 64mm, pois as chapas de aço tem uma espessura de 1/4 de polegada. Para garantir o acoplamento perfeito destes, foi desbastada uma profundidade de 65mm onde eles serão encaixados. Com a mesa retificada como desejado e os perfis soldados nos devidos lugares foi feita a parte da fixação dos tubos onde a mesa irá articular.



Figura 5. Mesas articuladas (1) e (2) e base da máquina de ensaio.

Assim com a mesa articulada pronta passou para a última etapa que foi a montagem, para isso teve-se que garantir a distância entre o centro do eixo sem fim e da ponta dos portas pinça fossem a mesma, e então foram feitos dois furos

passantes em cada canto das cantoneiras, sendo eles de 16mm. A Fig. 5 mostra o protótipo já com as mesas articulas no devido lugar

2.4. Montagem Geral

Na montagem geral, Fig. 6, foi feita a integração das partes mecânicas, além do motor de giro do corpo de prova. O suporte dos mancais também fabricado através da usinagem, mantendo-se o alinhamento entre o centro do porta pinça e do motor trifásico. Na Fig. 6 mostra-se, ainda, o sistema de aplicação de carregamento, com um “motor DC de aplicação de carregamento”. Sua fixação foi feita através da usinagem de um suporte para garantir a altura perfeita entre as engrenagens do motor e a do eixo sem fim. Seu acionamento eletrônico será descrito na sequência.



Figura 6. Montagem geral do protótipo da máquina de ensaio.

3. PROJETO DOS COMPONENTES ELETRÔNICOS

Componentes eletrônicos, juntamente com a programação de um microprocessador PIC16f877a, foram utilizados para fazer o acionamento do “motor de aplicação de carregamento”, Fig. 6. Este motor desloca o sistema descrito na Fig. 2 para variar o carregamento sobre o corpo de prova.

A parte eletrônica foi montada em *protoboards*, Fig. 7, ligados ao protótipo da máquina para girar/parar o motor de carregamento, Fig. 7a, e às portas de comunicação de um computador, Fig. 7b. Realizaram-se testes iniciais para funcionamento do sistema, que se mostrou operanteatuate.



Figura 7. Sistema eletrônico em *protoboards*: (1) acionando o “motor de carregamento” e (b) ligações às portas de um computador pessoal.

Em seguida, foi realizada a comunicação entre um programa de interface e o PIC. O programa de interface utilizado foi editado a partir de um programa existente. Neste programa, Fig. 8, as portas TX e RX do PIC, podem ser escolhidas como as portas de comunicação, ou seja, COM 1, COM 2, COM 3 e outras.

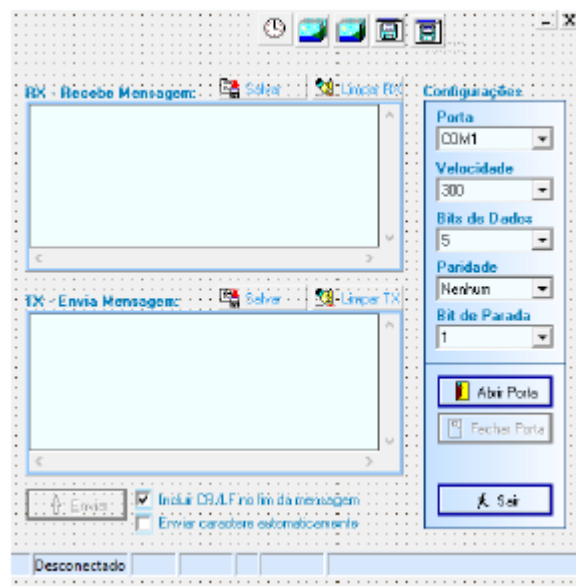
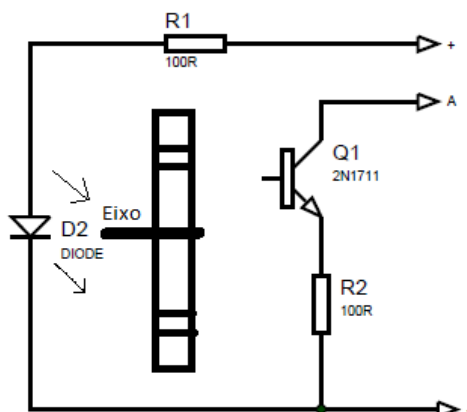


Figura 8. Programa de interface

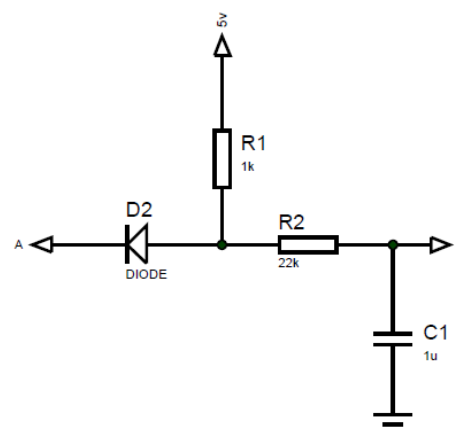
A fim de contar-se o número de ciclos, foi escolhido um sensor, SD706, Fig. 9a, fabricado para aplicações automotivas e assim com um custo mais baixo. O sensor necessita de um circuito externo para poder gerar uma onda quadrada, pois ele não emite a onda desejada.



(a)



(b)



(c)

Figura 8. (a) Sensor, (b) circuito Interno do Sensor e (c) condicionamento da onda quadrada

Com relação à força aplicada pelo “motor de carregamento”, para se saber a relação entre o número de voltas da engrenagem e a força aplicada, foi feito o seguinte experimento. Mediu-se com um paquímetro o comprimento de uma mola em sua posição natural, a saber $D_i = 0,11555\text{m}$. Em seguida, foi pendurada uma das extremidades em um suporte

fixo e a outra a um peso calibrado de 200g, sendo medido o tamanho da mola novamente, a saber $D_f = 0,15155m$. Assim obteve-se a constante de elasticidade da mola:

$$k = \frac{F}{D} = 54,444N/m$$

Na sequência, os porta pinça foram colocados em sua posição zero, ou seja, alinhados, e então uma das extremidades da mola foi presa no corpo de prova e a outra na porca que fica aparafusada no eixo sem fim, medindo-se o tamanho da mola. Após isto, a engrenagem foi girada 5 vezes no sentido anti-horário, obtendo-se o deslocamento da mola, possibilitando o cálculo da força aplicada.

$$F = \frac{k}{D_f - D_i}$$

$$F = \frac{54,444}{0.173 - 0.170} = 0.16333N$$

4. TESTE DE CONJUNTO DO PROTÓTIPO

O protótipo da máquina de ensaio de fadiga rotativa completa foi testada em duas etapas. Primeiramente foi testado o funcionamento do sistema de aplicação de carga, o qual se comportou muito bem, conseguindo fletir um corpo de prova de teste, feito de náilon. Devido ao custo de célula de carga, a calibração da força aplicada ao corpo de prova foi feito com materiais do laboratório de física do campus V, conforme descrito no final do item 3, o que também se mostrou adequado.

Após os testes de conjunto do protótipo, alguns refinamentos são ainda necessários na parte eletrônica, principalmente para definição dos circuitos e seus componentes finais.

5. CONCLUSÕES

Tendo em vista que as máquinas existentes na bibliografia não utilizam o sistema de aplicação de cargas desenvolvido aqui, que se traduz por uma haste fixa e não pesos móveis, pode-se notar que em quase todas surgem vibrações e variações da força à qual o corpo de prova está submetido. Para um ensaio perfeito, é necessário garantir que a força seja constante, e então essa é uma grande vantagem do equipamento desenvolvido.

O equipamento ainda necessita de vários ajustes, com o objetivo de melhorar a realização de ensaios. De fato, trata-se de um protótipo, que no entanto mostrou seu funcionamento de forma eficiente. A parte mecânica está terminada, sem maiores modificações. Os *protoboards* devem ser desenvolvidos em circuitos, porém ainda não foram definidos seus componentes definitivos. Essa é a próxima etapa do trabalho, integrar os componentes eletrônicos ao corpo do protótipo, num equipamento único acoplado a um computador pessoal.

6. REFERÊNCIAS

- Brandão, R.P., “Projeto mecânico de uma máquina de ensaio de fadiga por flexão rotativa”, 2013.
 Callister, W.D. “Ciência e Engenharia de Materiais”, LTC. 2010.
 Cavalheiro, A.C.M., Almeida, P.S., Azevedo, V.P.C., “Projeto de uma máquina para ensaios de fadiga”, 2006.
 Moraes, R.S., “Verificação do projeto estrutural de uma máquina de ensaio de fadiga de cadeira de rodas”, dissertação de mestrado, Escola Politécnica USP, 2008.
 Neves, P.C.U., “Automatização de uma máquina de ensaio de fadiga de contato, 2008.
 Nogueira, R.M., “Máquina de testes de fadiga mecânica por flexão rotativa”, dissertação de mestrado, PUC-RJ, 2010.
 Ribeiro, C., “Máquina de baixo custo para teste de fadiga por flexão rotativa”, CEFET-MG, 2004.

7. RESPONSABILIDADE AUTURAL

“O(s) autor(es) é(são) o(s) único(s) responsável(is) pelo conteúdo deste trabalho”.

PROTOTYPE OF A LOW COST COMPUTERIZED ROTARY FATIGUE TESTING MACHINE

Tarcísio Carlos Fonseca, tarcisiocf89@gmail.com¹

Luiz Claudio Oliveira, lco@div.cefetmg.br²

¹CEFET-MG campus 2, Av. Amazonas 7675, Nova Gameleira, Belo Horizonte-MG - CEP: 30.510-000

²CEFET-MG campus Divinópolis, R. Álvares de Azevedo 400, Bela Vista - Divinópolis-MG - CEP 35503-822

Abstract. *It is shown the design and construction of a prototype of a low cost computerized fatigue testing machine. The main objective was the use of a mechanical and electrical device driven by software to test the samples. The following steps were made: i) design and simulation of the mechanical components of the machine, ii) mechanical construction, iii) assembly of electronics and microprocessor programming. Machines of this type have a very high cost for teaching laboratories, so it is of great interest to develop a prototype of this kind, both for educational institutions and for the medium-sized industry. Note that in the automation of such processes, one should make mechanical measurements with sensors, transform them and record the data that will be used in both control equipment and in analysis of the test results obtained.*

Keywords: *Mechanical Testing, Rotating Fatigue, Mechatronics Automation*