



IV Encontro de Iniciação Científica e Tecnológica
IV EnICT
ISSN: 2526-6772
IFSP – Câmpus Araraquara
24 e 25 de outubro de 2019



Análise de um sistema de aquisição de dados de vibrações mecânicas de baixo custo LUCAS LOURENÇO DAL RI, FERNANDO DE HARO MORAES

¹ IFSP Campus Araraquara, lucas.lourenco@aluno.ifsp.edu.br.

² IFSP Campus Araraquara, fernandohm@ifsp.edu.br

Área de conhecimento (Tabela CNPq): Área – 3.05.04.02-3

RESUMO: Este trabalho apresenta a análise e desenvolvimento de um sistema de aquisição de dados de baixo custo, desenvolvimento e construção de um excitador eletromecânico e análise de vibrações mecânicas de um sistema massa-mola de um grau de liberdade. Inicialmente foi projetado e construído um dispositivo experimental excitador do sistema que consiste em um motor de corrente contínua acoplado a um sistema biela manivela cursor. O sistema excitador foi acoplado a um sistema massa-mola-amortecedor de um grau de liberdade. Em seguida, foi desenvolvido um sistema de aquisição de dados de baixo custo utilizando a plataforma Arduino. As respostas obtidas experimentalmente foram comparadas a uma função senoidal ideal gerada em um programa de manipulação matemática. A aquisição de dados apresentou convergência entre os resultados experimentais e os resultados numéricos.

PALAVRAS-CHAVE: Aquisição de dados de baixo custo; Arduino; Vibrações Mecânicas;

INTRODUÇÃO

O estudo de vibrações possui grande importância no desenvolvimento e funcionamento de máquinas e equipamentos mecânicos (RAO, 2009). As vibrações mecânicas estão relacionadas com a grande maioria das falhas mecânicas, podendo citar fenômenos de auto-excitação como o Flutter, o shimmy, que ocorrem durante a frequência de ressonância do sistema (NAYFEH, 1980).

Visando realizar o estudo de vibrações mecânicas, antes de tudo é necessário possuir uma fonte de excitação, ou seja, um dispositivo eletromecânico (motor elétrico, *shaker*), o qual seja capaz de realizar deslocamento com determinada amplitude, frequência, com capacidade de repetibilidade e de maneira controlada. Um motor elétrico controlado por um potenciômetro é capaz de realizar a excitação e o controle de rotação, mas com algumas limitações relativas à variação da rotação. O motor elétrico acoplado a um sistema biela manivela cursor transforma o movimento rotativo (rotação) em movimento linear alternado (translação). Os movimentos de translações alternados são utilizados como fonte de excitação, os quais podem ser representados pela função harmônica seno.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

As respostas obtidas experimentalmente (não ideal) serão comparadas com as respostas numéricas obtidas através da simulação computacional (ideal). As fontes de excitação de um sistema mecânico podem ser classificadas como ideais e não-ideais (RAO, 2009). As fontes de energia ideais desconsideram que as forças atuantes no sistema influenciam na dinâmica do motor, ou seja, os modelos que utilizam o modelo ideal de excitação são modelos simplificados, que podem desprezar importantes fenômenos. Assim, o modelo que utiliza uma fonte de energia não-ideal, se aproxima significativamente de um modelo mais completo e complexo e se aproxima mais do modelo real (NAYFEH, 1980). Dependendo da excitação, refere-se a um

sistema dinâmico como ideal (força harmônica) ou não ideal (motor com fonte de energia limitada). Para sistemas dinâmicos não ideais, deve-se adicionar uma equação que descreve como a fonte de energia passa essa energia às equações que governam o sistema (curva característica do motor). Assim surge a necessidade da validação do modelo através de comparação entre as respostas obtidas. São características importantes do modelo não-ideal as interações da estrutura com a fonte de excitação, tais como: variações bruscas (saltos ou “jumps”) da amplitude de deslocamento da estrutura e da frequência de excitação no caso particular em que se considera a condição estacionária do movimento. A tensão aplicada nos terminais do motor continuaria crescendo além da região de ressonância (fenômeno da passagem pela ressonância) ou, permaneceria próximo à frequência natural do sistema (fenômeno da captura pela ressonância) (DIMENTBERG, 1997).

O tempo de passagem pela ressonância dependerá também das condições iniciais do sistema. O primeiro autor a sistematizar estas propriedades dos modelos matemáticos, não ideais, foi Kononenko (1969). Balthazar et al. (2004, 2005) realizou uma revisão completa deste assunto, considerando o período de 1904-2003. Zukovic et al., 2009, estudaram um sistema não ideal com folga no acoplamento massa-mola identificando a ocorrência do efeito Sommerfeld.

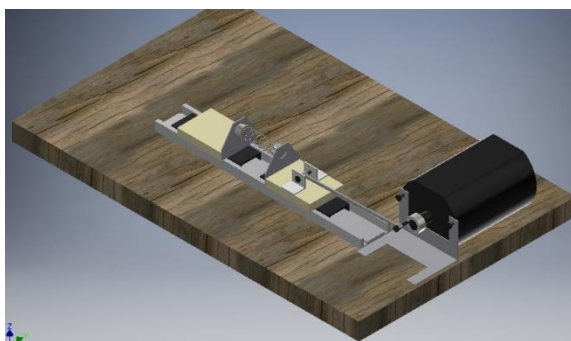
Para realizar a aquisição de dados experimentais será construído um sistema de aquisição de baixo custo com acelerômetro em conjunto com uma plataforma Arduino conectado a um computador. A rotação do motor foi aferida através de um dispositivo com sensor óptico e um microprocessador do tipo Arduino UNO, com o uso de bibliotecas livres relativas a esse tipo de aplicação. Foi utilizado outro microprocessador do tipo Arduino UNO associado a um sensor acelerômetro e giroscópio do tipo MPPU6050, o qual foi utilizado como acelerômetro e efetuou a obtenção dos dados de aceleração. Os dados foram armazenados no computador.

O sistema excitador foi acoplado a um sistema massa-mola de um grau de liberdade. Os resultados obtidos foram analisados através da análise de convergência validando a simulação computacional. Esta pesquisa está envolvida com futuras pesquisas de vibrações mecânicas forçadas assim como a respectiva modelagem matemática, assim como este trabalho pode ser utilizado em ilustrações de aulas práticas exemplificando dispositivos estudados nas disciplinas do curso de graduação em engenharia mecânica nas disciplinas de Dinâmica, Mecanismos e Vibrações Mecânicas. A pesquisa ainda está em desenvolvimento.

METODOLOGIA

O desenvolvimento do dispositivo experimental iniciou-se a partir do dimensionamento do sistema massa-mola-amortecedor de um grau de liberdade, baseado no dispositivo experimental pesquisado por MORAES, F.H. A Figura-1 apresenta o desenho computacional do dispositivo experimental.

Figura 1 – Desenho computacional do dispositivo experimental



Fonte: próprio autor.

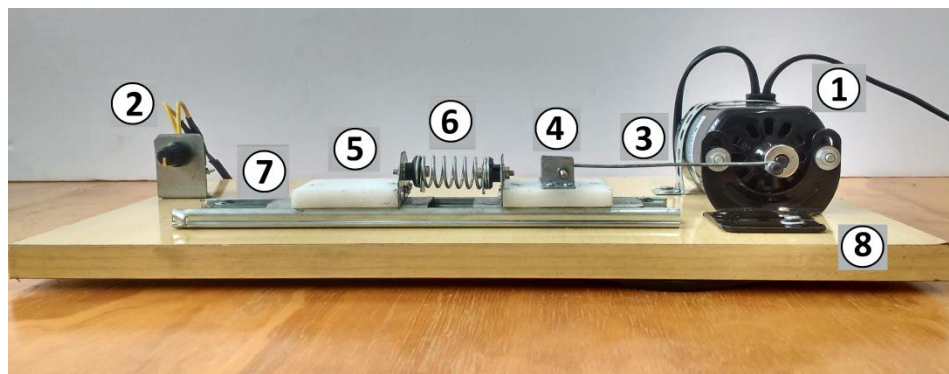
A Figura-2 apresenta o dispositivo experimental construído com os itens numerados a seguir. Assim, foi dimensionado o tipo de motor elétrico (especificação MG-100B); em seguida dimensionou-se o potenciômetro necessário para realizar o controle de rotação do motor ; em sequência foi construído o sistema biela-manivela-cursor o qual realiza a transformação de movimento de rotação do eixo do motor em movimento translacional alternativo do carro deslizante excitador, o qual desloca-se sobre a guia linear; foram

utilizados blocos de nylon para construir a estrutura do carro motor e do carro movido; o motor elétrico, a guia linear e o potenciômetro foram fixados sobre uma base rígida de madeira.

Na Figura-2, os componentes do dispositivo experimental são identificados como:

- 1 motor elétrico;
- 2 potenciômetro;
- 3 biela;
- 4 carro motor;
- 5 carro movido;
- 6 mola;
- 7 guia linear deslizante;
- 8 base de fixação do dispositivo experimental.

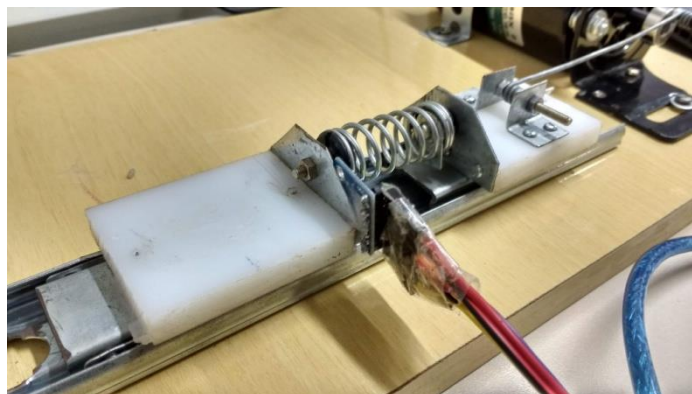
Figura 2 – Dispositivo experimental



Fonte: próprio autor.

A Figura-3 mostra o posicionamento do acelerômetro no carro movido. O acelerômetro foi inicialmente colocado no carro movido e foi realizada a aquisição de dados e depois colocado no carro motor e foi realizada a aquisição de dados.

Figura 3 – Posicionamento do acelerômetro

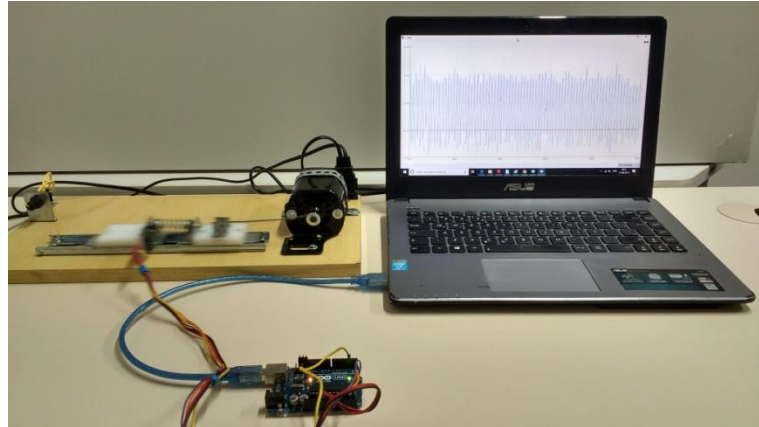


Fonte: próprio autor.

A Figura-4 mostra o dispositivo de aquisição de dados conectado ao dispositivo experimental. O acelerômetro mostrado está posicionado sobre o carro movido. O dispositivo experimental foi ligado na energia elétrica, depois o potenciômetro foi ajustado até atingir uma frequência onde o sistema iniciava o deslocamento. A plataforma Arduino estava energizada e conectada ao sensor acelerômetro e ao computador através da porta USB. Os dados foram coletados e através do acelerômetro MPU6050 em conjunto com o Arduino e armazenados no computador. Os dados podem ser analisados em tempo real ou posteriormente

processados em um programa de manipulação matemática. O programa utilizado na plataforma Arduino possui o código livre.

Figura 4 – Dispositivo de aquisição de dados conectado ao dispositivo experimental e computador.



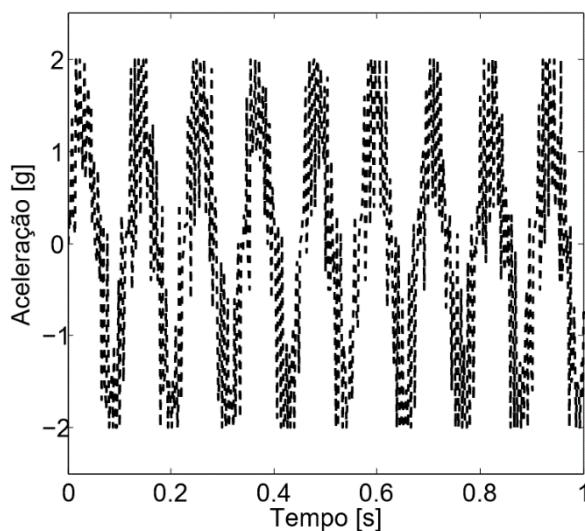
Fonte: próprio autor.

Foi medida a massa do carro movido que resultou em 42,6g, foi determinado o coeficiente de elasticidade (k) da mola, sendo $k = 1962\text{N/mm}$ e foi calculada a frequência de ressonância, sendo $\omega = 34,17\text{Hz}$.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

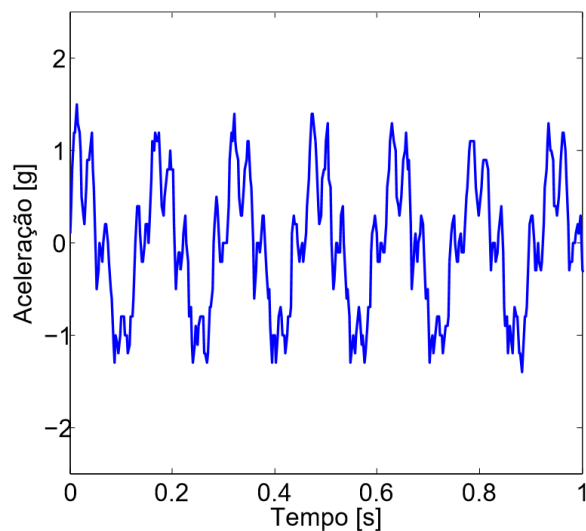
Os dados coletados foram processados em um programa computacional de manipulação matemática. Assim, foi gerado o gráfico do histórico no tempo de aceleração por deslocamento do carro motor (figura-6) e carro movido (figura-7). A aceleração está expressa em [g] e o tempo expresso em [s] descritos abaixo (figura-6):

Figura 6 - Carro motor (9Hz) amplitude (2g)



Fonte: próprio autor

Figura 7 – Carro movido (6,5Hz) amplitude (1,5g)

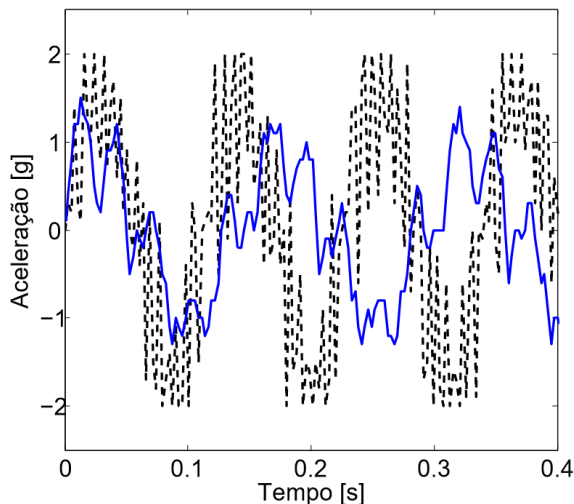


Fonte: próprio autor

A Figura-8 apresenta a comparação da aceleração do carro motor com a aceleração do carro movido. As frequências não estão em fase devido à maneira com que foi realizada a aquisição dos dados. Os dados foram coletados com um acelerômetro fixo no carro movido em um primeiro momento, e depois, com o mesmo

acelerômetro reposicionado sobre o carro motor em um segundo momento. Enquanto a aquisição de dados deveria ser realizada com dois acelerômetros fixos em suas devidas posições realizando a aquisição dos dois carros simultaneamente. A diferença de amplitude entre o carro movido e o carro motor caracteriza que o movimento se apresenta amortecido pelo atrito presente na guia linear.

Figura 8 – Comparação da aceleração do carro motor com o carro movido



Fonte: próprio autor

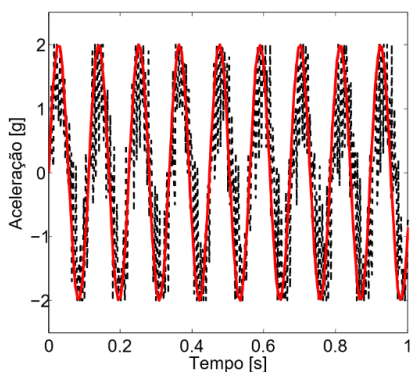
Com o objetivo de comparar os gráficos gerados experimentalmente a uma função matemática ideal que representa a resposta do sistema excitado harmonicamente, função seno, segundo a equação-1:

$$y = A * \text{sen} (\omega * t) \tag{1}$$

Onde, “A” é amplitude da onda, “ω” é a velocidade angular (rad/s) e “t” é o tempo (s).

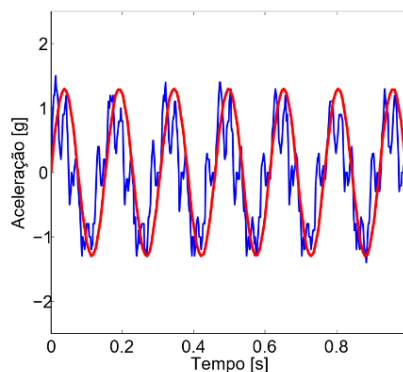
Comparando a função harmônica senoidal numérica em relação a resposta experimental do carro motor, resulta na figura-9. Comparando a função harmônica senoidal numérica em relação a resposta experimental do carro movido, resulta na figura-10.

Figura 9 – Comparação seno e exper. do carro motor



Fonte: próprio autor

Figura 10 – Comparação seno e exper. do carro movido



Fonte: próprio autor

CONCLUSÕES

O dispositivo experimental excitador foi capaz de realizar a excitação do sistema massa-mola-amortecedor considerando os dados experimentais ensaiados entre 6,5Hz e 9Hz.

Foi realizada a aquisição de dados, e concluiu-se que os dados experimentais convergiram com os resultados numéricos (ideal), validando assim a aquisição de dados (experimental, não ideal).

A divergência entre a frequência do carro motor e do carro movido ocorre devido a aquisição de dados ser realizada com apenas um acelerômetro, enquanto o ideal seriam dois acelerômetros realizando a aquisição simultaneamente.

Pode-se observar muitos ruídos nos gráficos, que podem ser causados por: folgas nos acoplamentos, nas juntas rotativas do sistema biela-manivela e folgas presentes nas guias lineares. Essas folgas causam o deslocamento descontínuo durante as oscilações do sistema, quando realizaram a passagem pelos pontos mortos do sistema. A disposição construtiva das bobinas do motor elétrico gera forças cíclicas a cada rotação do motor, causando alguns pulsos em determinadas frequências de excitação.

Futuramente será realizado a aquisição de dados com dois sensores acelerômetros simultaneamente e comparar os resultados experimentais obtidos através do acelerômetro e Arduino e os resultados numéricos com a resposta obtida através do programa de processamento de imagens “Tracker”.

REFERÊNCIAS

BALTHAZAR, J. L. and BRASIL, R.M. L. R. F., 2004, “On saturation control of a non-ideal vibrating portal frame founded type shear – building,” *Journal of Vibration and Control* 10, 1739–1748.

DIMENTBERG, M. F., MCGOVERN, L., NORTON, R. L., CHAPDELAIN, J., and HARRISON, R., 1997, “Dynamics of an unbalanced shaft interacting with a limited powersupply,” *Nonlinear Dynamics* 13, 171–187.

KONONENKO, V. O., 1969, *Vibrating Systems with a Limited Power Supply*, Iliffe Books Ltd, London.

MORAES, F.H. Análise do comportamento dinâmico de um isolador de vibrações inercial-Inerter. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Engenharia, Bauru. Bauru, p. 99. 2019.

NAYFEH, A.H. (1980), *Introduction to Perturbation Techniques*, New York: John Wiley & Sons.

RAO, SINGIRESU (2009), *Vibrações Mecânicas - 4ª Edição - Editora Pearson / Prentice Hall (Grupo Pearson)- Cap.V, pag.191-192.*

ZUKOVIC, M and CVETICANIN, L.: “Chaos in Non-ideal Mechanical System with Clearance.”, *Journal of Vibration and Control* August 2009 vol. 15 no. 8 1229 1246 DOI: 10.1177/1077546308091216