



3ª SEMANA INTERNACIONAL DAS ENGENHARIAS DA FAHOR

Horizontina - RS - Brasil
16 a 18 de Outubro de 2013



DESENVOLVIMENTO E ANÁLISE DE UMA BANCADA DIDÁTICA PARA ENSAIOS DE VIBRAÇÕES

Alexandre Heirich (FAHOR) ah000878@fahor.com.br

Bruno Simão (FAHOR) bs000710@fahor.com.br

Fabiano Cassol (FAHOR) cassolfabiano@fahor.com.br

Resumo

Considerando o contexto atual em que grande parte das atividades humanas envolvem vibrações direta ou indiretamente e que muitas vezes essa é mal compreendida, é de fundamental importância tanto o estudo do fenômeno de vibrações quanto sua influência em determinados sistemas. O objetivo geral que este trabalho apresenta é desenvolver, através de uma pesquisa exploratória, um conceito para os componentes funcionais de uma bancada didática que sirva como ferramenta de auxílio durante a aprendizagem de estudantes no estudo de vibrações mecânicas, que simule variadas frequências com a finalidade de se visualizar a reação de um sistema composto por massa e mola quando em ressonância, possuindo também a possibilidade de se dimensionar o amortecedor adequado para o sistema em estudo. O presente trabalho analisa e identifica a necessidade de experimentos práticos possibilitando o aprendizado e a comprovação de teorias, possibilitando um maior aprendizado prático para estudantes de vibrações.

Palavras-chave: Ensaio de vibrações; Frequência natural; Ressonância; Amortecedor.

1. Introdução

Considerando o contexto atual em que grande parte das atividades humanas envolvem vibrações direta ou indiretamente e que muitas vezes o fenômeno é mal compreendido, é de fundamental importância tanto o estudo deste fenômeno quanto sua influencia nestes sistemas. A presente informação, de que é necessária uma maior compreensão do fenômeno de vibrações, foi constatada durante estudos de dinâmica dos sistemas mecanizados, onde os estudantes apresentam grande dificuldade em visualizar o comportamento de um sistema mecânico constituído de um sistema massa e mola quando submetido a vibrações forçadas, bem como em variações deste comportamento devido à alteração ou inserção de um amortecedor.



3ª SEMANA INTERNACIONAL DAS ENGENHARIAS DA FAHOR

Horizontina - RS - Brasil
16 a 18 de Outubro de 2013

SEEMI 2013
7º Seminário Estadual de Engenharia Mecânica e Industrial



Partindo do pressuposto de que a FAHOR – Faculdade Horizontina não dispõe de laboratório de vibrações, bem como de equipamentos para visualização prática dos conceitos de vibrações mecânicas, e que esta visualização ou interação é de fundamental importância na construção do conhecimento de acadêmicos de engenharia mecânica, identificou-se a oportunidade do desenvolvimento de um dispositivo para simulação direcionado a aprendizagem destes comportamentos. A partir deste cenário, surgiu a questão de como demonstrar estes fenômenos mecânicos de forma a facilitar a explicação a respeito do conteúdo de vibrações envolvendo massa, mola e amortecedor.

Ao analisar o problema proposto, conclui-se que uma forma viável e adequada de solucioná-lo é o desenvolvimento de um equipamento didático que possibilite a visualização prática da teoria abordada nos estudos de vibrações mecânicas, sendo este equipamento, uma bancada didática para ensaios de vibrações.

Justifica-se este trabalho pelo fato de que experimentos práticos durante o decorrer das atividades didáticas contribuem significativamente para o aprendizado e o interesse do aluno no assunto em questão (BORTOLAIA; RASIA; VALDIERO apud JAVARONI, 2007). Sendo assim, uma bancada didática permitirá que o aluno se familiarize com os componentes de um sistema de vibrações envolvendo massa, mola e amortecedor e ao mesmo tempo verifique na prática a teoria vista em aula.

O objetivo geral que este trabalho apresenta, é desenvolver através de uma pesquisa exploratória, um conceito para os componentes funcionais de uma bancada didática que sirva como ferramenta de auxílio durante a aprendizagem de estudantes no estudo de vibrações mecânicas, que simule variadas frequências com a finalidade de se visualizar a reação de um sistema composto por massa e mola quando em ressonância e que se possa dimensionar o amortecedor adequado para este sistema.

2. Revisão da Literatura

2.1 Vibrações

Compreende-se o fenômeno da vibração, conforme Soeiro (2008), como qualquer movimento que se repita, regular ou irregularmente, após um determinado intervalo de tempo, sendo assim, a teoria das vibrações trata do estudo dos movimentos oscilatórios de corpos em torno de uma posição de equilíbrio e das forças associadas a eles.

2.1.1 Importância do estudo da vibração

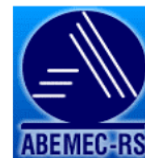
De acordo com Rao (2008) o estudo de vibrações dentro da engenharia é de extrema importância, pois vibrações podem causar o aumento das



3ª SEMANA INTERNACIONAL DAS ENGENHARIAS DA FAHOR

Horizontina - RS - Brasil
16 a 18 de Outubro de 2013

SEEMI 2013
7º Seminário Estadual de Engenharia Mecânica e Industrial



tensões e perdas de energia além do desconforto e falhas mecânicas que danificam máquinas e equipamentos. Isso ocorre porque a vibração causa um desgaste mais rápido de componentes como rolamentos ou engrenagens, afrouxa ou solta elementos de fixação como porcas e parafusos e gera ruído excessivo.

Rao (2008) cita também que devido ao seu efeito devastador nas estruturas, os testes de vibrações tornaram-se um procedimento padrão no projeto e desenvolvimento dos sistemas de engenharia. Desta maneira a principal finalidade do estudo de vibrações é a de reduzi-la ou controla-la através de projetos adequados de máquinas e de seus suportes

2.1.2 Componentes elementares de um sistema vibratório

Os elementos que o compõem um sistema vibratório podem ser identificados e classificados, conforme Miguel (2006) a partir da forma que manejam a energia mecânica:

- Massa ou inércia: armazena energia potencial gravitacional e energia cinética (associada à velocidade);
- Elemento elástico: armazena energia potencial elástica, associada à deformação elástica que o corpo sofre;
- Elemento dissipador: dissipa energia mecânica sob a forma de calor ou som.

Rao (2008), complementa que a vibração de um sistema envolve a conversão de energia potencial em energia cinética e vice-versa. Se o sistema for amortecido, a energia é dissipada a cada ciclo da vibração, a qual deve ser repostada por uma fonte externa se um estado de vibração permanente deva ser mantido.

2.1.3 Classificação da vibração

Conforme Rao (2008), se após uma perturbação inicial o sistema continuar a vibrar por conta própria e não houver nenhuma força externa agindo sobre este, a vibração é classificada como vibração livre, porém, se o sistema estiver sujeito a um torque ou força externa, quase sempre repetitiva, a vibração é conhecida como forçada.

Ainda conforme Rao (2008), um sistema é classificado como não amortecido quando este não perde ou dissipa energia por atrito ou outra resistência durante a oscilação, se a vibração for livre, não haverá diminuição da amplitude da vibração e o sistema vibrará indefinidamente. Se a vibração for forçada, a excitação irá repor energia no sistema, podendo ocorrer até aumento da amplitude da vibração, porém se houver perda de energia por atrito ou por dissipação, o sistema é classificado como vibração amortecida, sendo que se a vibração for livre haverá sempre diminuição da amplitude da vibração e o sistema tenderá a parar na posição de equilíbrio estático. Se a vibração for

forçada, poderá haver ou não diminuição da amplitude da vibração, porque a excitação repõe energia no sistema.

2.2 Graus de liberdade

O número mínimo de coordenadas independentes requerido para determinar totalmente as localizações das partes de um sistema a qualquer momento define o grau de liberdade do sistema (RAO, 2008).

Se um sistema possibilitar somente uma direção de movimentação o sistema é considerado com um grau de liberdade, no caso da Figura 1a, a direção x , se existir duas possibilidades, será considerado com dois graus de liberdade, no caso da Figura 1b, a direções x_1 e x_2 e se possuir três possibilidades de movimentação, será considerado com três graus de liberdade, no caso da Figura 1c, as direções x_1 , x_2 e x_3 .

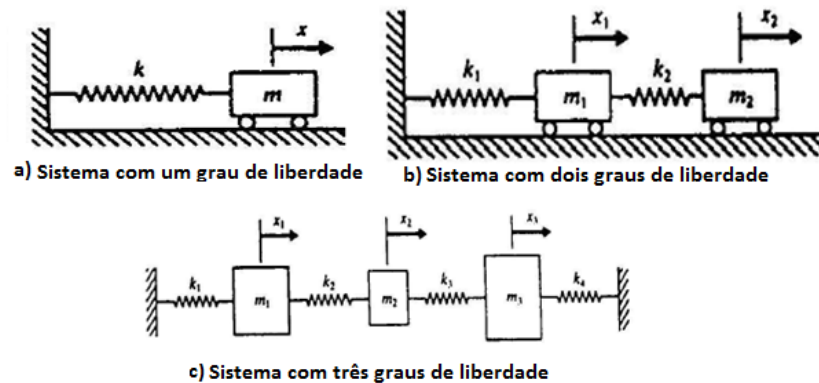


Figura 1 - Sistemas com um, dois e três graus de liberdade. Fonte: Rao (2008)

2.3 Classificação dos sistemas amortecidos

O comportamento dos sistemas amortecidos depende da magnitude do amortecimento, ou seja, seu fator de amortecimento, que segundo Soares (2008), é encontrado através da razão entre o coeficiente de amortecimento viscoso do amortecedor e o coeficiente de amortecimento crítico para determinado sistema (Equação 1). O fator de amortecimento pode ser encontrado através da Equação 2.

$$C_c = 2 \cdot m \cdot f_n \cdot 2\pi \quad (1)$$

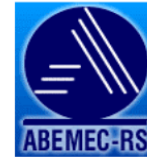
$$\varphi = \frac{C}{C_c} \quad (2)$$



3ª SEMANA INTERNACIONAL DAS ENGENHARIAS DA FAHOR

Horizontina - RS - Brasil
16 a 18 de Outubro de 2013

SEEMI 2013
7º Seminário Estadual de Engenharia Mecânica e Industrial



Ainda conforme Soares (2008), através do fator de amortecimento, o sistema amortecido pode ser classificado de três formas diferentes:

- Sistema subamortecido;
- Sistema criticamente amortecido;
- Sistema superamortecido.

Segundo Rao (2008), caso o fator de amortecimento do sistema seja menor do que a unidade, este se classifica como sistema subamortecido, onde um movimento harmônico de frequência angular tem sua amplitude reduzida exponencialmente em relação ao tempo.

Ainda segundo o autor, se o fator de amortecimento for igual à unidade, este se classifica como sistema criticamente amortecido, um sistema aperiódico cujo movimento eventualmente diminuirá até zero.

Por fim Rao (2008), comenta que se o fator de amortecimento for maior que a unidade, este se classifica como um sistema superamortecido, um sistema aperiódico independente das condições iniciais impostas ao sistema cujo movimento diminui exponencialmente com o tempo.

2.4 Definições e Terminologias

As seguintes definições e terminologias são úteis quando se tratam de vibrações, amortecimentos e outras funções periódicas.

- Frequência (f): De acordo com Biscuola, Bôas e Doca (2001) frequência corresponde ao número de vezes que um movimento se repete na unidade de tempo;

- Frequência natural (f_n): Segundo Souza (2009), Qualquer objeto possui uma frequência característica pelo fato dos átomos que constituem sua matéria possuírem certa energia de agitação, uma propriedade que está associada à sua temperatura. A combinação das frequências de todos os átomos cria um padrão de vibração resultando na frequência natural desta matéria ou sistema.

- Amplitude (X): Considera-se amplitude do movimento a distância entre posição de equilíbrio e a posição final ocupada por um corpo que oscila. Quando não há atrito a amplitude do movimento se mantém constante, porém se houver atrito (amortecimento) a amplitude diminui gradativamente (ALVAREZ; LUZ, 2000).

- Ressonância: Conforme Rao (2008), se um sistema massa-mola estiver sujeito a uma força externa e se a frequência desta força coincidir com a frequência natural deste sistema, ocorrerá o fenômeno conhecido como ressonância. Este fenômeno é caracterizado pelo fato de que quando ele acontece, o sistema passa a sofrer oscilações de grandes amplitudes, pois



3ª SEMANA INTERNACIONAL DAS ENGENHARIAS DA FAHOR

Horizontina - RS - Brasil
16 a 18 de Outubro de 2013

SEEMI 2013
7º Seminário Estadual de Engenharia Mecânica e Industrial



conforme Seara da ciência [s/d], é na ressonância que a transferência de energia de uma força externa para o sistema é a mais eficiente possível e só é limitada pelo amortecimento.

3. Métodos e Técnicas

O trabalho apresentado tem o seu desenvolvimento a partir de uma pesquisa exploratória, que conforme Jung (2004), tem como característica a obtenção de alternativas para o uso conhecimento científico e inovações tecnológicas.

A busca das informações necessárias para elaboração do conceito se deu através de uma pesquisa em referenciais bibliográficos, pois conforme Jung (2004), este tipo de pesquisa permite conhecer as diversas formas de contribuições existentes que foram realizadas a respeito de certo assunto ou fenômeno e através de *benchmarking* em produtos semelhantes a fim de se levantar um conceito para o dispositivo proposto pelo trabalho.

Após a conclusão da aquisição por informações, buscou-se o modelo que atende a exigência do trabalho levando-se em consideração os fenômenos que este irá ensaiar e como os comprovar através das equações referentes ao assunto em questão. Ao final do trabalho serão citados os fenômenos que o conceito será capaz de fornecer junto com os cálculos que comprovam o seu funcionamento.

4. Resultados e Discussões

4.1 Desenvolvimento do conceito

O objetivo que este trabalho apresenta, é desenvolver através de uma pesquisa exploratória, um conceito para os componentes funcionais de uma bancada didática que sirva como ferramenta de auxílio durante a aprendizagem de estudantes no estudo de vibrações mecânicas, que simule variadas frequências tendo como finalidade se visualizar a reação de um sistema composto por massa e mola quando em ressonância e que se possa dimensionar o amortecedor adequado para este sistema.

Partindo do pressuposto da necessidade de um equipamento que simule os fenômenos já comentados, iniciou-se a pesquisa a fim de se coletar maiores informações sobre o assunto e quais as equações necessárias para a comprovação destes fenômenos.

Após o levantamento destas informações, através de um *brainstorming*, constatou-se a necessidade de cinco sistemas funcionais principais para a simulação de uma vibração. Os elementos funcionais serão aqueles que terão relação direta com os resultados fornecidos pela bancada e podem ser divididos em:

- Sistema oscilante: Sistema responsável por produzir as oscilações;

- Sistema de controle: Sistema responsável pela alteração da frequência e amplitude da vibração;
- Sistema condutor: Sistema responsável por transmitir a oscilação do sistema condutor ao sistema de análise;
- Sistema de análise: Sistema responsável por simular os efeitos produzidos pelas oscilações através de alteração de suas variáveis;
- Sistema de leitura: Sistema responsável pelo tratamento dos dados fornecidos pelo protótipo.

Rao (2008), sugere para oscilação do sistema massa-mola, uma roda excêntrica (came) que ao seu pico passar pela base do sistema, este será deslocado para cima resultando em uma oscilação. Quando a massa apresentar seu deslocamento máximo no sentido vertical, o sistema massa-mola terá entrado em ressonância com o came.

Baseado no modelo proposto por Rao (2008) que pode ser visualizado na Figura 2, chegou-se a um conceito (princípios de solução) para cada sistema funcional da bancada. Os princípios de solução podem ser visualizados na Figura 3.

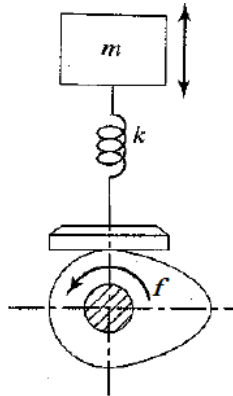


Figura 2 – Sistema massa-mola excitado por vibração forçada. Fonte: Rao (2008)






Elementos funcionais	Princípio de solução	Elementos funcionais	Princípio de solução
Sistema oscilante:		Sistema de análise:	
Sistema de controle:		Sistema de leitura de rotação:	
Sistema condutor:			

Figura 3 – Conceitos para os elementos funcionais. Fonte: Os Autores

4.2 Funcionamento do conceito

No momento em que o sistema oscilante for acionado, este produzirá uma oscilação no sistema massa-mola pelo pequeno ressalto que a roda motora possui (Figura 4). Esta oscilação possui uma determinada frequência que será variada pelo sistema de controle.

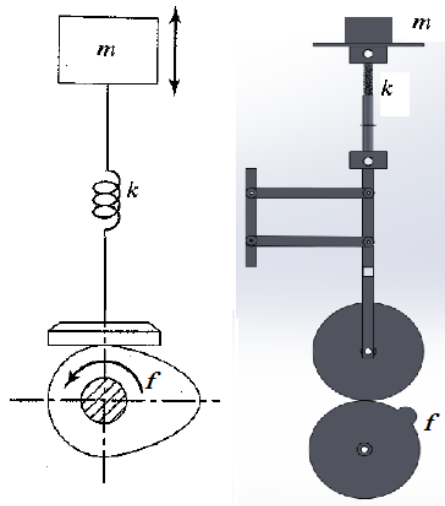


Figura 4 – Conceito para bancada baseado no modelo proposto por Rao (2008).
Fonte: Os Autores

No momento em que o sistema de análise atingir a amplitude máxima (neste caso na direção vertical pelo fato de ter apenas um grau de liberdade),



3ª SEMANA INTERNACIONAL DAS ENGENHARIAS DA FAHOR

Horizontina - RS - Brasil
16 a 18 de Outubro de 2013



significa que o sistema massa mola entrou em ressonância com a frequência fornecida pelo sistema oscilante. Neste instante a frequência natural do sistema massa-mola é a mesma frequência que a frequência fornecida pelo sistema oscilante. Para saber qual é a frequência, basta visualizar o sistema de leitura de rotação, que a indicará através da leitura da rotação da roda motora.

Conforme Miguel (2006), a partir da frequência natural de um sistema massa-mola é possível encontrar qual o amortecedor mais adequado para este sistema. Para que isto aconteça, é necessário aplicar a Equação 1. Utilizando valores pré-determinados é possível chegar aos seguintes resultados (Equação 3).

- Frequência do sistema de leitura no momento de maior amplitude no sistema: 7,8 Hz
- Massa do sistema massa-mola: 5 kg

$$Cc = 2 \cdot m \cdot fn \cdot 2\pi = 2 \times 5 \times 7,8 \times 2\pi = 490,08 \text{ Ns/m} \quad (3)$$

Tendo a informação de qual é o coeficiente para um amortecimento crítico (C_c), basta escolher qual o amortecedor adequado para utilizar no sistema. Se o que se deseja é um amortecimento subamortecido, deve-se usar um amortecedor com coeficiente de amortecimento (C) menor que o valor de C_c . Se o amortecimento desejado for um amortecimento crítico, o valor de C deve ser igual ao valor de C_c e por fim, se o amortecimento desejado for um amortecimento superamortecido, o valor de C deverá ser maior que o valor de C_c .

5. Conclusões

O objetivo do presente trabalho foi apresentar através de uma pesquisa exploratória, um conceito para os componentes funcionais de uma bancada didática que sirva como ferramenta de auxílio durante a aprendizagem de estudantes no estudo de vibrações mecânicas, que simule variadas frequências, com a finalidade de se visualizar a reação de um sistema composto por massa e mola quando em ressonância, a fim de se dimensionar o amortecedor adequado para este sistema.

É possível a percepção de que através dos resultados alcançados e do conceito proposto, é possível atingir o objetivo do trabalho, também é válido citar que com o conceito proposto outros ensaios podem ser elaborados, como por exemplo, a reação do sistema ao inserir amortecedores com diferentes coeficientes de amortecimento ou a reação do sistema com diferentes amplitudes.

Conclui-se que por mais que a frequência natural de um sistema massa-mola pode ser facilmente encontrada através de equações, um melhor aprendizado sobre o fenômeno é dado de forma prática, ficando portanto como



3ª SEMANA INTERNACIONAL DAS ENGENHARIAS DA FAHOR

Horizontina - RS - Brasil
16 a 18 de Outubro de 2013



principal contribuição deste trabalho a possibilidade de ilustrar experimentalmente os diversos conceitos envolvendo o fenômeno de vibrações.

Referências

ÁLVAREZ, B. A; LUZ, A.M.R.D. **Curso de física: volume 2**. São Paulo: Scipione, 2000.

BISCUOLA, G. J; BÔAS, N. V; DOCA, R. H. **Tópicos de Física 2: Termologia, Ondulatória e Óptica**. 1ª Edição. Editora Saraiva. São Paulo, 2001.

BORTOLAIA, L. A; RASIA, L. A; VALDIERO, A. C. **Desenvolvimento de uma Bancada didática para ensaio de Pórticos como objeto educacional na engenharia**. Disponível em: < <http://www.abenge.org.br/CobengeAnteriores/2011/sextoestec/art2117.pdf>>. Acesso em: 26 março 2013.

JUNG, C. F. **Metodologia Para Pesquisa e Desenvolvimento**. Editora Axcel Books do Brasil. Rio de Janeiro, 2004

MIGUEL, L. F. F. **Introdução ao Estudo de Vibrações**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2006.

RAO, S. **Vibrações Mecânicas**. 4ª Edição. Editora Pearson. São Paulo, 2008.

A ressonância. Seará. Disponível em: <<http://www.seara.ufc.br/tintim/fisica/ressonancia/ressonancia4.htm>>. Acesso em: 28 agosto 2013.

SOARES, M. **Vibrações Mecânicas**. Disponível em: <<http://www.mspc.eng.br/mecn/mvbr130.shtml>>. Acesso em: 18 agosto 2013.

SOEIRO, N. S. **Curso de fundamentos de vibrações e balanceamento de rotores**. Universidade Federal do Pará. Pará, 2008 Disponível em: <http://www.ufpa.br/gva/Apostilas/Fundamentos%20de%20%20Vibracao.pdf>>. Acesso em: 12 agosto 2013.

SOUZA,C. A. W. **Frequências naturais, harmônicos e sobretons**, 2009. Disponível em: < http://www.das.inpe.br/~alex/FisicadaMusica/fismus_freqnat.htm>. Acesso em: 28 maio 2013.